

*Valutazioni sulla scelta della tecnologia per
la riqualificazione dell'impianto di
compostaggio di Druento*

Aprile 2015

Hanno curato la redazione:

*l'ing. **Vita Tedesco** (ATO-R, area tecnica)*

*l'ing. **Palma Urso** (ATO-R, area tecnica)*



Via Pio VII, 9

10135 Torino

www.atorifiutitorinese.it

INDICE

1	OBIETTIVI DELLO STUDIO	4
2	TRATTAMENTI DELLA FORSU: ASPETTI GENERALI	5
2.1	Il compostaggio	5
2.1.1	L'impianto di compostaggio di Druento	6
2.2	La digestione anaerobica	7
2.2.1	Il processo biologico	8
2.2.2	La produzione di biogas	10
2.2.3	Il digestato	10
2.2.4	La produzione energetica	11
2.3	Integrazione del sistema aerobico con l'anaerobico	11
3	TECNOLOGIE DI DIGESTIONE ANAEROBICA	15
3.1	Applicazioni industriali del processo wet	17
3.1.1	Linde	19
3.1.2	Ros Roca	20
3.1.3	Citec – processo WAASA	20
3.1.4	BTA	21
3.2	Applicazioni industriali del processo dry	22
3.2.1	Dranco	24
3.2.2	Valorga	25
3.2.3	Bekon	26
3.2.4	Kompogas	28
3.2.5	Strabag (Linde)	30
4	LA DIGESTIONE ANAEROBICA DELLA FORSU IN EUROPA	31
5	LA DIGESTIONE ANAEROBICA DELLA FORSU IN ITALIA	34
5.1	Descrizione di alcuni impianti italiani di digestione anaerobica	38
5.1.1	Impianto di Pinerolo (processo wet, WAASA)	38
5.1.2	Impianto di Camposampiero (processo wet, LINDE)	40
5.1.3	L'impianto di Bassano del Grappa (processo dry, Valorga)	42
5.1.4	Impianto di Maniago (processo wet, Enbasys)	43
5.1.5	Impianto di Salerno (processo wet, Ros Roca)	44
5.1.6	Impianto di Novi Ligure (processo dry, Kompogas)	45
5.1.7	Impianto di Voltana di Lugo (processo dry, Bekon)	45
6	CONCLUSIONI	47

1 OBIETTIVI DELLO STUDIO

Nel luglio 2013 è stato sottoscritto il Protocollo d'Intesa "Verifica di fattibilità per la formazione di una struttura societaria integrata del sistema di gestione dei rifiuti nell'ambito territoriale torinese: costituzione Gruppo di Lavoro", con il quale si è avviato tra Provincia, ATO-R, Consorzi, Comuni ed aziende, un confronto sul sistema integrato di gestione dei rifiuti urbani dell'ambito provinciale torinese, finalizzato a verificare la possibilità di avviare un percorso comune di aggregazione, risanamento, sviluppo ed evoluzione delle aziende di igiene urbana di proprietà diretta o partecipate dagli enti locali.

Tale confronto è avvenuto nell'ambito di un Gruppo di Lavoro composto da Sindaci e Presidenti, o loro delegati, che ha approfondito la fattibilità, dal punto di vista politico, economico-finanziario e industriale, di un processo di aggregazione delle società pubbliche e miste presenti nel territorio provinciale per raggiungere una dimensione territoriale adeguata, formulando in merito proposte operative attuative.

Gli esiti del Gruppo di Lavoro sono stati raccolti nella *Relazione conclusiva del Gruppo di Lavoro*.

I Consorzi CADOS e COVAR 14, con l'approvazione nei rispettivi organi competenti del documento conclusivo del gruppo di Lavoro sopra citato, hanno manifestato la volontà di modificare l'attuale modello di gestione dei servizi sul proprio territorio ed intraprendere il percorso di integrazione societaria di aziende.

Pertanto è stata avviata, ed è attualmente in corso, la procedura di gara a doppio oggetto per l'aggregazione societaria con ingresso di un partner privato operativo, con riferimento a due società oggi a totale partecipazione pubblica CIDIU SERVIZI SPA (territorio Consorzio CADOS) e PEGASO 03 (territorio Consorzio COVAR 14) e l'affidamento dei relativi servizi di gestione integrata dei rifiuti per i territori di pertinenza (su 17 Comuni appartenenti al bacino Cados gestione CIDIU e su 19 Comuni appartenenti al bacino Covar 14).

Con tale procedura di gara, le due società interessate si aggrenderanno in un unico polo societario in cui verranno conferiti i rami aziendali relativi ai servizi in gara, o parte di essi, e verrà ceduto ad un unico partner operativo industriale il 49% delle quote della costituenda società e affidato lo svolgimento dei relativi servizi, che sono:

- il servizio di igiene urbana e servizi connessi sull'intero territorio di COVAR 14 e parte del territorio di CADOS;
- il servizio di gestione post operativa delle discariche esaurite di proprietà di CIDIU SpA e COVAR 14;
- il servizio di gestione dell'impianto di trattamento del rifiuto organico sito in Druento, compresa la riqualificazione impiantistica, e connessa discarica di RSA;
- il servizio di gestione delle aree di messa in riserva presenti presso il sito di Druento;
- i servizi strumentali e accessori alle attività di accertamento e riscossione della tassa/tariffa ambientale.

In esito alla gara, la Società unica risulterà affidataria dei servizi di gestione dei rifiuti sui territori coinvolti, sulla base di un Contratto di Servizio con i Consorzi di riferimento, per almeno 20 anni, termine idoneo a garantire la realizzazione del piano industriale e l'ammortamento degli investimenti effettuati.

La procedura di gara si svolge ai sensi dell'art. 30 del Codice degli Appalti Pubblici, adottando quale meccanismo di gara una procedura ristretta con una prima fase di prequalifica dei candidati, sulla base dei requisiti richiesti nel bando, ed una seconda fase di invito a presentare offerta rivolta unicamente ai soggetti ammessi, che sarà valutata con il meccanismo dell'offerta economicamente più vantaggiosa.

Il presente Studio ha come obiettivo quello di fornire risposta alla nota del Consorzio COVAR 14 (prot. 1517/2015 del 5/3/2015) con la quale veniva richiesta una Relazione Tecnico Illustrativa in ordine alla scelta della tecnologia per l'intervento di riqualificazione dell'impianto sito in Comune di Druento, oggetto di gara.

2 TRATTAMENTI DELLA FORSU: ASPETTI GENERALI

2.1 IL COMPOSTAGGIO

Il compostaggio è una tecnica attraverso la quale viene controllato, accelerato e migliorato il processo naturale a cui va incontro qualsiasi sostanza organica per effetto della flora microbica naturalmente presente nell'ambiente. Si tratta di un "processo aerobico di decomposizione biologica della sostanza organica che avviene in condizioni controllate (Keener et al., 1993) che permette di ottenere un prodotto biologicamente stabile in cui la componente organica presenta un elevato grado di evoluzione"; la ricchezza in humus, in flora microbica attiva e in microelementi fa del compost un prodotto adatto ai più svariati impieghi agronomici, dal florovivaismo alle colture praticate in pieno campo.

Il processo di compostaggio può riguardare matrici organiche di rifiuti preselezionati (quali la frazione organica raccolta dei rifiuti urbani raccolta in maniera differenziata o i residui organici delle attività agro-industriali) per la produzione di un ammendante compostato da impiegare in agricoltura o nelle attività di florovivaismo, noto come "Compost di qualità".

Nel caso di trattamento dei rifiuti indifferenziati per il recupero della frazione organica tramite compostaggio, questi vengono avviati a sistemi di trattamento meccanico-biologico per la produzione della Frazione Organica Stabilizzata (FOS) da impiegare in usi diversi non agricoli, quali l'impiego per attività paesaggistiche e di ripristino ambientale (es. recupero di ex cave), o per la copertura giornaliera delle discariche.

Il processo di compostaggio si compone essenzialmente in due fasi:

- bio-ossidazione, nella quale si ha l'igienizzazione della massa: è questa la fase attiva (nota anche come *high rate, active composting time*), caratterizzata da intensi processi di degradazione delle componenti organiche più facilmente degradabili;
- maturazione, durante la quale il prodotto si stabilizza arricchendosi di molecole umiche: si tratta della fase di cura (nota come *curing phase*), caratterizzata da processi di trasformazione della sostanza organica con formazione di sostanze umiche.

La prima fase è un processo aerobico ed esotermico; la presenza nella matrice di composti prontamente metabolizzabili (molecole semplici quali zuccheri, acidi organici, aminoacidi) comporta elevati consumi di ossigeno e parte dell'energia della trasformazione è dissipata sotto forma di calore. L'effetto più evidente di questa fase è l'aumento della temperatura che, dai valori caratteristici dell'ambiente circostante, passa a 60°C e oltre, in misura tanto più repentina e persistente quanto maggiore è la fermentescibilità del substrato e la disponibilità di ossigeno atmosferico. L'aerazione del substrato è quindi una condizione fondamentale per la prosecuzione del processo microbico. La liberazione di energia sotto forma di calore caratterizza questa fase del processo di compostaggio che viene definita *termofila*; tale fase comporta un'elevata richiesta di ossigeno da parte dei microrganismi che operano la degradazione della sostanza organica, con formazione di composti intermedi come acidi grassi volatili a catena corta (acido acetico, propionico e butirrico) rapidamente metabolizzati dalle popolazioni microbiche.

Il prodotto che si ottiene al termine di questa fase è il compost fresco, un materiale igienizzato e sufficientemente stabilizzato grazie all'azione dei batteri aerobi. Proprio l'igienizzazione, e quindi l'inattivazione di organismi patogeni, è uno dei più importanti effetti di questa prima fase, purché la temperatura si mantenga su valori superiori a 60 °C per almeno cinque giorni consecutivi.

Con la scomparsa dei composti più facilmente biodegradabili, le trasformazioni metaboliche di decomposizione interessano le molecole organiche più complesse e si attuano con processi più lenti, anche a seguito della morte di una buona parte della popolazione microbica dovuta a carenza di nutrimento. È questa la seconda fase, chiamata anche *fase di maturazione*, nel corso della quale i processi metabolici diminuiscono di intensità e accanto ai batteri sono attivi gruppi microbici costituiti da funghi e attinomiceti che degradano attivamente amido, cellulosa e lignina, composti essenziali dell'humus. In questa fase le temperature si abbassano a valori di 40-45°C per poi scendere progressivamente, stabilizzandosi poco al di sopra della temperatura ambiente.

Nel corso del processo, la massa viene colonizzata anche da organismi appartenenti alla microfauna, che agiscono nel compostaggio attraverso un processo di sminuzzamento e rimescolamento dei composti organici e minerali, diventando così parte integrante della buona riuscita di questo complesso processo naturale.

Il prodotto che si ottiene è il compost maturo, una matrice stabile di colorazione scura, con tessitura simile a quella di un terreno ben strutturato, ricca in composti umici e dal caratteristico odore di terriccio di bosco.

2.1.1 L'impianto di compostaggio di Druento

L'impianto di trattamento della frazione organica, sito in loc. Commenda, nel Comune di Druento ha una capacità autorizzata di 85.000 t/anno ripartita in 60.000 t/anno di FORSU e 25.000 t/anno di materiale ligno-cellulosico strutturante. Entrato in esercizio nel mese di ottobre 2009, l'attività è stata sospesa in aprile 2012.

L'impianto effettuava compostaggio della FORSU secondo le modalità di seguito descritte.

a) Ricevimento e Pretrattamento

I mezzi di conferimento della FORSU che giungono all'impianto vengono pesati all'ingresso mediante una pesa a ponte automatizzata e successivamente si dirigono verso l'edificio di ricezione. Ogni accesso all'edificio di ricezione è protetto da una precamera mantenuta in leggera depressione per evitare la fuoriuscita di odori. La gestione dell'impianto viene effettuata da una cabina fissa di controllo, dotata di vista diretta sull'aia di ricezione. I rifiuti ad alto contenuto organico provenienti dalla raccolta differenziata sono conferiti e stoccati in un'apposita piazzola dedicata, ricavata all'interno dell'edificio di ricezione. Sempre in tale area viene stoccato il materiale lignocellulosico già triturato per la preparazione della miscela. I rifiuti e il verde strutturante sono movimentati tramite pala meccanica e collocati nella zona prospiciente il miscelatore meccanico. Qui un mezzo meccanico provvede ad alimentare il miscelatore.

La miscela viene trasferita con trasportatori a tappeto in una piazzola di stoccaggio dalla quale, mediante l'impiego di una pala gommata, vengono alimentati i biotunnels.

b) Trattamento aerobico in biotunnel

I biotunnels vengono caricati attraverso la porta anteriore mediante pala meccanica. Una volta completato il caricamento il portone viene chiuso e comincia il processo. Nel materiale viene insufflata dell'aria dal basso attraverso il pavimento, che è dotato di un sistema di distribuzione integrato nel getto di calcestruzzo che forma il pavimento stesso.

La durata del ciclo di trattamento è di 21 giorni solari. Durante il processo vengono tenuti sotto controllo alcuni parametri di processo: il tenore di ossigeno, temperatura del materiale, pressione nei tunnel e nelle condotte dell'aria. Alla fine del trattamento il materiale viene ripreso con pala gommata e va ad alimentare una tramoggia.

c) Raffinazione

La tramoggia di ricevimento, dotata di un rompi zolle idoneo ad uniformare il flusso di materiale sul nastro di trasporto per facilitarne in seguito la raffinazione, alimenta una serie di nastri che lo fanno pervenire alla linea di raffinazione. Il flusso, dopo aver subito una deferrizzazione, perviene ad un vaglio dinamico in grado di operare una separazione dimensionale recuperando la frazione di dimensione inferiore ai 50 mm, in larga parte costituita da strutturante cippato e miscela da inviare alla maturazione. La frazione maggiore di 40 mm viene scartata.

La frazione minore di 50 mm perviene ad un secondo vaglio di tipo stellare che separa un sottovaglio < di 15 mm costituito da miscela da mandare a maturazione. Il sopravaglio > di 15 mm è composto prevalentemente da strutturante da recuperare e pertanto viene riciclato in testa all'impianto.

d) Maturazione

Il materiale raffinato viene inviato al limitrofo edificio di maturazione per mezzo di nastri trasportatori e viene scaricato nella sezione per la maturazione primaria, dove vengono formati dei cumuli, periodicamente rivoltati per mezzo di una rivoltatrice meccanica su gomma.

Il tempo di permanenza nella maturazione primaria è di 39 giorni al termine dei quali il materiale viene trasferito da una pala meccanica alla sezione di maturazione secondaria. In questa fase il materiale viene gestito attraverso la realizzazione di un macrocumulo per ogni semicampata.

La fase di maturazione secondaria dura 30 giorni, durante i quali il materiale viene sottoposto a rivoltamento. L'area di maturazione secondaria funge anche da area di stoccaggio del prodotto finito.

e) *Trattamento degli effluenti gassosi*

Nell'edificio di ricezione è prevista l'aspirazione dell'aria per garantire 4 ricambi/ora, mentre nell'edificio fronte biotunnels e nell'edificio di raffinazione è prevista l'aspirazione per garantire 3 ricambi/ora.

Le arie aspirate sono convogliate a due scrubbers a doppio stadio e successivamente inviate ad un biofiltro. Le arie vengono poi inviate ad un biofiltro che ha una superficie utile di 1.485 m², con letto filtrante di altezza pari a 180 cm.

In corrispondenza dei salti di materiale nella sezione di raffinazione è presente un sistema di captazione puntuale delle polveri. L'aria polverosa aspirata nei predetti punti, attraverso un ventilatore di ciclo dedicato, viene inviata ad un depolveratore a maniche da 10.000 m³/h e quindi convogliata al plenum del biofiltro. Nella sezione di maturazione primaria l'aspirazione è di circa 49.600 m³/h di aria pari a 2 ricambi/ora. Il flusso estratto viene immesso prima in un filtro a maniche, e successivamente in un biofiltro dedicato. Il filtro biologico ha una superficie utile di 432 m², con letto filtrante di altezza pari a 180 cm.

La tabella seguente riepiloga le principali caratteristiche dell'attuale impianto.

Ubicazione impianto	Strada Cassagna, Località Commenda, Druento (TO)
Autorizzazione	D.D. n. 289-43436/2009 del 10/11/2009 e s.m.i.
Titolarità autorizzazione	CIDIU SERVIZI S.p.A.
Potenzialità per trattamento FORSU	85.000 t/anno (di cui 60.000 t/a di FORSU e 25.000 t/a di strutturante)
Tipologie di rifiuti autorizzate	Rifiuti organici, materiale lignocellulosico, rifiuti speciali ad elevata natura organica
Tipologia impiantistica	Compostaggio aerobico
Sezioni impiantistiche	Ricevimento e stoccaggio dei materiali
	Trattamento preliminare (triturazione del verde strutturante, apertura sacchi, miscelazione verde-FORSU)
	Stabilizzazione aerobica in n. 18 biocelle
	Raffinazione (vagliatura e deferrizzazione)
	Maturazione primaria con rivoltamento cumuli
	Maturazione secondaria e stoccaggio del prodotto finito
Stato attuale	Depurazione degli effluenti gassosi (scrubbers a doppio stadio e biofiltri)
	Attività di compostaggio FORSU sospesa da aprile 2012 con inizio attività di trasferta organico e verde; a gennaio 2014 avviate le attività di messa in riserva del legno, di selezione di rifiuti speciali e di rifiuti ingombranti; nel mese di luglio 2014 è stata avviata l'attività di compostaggio di fanghi da depurazione e rifiuti lignocellulosici.

2.2 LA DIGESTIONE ANAEROBICA

La digestione anaerobica è un processo biologico complesso attraverso il quale in assenza di ossigeno, la sostanza organica viene trasformata in biogas costituito principalmente da CO₂ e CH₄. La produzione del biogas avviene spontaneamente in natura, ogni qualvolta siano verificate condizioni di mancanza di ossigeno e presenza di sostanza organica: nei sedimenti di laghi e paludi, nelle risaie, nella tundra, nell'intestino dei ruminanti. Alessandro Volta, nel 1776 fu il primo a descrivere ed a studiare uno strano fenomeno delle acque degli stagni di Angera: dal fondo melmoso si notava la risalita di bolle di gas infiammabile con fiamma azzurrognola da lui chiamato "aria infiammabile nativa delle paludi". Si trattava di gas metano [2].

Nel 1883 Gayon, un alunno di Pasteur, in un esperimento, riuscì a produrre biogas da letame a 35°C in quantità così elevata da portare Pasteur a proporre di utilizzare tale gas per il riscaldamento e l'illuminazione delle città. Cosa che avvenne, qualche anno più tardi, in Inghilterra, nella cittadina di Exeter, dove il biogas prodotto dalle acque reflue, contenute in apposite vasche, consentì di illuminare alcune vie della città.

Nei primi anni del 1900 la Germania investì più di altri paesi nello studio e nell'ottimizzazione delle tecnologie per la produzione del biogas che veniva, inizialmente, inviato alla rete di distribuzione del metano, poi utilizzato in sistemi di cogenerazione per fornire direttamente l'energia elettrica richiesta dal processo di generazione e riscaldare le abitazioni vicine al sito di produzione.

Nel 1930 s'iniziò a cercare di separare dal biogas i componenti indesiderati (CO₂, zolfo, acqua) per ottenere metano per autotrazione.

Negli anni '30-'50 si fecero le prime approfondite sperimentazioni sulla co-digestione di liquami domestici e scarti dell'agricoltura e dell'allevamento; nel 1950, si arrivò alla costruzione, nella città di Celle, in Germania, del primo grande impianto per la produzione di biogas.

Negli anni '40, negli Stati Uniti, nacquero numerosi impianti di trattamento delle acque, con produzione di energia da biogas utilizzata nel processo.

Durante la seconda guerra mondiale la Germania e i suoi alleati si scontrarono con una pesante mancanza di combustibile per autotrazione; la situazione fu affrontata con la realizzazione, in tempi strettissimi, di digestori per la produzione di biogas da scarti dell'agricoltura.

Nel frattempo in India e Cina ogni villaggio rurale iniziò a costruirsi il suo piccolo digestore alimentato con scarti agricoli e deiezioni animali, per la produzione di gas impiegato essenzialmente per l'illuminazione e la cottura dei cibi. L'appoggio dei rispettivi governi ha permesso, in questi paesi, la realizzazione di numerosissimi (più di 5 milioni in Cina e più di 1 milione in India) piccoli impianti di produzione che ancora oggi costituiscono l'unica fonte energetica di interesse comunitario. Il biogas è la fonte energetica maggiormente sfruttata dai Paesi in via di sviluppo (America Latina, Africa, Sud-Est Asiatico) per la convenienza e la semplicità delle tecniche di produzione.

Nei paesi industrializzati un primo grande stimolo a un maggior sfruttamento della tecnica della digestione anaerobica per la produzione del biogas si ebbe durante la crisi energetica degli anni '70, venendo utilizzata inizialmente per la sola stabilizzazione dei fanghi di depurazione delle acque reflue civili. Successivamente vennero integrati nel ciclo di digestione altri tipi di matrici, come ad esempio i liquami zootecnici.

Negli ultimi anni sta crescendo invece l'utilizzo della digestione anaerobica nel trattamento della frazione organica dei rifiuti urbani raccolta in modo differenziato (FORSU), anche in miscela con altri scarti. La Direttiva sull'energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili e il Protocollo di Kyoto sulla riduzione dei gas serra hanno dato grande impulso allo sviluppo di tecnologie di produzione di energia da fonti rinnovabili sempre più competitive. In tal senso la digestione anaerobica, producendo metano da utilizzare per l'autotrazione o per la produzione di energia elettrica e/o termica dimostra di avere un forte potenziale di riduzione dei gas serra.

2.2.1 Il processo biologico

La digestione anaerobica è un processo biologico di stabilizzazione di un substrato organico putrescibile in condizioni di assenza di ossigeno.

Nell'ambito delle tecniche per la gestione dei rifiuti, il processo di digestione anaerobica è una tecnica che permette:

- la *stabilizzazione del rifiuto*: la parte biodegradabile subisce una riduzione della frazione volatile, del contenuto di carbonio, e del rapporto Carbonio/Azoto
- la *valorizzazione energetica*: il processo, che viene condotto in appositi reattori, produce biogas, costituito principalmente da metano (50-80%) e anidride carbonica, utilizzabile quindi come combustibile nella produzione di energia (elettrica o termica) o come metano per autotrazione. Il biogas ottenuto ha un PCI di 4.000-5.000 kcal/Nm³.

Il processo di trasformazione dei substrati organici complessi in metano avviene attraverso tre differenti fasi, nelle quali agiscono tre gruppi metabolici distinti di microrganismi che si differenziano sia per i substrati che per i prodotti del loro metabolismo (Fig. 2.1):

- *prima fase, Idrolisi e Acidificazione*: degradazione di substrati organici complessi (zuccheri, grassi, proteine) che vengono trasformate in composti semplici in forma solubile (monosaccaridi, acidi grassi, amminoacidi) accompagnata da acidogenesi con formazione di acidi grassi volatili, chetoni ed alcoli;
- *seconda fase, Acetogenesi*: a partire dagli acidi grassi volatili, si ha la formazione di acido acetico, acido formico, biossido di carbonio ed idrogeno molecolare;
- *terza fase, Metanizzazione*: formazione di metano a partire dall'acido acetico o attraverso la riduzione del biossido di carbonio utilizzando l'idrogeno come co-substrato. In minor misura si ha la formazione di metano a partire dall'acido formico.

I microrganismi anaerobi presentano basse velocità di crescita e basse velocità di reazione e quindi occorre mantenere ottimali, per quanto possibile, le condizioni dell'ambiente di reazione:

- pH tra 7 e 7,5;
- temperatura ottimale: 35°C se si opera con batteri mesofili; 55°C se con termofili;
- occorre prestare attenzione alla concentrazione di alcuni elementi e sostanze che possono inibire o limitare la crescita dei batteri (in particolare metanigeni) quali metalli pesanti (Zn, CU, Cr, Cd), Sali, NH_4^+ , residui di pesticidi, prodotti farmaceutici, detersivi e disinfettanti, solventi, ecc.

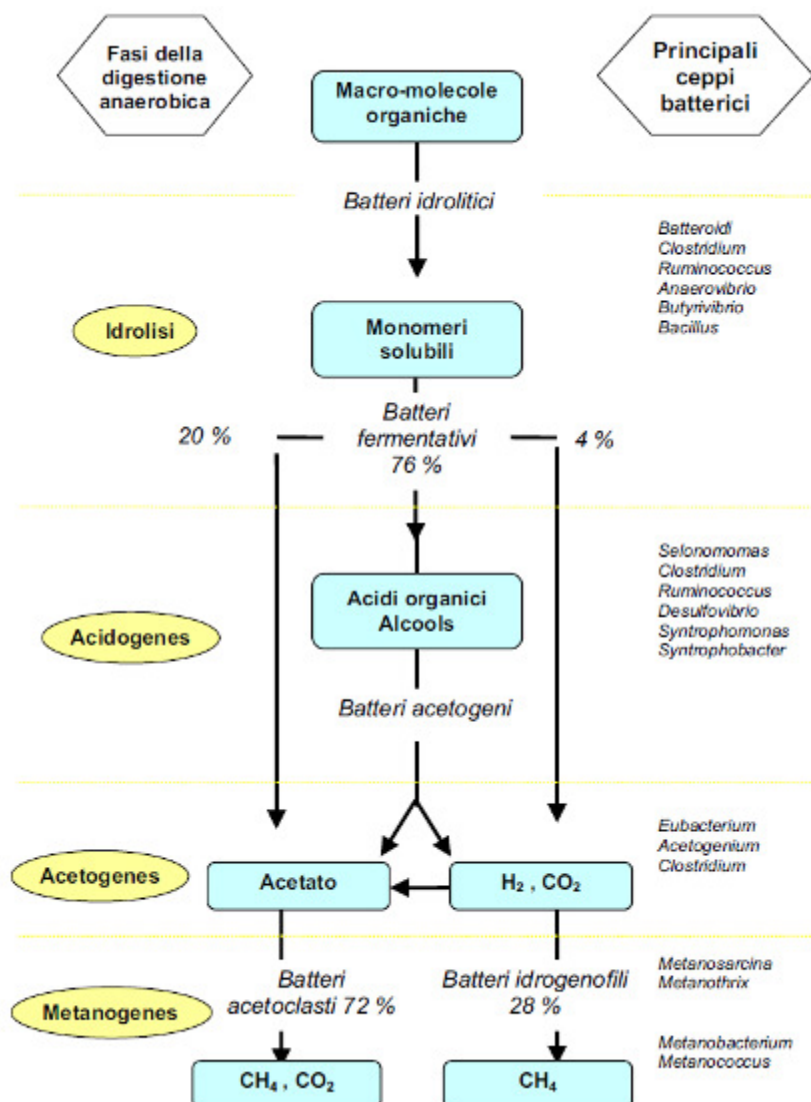


Fig. 2.1 – Schema generale del processo di digestione anaerobica [3]

2.2.2 La produzione di biogas

La composizione della matrice organica alimentata al digestore influisce in maniera importante sulla resa e sulla cinetica di produzione di biogas.

Matrici ricche in lipidi (sottoprodotti di origine animale, grassi e oli nei sottoprodotti agroindustriali) sono caratterizzate da elevate rese e da cinetiche lente; matrici ricche in carboidrati (colture dedicate, scarti delle lavorazioni agricole, frazione organica dei rifiuti solidi urbani) e/o in proteine (sottoprodotti zootecnici, sottoprodotti di origine animale) sono caratterizzate da velocità di conversione più elevate rispetto ai lipidi, ma da minori rese in biogas.

Relativamente, ad esempio, al trattamento della frazione organica da rifiuti urbani derivante da raccolta differenziata o selezionata alla fonte, in letteratura [11] si riportano valori di 400-500 Nm³ per t di Solidi Volatili (SV) alimentati per la digestione mesofila, ed un massimo di 600-850 Nm³/t SV alimentati per la digestione in termofilia. In genere durante la digestione anaerobica si ottiene una riduzione di almeno il 50% dei solidi volatili alimentati.

Si riportano di seguito le rese espresse in Nm³ di biogas prodotto per tonnellata di sostanza organica biodegradabile secca (Solidi Volatili, SV) alimentata nei digestori.

Materiali	m ³ biogas/t SV
Deiezioni animali (suini, bovini, avicunicoli)	200-500
Residui colturali (paglia, collietti barbabietole...)	350-400
Scarti organici agroindustria (siero, scarti vegetali, lieviti, fanghi e reflui di distillerie, birrerie e cantine...)	400-800
Scarti organici macellazione (grassi, contenuto stomacale ed intestinale, sangue, fanghi di flottazione...)	550-1.000
Fanghi di depurazione	250-350
Frazione organica rifiuti urbani	400-600
Colture energetiche (mais, sorgo zuccherino...)	550-750

Fonte: C.R.P.A. Reggio Emilia

2.2.3 Il digestato

Per la disidratazione del residuo della digestione anaerobica (digestato) si usano centrifughe per gli impianti del tipo wet e presse a vite per gli impianti del tipo dry. Le centrifughe consentono di ottenere una frazione solida con un contenuto di solidi secchi (SS) del 25-35% e una frazione liquida con il 3-8% di SS. Le presse a vite consentono di ottenere una frazione solida con un contenuto di solidi secchi (SS) del 40-55% e una frazione liquida con il 10-20% di SS.

La frazione solida ottenuta dalla disidratazione del digestato, essendo ricca in azoto e fosforo, può essere utilizzata in agricoltura, spesso sotto forma di compost ottenuto tramite un ulteriore trattamento biologico di stabilizzazione in ambiente aerobico (1-3 settimane), finalizzato al completamento della degradazione della materia organica più difficilmente degradabile e alla igienizzazione del materiale. In alternativa può essere impiegata come combustibile dopo essiccamento.

La parte di frazione liquida che non viene ricircolata contiene elevate concentrazioni di azoto ammoniacale. L'utilizzo agronomico tramite spandimento nei campi è consentito per digestati liquidi ottenuti da sottoprodotti zootecnici, ma richiede l'ottemperanza alla Direttiva Nitrati 91/676/EEC che fissa a 170 e a 340 kg per ettaro e per anno l'apporto massimo di azoto nelle zone vulnerabili e nelle zone non vulnerabili, rispettivamente. Nel caso in cui non fosse possibile lo spandimento nei campi, prima dello scarico in acque superficiali si rende necessario un trattamento depurativo ad hoc che può risultare oneroso soprattutto per la parte riguardante la rimozione dell'azoto [4].

2.2.4 La produzione energetica

La maggior parte degli impianti che producono elettricità da biogas hanno potenze elettriche che variano da 50-100 kW (valore minimo per rendere redditizio l'investimento) a circa 1 MW, con rendimenti di generazione elettrica che variano fra 20 e 40% (mediamente intorno al 30-35 %). La tecnologia dominante per la generazione di energia elettrica da biogas è quella del motore alternativo a combustione interna a ciclo Otto. E' necessario rimuovere i composti corrosivi (H₂S e composti organici alogenati) o erosivi dal biogas. Prima della combustione si raffredda il biogas fino a 5°C, provocando la rimozione pressochè completa del vapor d'acqua; i componenti acidi e altre specie potenzialmente pericolose passano in soluzione nel condensato; se necessario, si eseguono anche lavaggi alcalini e passaggi attraverso letti di materiale adsorbente.

L'olio lubrificante e l'acqua di raffreddamento dei motori a combustione interna rendono disponibile una energia termica che si trova a una temperatura di 80-90°C e che rappresenta circa il 25% dell'energia liberata dal combustibile. I gas di scarico escono dal motore a temperature comprese fra 400 e 500 °C e dal loro raffreddamento è possibile recuperare fino a circa il 30% dell'energia del biogas. Tuttavia, nel caso del biogas, la presenza di composti acidi sconsiglia talvolta di raffreddare i gas di scarico al di sotto di 170-180 °C per evitare la formazione di condensate acide; in tal caso il calore recuperabile scende intorno al 20%. L'impiego di turbine a gas accoppiate con turbine a vapore (cicli combinati) al posto dei motori a combustione interna diventa competitivo soltanto per taglie nettamente superiori (almeno 8-10 MW elettrici) e richiede una depurazione del gas molto più accurata; l'esperienza dell'utilizzo del biogas in tali impianti è ancora limitata per cui l'impiego delle turbine a gas è da considerarsi ancora in fase sperimentale [4].

Con la pubblicazione del decreto relativo agli incentivi per chi produce biometano, si apre una nuova prospettiva di sviluppo per il settore delle energie rinnovabili da biomasse di scarto. Si tratta del Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 5 dicembre 2013 (G.U. 17 dicembre 2013, n. 295) recante "Modalità di incentivazione del biometano immesso nella rete del gas naturale".

Il decreto fissa il quadro di riferimento per il biometano, in particolare:

- Definisce le produzioni: i) biometano da raffinazione di biogas da digestione anaerobica controllata o passiva (discarica); ii) biometano da trattamento di bio-syngas da processi termochimici (es. gasificazione biomasse).
- Definisce gli schemi di incentivazione differenziati per: i) immissione nelle reti di trasporto o distribuzione del gas naturale senza destinazione specifica, ii) autotrazione, iii) impianti di cogenerazione ad alto rendimento (CAR).
- Definizione estesa di rete: il trasporto su strada del biometano per mezzo di carri bombolai è assimilato al convogliamento in condotta.

Secondo rilevazioni di EurObserv'ER la produzione di energia primaria da biogas da digestione anaerobica (digestori e discariche) nel 2013, in Europa, è stata di oltre 13 Mtep, principalmente localizzata in Germania (6,7 Mtep), Regno Unito (1,8 Mtep), Italia (1,8 Mtep). Il biogas principalmente utilizzato in Italia per la produzione di elettricità (7448 GWh) sul posto sia in impianti di sola generazione elettrica (3435 GWh) sia di cogenerazione di elettricità (4013 GWh) e calore.

2.3 INTEGRAZIONE DEL SISTEMA AEROBICO CON L'ANAEROBICO

La possibilità di valorizzare energeticamente la componente putrescibile dei rifiuti urbani, mediante digestione anaerobica con produzione di biogas, ha determinato negli ultimi anni un crescente interesse verso tale tecnica, anche su impulso della Comunità Europea.

Le norme ispirate al Protocollo di Kyoto, la riforma della politica energetica dell'Unione Europea e le conseguenti legislazioni e regolamentazioni a livello nazionale, hanno dato un forte incentivo allo sviluppo di tecnologie di produzione di energia da fonti rinnovabili sempre più competitive.

Il gas può essere bruciato in loco per generare energia termica e/o elettrica oppure può essere depurato per raggiungere il livello qualitativo del carburante o del gas naturale diffuso tramite la rete di distribuzione. Il biometano è ottenuto dal biogas tramite una raffinazione che rimuove la CO₂ così da ottenere un gas con percentuali di metano (95-98%) comparabili con quelle del gas naturale.

Sotto il profilo ecologico la digestione anaerobica non solo consente di ridurre l'emissione di gas serra grazie alla sostituzione dell'uso di combustibili fossili con l'utilizzo di biogas, ma rappresenta anche un'importante opportunità nella strategia di gestione delle frazioni organiche dei rifiuti solidi urbani (FORSU), che la normativa obbliga ad opportuno recupero.

La corretta gestione della FORSU prevede, in via preliminare, la raccolta differenziata di questa matrice per un successivo e più efficiente impiego allo scopo di recuperarne materia e/o energia rispettivamente attraverso l'impiego agronomico dei digestati (previo processo di compostaggio ovvero attraverso impiego diretto) e la combustione del biogas prodotto.

Nella prospettiva di ottemperare agli obiettivi di raccolta differenziata previsti dalla normativa nazionale e comunitaria, l'intercettazione dell'organico (e la sua valorizzazione) rappresenta un elemento fondamentale nelle strategie di gestione e in questo contesto assume particolare interesse il processo di digestione anaerobica.

Con il Libro Verde (documento COM(2008)811 definitivo del 3/12/2008) la Commissione Europea fornisce indicazioni circa la gestione dei rifiuti organici biodegradabili nell'Unione. Vengono riportate sinteticamente informazioni basilari relative alle politiche in materia di gestione dei rifiuti organici biodegradabili e ai risultati ottenuti dalla ricerca nel settore, allo scopo di raccogliere opinioni su come migliorare la gestione dei rifiuti organici biodegradabili rispettando la gerarchia dei rifiuti.

La digestione anaerobica viene ritenuta, rispetto al compostaggio, la tecnica di trattamento più vantaggiosa sia sotto il profilo ambientale che economico: *“Poiché la digestione anaerobica si svolge in reattori chiusi, le emissioni nell'aria sono significativamente ridotte e più facili da controllare rispetto al compostaggio. Ogni tonnellata di rifiuti organici biodegradabili inviata al trattamento biologico può produrre 100-200 m³ di biogas. Per via del potenziale di recupero energetico del biogas e del potenziale di miglioramento del suolo dei residui (in particolare quando i rifiuti organici biodegradabili vengono raccolti in maniera differenziata), la digestione anaerobica rappresenta spesso la tecnica di trattamento più vantaggiosa sotto il profilo sia ambientale che economico.”* [5]

Successivamente la Commissione con Comunicazione al Consiglio e al Parlamento europeo del 18/5/2010 (COM (2010)235 definitivo) analizza la situazione europea e indica le misure che ritiene necessarie per ottimizzare la gestione dei rifiuti organici. In particolare, la comunicazione, traendo le conclusioni dall'analisi della Commissione svolta nell'ambito del Libro Verde, presenta raccomandazioni sulla via da seguire per trarre pieno vantaggio da una corretta gestione dei rifiuti organici e descrive le principali linee d'azione che potrebbero essere adottate a livello nazionale o dell'UE. Con la suddetta comunicazione la Commissione invita gli Stati membri, nell'elaborazione delle misure finalizzate al raggiungimento degli obiettivi in materia di energie rinnovabili, a tenere conto dell'opportunità di trasformare i rifiuti organici in energia o carburante per autotrazione: *“I rifiuti organici possono essere trasformati in elettricità, calore o carburante per autotrazione a costi relativamente contenuti, limitando così l'uso di combustibili fossili e aumentando la sicurezza degli approvvigionamenti. Gli Stati membri dovrebbero tenerne conto nell'elaborazione delle misure volte al raggiungimento degli obiettivi nazionali vincolanti per il 2020 in materia di energie rinnovabili previsti dalla direttiva sulle energie rinnovabili. La direttiva riconosce in particolare i vantaggi legati all'uso dei rifiuti nella produzione di carburante per autotrazione, dal momento che nel computo dell'obiettivo del 10% per la quota di energia da fonti rinnovabili nei trasporti essi valgono il doppio.”* [6]

Infine il Parlamento Europeo con Risoluzione del 6 luglio 2010 sul Libro Verde della Commissione sulla gestione dei rifiuti organici biodegradabili (pubblicata in Gazzetta Ufficiale del 2/12/2011), considerando che l'iniziativa avviata dalla Commissione con il suo Libro Verde offre un'opportunità per un'azione comunitaria in materia di gestione dei rifiuti organici biodegradabili, invita la Commissione a rivedere la legislazione applicabile ai rifiuti organici al fine di elaborare una proposta di direttiva specifica che comprenda, tra l'altro, il riciclaggio dei rifiuti organici.

La suddetta Risoluzione evidenzia come: "La digestione anaerobica sia particolarmente utile per i rifiuti organici, in quanto produce ammendanti del suolo ricchi di elementi nutritivi, digestato e anche biogas, che è un'energia rinnovabile che può essere trasformata in biometano o utilizzata per generare elettricità di base" e invita la Commissione "ad analizzare ed incoraggiare le possibilità di utilizzo dei rifiuti organici per la produzione di biogas".[7]

Inoltre sottolinea che "che i rifiuti organici possono contribuire al raggiungimento dell'obiettivo dell'UE di portare almeno al 20%, entro il 2020, la quota dell'energia rinnovabile, nonché all'obiettivo stabilito nella direttiva relativa alla qualità dei combustibili; ricorda che la direttiva sulle energie rinnovabili appoggia l'utilizzo di tutti i tipi di biomassa come fonte di energia rinnovabile, compresi i rifiuti organici biodegradabili utilizzati a fini energetici, e che i biocarburanti ottenuti dai rifiuti hanno valore doppio ai fini dell'obiettivo del 10% di energia rinnovabile nel settore dei trasporti; chiede pertanto agli Stati membri di prendere in considerazione, nelle loro legislazioni nazionali, il recupero di energia dalla parte biodegradabile dei rifiuti, nell'ambito di una politica integrata in materia di gerarchia dei rifiuti, e li esorta a condividere le prassi migliori".

Infine, il Parlamento Europeo "sottolinea che, al fine di raggiungere gli obiettivi fissati a vari livelli (lotta al riscaldamento climatico e al degrado e all'erosione del suolo; raggiungimento degli obiettivi in materia di energie rinnovabili), **l'abbinamento tra compostaggio e fermentazione dei rifiuti organici raccolti in modo differenziato, se fattibile, presenta indubbiamente vantaggi e dovrebbe essere incoraggiato**".

In linea con gli indirizzi della Comunità Europea, negli ultimi anni si riscontra la tendenza ad integrare la digestione anaerobica all'interno di impianti di compostaggio esistenti. La digestione anaerobica va a sostituire la prima fase del processo di compostaggio, la bio-ossidazione, nota anche come *high rate, active composting time*, caratterizzata da intensi processi di degradazione delle componenti organiche più facilmente degradabili (Fig. 2.2).

Si stima che, entro il 2015, l'80% degli impianti di compostaggio esistenti in Olanda e Belgio verrà integrato con la sezione di digestione anaerobica [10]. In effetti la maggior parte dei bandi pubblicati sulla Gazzetta Ufficiale Europea richiedono la digestione anaerobica quale primo step del processo di trattamento biologico delle matrici organiche.

L'inserimento della sezione di digestione anaerobica nell'ambito del revamping di impianti di compostaggio in esercizio consente di utilizzare le apparecchiature esistenti con diversi altri vantaggi quali:

- bilancio energetico positivo dell'impianto, in quanto nella fase anaerobica si ha in genere la produzione di un surplus di energia rispetto al fabbisogno dell'intero impianto;
- miglior controllo, e a costi minori, dei problemi olfattivi; le fasi maggiormente odorigene sono gestite in reattore chiuso e le "arie esauste" sono rappresentate dal biogas (utilizzato e non immesso in atmosfera). Il digestato è un materiale già semi-stabilizzato e, quindi, il controllo degli impatti olfattivi durante la fase aerobica risulta più agevole;
- minor impegno di superficie a parità di rifiuto trattato, pur tenendo conto delle superfici necessarie per il compostaggio, grazie alla maggior compattezza dell'impiantistica anaerobica;
- riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera.

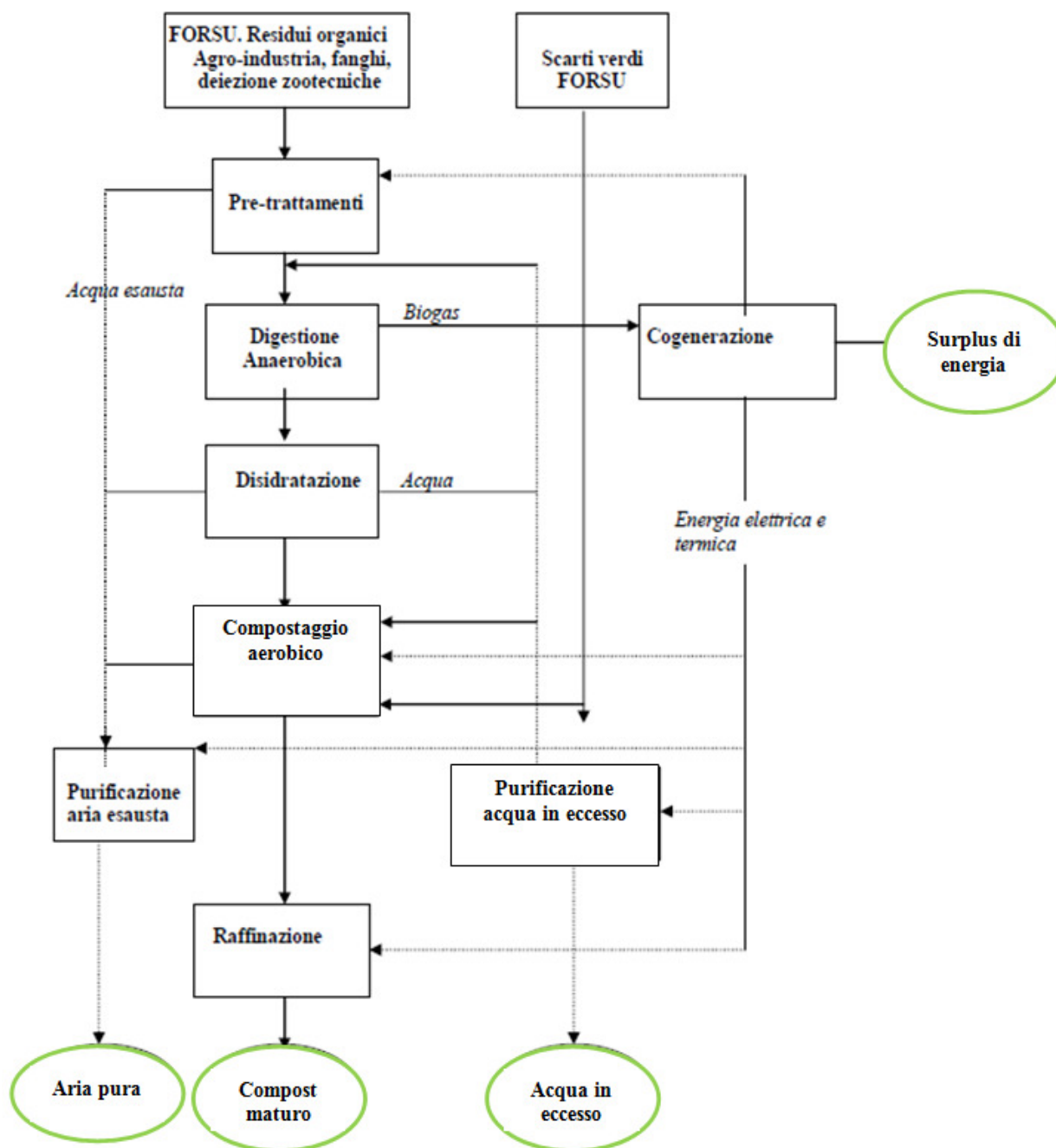


Fig. 2.2 – Schema di integrazione dei processi di digestione anaerobica e compostaggio

3 TECNOLOGIE DI DIGESTIONE ANAEROBICA

Nell'ambito dei processi di digestione anaerobica, la principale distinzione per approccio impiantistico si basa sul tenore di sostanza secca del substrato alimentato al reattore. Le tecnologie di digestione possono essere suddivise, da questo punto di vista, in due gruppi principali [10]:

- digestione *a umido* (wet), quando il substrato in digestione ha un contenuto di sostanza secca inferiore al 15%;
- digestione *a secco* (dry), quando il substrato in digestione ha un contenuto di sostanza secca superiore al 15%.

Processi con valori intermedi di sostanza secca (compresi tra il 15 ed il 20%) vengono talvolta definiti processi a semisecco o semidry.

I sistemi wet traggono origine dall'applicazione della digestione anaerobica nel campo della depurazione dei reflui civili e industriali e si rivolgono principalmente a rifiuti organici con bassa contaminazione, facilmente depurabili e fluidificabili.

I sistemi dry si sono sviluppati specificatamente per l'applicazione sui rifiuti solidi con elevati indici di contaminazione da plastiche e altri materiali non biodegradabili.

Una seconda distinzione fa riferimento al *regime termico* con cui viene condotto il processo biologico. All'interno del reattore anaerobico possono essere stabilite condizioni di:

- psicrofilia (20 °C);
- mesofilia (35-37 °C);
- termofilia (55 °C);
- estrema termofilia (65-70 °C).

In realtà le condizioni estreme sono poco utilizzate ed i processi industriali si concentrano sui regimi mesofili e termofili. I primi presentano generalmente vantaggi nei costi e nella robustezza del processo. I reattori operanti in termofilia invece sono generalmente caratterizzati da rese di produzione di biogas più elevate ma anche da un maggior impegno gestionale per il mantenimento degli equilibri operativi. La scelta tra mesofilia e termofilia determina in genere anche la durata del processo. Mediamente in mesofilia si hanno tempi di residenza compresi nel range 14-30 giorni, mentre in termofilia il tempo di residenza è in genere inferiore ai 14-16 giorni.

Il tipo di caricamento dei reattori distingue:

- *processi in continuo*, dove il reattore viene alimentato, quotidianamente o con frequenze maggiori, con una quota di rifiuto, a cui corrisponde lo scarico di una analoga quantità di digestato;
- *processi in batch*, dove le matrici vengono introdotte in un'unica soluzione nel reattore.

Nell'ambito dei processi in continuo si distingue ancora in base alle condizioni fluidodinamiche (Fig. 3.1):

- reattori a completa miscelazione (CSTR, Continuous Stirred Tank Reactor);
- reattori con flusso a pistone (PF, Plug Flow).

Ad una maggiore economia e semplicità gestionale dei processi in batch, si contrappone una maggiore resa produttiva in termini di biogas nei reattori alimentati in continuo.

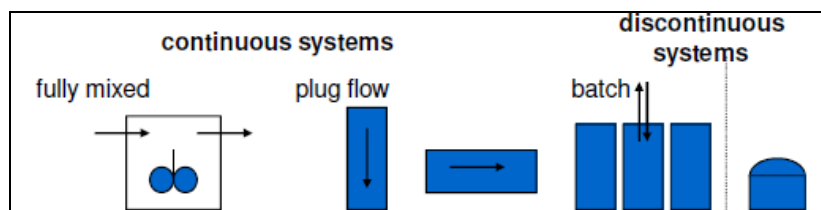


Fig. 3.1 – Tipologie di reattori [14]

Un'ultima distinzione fa riferimento, infine, al numero di reattori impiegati in serie per lo svolgimento del processo anaerobico. Si distingue tra:

- processi *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 avviene in un secondo stadio.

Le condizioni ottimali di crescita per i batteri idrolitici/acidificanti e per quelli metanigeni sono differenti quindi la separazione delle fasi in reattori distinti appare una soluzione ideale per incrementare le rese dei due processi. Lo schema complessivo di processo prevede una prima fase, quella di idrolisi ed acidificazione, che avviene in reattori di dimensioni più ridotte, dal momento che i tempi di ritenzione possono essere bassi (anche alcune ore) seguita poi da una seconda fase, in reattori di dimensioni maggiori, in cui si ha la metanogenesi. Ciò permette di associare il tempo di residenza nel reattore alle diverse cinetiche dei ceppi microbici connessi alle due diverse fasi del processo di digestione.

Tab. 3.1- Classificazione dei processi di digestione anaerobica

Contenuto di sostanza secca	Wet fermentation (Tenore solidi <15%)	
	Dry fermentation (Tenore solidi >15%)	
Regime termico	Psicrofilia (20°C)	
	Mesofilia (35-37°C)	
	Termofilia (55°C)	
	Estrema termofilia (65-70 °C)	
Fasi biologiche	Monostadio (intera catena microbica mantenuta in un unico reattore)	
	Bistadio (fase idrolitica e fermentativa sono separate da quella metanigena)	
Frequenza alimentazione	Processo in continuo	Reattore miscelato
		Reattore a flusso a pistone
	Processo batch	

Sebbene al centro di molti studi ormai da alcuni decenni, la digestione anaerobica mostra ancora un notevole potenziale di sviluppo, non soltanto in termini di scelte tecnologiche, ma anche come ottimizzazione di processo.

Infatti i microrganismi anaerobici presentano basse velocità di crescita e di formazione dei metaboliti, pertanto, occorre mantenere dentro ai digestori condizioni di reazione ottimali per produzione di biogas.

Particolare interesse rivestono: il processo di codigestione di più matrici organiche di diversa natura ed origine, i processi termofili e la separazione dello stadio di idrolisi-acidogenesi dallo stadio di metanogenesi (processi a due stadi).

Il processo di co-digestione consente di compensare le fluttuazioni stagionali, evitando che i digestori siano sovraccaricati o sottoalimentati. È così possibile assicurare al processo una maggiore stabilità e costanza di prestazione. Inoltre, la co-digestione consente di:

- mantenere il rapporto carbonio/azoto del substrato alimentato nei digestori nell'intervallo ottimale (20/1 – 30/1);
- regolare i valori di pH e di contenuto di umidità;
- aumentare il potere tampone;
- diluire i componenti tossici eventualmente presenti in una delle matrici e ottenere un più ampio spettro di specie microbiche che presiedono al processo biologico.

I processi termofili oltre a consentire, rispetto ai processi mesofili, velocità di degradazione più elevate e, di conseguenza, minori tempi di permanenza dentro ai reattori, permettono, inoltre, di migliorare il controllo dei microrganismi patogeni e la disidratabilità del digestato.

I processi a due stadi consentono una ottimizzazione separata nei due digestori, rendendo così possibile massimizzare le velocità di crescita delle due differenti popolazioni batteriche (per es., la metanogenesi richiede condizioni di pH differenti dallo stadio precedente). Inoltre il processo presenta una minore “vulnerabilità” in quanto gli acidogeni resistono assai meglio dei metanigeni alle variazioni di pH e alla presenza di inibitori [4].

Si riporta di seguito una descrizione delle principali tecnologie che hanno trovato applicazione su scala industriale, suddivise, in base al tenore di solidi nel reattore, in Processi Wet e Processi Dry (Tab. 3.2).

Tab. 3.2- Parametri tecnici dei principali processi di digestione anaerobica su scala industriale.

		Tenore di solidi (TS%)	Numero di stadi	Tempo ritenzione [giorni]	Regime termico	Impianti in esercizio in Italia
Wet fermentation (TS<15%)	Linde	8-10%	bistadio		Mesofilia	Camposampiero (PD)
	Ros Roca	7	monostadio	21	Mesofilia	Salerno
	Citec/Waasa	10-15%	monostadio	10-20	Mesofilia/Termofilia	Pinerolo (TO)
	BTA	10-12%	monostadio	12-17	Mesofilia/Termofilia	Villacidro (CA), Castelleone (CR)
Wet fermentation (TS<15%)	Bekon	25-30%	monostadio	30	Mesofilia	Cesena, Rimini, Ravenna, Napoli
	Valorga	25-35%	monostadio	18-25	Mesofilia/Termofilia	Bassano del Grappa (VI)
	Kompogas	23-38%	monostadio	15-20	Termofilia	Faedo (TN), Novi Ligure (AL), Santa Giustina Bellunese (BL)
	Strabag (Linde)	15-45%	Monostadio	25	Mesofilia/Termofilia	-
	DRANCO (OWS)	20-40%	monostadio	20	Termofilia	-

3.1 APPLICAZIONI INDUSTRIALI DEL PROCESSO WET

Il processo wet è stato il primo ad essere utilizzato nel trattamento della frazione organica dei rifiuti urbani dal momento che sfruttava le conoscenze acquisite in decenni di attività nel processo di digestione anaerobica dei fanghi di supero negli impianti di trattamento acque reflue.

Nei processi di tipo wet il rifiuto di partenza viene opportunamente trattato e diluito al fine di raggiungere un tenore in solidi totali inferiore al 15% attraverso il ricorso a diluizione con acqua; si utilizzano reattori completamente miscelati del tipo applicato nella stabilizzazione dei fanghi biologici negli impianti di depurazione. In generale, il processo prevede, dopo la fase di pre-trattamento del rifiuto, finalizzata alla rimozione di plastiche ed inerti e di corpi grossolani che potrebbero danneggiare gli organi meccanici del reattore, uno stadio di miscelazione in cui si ottiene una miscela con caratteristiche omogenee e l'opportuno contenuto in solidi (Fig. 3.2).

La soluzione impiantistica generalmente adottata è quella di un digestore ad alimentazione continua, monostadio, CSTR, del tipo wet.

La diluizione può avvenire tramite aggiunta di acqua di rete o mediante parziale ricircolo della frazione liquida ottenuta dalla sezione di disidratazione del digestato; questa viene in parte ricircolata e in parte allontanata dall'impianto per evitare un aumento progressivo della concentrazione di inquinanti (particelle fini, azoto ammoniacale metalli pesanti) nella corrente liquida ricircolata, con possibile inibizione del processo di digestione.

Nei digestori del tipo wet l'aggiunta di acqua ha una forte incidenza sui costi in quanto la disidratazione del digestato e il trattamento della frazione liquida non ricircolata risultano molto più impegnativi [4].

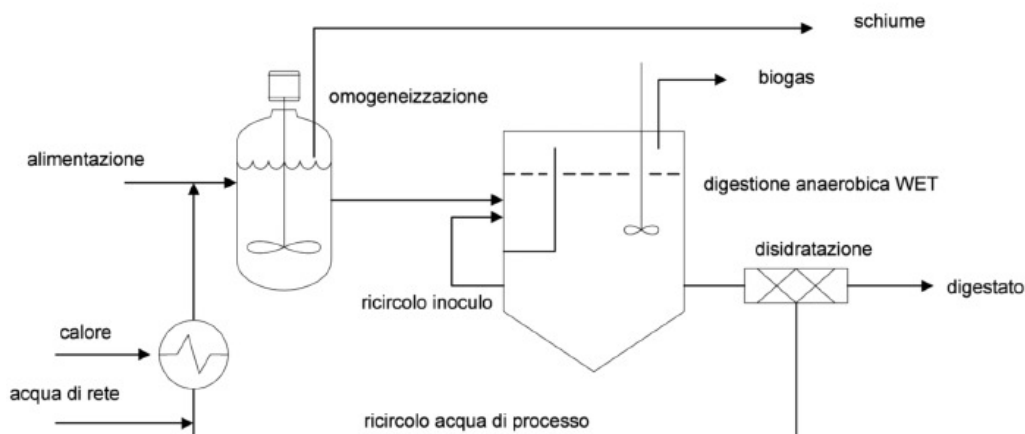


Fig. 3.2 – Schema di trattamento wet con digestore continuo monostadio CSTR [12]

All'interno del reattore, sono possibili effetti di dismiscela che portano alla deposizione di materiali pesanti sul fondo (con possibile abrasione e danneggiamento dei sistemi di miscelazione) e alla formazione di schiuma nella parte alta: per una corretta gestione del digestore, periodicamente si deve provvedere alla rimozione di entrambi.

Un altro tipico problema di questa tipologia d'impianti, indicato come "corto-circuitazione idraulica del reattore", fa riferimento alla possibilità che il flusso di nuovo substrato non si misceli perfettamente con quello già residente nel reattore e sia caratterizzato da tempi di residenza inferiori al necessario, riducendo, di conseguenza, la resa di biogas.

Peraltro la condizione di mescolamento completo, assicurata dai digestori del tipo wet, presenta i vantaggi seguenti:

- impedisce la sedimentazione dei fanghi;
- favorisce il contatto fra microrganismi e substrato evitando la presenza di zone morte;
- omogeneizza la temperatura;
- rende più agevole il rilascio del biogas.

Tra le applicazioni industriali di tipo Wet, si ricordano i processi: LINDE (ora STRABAG Umweltsanierungsanlagen GmbH), Ros Roca, Enbasys, WAASA (sviluppato dalla finlandese CITEC), BTA (della Biotechnische Abfallverwertung GmbH & Co).

Le prestazioni tipiche di questa tipologia d'impianti sono riportate nella tabella che segue.

Tab. 3.3- Prestazioni tipiche dei processi di tipo Wet [2]

Parametro di processo	Intervallo
Solidi nel rifiuto trattato, [%TS]	10, fino al 15
Carico organico, [kg TVS/m ³ giorno]	2-4, fino a 6
Tempo di ritenzione idraulica, [giorni]	10-15, fino a 30
Rese del processo	
Produzione biogas, [m ³ /t rifiuto]	100-150
Produzione specifica di biogas, [m ³ /kg TVS]	0.4-0.5
Velocità di produzione di biogas, [m ³ / m ³ giorno]	5-6
Contenuto di metano, [%CH ₄]	50-70
Riduzione della sostanza volatile, [%]	50-60, fino a 75

Quando il tenore di solidi è dell'ordine del 15 ed il 20% si parla di processi semidry o a semisecco. Questa tipologia di processo si è sviluppata negli anni '80 ed è in grado di operare in regime mesofilo o termofilo.

Le dimensioni del reattore sono inferiori a quelle dei processi wet, con conseguenti minori costi realizzativi. Sono ancora presenti fenomeni di dismiscela anche se meno marcati; per migliorare il miscelamento della parte solida con quella liquida si ricorre a miscelatori meccanici, affiancati da insufflazioni di biogas prelevato dall'uscita del digestore, ma permangono i problemi di abrasione delle parti meccaniche e la necessità di provvedere periodicamente allo svuotamento del fondo del reattore.

Le prestazioni tipiche di questa tipologia d'impianti sono riportate nella tabella successiva

Tab. 3.4 - Prestazioni tipiche dei processi di tipo "Semi-dry" [2]

Parametro di processo	Intervallo
Solidi nel rifiuto trattato, [%TS]	15-20, fino a 25
Carico organico, [kg TVS/ m ³ giorno]	8-12, fino a 18 in termofilia
Tempo di ritenzione idraulica, [giorni]	10-15
Rese di processo	
Produzione biogas, [m ³ /t rifiuto]	100-150
Produzione specifica di biogas, [m ³ /kg TVS]	0.3-0.5
Velocità di produzione biogas, [m ³ / m ³ giorno]	3-6
Contenuto di metano, [%CH ₄]	55-60
Riduzione della sostanza volatile, [%]	40-50, fino al 60

3.1.1 Linde

La Linde KCA è una società di ingegneria tedesca che iniziò a trattare rifiuti solidi urbani mediante digestione anaerobica nel 1980 e opera attualmente con oltre 70 impianti di trattamento meccanico biologico sparsi in tutto il mondo.

Linde propone due tipi di processo: digestione wet e digestione dry. I processi wet possono essere ad uno o due stadi e operare in termofilia o mesofilia, mentre i processi dry possono essere solo a singolo stadio.

Il processo di *digestione anaerobica ad umido* è progettato per trattare principalmente i rifiuti organici e i rifiuti pretrattati meccanicamente, ovvero la frazione separata per vagliatura dei rifiuti indifferenziati (vi sono alcuni impianti di riferimento in Spagna). Nello stadio di pulping viene rimossa la maggior parte degli inerti pesanti e della sabbia; segue il passaggio attraverso un trommel che rimuove la frazione grossolana dal flusso; la frazione fine è sospesa in acqua, in modo da ottenere una percentuale di solidi totali del 10%, prima di essere idrolizzata e quindi digerita in due reattori separati (digestione anaerobica in due stadi in condizioni mesofile). Il digestore viene miscelato attraverso il ricircolo del biogas in un tubo posto al centro del digestore. Il residuo solido presenta generalmente caratteristiche tali da consentirne l'utilizzo come materiale di partenza per il processo di compostaggio.

L'unico impianto italiano basato su tecnologia Linde a umido è quello di Camposampiero (PD), avviato nel 2005, che tratta circa 50.000 t/anno tra FORSU, fanghi di depurazione e, in minor misura, reflui zootecnici.

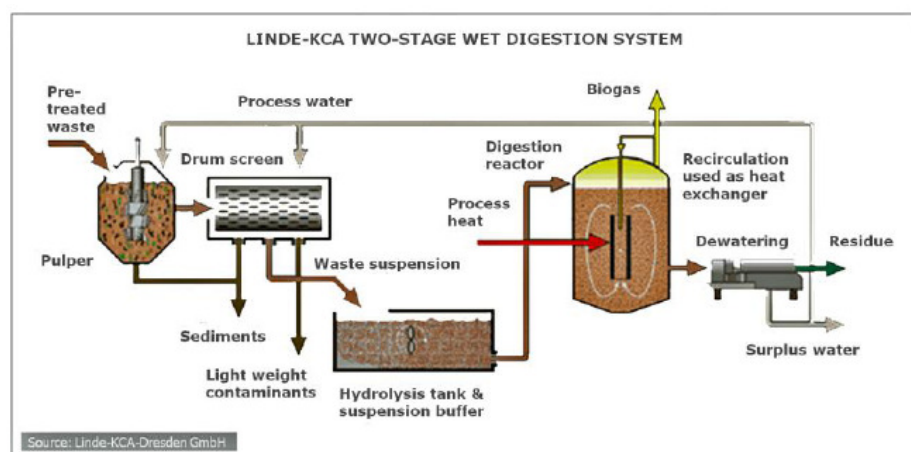


Fig. 3.3 –Schema di processo Linde a umido (fonte: Linde-KCA-Dresden GmbH, [18]).

3.1.2 Ros Roca

La compagnia spagnola Ros Roca Internacional fu fondata nel 1998 per sviluppare e commercializzare impianti per il trattamento meccanico biologico ma la Ros Roca Group, cui la società fa capo, esiste da più di 50 anni. I processi biologici forniti dalla Ros Roca sono:

- la digestione anaerobica ad umido;
- la tecnologia del tunnel di compostaggio.

Ros-Roca propone un processo in un singolo step, in condizioni di mesofilia su un rifiuto pretrattato, ossia sottoposto a vagliatura (taglio pari a 80 mm), a deferrizzazione e a miscelazione con acqua in un turbodissolvente chiamato Pulper al fine di portare la sostanza organica ad un tenore di secco di circa il 7%.

Il pulper è un contenitore cilindrico in cui è installato un agitatore che sminuzza la sostanza organica. Il fango è inviato al digestore dove permane mediamente 2 – 3 settimane; nel digestore viene rimescolato mediante del biogas compresso mantenuto e ad una temperatura di circa 37 °C attraverso uno scambiatore di calore esterno. Il biogas prodotto è utilizzato nei motori a gas per generare energia elettrica.

Il digestato è disidratato ed è quindi inviato al tunnel di compostaggio per la biostabilizzazione. L'acqua recuperata dalle centrifughe è utilizzata come acqua di processo nel turbodissolvente.

3.1.3 Citec – processo WAASA

La tecnologia WAASA (dal nome del primo impianto, realizzato in Finlandia nel 1989), sviluppata da CITEC Environment International Ltd. (Finlandia), prevede un processo a umido caratterizzato da un tempo di ritenzione che varia dai 10 giorni (processo in regime termofilo) fino a 20 giorni (processo in regime mesofilo).

Lo schema di processo prevede che la frazione organica del rifiuto venga dapprima privata delle frazioni metalliche, quindi tritata, omogeneizzata e diluita in un pulper. Durante questa fase avviene sia la diluizione del substrato (utilizzando acqua di processo di ricircolo e anche aggiuntiva alla necessità) sino a concentrazioni di solidi totali intorno al 10-15% sia la pastorizzazione del substrato per un'ora a 70°C mediante iniezione di vapore; la sospensione fangosa ottenuta viene quindi digerita in un reattore verticale costituito da un'unità singola suddivisa internamente in due camere (a simulare in tal modo un processo a due stadi), mantenuto agitato sia attraverso sistemi meccanici che attraverso iniezione di gas.

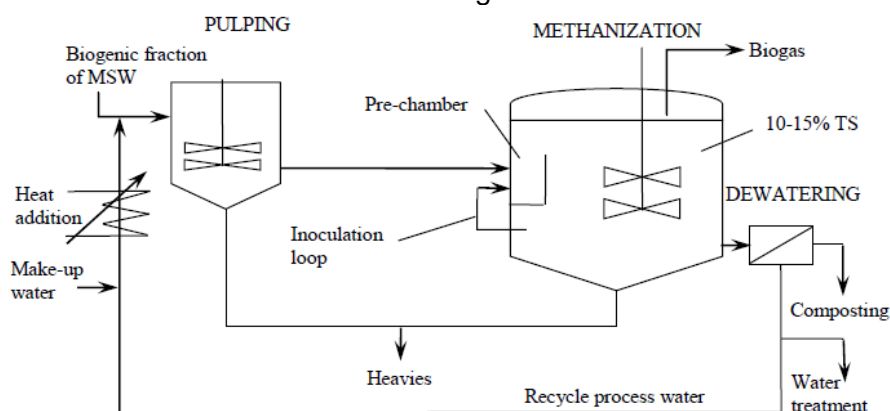


Fig. 3.4 – Schema di processo Waasa monostadio [19]

L'impianto di Pinerolo (TO) è basato su tecnologia WAASA modificato poi nel corso degli anni.

3.1.4 BTA

Il processo BTA può essere sia mesofilo che termofilo, monostadio (per piccoli impianti) o multistadio (per impianti con capacità di trattamento maggiori).

Il processo è costituito essenzialmente da due fasi:

- il pre-trattamento a umido: ha lo scopo di separare la sostanza organica digeribile da quella non degradabile biologicamente. I rifiuti sono alimentati nel *BTA® Waste Pulper* dove vengono miscelati con acqua per ottenere una sospensione organica omogenea con un tenore di solidi intorno al 10%. I materiali inquinanti (plastica, tessili, inerti e metalli) sono eliminati tramite uno scarico posto sul fondo del pulper e tramite un rastrello che rimuove la frazione leggera. Per liberare la sospensione così ottenuta anche dagli inerti fini la si invia al *BTA Grit Removal System*, una particolare stazione di ciclonatura.
- la digestione anaerobica: la BTA fornisce processi con tecnologia di digestione anaerobica a umido a singolo o doppio stadio.

I principali prodotti del processo BTA sono il biogas, che è generalmente utilizzato nei motori a gas per la produzione di energia elettrica, ed un digestato che viene successivamente biostabilizzato mediante compostaggio.

La compagnia italiana che detiene la licenza BTA è la Biotec sistemi S.r.l., che ha realizzato in Italia 3 impianti:

- impianto di Cà del Bue, Verona (1998), non operativo da diversi anni;
- Villacidro (CA), della potenzialità di circa 50.000t/a tra FORSU e fanghi;
- Castelleone (CR), con capacità autorizzata di 100.000 t/a (FORSU, fanghi e scarti agroindustriali).

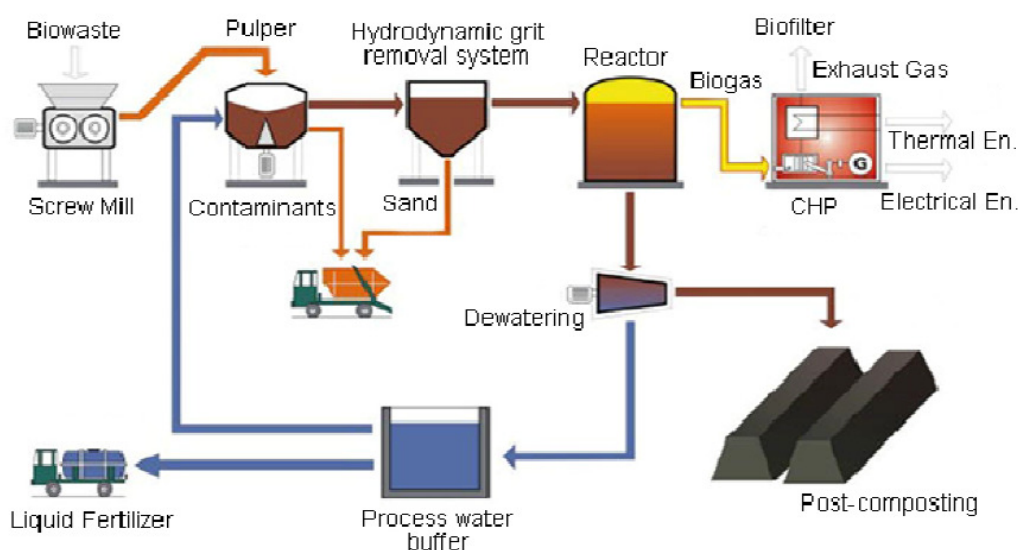


Fig. 3.5 – Schema del processo BTA

3.2 APPLICAZIONI INDUSTRIALI DEL PROCESSO DRY

Mentre in passato gli impianti di digestione anaerobica erano esclusivamente di tipo wet, nell'ultimo decennio si è osservata la crescita del sistema dry. In Europa le nuove realizzazioni sono oggi equamente ripartite tra queste due tecnologie, con una crescita del processo dry.

Nei processi dry il tenore in solidi del rifiuto alimentato al digestore è generalmente nell'intervallo 15-40% e pertanto solamente particolari rifiuti con elevato tenore di solidi (>50%) necessitano di essere diluiti con acqua per poter essere convenientemente trattati.

Il rifiuto organico proveniente da raccolta differenziata presenta caratteristiche che sono generalmente ottimali per l'applicazione diretta del processo dry, ricorrendo solamente a semplici pre-trattamenti di pulizia del rifiuto con eliminazione del materiale ferroso e di quello inerte grossolano seguito da triturazione e miscelazione.

Il tenore di solidi più elevato richiede particolari metodi di pompaggio e miscelazione; ciò incide sui costi di realizzazione di questo tipo di impianti. Questi sistemi sono in grado di operare con flussi di materiale molto concentrati e resistono ai possibili problemi causati da sassi, vetro o legno che in genere non causano inceppamenti o danni. L'unico trattamento richiesto è una preliminare vagliatura (al fine di rimuovere il materiale con dimensioni superiori ai 40 mm), pertanto non si osserva perdita di materiale organico biodegradabile come può invece avvenire nel corso dei pre-trattamenti dei processi wet.

A causa dell'elevata densità e viscosità dei flussi trattati i reattori per il trattamento dry non sono del tipo completamente miscelato (CSTR) ma con flusso parzialmente o totalmente a pistone (plug-flow).

Rispetto ai digestori wet quelli del tipo dry presentano i seguenti svantaggi:

- devono dotarsi di sistemi più resistenti e costosi (pompe a vite, nastri trasportatori) per la miscelazione e movimentazione della matrice organica;
- la condizione di flusso parzialmente o totalmente a pistone rende difficile la miscelazione fra la matrice organica fresca e i microrganismi fermentanti; tale problema può essere attenuato ricircolando in testa al reattore una parte del digestato, ricco in biomassa attiva.

I digestori del tipo dry presentano i seguenti vantaggi:

- subiscono pretrattamenti molto più semplici;
- richiedono una disidratazione meno impegnativa;
- possono operare a carichi organici maggiori (con conseguenti minori volumetrie di reazione e più bassi consumi energetici).

Le principali tipologie d'impianti industriali di tipo dry sono:

- DRANCO, processo termofilo brevettato dalla belga OWS;
- KOMPOGAS, processo termofilo della società Svizzera omonima, caratterizzato da un digestore orizzontale con flusso a pistone;
- VALORGA, processo mesofilo brevettato dalla società tedesco-francese Steinmuller Valorga, con sistema di miscelazione del substrato tramite iniezione di biogas dalla base del reattore. I primi due sistemi operano in termofilia ed il terzo in mesofilia.

Negli ultimi anni alcune aziende tedesche (in particolare Bekon e Bioferm, del gruppo tedesco Viessmann) propongono processi anaerobici a secco di tipo batch, a basso dispendio di energia, caratterizzati dall'alimentazione contemporanea dei digestori (reattori modulari dotati di portone metallico a tenuta) con substrato e inoculo (digestato e percolato riciclato). Il gas prodotto è aspirato tramite ventilatori e inviato a recupero energetico.

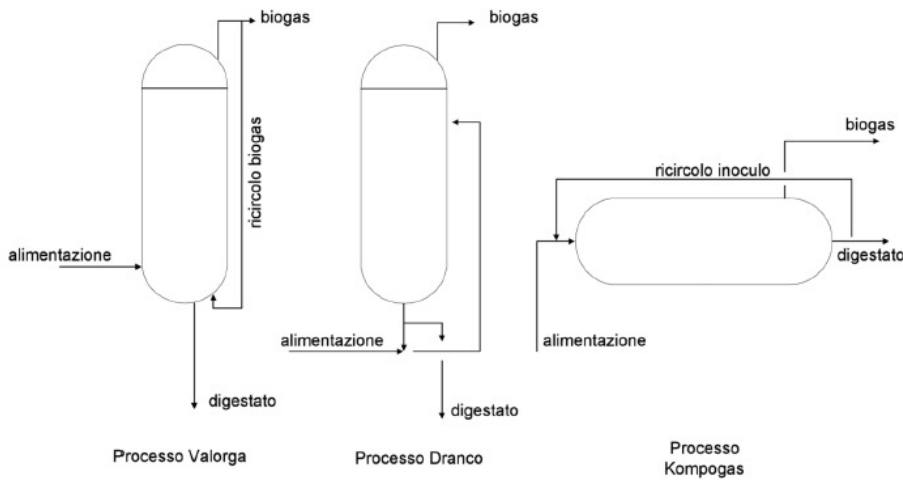


Fig. 3.6 – Schema di principio delle alternative di digestione anaerobica dry [12]

Tab. 3.5 - Prestazioni tipiche dei processi di tipo "Dry" [2]

Parametro di processo	Intervallo
Solidi nel rifiuto trattato, [%TS]	25-40
Carico organico, [kg TVS/ m ³ giorno]	8-10
Tempo di ritenzione idraulica, [giorni]	25-30
Rese di processo	
Produzione biogas, [m ³ /t rifiuto]	90-150
Produzione specifica di biogas, [m ³ /kg TVS]	0.2-0.3
Velocità di produzione biogas, [m ³ /m ³ giorno]	2-3
Contenuto di metano, [%CH ₄]	50-60
Riduzione della sostanza volatile, [%]	50-70

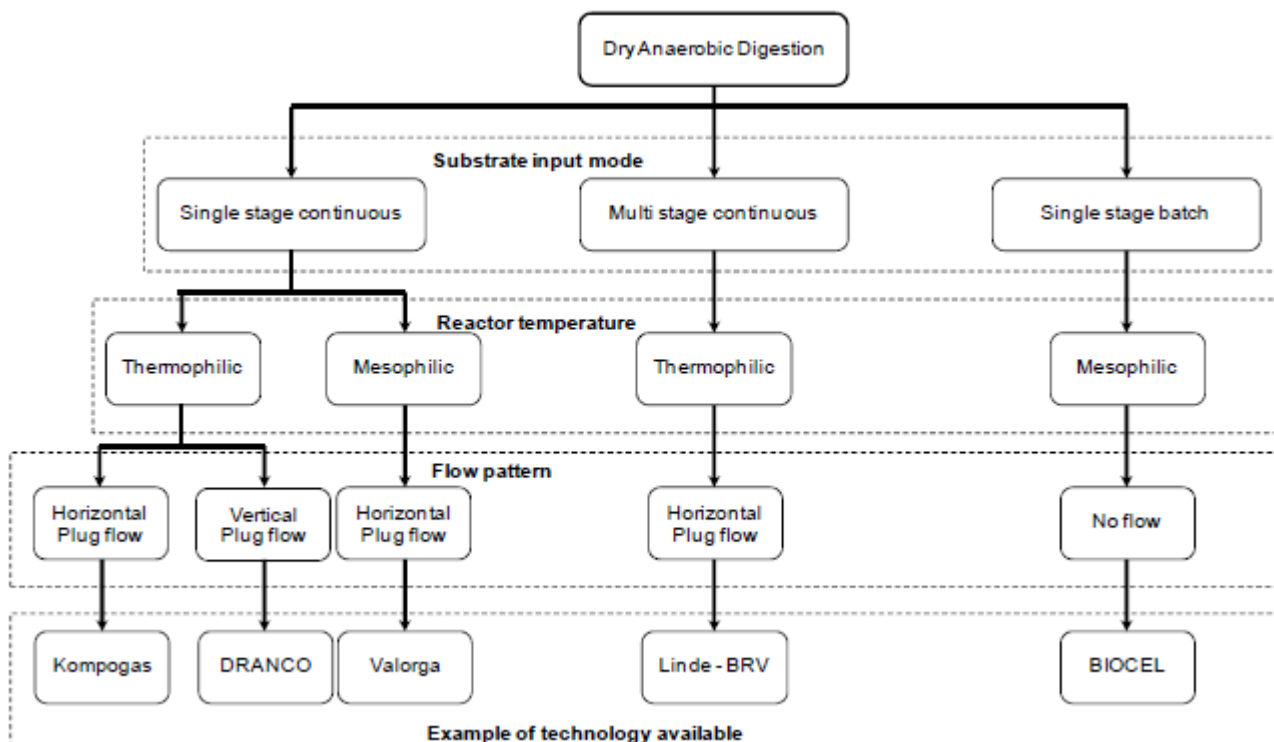


Fig. 3.7 – Tecnologie di digestione anaerobica dry suddivise in base ai criteri operativi

3.2.1 Dranco

Organic Waste System (OWS), nata nel 1988, è una delle compagnie più conosciute in Europa nel campo della fornitura di sistemi di digestione anaerobica. Essa commercializza il processo Dranco, un processo di digestione anaerobica monostadio in regime di termofilia (circa 50-58°C) sviluppato a partire dal 1983, generalmente utilizzato per il trattamento anaerobico di numerosi substrati biodegradabili, separati alla fonte, come i rifiuti da ristorazione, i rifiuti organici industriali, i fanghi di depurazione ispessiti e pressati.

OWS conta numerosi impianti attivi, prevalentemente in Europa. L'impianto di Maccarese (Roma) è basato su tecnologia OWS ma non è stato possibile reperire informazioni su tale impianto.

Dopo la selezione del rifiuto in ingresso, da cui si ottengono CDR, materiali ferrosi e non, il substrato viene inviato all'unità di digestione anaerobica in cui avviene la miscelazione con parte del materiale già digerito fino ad un contenuto di sostanza secca del 20-40%.

Il processo Dranco ha una durata di 15-30 giorni, il substrato viene introdotto giornalmente all'estremità superiore del reattore e il materiale digerito viene contemporaneamente rimosso dalla parte inferiore ed in parte ricircolato come inoculo.

Non è presente alcun sistema meccanico di miscelazione all'interno del reattore ma l'unica miscelazione è quella che si ha con il movimento a pistone verso il basso del materiale in ingresso. Lo step finale dell'intero processo è costituito da una separazione ad umido durante la quale vengono recuperati sabbia e altri inerti. Il digestato solido viene disidratato fino ad un contenuto di secco del 50% e sottoposto a trattamento aerobico per due settimane al fine di stabilizzarlo e sanificarlo.

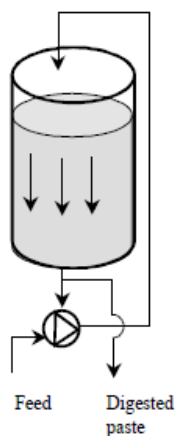


Fig. 3.8 – Schema tipico dei reattori operanti secondo tecnologia Dranco (a sinistra); Digestore di Wijster, Netherlands, il più grande digestore Dranco al mondo (a destra).

Tab. 3.6- Elenco degli impianti con tecnologia OWS che trattano FORSU (<http://www.ows.be/biogas-plants/references>)

Località	Potenzialità [t/a]	Capacità digestione [t/a]	Inizio attività
Brecht I (Belgio)	20.000	n.d.	1992
Bergheim-Siggerwiesen (Austria)	20.000	n.d.	1993
Aarberg (Svizzera)	11.000	n.d.	1998
Kaiserslautern (Germania)	25.000	20.000	1999
Villeneuve (Svizzera)	10.000	n.d.	1999
Brecht II (Belgio)	50.000	n.d.	2000
Roma (Italia)	40.000	n.d.	2003
Leonberg (Germania)	30.000	n.d.	2004
Pusan (Corea)	70.000	n.d.	2005
Terrassa (Spagna)	25.000	n.d.	2006
Vitoria (Spagna)	120.000	20.000	2006
Hotaka (Giappone)	3.000	n.d.	2007-2008
Tenneville (Belgio)	39.000	n.d.	2008
Kempeten (Germania)	18.000	n.d.	2008
Seoul (Corea del Sud)	30.000	n.d.	2009
Bourg-en-Bress* (Francia)	105.000	n.d.	2010
Leszno, Polonia	50.000	26.000	2010
Hengelo (Paesi Bassi)	50.000	n.d.	2011
Wijster (Paesi Bassi)	57.000	57.000	2012
Mirandela, Portogallo	55.000	10.000	2013

* RSU + rifiuti organici

3.2.2 Valorga

Valorga International SA è una compagnia francese che commercializza un sistema a singolo stadio di digestione anaerobica a secco in regime di termofilia o mesofilia. Il primo impianto di digestione anaerobica su scala pilota è stato realizzato a Montpellier in Francia nel 1982, il primo impianto su scala industriale nel 1988 ad Amiens, in Francia, della potenzialità di 50.000 t/anno.

Il processo richiede il pretrattamento del rifiuto (triturazione, vagliatura e miscelazione). Il substrato ottenuto, al 25-32% di solido, è introdotto nel reattore dal fondo; il tempo di ritenzione all'interno del reattore è di 18-25 giorni.

Il reattore è di forma cilindrica, verticale, separato in due sezioni; la parete di separazione si estende per 2/3 del diametro e verticalmente per tutta l'altezza del reattore, consentendo al materiale di muoversi da una sezione all'altra.

La miscelazione avviene grazie all'iniezione di biogas dal fondo del reattore attraverso una serie di iniettori.

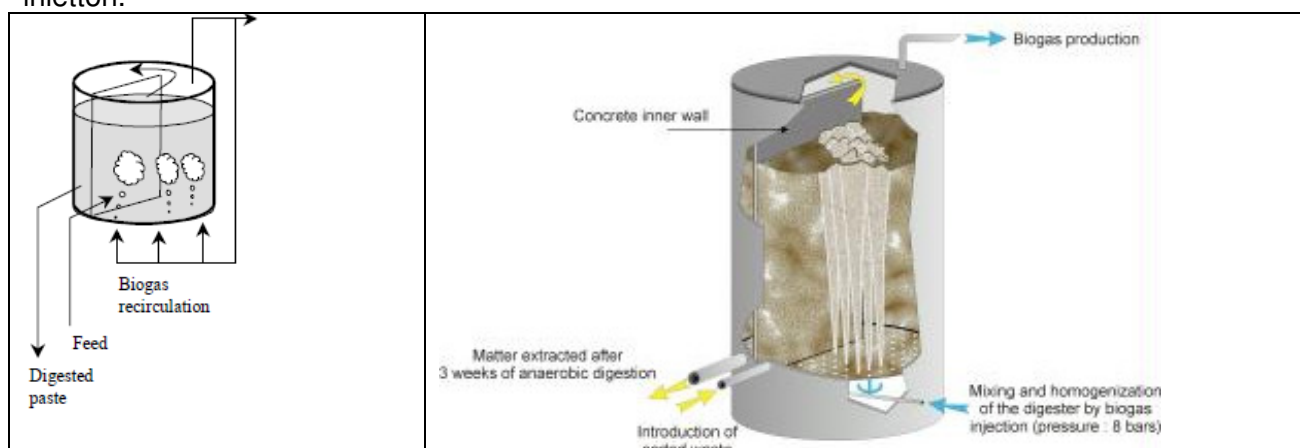


Fig. 3.9 –Schema tipico del reattore Valorga.

Tab. 3.7–Elenco degli impianti per FORSU basati su tecnologia Valorga

Località	Potenzialità [t/a]	Inizio attività
Tillburg (Olanda)	52.000	1994
Engelskirchen (Germania)	35.000	1998
Freiburg (Germania)	36.000	1999
Ginevra (Svizzera)	10.000	2000
Varenes-Jarcy (Francia)*	100.000	2002
Bassano del Grappa (Italia)**	52.400	2003
Ecoparc 2 (Barcellona, Spagna)*	240.000	2004
Beijing (Cina)	100.000	2005
Shangai (Cina)*	240.000	2005
Hanover (Germania)	100.000	2006
Calais (Francia)	27.000	2007
Fos sur Mer (Francia)*	410.000	2008
Tondela (Portogallo)*	30.000	2008
Abrunheira (Portogallo)*	160.000	2010
Bayonne (Francia)*	83.696	2013
*FORSU+RSU		
** Nato per trattare RSU è stato riconvertito in impianto per sola FORSU		

3.2.3 Bekon

BEKON Energy Technologies GmbH & Co. KG ha sviluppato una particolare tecnologia di digestione anaerobica a secco dei rifiuti organici attraverso un sistema di digestori modulari (Dry batch fermentation). Il processo, mesofilo (37°C), permette di trattare biomasse con un contenuto di sostanza secca fino al 50%, senza alcun tipo di pretrattamento del materiale in ingresso.

La cella viene riempita di materiale da trattare e inoculo (digestato), viene chiusa e riaperta per essere svuotata dopo 30 giorni.

Le diverse fasi del processo biodegradativo anaerobico (idrolisi, acetogenesi e metanizzazione) avvengono tutte insieme all'interno della cella in cemento armato (procedimento monofase), nella quale la biomassa staziona staticamente senza che vi siano movimentazioni, rimescolamenti, aggiunta o eliminazione di materiale (procedimento batch). L'omogenizzazione del materiale in fermentazione ed il mantenimento delle condizioni ottimali per la riproduzione e la crescita dei batteri responsabili del processo viene garantita mediante il ricircolo del percolato prodotto dal rifiuto che, attraverso appositi sistemi, viene prelevato dal fondo del fermentatore e irrorato sulla biomassa.

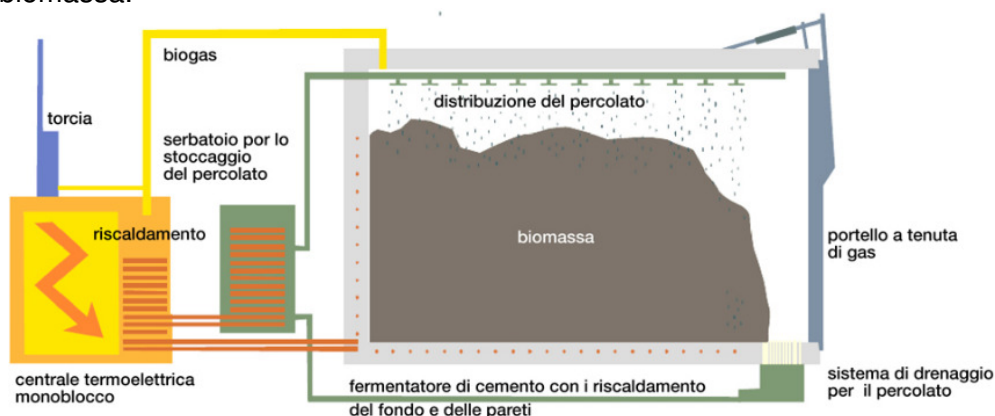


Fig. 3.10 – Rappresentazione schematica del processo di digestione anaerobica Bekon

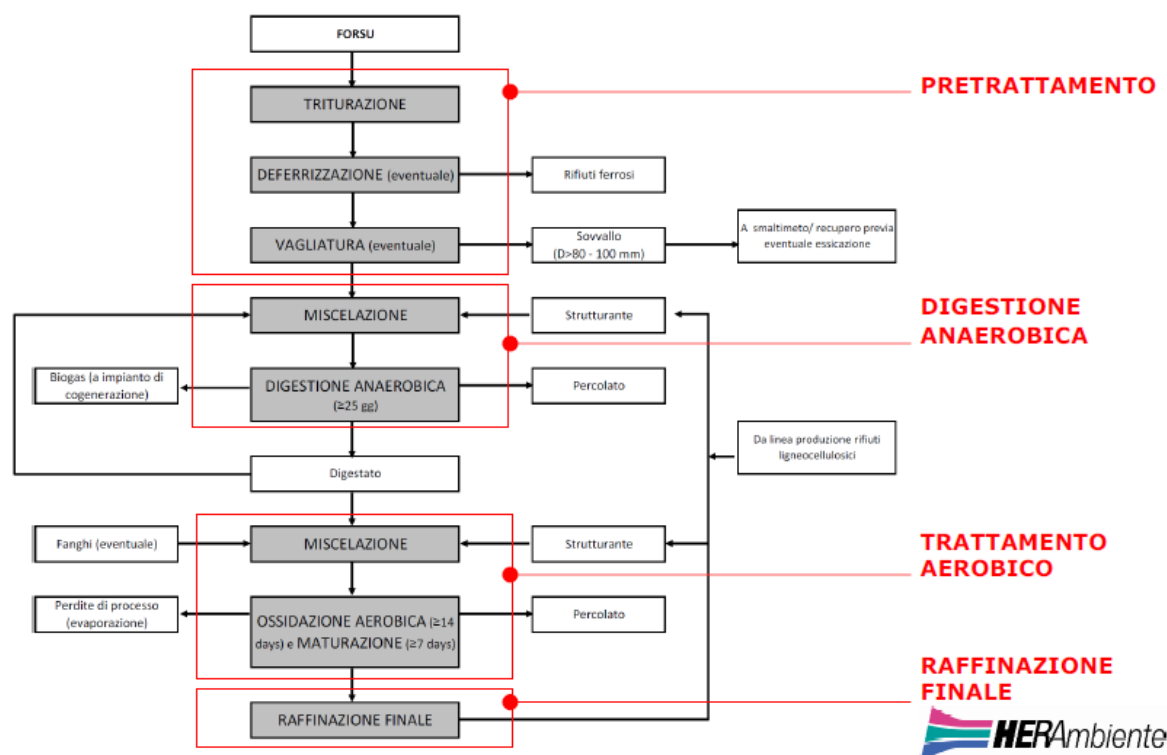


Fig. 3.11 – Schema a blocchi del processo produttivo BEKON

Tab. 3.8–Elenco degli impianti per FORSU basati su tecnologia BEKON

Località	Potenzialità [t/anno]	Tipologia rifiuto	Inizio attività
Steinfurt	45.000	biowaste	Commissioning 11/13
Iffezheim	18.000	biowaste	Agosto 2013
Pohlsche Heide	40.000	biowaste	Novembre 2009
Bassum	18.000	biowaste	Novembre 2009
Schmölln	16.000	biowaste	Novembre 2009
Ostrhauderfehn	12.000	biowaste	Dicembre 2008
Vechta	10.000	biowaste	Dicembre 2008
Rendsburg	30.000	biowaste	Novembre 2008
Erfurt	20.000	biowaste	Novembre 2008
Munich	25.000	Green, biowaste	Novembre 2007
Saalfeld	20.000	biowaste	Novembre 2007
Voltana, Italia	35.000	biowaste	Dicembre 2012
Rimini, Italia	35.000	biowaste	Dicembre 2012
Cesena, Italia	35.000	biowaste	Dicembre 2009
Napoli, Italia	35.000	biowaste	Agosto 2011
Thun (CH)	20.000	biowaste	Dicembre 2010
Baar (CH)	18.000	biowaste	Ottobre 2009

Il primo impianto realizzato in Italia (2009) basato su questa tecnologia è quello di Cesena gestito da Romagna Compost (società del Gruppo Hera), della potenzialità di 55.000 tonnellate/anno, realizzato nell'ambito del revamping dell'impianto di compostaggio esistente.

Altri due impianti di compostaggio gestiti da Hera (quello Rimini e quello di Ravenna) sono stati integrati recentemente con la sezione di dry fermentation Bekon (dicembre 2012).

Il Progetto Biodigestori prevede il revamping anche degli impianti di Modena, Sant'Agata Bolognese e di Ostellato (FE).

L'intero progetto comporterà per il Gruppo Hera un investimento complessivo di oltre 40 milioni di euro e doterà il territorio di una produzione potenziale di energia elettrica rinnovabile pari a oltre 32 milioni di KWh annui.



Fig. 3.12 – Impianti di digestione anaerobica di Hera (tecnologia Bekon).

3.2.4 Kompogas

Il processo Kompogas, della Kompogas GmbH (Svizzera), sviluppato in Svizzera alla fine degli anni 80 (il primo impianto fu avviato a Rümlang nel 1991) è uno dei più diffusi in Europa per il trattamento della FORSU; si contano circa 40 impianti concentrati principalmente in Svizzera e Germania, quasi tutti di piccole dimensioni; gli impianti più grandi hanno potenzialità intorno alle 70.000 t/a e trattano prevalentemente frazione organica.

Nel processo Kompogas il rifiuto organico viene preliminarmente ripulito da eventuali corpi inerti e poi sminuzzato prima dell'invio al digestore anaerobico, dove arriva con un tenore in solidi nell'intervallo 23-38%. I digestori Kompogas operano in regime termofilo (55 °C) e presentano al loro interno un agitatore orizzontale dotato di pale, in grado di mantenere miscelato il materiale evitando la decantazione delle frazioni più pesanti; il tempo di permanenza nel reattore è di 15-20 giorni.

L'effluente del digestore è inviato ad una pressa che separa la parte solida (fresh compost), da inviare a compostaggio, dalla parte liquida, che è trattata con un processo a due fasi meccanico-biologica che la rende direttamente utilizzabile in agricoltura come fertilizzante (in accordo con le normative vigenti sul territorio svizzero).

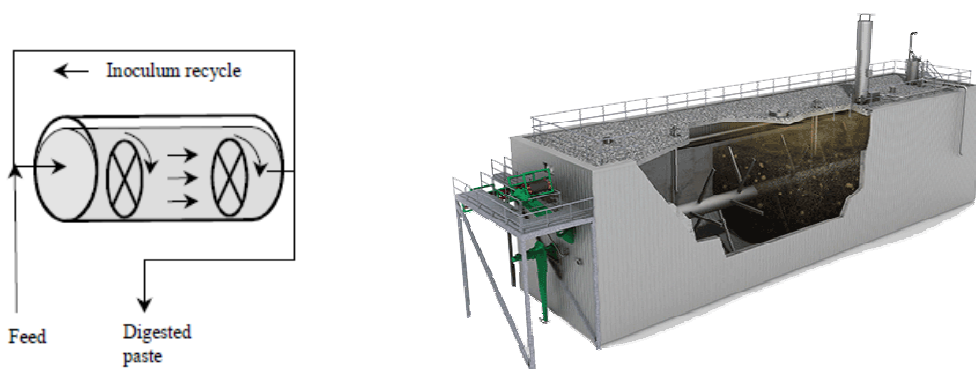


Fig. 3.13 - Schema tipico dei reattori operanti secondo tecnologia Kompogas

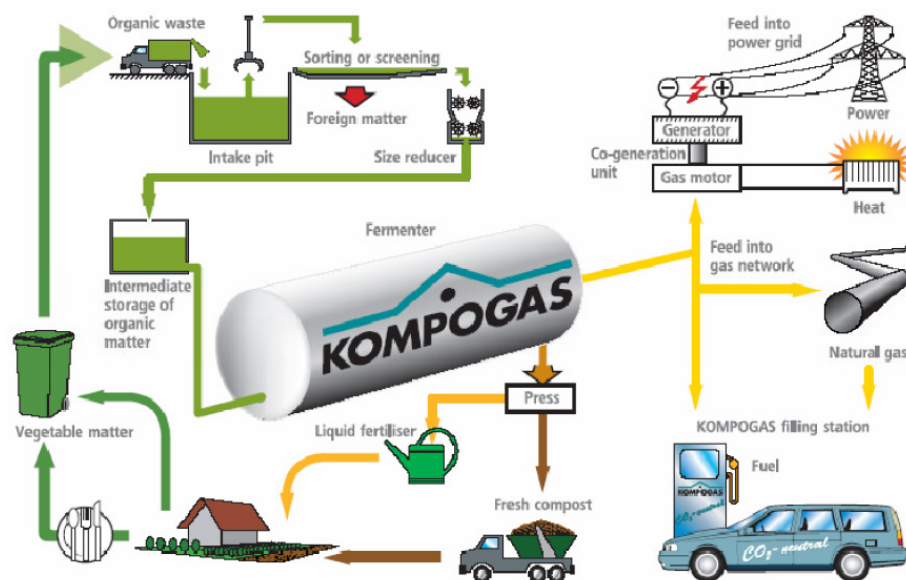


Fig. 3.14 – Schema di funzionamento di un impianto Kompogas.

La soluzione impiantistica adottata è quella di più reattori operanti in parallelo ciascuno con una capacità di trattamento nell'intervallo 15.000-25.000 tonnellate/anno.

Gli impianti in Italia con tecnologia Kompogas sono:

- Faedo (Trento) della potenzialità di 40.000 t/anno
- Novi Ligure (Alessandria) della potenzialità di 18.000 t/anno;
- Santa Giustina Bellunese (Belluno) della potenzialità di 22.000 t/anno.



Faedo – Trento
anno di avvio: 2012
Capacità: 40.000 t/anno
N° digestori: 2



Novi Ligure – Alessandria
anno di avvio: 2013
Capacità: 18.000 t/anno
N° digestori: 1



Santa Giustina Bellunese - Belluno
anno di avvio: 2011
Capacità: 22.000 t/anno
N° digestori: 1

3.2.5 Strabag (Linde)

La tecnologia proposta da Strabag Umwelanlagen GmbH, si basa su un processo di fermentazione a secco (15 - 50% TS) continuo in condizioni di temperatura termofila (55°C).

La tecnologia è stata sviluppata originariamente da Linde KCA Dresden GmbH e introdotta sul mercato nel 1994 ma nel 2007 Linde KCA Umwelanlagen GmbH è stata acquisita da Strabag Umwelanlagen GmbH.

Il digestore (LARAN) è un reattore orizzontale tipo plug-flow in cui il substrato, dopo essere stato preconditionato mediante dosaggi di acqua proveniente dall'unità di disidratazione del digestato (durata circa 2 giorni), viene introdotto ad un'estremità e viene estratto da quella opposta, mentre il biogas viene estratto dalla sommità. Il reattore opera in modalità termofila (circa 55°C) con tempi di permanenza dei solidi di circa 25 giorni. Il digestato disidratato meccanicamente è inviato a maturazione. Una parte del biogas prodotto è in genere bruciato ed il calore generato è utilizzato per riscaldare il contenuto del digestore.

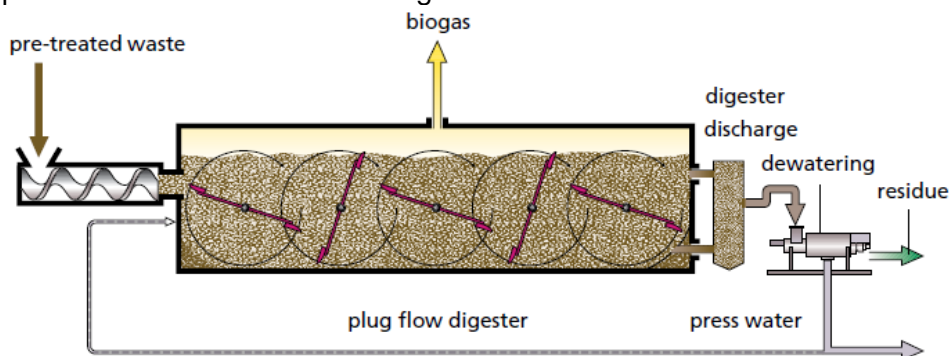


Fig. 3.15 - Digestore LARAN del processo Strabag.

4 LA DIGESTIONE ANAEROBICA DELLA FORSU IN EUROPA

L'esperienza positiva degli ultimi anni porta a considerare la digestione anaerobica la migliore opzione di trattamento per i rifiuti organici dal momento che permette di ottenere energia rinnovabile tramite la produzione di biogas, ma anche di controllare le emissioni maleodoranti e di stabilizzare le biomasse prima del loro utilizzo agronomico.

Attualmente Germania e Spagna sono i Paesi europei nei quali la digestione anaerobica ha avuto il maggior impulso; in Germania questo è il risultato di una forte politica di incentivazione da parte del Governo tedesco e di una buona gestione integrata rifiuto-acqua; per quanto riguarda la Spagna, il forte sviluppo della digestione anaerobica è imputabile ai fondi strutturali dell'Unione Europea che hanno consentito l'adozione di massicci programmi di allestimento di impiantistica dedicata.

Uno studio recente (De Baere, 2013) ha censito, in Europa, 244 impianti (tra realizzati e in fase di realizzazione) che trattano frazione organica da rifiuto solido urbano, da sola o in codigestione con altre matrici, per una capacità di trattamento annuo di circa 8 milioni di tonnellate riferite alla sola frazione organica.

I Paesi che presentano la maggiore capacità installata sono Germania (con 2 milioni di tonnellate annue di capacità) e Spagna (1.6 milioni di tonnellate). I Paesi Bassi (25.400 tonnellate di capacità per milione di abitanti) hanno avviato, negli ultimi anni, un'iniziativa strategica allo scopo di favorire la diffusione della digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti urbani. Il Paese presenta una rete di distribuzione del gas ben sviluppata ma poiché i giacimenti del Mare del Nord si stanno esaurendo, l'intento del Governo è quello di produrre grandi quantitativi di biometano da distribuire in tutto il Paese con l'obiettivo di rimpiazzare il 15-20% del gas naturale entro il 2030.

Anche la Svizzera presenta un'importante capacità di trattamento (49.000 tonnellate per milione di abitanti) ma la differenza sta nelle dimensioni degli impianti (Fig. 4.2).

A livello europeo la dimensione media di un impianto di digestione anaerobica è di 31.700 t/anno; gli impianti dei Paesi Bassi hanno una capacità media di 54.000 t/anno, quelli svizzeri di 14.000 t/anno (Fig. 4.1). Ciò deriva da una maggiore densità abitativa e dall'obiettivo di ridurre i costi nei Paesi Bassi, dalle difficoltà di trasportare i rifiuti in Svizzera.

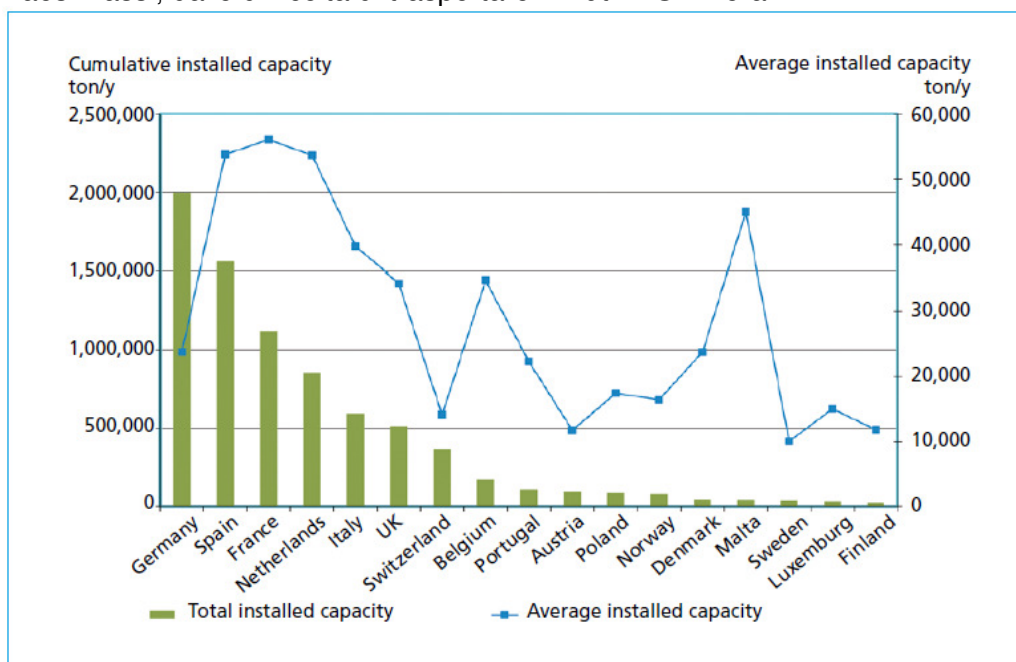


Fig. 4.1- Capacità installata per nazione [10]

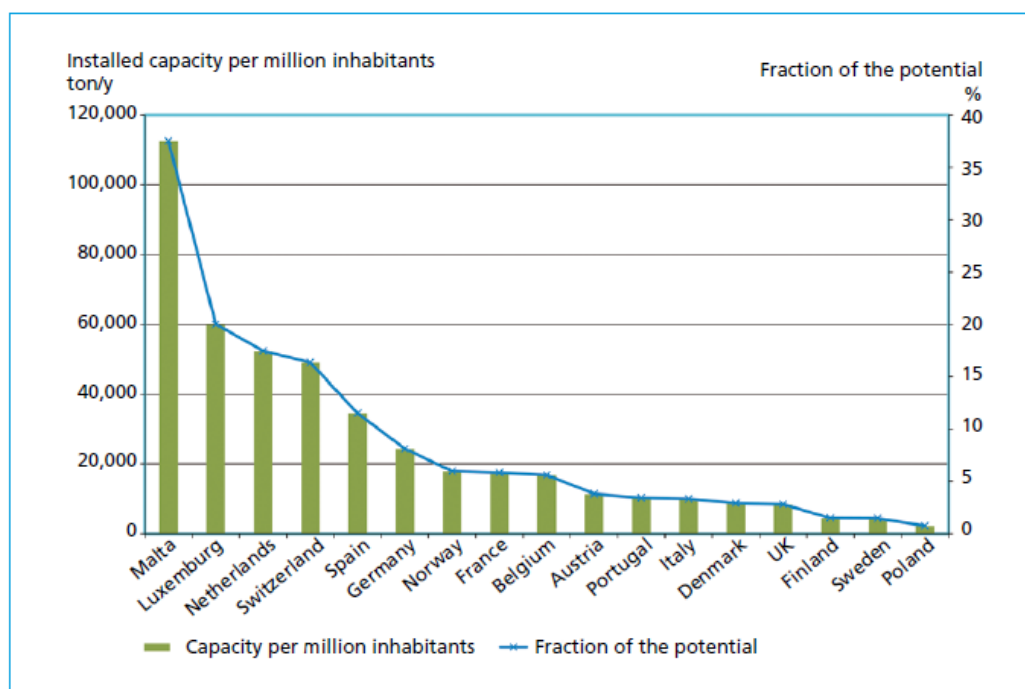


Fig. 4.2- Capacità installata per milione di abitanti e per nazione [10]

Parametri geografici e politiche statali hanno un impatto significativo sulla tipologia e sulle dimensioni degli impianti di digestione anaerobica. La Francia non promuove la separazione alla fonte del rifiuto organico e preferisce concentrare grossi impianti nei centri abitati più grandi, a differenza della Svezia orientata, invece, verso lo sviluppo di piccoli impianti.

Per garantire la sostenibilità economica dell'investimento tuttavia, gli impianti dovrebbero avere una capacità minima di digestione anaerobica di 30.000 t/anno.

Al fine di definire lo stato dell'arte a livello europeo della digestione anaerobica applicata alla frazione umida dei RSU, si assume come riferimento l'indagine effettuata da De Baere nel 2013, che si basa sulle seguenti assunzioni:

- capacità minima di 3.000 t/anno di rifiuto in ingresso, costituito per almeno il 10% da organico di origine domestica;
- capacità di trattamento autorizzata, se non diversamente specificato, pari a quella in ingresso per impianti che trattano solo rifiuto organico, alla capacità del digestore per impianti che trattano rifiuti misti e rifiuti urbani residui;
- sono stati considerati anche impianti autorizzati e in fase di realizzazione.

La tabella che segue riporta la diffusione degli impianti in base alle principali caratteristiche tecniche:

- temperatura: condizioni mesofile (35-40 °C) a fronte di condizioni termofile (50-55 °C);
- tenore di secco: fermentazione "a secco" (dry), ossia con tenore di solidi superiore al 15% o "a umido" (Wet), con tenore di solidi inferiore al 15%;
- substrato alimentato: unica tipologia di substrato alimentato (rifiuto) o miscela di substrati diversi (codigestione);
- complessità impiantistica: sistemi bistadio (separazione della fase di idrolisi e della fase di metanogenesi) a fronte di sistemi monostadio;
- tipologia di rifiuto alimentato: rifiuto non separato a monte a fronte di frazione organica da raccolta differenziata (FORSU).

Tab. 4.1- Percentuale cumulativa sulla capacità installata nel 2014 [10]

Temperatura	Mesofilo	67%
	Termofilo	33%
Tenore di solidi (TS)	Wet TS<15%	38%
	Dry TS>15%	62%
Substrato alimentato	Solo rifiuto urbano	89%
	Codigestione	11%
Complessità	Monostadio	93%
	Bistadio	7%
Tipologia di alimentazione	FORSU	55%
	RSU	45%

La digestione mesofila è sempre stata predominante, soprattutto nel trattamento di fanghi di depurazione, letame e liquami, per la minore richiesta di calore e perché il processo era considerato più stabile. Tuttavia la digestione termofila ha trovato una notevole applicazione nel trattamento della FORSU, caratterizzando ad oggi il 33% della capacità installata in Europa.

Si riscontra negli ultimi anni un lieve incremento del numero di impianti che effettuano digestione della frazione organica insieme ad altre matrici (codigestione), che costituivano un'eccezione fino a qualche anno fa.

Risultano in diminuzione, nel trattamento della FORSU, gli impianti che effettuano il processo in due stadi separati, presumibilmente per i costi più elevati di investimento e gestione rispetto ai sistemi monostadio.

Rispetto al tenore di solidi si osserva a livello europeo una netta prevalenza di tecnologie che operano con un tenore di secco superiore al 15%, i cosiddetti sistemi dry.

Il parametro "tipologia di alimentazione" evidenzia come il 55% della capacità installata a livello europeo è rappresentata da impianti per sola FORSU, il restante 45% tratta rifiuto solido non selezionato.

5 LA DIGESTIONE ANAEROBICA DELLA FORSU IN ITALIA

La digestione anaerobica nel trattamento delle matrici organiche è un processo ampiamente consolidato anche in Italia, dove trova applicazione in un gran numero di impianti.

Un censimento degli impianti di produzione di biogas in Italia, eseguito nel 2010 dal Centro Ricerche Produzioni Animali [4], ha individuato 319 impianti di biogas di cui ben 273 alimentati con matrici di origine agro-zootecnica (sottoprodotti zootecnici, colture energetiche, scarti di lavorazione agricola), 30 alimentati con acque reflue di stabilimenti agroindustriali (distillerie, produzioni di succhi di frutta, birrerie, ecc.) e 14 alimentati quasi esclusivamente con frazione organica dei rifiuti solidi urbani (a volte in co-digestione con fanghi di depurazione).

Va rilevato tuttavia che l'Italia ha iniziato a muoversi in modo deciso verso l'applicazione della digestione anaerobica al trattamento della FORSU, solo negli ultimi anni, tramite l'approccio integrato anaerobico-aerobico, ovvero inserendo la sezione di digestione anaerobica in impianti di compostaggio esistenti. Rispetto ad un esiguo numero di impianti storici, alcuni dei quali convertiti dal trattamento dei rifiuti indifferenziati a quello della FORSU (Bassano del Grappa, Villacidro, Pinerolo, per citarne alcuni) si osserva un deciso incremento delle iniziative avviate o in corso di definizione. Ad oggi risultano operativi 43 impianti di trattamento del rifiuto organico [16], ed altri sono in fase di autorizzazione o realizzazione; di questi una trentina trattano FORSU in quantità superiore a 3.000 t/anno (si veda Tab.5.2).

Dei 43 impianti operativi l'86% (ovvero 37 impianti) risulta localizzato nelle regioni del Nord, il 2,3% (un solo impianto) nel Centro e l'11,6% nel Sud (5 impianti) (Tab. 5.1).

Si tratta di impianti industriali di media/grande taglia per il recupero energetico e di materia da frazioni organiche raccolte in maniera differenziata: la capacità media autorizzata è pari a quasi 47.000 t/a per impianto, e se non si includono gli impianti di piccola taglia del Trentino Alto-Adige, la capacità media sale a 56.000 t/a.

Tab. 5.1- Capacità e rifiuti organici trattati in impianti di digestione anaerobica per rifiuti nell'anno 2013 (in t/a)- dettaglio per regione- Fonte:ISPRA, 2014

Regione	Numero impianti	Capacità autorizzata impianti
PIEMONTE	4	298.500
VALLE D'AOSTA	0	
LOMBARDIA	8	269.900
TRENTINO ALTO ADIGE	8	44.738
VENETO	9	566.400
FRIULI VENEZIA GIULIA	1	80.000
LIGURIA	0	
EMILIA ROMAGNA	7	494.000
Totale NORD	37	1.753.538
TOSCANA	0	
UMBRIA	1	28.500
MARCHE	0	
LAZIO	0	
Totale CENTRO	1	28.500
ABRUZZO	0	
MOLISE	1	21.900
CAMPANIA	2	63.000
PUGLIA	1	87.000
BASILICATA	0	
CALABRIA	0	
SICILIA	0	
SARDEGNA	1	51.300
Totale SUD	5	223.200
ITALIA	43	2.005.238

Le figure che seguono mostrano l'andamento della raccolta differenziata della FORSU (la frazione organica da raccolta differenziata) in Italia negli anni 1993-2013 confrontata, rispettivamente, con il numero degli impianti di compostaggio (Fig. 5.1) e con il numero degli impianti di digestione anaerobica (Fig. 5.2), per la valorizzazione anche energetica di tali matrici.

Nel giro di venti anni (i primi circuiti di raccolta del rifiuto organico sono datati 1993) si è sviluppato e consolidato un sistema industriale dedicato alla trasformazione dello scarto organico che, nel 2013, conta 240 impianti di compostaggio operativi, in diminuzione come numero rispetto al dato del 2011 e 2012, sebbene sia cresciuta la capacità autorizzata.

Per contro continua la crescita del numero di impianti di digestione anaerobica, che nel triennio 2011-2013 aumenta di quasi il 60%.

L'integrazione dei processi aerobico e anaerobico caratterizza la quasi totalità degli impianti oggi operativi. La scelta di investire sulla digestione, settore che è cresciuto grazie agli incentivi alla produzione di energia, è vista come una nuova opportunità per tutto il settore del trattamento biologico. La tendenza è quella di riconvertire impianti di compostaggio esistenti così da garantire maggiori capacità di trattamento senza necessariamente individuare nuovi siti [17].

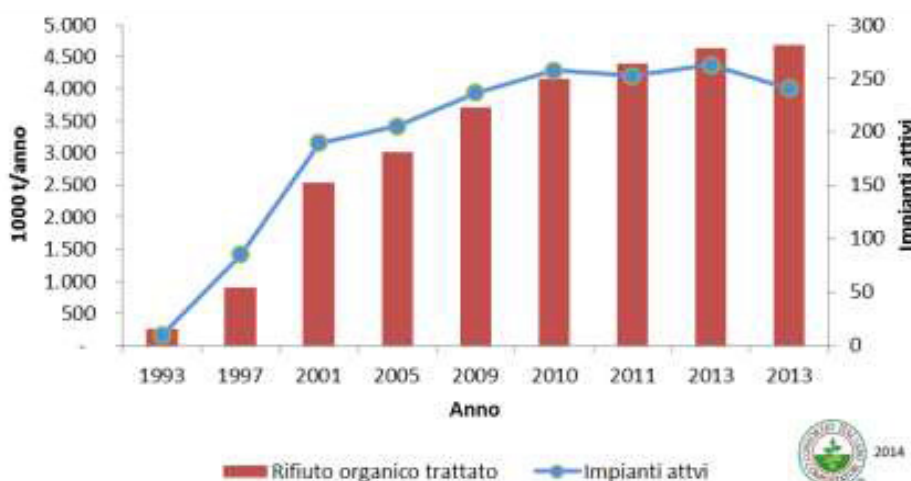


Fig. 5.1 – Rifiuto organico trattato (in 1000 t/anno) e numero impianti di compostaggio attivi [17]

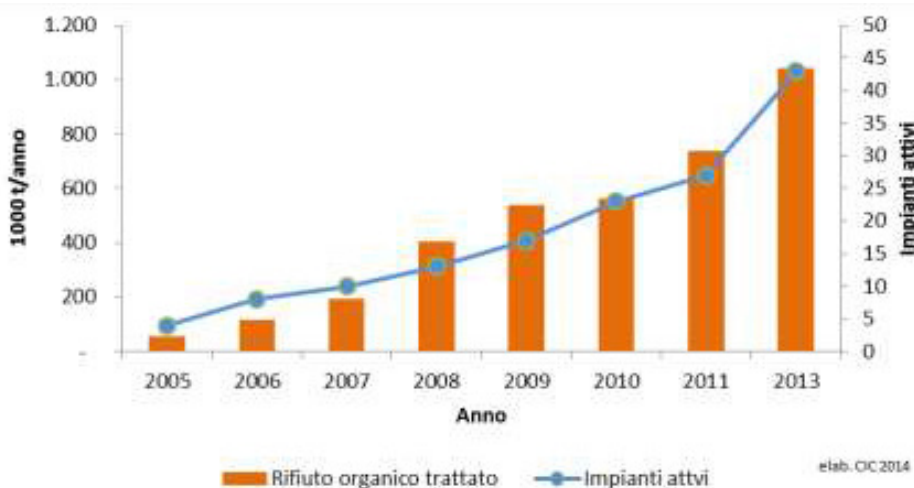


Fig. 5.2 – Rifiuto organico trattato (in 1000 t/anno) e numero impianti di digestione anaerobica attivi [17]

Riguardo alla tipologia di rifiuto organico trattato presso gli impianti di digestione anaerobica, va rilevato che nel periodo 2010-2013 essa è variata in maniera apprezzabile: mentre il quantitativo di rifiuto organico di origine urbana, composto quasi esclusivamente da FORSU, è rimasto sostanzialmente stabile pari a circa 520.000-560.000 t/a, si evidenzia l'incremento di rifiuti speciali quali scarti agro-alimentari, i cui quantitativi si sono triplicati nel periodo analizzato.

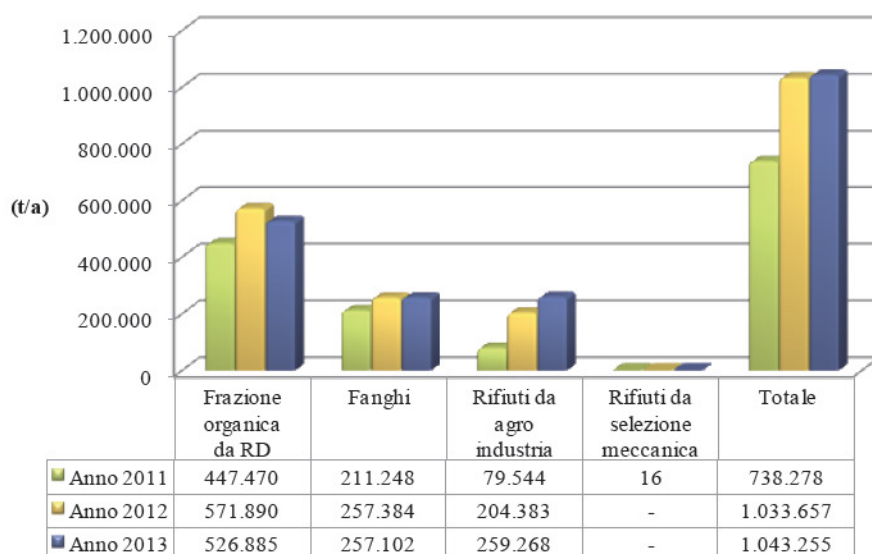


Fig. 5.3 – Tipologie dei rifiuti trattati in impianti di digestione anaerobica, anni 2011 – 2013 [16]

Nell'ambito del presente Studio, ATO-R ha condotto un approfondimento sugli impianti di digestione anaerobica operativi in Italia al momento della redazione dello stesso (non sono stati considerati impianti in progetto o in fase di realizzazione) che trattano almeno 3.000 t/anno di FORSU. Sono stati censiti 28 impianti che rispondono ai suddetti requisiti.

Dall'indagine è emerso quanto segue:

- Il primo impianto di digestione anaerobica della FORSU realizzato in Italia è quello di Lozzo Atesino (Padova), avviato nel 1999. Ha una potenzialità di 73.000 t/anno (esprese in m³ di rifiuto pompabile). E' dotato di un unico digestore della capacità di 5.000 m³ dove il liquido derivante dalla spremitura della FORSU viene codigerito con fanghi da depurazione di acque reflue. Il processo è di tipo wet (7-12% di solidi totali) in regime di mesofilia (35 °C).
- Nel 68% dei casi (19 impianti su 28) il trattamento anaerobico è preliminare alla successiva fase di compostaggio realizzata presso il medesimo sito.
- Spesso si tratta di impianti di compostaggio preesistenti di recente riqualificati con l'introduzione di una sezione di digestione anaerobica, per citarne alcuni: Montello, Sospiro, Zinasco, Este, Isola della Scala, Villa Bartolomea, Cesena, Rimini, Ravenna, Caivano.
- In riferimento al tenore di solidi nel reattore si riscontra una **prevalenza di processi wet** che coprono il 65% degli impianti per cui è stato possibile individuare il tipo di processo (17 impianti adottano la digestione wet, 8 la dry, 1 la semidry e per 2 impianti il processo non è stato definito).
- Riguardo al regime termico il 60% degli impianti risulta essere di **tipo mesofilo** (temperature inferiori a 40 °C), il restante 40% opera in regime di termofilia con temperature intorno ai 55 °C.
- Il biogas prodotto viene utilizzato per produrre energia elettrica e calore in cogenerazione, con potenze elettriche installate in genere pari o di poco inferiori a 1.000 kW; fanno eccezione alcuni impianti di grosse dimensioni quali Pinerolo (3.300 kWe), Montello (7.900 kWe), Bassano del Grappa (2.100 kWe), Este (8.000 kWe). In particolare a Este è stato sviluppato un progetto di teleriscaldamento mediante il calore di recupero dei motori alimentati con il biogas dell'impianto di digestione anaerobica e della vicina discarica (9.6 MWe e 9.1 MWt), cui è stato aggiunto un gruppo elettrogeno di back up alimentato a gas naturale (6.1 MWe e 6.1 MWt). Il primo stralcio del progetto è stato completato nel 2008 (teleriscaldamento di Este e Ospedaletto Euganeo per una potenza media di 6 MWt e una potenza di picco di 8 MWt), il secondo riguarda i centri di Torre e Pilastro e dovrebbe essere completato nel 2015 (ulteriori 6 MWt con una potenza di picco di 14 MWt). Si segnala inoltre l'iniziativa di Acea Pinerolese che ha realizzato presso il polo ecologico di Pinerolo un impianto per la produzione di biometano in grado di trattare 100 Sm³/h di biogas.

Tab. 5.2- Impianti di digestione anaerobica operativi in Italia che trattano FORSU in quantitativi superiori a 3.000 t/anno.

Regione	n° impianti	Provincia	Comune	Potenzialità autorizzata [t]	Quantitativo trattato nel 2013 [t]		Data di avvio	Impianto di compostaggio annesso	Tipologia digestione anaerobica	Tecnologia	Potenza elettrica installata [kWe]	Gestore	Note
					totale	FORSU							
Piemonte	4	Torino	Pinerolo	90.000	49.937	46.065	2001	si	Wet (TS 10-12%),termofilo (50°-55°C)	WAASA	3.300	ACEA Ambiente	Potenzialità attuale: 50.000 t, i lavori per l'ampliamento fino a 90.000 t (inserimento del terzo digestore) non sono ancora stati avviati. L'annessa sezione di compostaggio (avviata nel 2001) ha una potenzialità di 20.000 t/anno.
		Alessandria	Casal Cermelli	126.000	53.239	46.429	2003*	si	Wet	nd	1.000	Bioland srl	* Autorizzato nel 2003. Spremitura della FORSU e digestione della frazione liquida.
		Alessandria	Novi Ligure	18.000	nd	nd	2013	no	Dry, termofilo (55°C), monostadio	Kompogas	530	SRT SpA	Autorizzato nel 2011. In Tabella sono stati riportati i dati di progetto. Previsto invio del digestato all'impianto di compostaggio di Tortona.
		Cuneo	Fossano	60.000	42.986	31.339	2011	si	Wet, termofilo	nd	1.000	San Carlo srl	
Lombardia	5	Bergamo	Montello	285.000	216.205	216.205	2008	si	Wet, termofilo, reattore continuo completamente miscelato (CSTR)	nd	7.900	Montello SpA	L'impianto di compostaggio entrato in esercizio nel 1997, è stato integrato nel 2008 con una sezione di digestione anaerobica (6 digestori da 4000 m3).
		Cremona	Castelleone	100.000	25.515	23.562	2010	no	Wet, mesofilo	Biotec-BTA	1.670	SCRIP- Biofor Energia	La sezione anaerobica si compone di 4 digestori da 2000 m3. La potenzialità autorizzata è così suddivisa: 20.000 t/a di FORSU; 6.000 t/a di rifiuti agroalimentari; 6.000 t/a di insilato di mais; 68.000 t/a di liquami di origine bovina e suina. Il prodotto in uscita dai digestori è inviato alle 5 aziende agricole consorziate per lo spandimento sui campi.
		Cremona	Sospiro	27.000 *	19.167	19.167	2013	si	Wet, termofilo (55°C)	nd	1.000	Compostaggio Cremonese srl	Riavviato nel 2013 con la sezione di digestione anaerobica. * Autorizzato per il trattamento di 27.000 t/a di FORSU, da avviare alla digestione anaerobica, 8.000 t/a di rifiuto ligneo-cellulosico indirizzato alla linea di compostaggio, 3.040 t/a di "digestato solido", proveniente da impianti esterni, indirizzato alla linea di compostaggio.
		Lodi	Villanova del Sillaro	31.500	24.047	15.156	nd	no	Semidry, termofilo	nd	1.000	Lucra 96	
		Pavia	Zinasco	25.000	20.557	20.138	2011*	si	Wet, termofilo (55°C)	AUSTEP	1.000	ALAN	* Nel 2011 è stata introdotta sezione di digestione anaerobica con spremitura della FORSU. La parte liquida è introdotta in 2 digestori da 3000 m3.
Trentino	2	Trento	Faedo	35.000	13.390	13.390	2012	si	Dry, termofilo (55°C), monostadio	Kompogas	1.000	Bioenergia Trentino srl	
		Bolzano	Lana	15.000	14.850	14.850	2006	no	Wet (TS 4%), mesofilo (37°C)	nd	870	Ecocenter	Compostaggio del digestato in impianti terzi
Veneto	9	Vicenza	Bassano del Grappa	55.000	43.357	37.553	2003	si	Dry, mesofilo, monostadio	Valorga	2.100	ETRA Spa	Nato per trattare RSU, è stato riconvertito per il trattamento di sola FORSU.
		Vicenza	Asigliano Veneto	33.000	9.510	9.510	2013	no	nd	nd	1.000	Berica Utiliya	
		Padova	Camposampiero	53.500	nd	nd	2005	no	Wet, termofilo, bistadio	LINDE	980	ETRA Spa	Separazione solido/liquido del digestato: frazione solida è destinata a compostaggio in impianti terzi; la frazione liquida viene trattata nella sezione di depurazione delle acque.
		Padova	Este	330000*	nd	nd	2007	si	Wet, mesofilo	ENBASYS	8.000	SESA	Autorizzato nel 1997, è stato modificato nel corso degli anni; la sezione anaerobica è stata realizzata nel 2006 e ampliata nel 2011 (potenzialità di 115.000 t/anno). Spremitura della FORSU; digestione anaerobica della fase liquida e compostaggio in biocelle della frazione solida.
		Padova	Lozzo Atesino	73.000	49.483*		1999	no	Wet (TS 8-16%), mesofilo (35°C)	nd	nd	Agrilux	* Frazione liquida da spremitura della FORSU; dato espresso in m3 di rifiuto pompabile. Il digestato non viene disidratato ma inviato tal quale in impianti di trattamento terzi.
		Verona	Isola della Scala	76.600	59.378	nd	2011	si	Wet mesofilo (35÷38°C)	nd	500	Agrinord	L'impianto di compostaggio è stato avviato nel 1997; è stato integrato con la sezione anaerobica nel 2011. Della potenzialità complessiva di 76.600 t, 10.000 sono destinati alla digestione anaerobica.
		Verona	Villa Bartolomea	113.000 *	91.674	42.354	2012	si	Wet (TS 15%), mesofilo (35-40°C)	nd	1.000	Villa Bioenergie	*Potenzialità autorizzata:113.000 t di cui 95.000 t a compostaggio e 18.000 t a digestione anaerobica. Nel 2012 la sezione di compostaggio esistente (dal 1995) è stata integrata con la digestione anaerobica.
		Verona	Villa Bartolomea	36.000	20.827	20.827	2010	no	Wet (TS 15%), mesofilo (35-40°C)	nd	960	Villa Bioenergie	Preparazione della polpa con aggiunta di liquido derivante dal processo di separazione solido-liquido del digestato; la polpa viene poi inviata a digestione anaerobica.
Emilia Romagna	3	Forlì-Cesena	Cesena	55.000	nd	nd	2009	si	Dry, mesofilo	BEKON	1.000	Romagna Compost	
		Rimini	Rimini	57.000	nd	nd	2012	si	Dry, mesofilo	BEKON	1.000	Hera	
		Voltana di Lugo	Ravenna	60.000	nd	nd	2012	si	Dry, mesofilo	BEKON	1.000	Hera	Integrazione di impianti di compostaggio esistenti con la sezione di digestione anaerobica dry.
Friuli Venezia Giulia	1	Pordenone	Maniago	80.000	79.780 *		2009	si	Wet, mesofilo	ENBASYS	998	Bioman	* Frazione liquida da FORSU, dato espresso in m3 di rifiuto pompabile. La potenzialità espressa in termini di rifiuti è pari a 280.000 t.
Molise	1	Campobasso	Guglionesi	21.900	15.353	15.353	2012	no	nd	nd	nd		
Campania	2	Napoli	Caivano	33.000	nd	nd	2011	si	Dry, mesofilo	BEKON	998	CEA Consorzio Energia Alternative Spa	Riconversione di STIR (Stabilimento di Tritovagliatura e imballaggio rifiuti) esistente.
		Salerno	Salerno	30.000	22.898	19.918	2011	si	Wet, mesofilo	Ros Roca	500	Daneco	Spremitura e digestione anaerobica della frazione liquida; biossidazione della frazione palabile in biocelle.
Sardegna	1	Cagliari	Villacidro	51.300	31.143	31.066	2002	si	Wet, mesofilo, bistadio	BTA	600	VillaService Spa	Nato per trattare RSU è stato riconvertito nel trattamento di sola FORSU.

5.1 DESCRIZIONE DI ALCUNI IMPIANTI ITALIANI DI DIGESTIONE ANAEROBICA

A seconda delle caratteristiche tecniche degli impianti di digestione anaerobica che operano sul territorio nazionale, è possibile suddividerli come segue:

- Impianti che operano digestione anaerobica a umido all'interno di un reattore CSTR; il processo può avvenire in regime termofilo come a Pinerolo (tecnologia Waasa), a Fossano (CN), a Montello, a Sospiro, a Camposampiero (tecnologia bistadio Linde) o in regime mesofilo come a Castelleone (dove si effettua codigestione della FORSU con altre matrici con tecnologia BTA), Isola della Scala (VR), Villa Bartolomea (VR) e Villacidro (CA), dove il processo avviene in reattore bistadio BTA.
- impianti che operano spremitura della FORSU seguita da digestione anaerobica della frazione liquida e compostaggio (in genere in biocelle) della fase solida; tra gli impianti che operano tale processo ci sono quello di Casal Cermelli (AL), quello di Lozzo Atesino (PD), quello di Este (PD) e quello di Maniago (TN), entrambi a tecnologia Enbasys, e quello di Salerno, a tecnologia Ros Roca;
- impianti dry che utilizzano reattori a flusso a pistone (plug flow), che possiamo ulteriormente suddividere, a seconda della configurazione adottata per il digestore, in:
 - impianti che utilizzano reattori ad asse orizzontale (in regime termofilo) in cui il mescolamento viene ottenuto mediante inserimento di elementi rotativi a disco all'interno del reattore (processo Kompogas): impianto di Novi Ligure (AL), Faedo (TN), Santa Giustina Bellunese (BL);
 - un impianto, a Bassano del Grappa (VI), caratterizzato da reattore di forma cilindrica, verticale, separato in due sezioni, in cui la miscelazione avviene grazie all'iniezione di biogas dal fondo del reattore attraverso una serie di iniettori (tecnologia Valorga)
- impianti dry di tipo batch costituiti da celle in cui il substrato non viene mescolato meccanicamente e l'umidità viene mantenuta a livelli ottimali mediante ricircolo di parte del percolato (tecnologia Bekon). Tale tecnologia ha trovato applicazione in tre impianti realizzati da Hera (Cesena, Rimini e Voltana di Lugo) e nell'impianto di Caivano (NA), riconversione di uno Stabilimento di Tritovagliatura e Imballaggio Rifiuti (STIR).

Si riporta di seguito la descrizione di alcuni impianti rappresentativi delle diverse tecnologie:

- impianto di Pinerolo (TO) – digestione anaerobica wet termofila monostadio;
- impianto di Camposampiero (PD) – digestione anaerobica wet termofila bistadio;
- impianto di Salerno – digestione anaerobica della frazione liquida ottenuta da spremitura della FORSU;
- impianto di Maniago (TN) - digestione anaerobica della frazione liquida ottenuta da spremitura della FORSU;
- impianto di Bassano del Grappa (VI) – digestione anaerobica dry monostadio in reattore verticale;
- impianto di Novi Ligure (AL) – digestione anaerobica dry in reattore orizzontale;
- impianto di Voltana di Lugo (RA) - digestione anaerobica dry di tipo batch.

5.1.1 Impianto di Pinerolo (processo wet, WAASA)

L'impianto di digestione anaerobica di ACEA, realizzato nel 2003 all'interno del polo ecologico di Pinerolo (TO), ha attualmente una potenzialità di trattamento della FORSU di 50.000 t/anno suddivisa in due linee; i lavori per l'ampliamento a 90.000 t/anno (inserimento del terzo digestore) non sono ancora stati avviati. La sezione di compostaggio, avviata nel 2001, ha una potenzialità di 20.000 t/anno.

La FORSU in ingresso all'impianto subisce un pretrattamento meccanico costituito da una triturazione molto blanda (rompisacchi) seguito da una vagliatura effettuata con un vaglio a dischi. Si generano due flussi: il sovravvallo, che costituisce il più consistente flusso di scarto della linea, e il sottovaglio che costituisce l'alimentazione del processo. Quest'ultimo viene sottoposto a deferrizzazione prima di essere avviato all'impianto di miscelazione ed omogeneizzazione (Florawiva MORE™) in cui è diluito con fanghi di depurazione, effluente dell'impianto di depurazione e parte delle acque madri di disidratazione del digestato.

Nell'impianto Florawiva MORE™ si realizza anche un'ulteriore intercettazione di materiale indesiderato eventualmente sfuggito ai pretrattamenti, mediante una trappola per l'estrazione in continuo degli inerti e un sistema di sgrigliatura/aspirazione del materiale flottante. La miscela prodotta in continuo, caratterizzata da un contenuto di solidi pari al 10-12%, viene avviata in un serbatoio di stoccaggio/polmonazione (volume utile di 185 m³) nel quale avviene la correzione della temperatura prima dell'alimentazione ai digestori. Ottenuta la miscela in termini di contenuto in solidi e di temperatura (circa 60-65 °C) attraverso iniezione di vapore il materiale è alimentato al digestore (2600 m³ di capacità utile). Ciascun digestore è coibentato ma non riscaldato ed è dotato di un sistema di agitazione meccanico accoppiato ad un sistema di ricircolo del biogas con lance. La temperatura all'interno del digestore è di circa 50-55°C, il tempo di ritenzione idraulica minimo di 14 giorni.

Il risultato della digestione è un fango liquido (digestato), che viene scaricato a gravità ed avviato ad un sistema di disidratazione. La fase liquida viene parzialmente recuperata nel processo (circa il 30%), mentre la restante parte è avviata a depurazione.

La fase solida (digestato) ottenuta dalla separazione è poi avviata all'impianto di compostaggio dove, previa una miscelazione con scarti verdi, avviene un classico ciclo di maturazione accelerata su platea insufflata, seguito da una maturazione lenta al fine di ottenere compost di qualità, commercializzato con il nome Florawiva®.

Il biogas estratto dai digestori è captato ed avviato allo stoccaggio in un gasometro da 3.000 m³, previo scarico della condensa presente nel gas attraverso sistemi di filtraggio. Preliminarmente all'alimentazione dei gruppi di cogenerazione (che ricevono anche il biogas della vicina discarica), il biogas viene filtrato e compresso alla pressione necessaria per l'alimentazione. Abbinata al gasometro si trova la torcia per lo smaltimento del biogas in eccesso non utilizzato e non stoccabile.

È in fase di avvio l'impianto di upgrading/purificazione del biogas per ottenere il biometano.



Fig. 5.4 – L'impianto di digestione anaerobica di ACEA, Pinerolo.

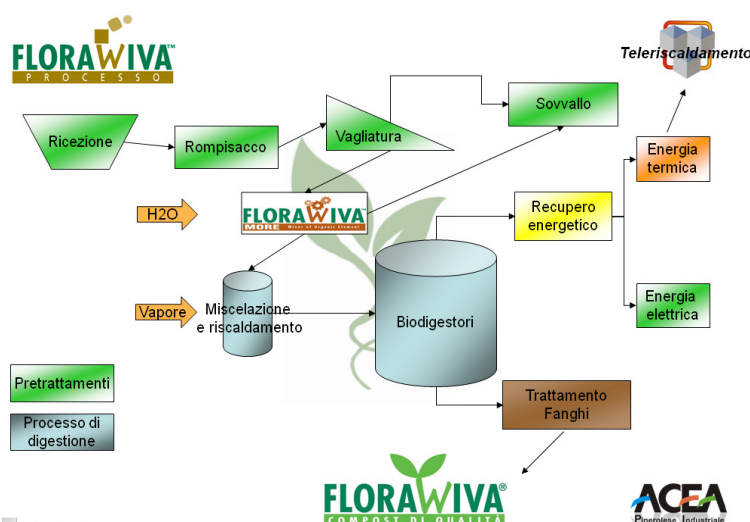


Fig. 5.5 – Schema dell'impianto di digestione anaerobica di ACEA.

5.1.2 Impianto di Camposampiero (processo wet, LINDE)

In Italia la tecnologia LINDE trova applicazione presso l'impianto di Camposampiero (PD) della potenzialità di circa 50.000 t/anno, che tratta FORSU, fanghi da depurazione e in minor misura reflui zootecnici. L'impianto è adiacente ad un impianto di depurazione di reflui urbani con capacità di 35.000 abitanti equivalenti.

Avviato nel 2005, l'impianto effettua digestione anaerobica di tipo wet (tenore di sostanza secca all'interno del digestore pari a 2-5%), a due stadi (separazione di fase idrolitica e metanogenica), in regime di termofilia (53 °-55 °C).

La FORSU in ingresso, dopo essere stata deferrizzata, subisce una triturazione primaria che ne riduce il volume ad una pezzatura di circa 10 cm; viene quindi inviata ad un miscelatore (hydropulper) che omogeneizza il materiale con il liquido composto dall'effluente di depurazione e dalla frazione liquida proveniente dalla disidratazione del fango digestato.

La "polpa" così ottenuta viene inviata ad una vasca dove subisce il processo di idrolizzazione e acidogenesi, preliminare alla fase di biometanazione che avviene nel digestore.

Nel digestore (della capacità di 3.300 m³) confluiscono la polpa, i fanghi da depurazione e i rifiuti zootecnici. Questi flussi vengono omogeneizzati grazie al biogas insufflato, lo stesso prodotto dal processo di digestione. Tale processo richiede 17 giorni in condizioni termofile. La temperatura viene mantenuta costante grazie all'energia termica recuperata dal raffreddamento dei fumi della combustione del biogas.

Il digestato viene disidratato tramite centrifugazione: si ottengono una frazione solida e una liquida. La frazione solida viene stabilizzata tramite compostaggio in impianti terzi, mentre quella liquida viene inviata a depurazione.



Fig. 5.6 – Impianto di digestione anaerobica di Camposampiero (PD).

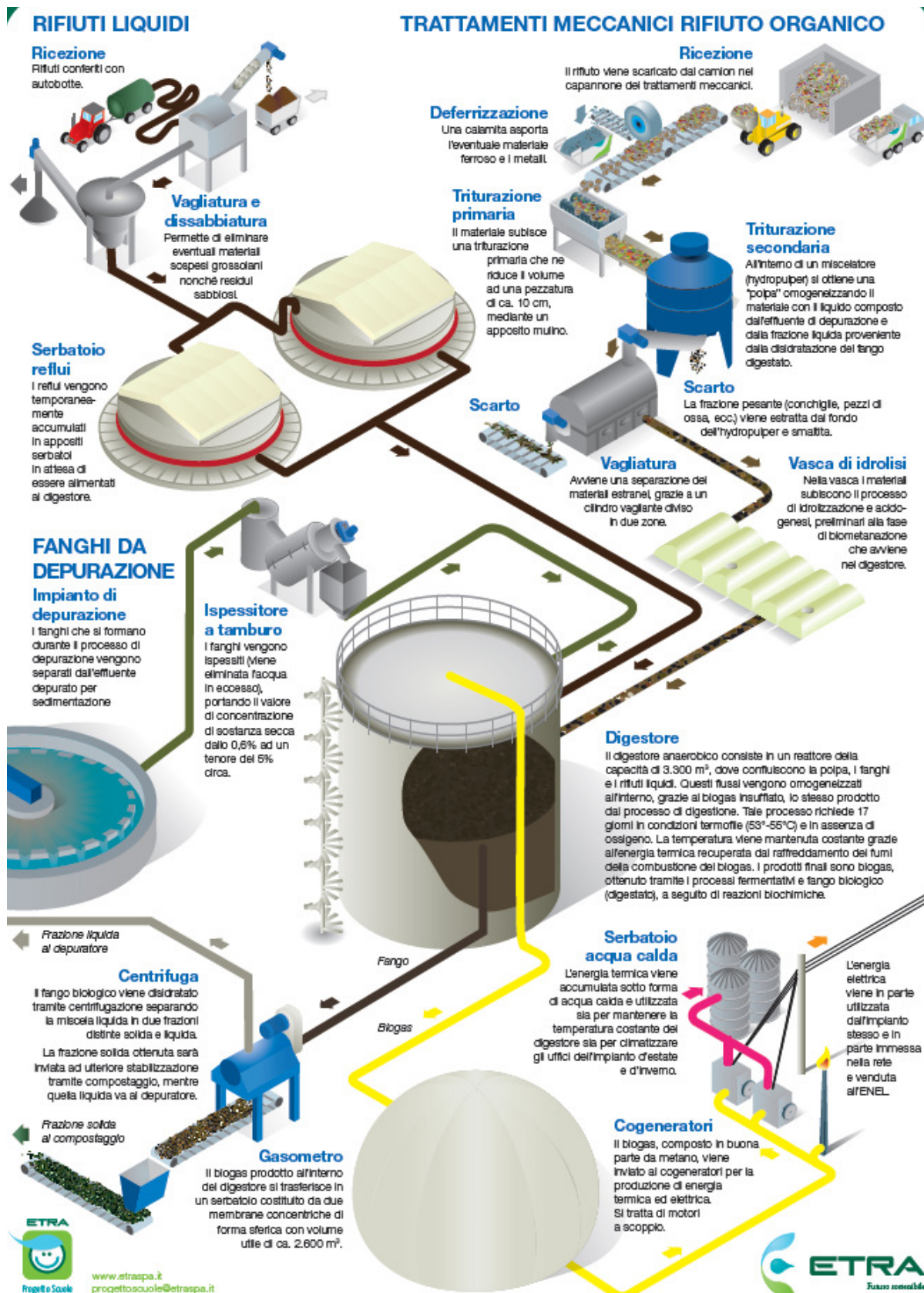


Fig. 5.7 – Centro Biotrattamenti di Camposampiero (PD).

5.1.3 L'impianto di Bassano del Grappa (processo dry, Valorga)

L'impianto, della potenzialità di 52.400 t/anno, è stato costruito tra il 2000 e il 2003 ed avviato in giugno 2003. È basato su un processo dry Valorga; la sezione di digestione anaerobica è costituita da 3 digestori del volume totale di 7.200 m³. Fu concepito per trattare sia FORSU raccolta separatamente, sia rifiuto urbano residuo, da introdurre nei digestori dopo pretrattamento di separazione e vagliatura. Nel 2004 e 2005 l'impianto ha trattato, con alcune interruzioni, i rifiuti organici e il RUR del Bacino Vicenza 5. Durante l'esercizio dell'impianto si è riscontrato che, mentre la FORSU aveva mantenuto caratteristiche sostanzialmente simili a quelle attese, il RUR, per effetto del raccolta differenziata spinta, aveva subito rilevanti modifiche rispetto ai parametri di progetto in termini qualitativi e quantitativi. L'incremento degli inerti nel rifiuto residuo ha col tempo causato l'intasamento di uno dei digestori ed il parziale blocco dell'impianto (2005). Tra il 2006 e il 2007 si è proceduto a drastici interventi di manutenzione straordinaria sui due digestori che avevano precedentemente trattato il sottovaglio da RUR e tutti e tre i digestori dell'impianto sono stati destinati al trattamento di sola FORSU.

La FORSU, sottoposta a vagliatura e deferrizzazione, è inviata ai digestori, dove permane, in condizioni di mesofilia (37-40 °C) e con tenore di secco del 30-35% per 25-30 giorni.

Il digestato viene inviato all'annesso impianto di compostaggio aerobico. La frazione liquida viene inviata al vicino depuratore tramite condotta dedicata.

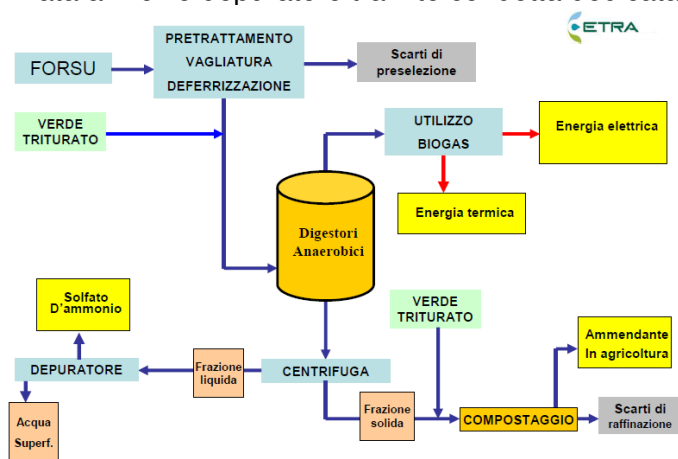


Fig. 5.8 – Schema di processo semplificato dell'impianto di Bassano del Grappa.

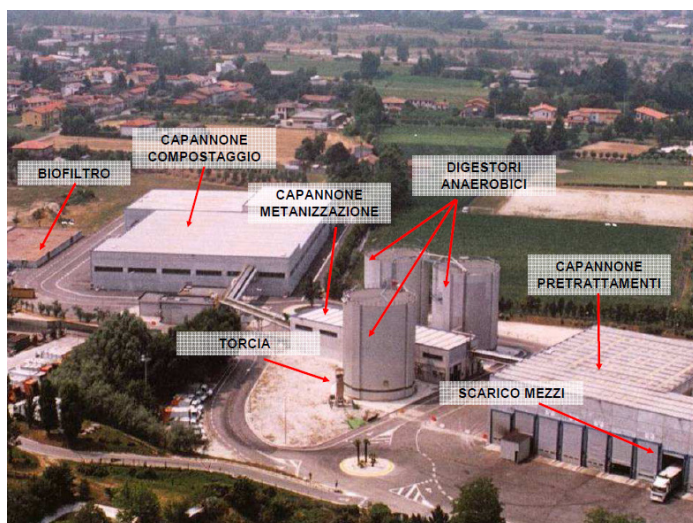


Fig. 5.9 – Impianto di Bassano del Grappa.



5.1.4 Impianto di Maniago (processo wet, Enbasys)

L'impianto di digestione anaerobica di Maniago, in provincia di Pordenone, ha una potenzialità di trattamento autorizzata di 80.000 t/anno che si somma alle 200.000 t/anno di potenzialità dell'impianto compostaggio.

La FORSU in ingresso passa attraverso la sezione di lacerazione dei sacchetti (tritratore/aprisacchetto), quindi a quella di vagliatura con asporto dei corpi estranei costituiti prevalentemente dai sacchetti di plastica; viene quindi sottoposta a spremitura con pressa idraulica. La fase liquida, miscelata con altri rifiuti conferiti in forma liquida nelle vasche di miscelazione, è pompata a 4 fermentatori dal volume utile di 3500 m³.

Il substrato nei fermentatori viene continuamente miscelato e riscaldato. Il digestato dai fermentatori viene inviato al connesso impianto di compostaggio.

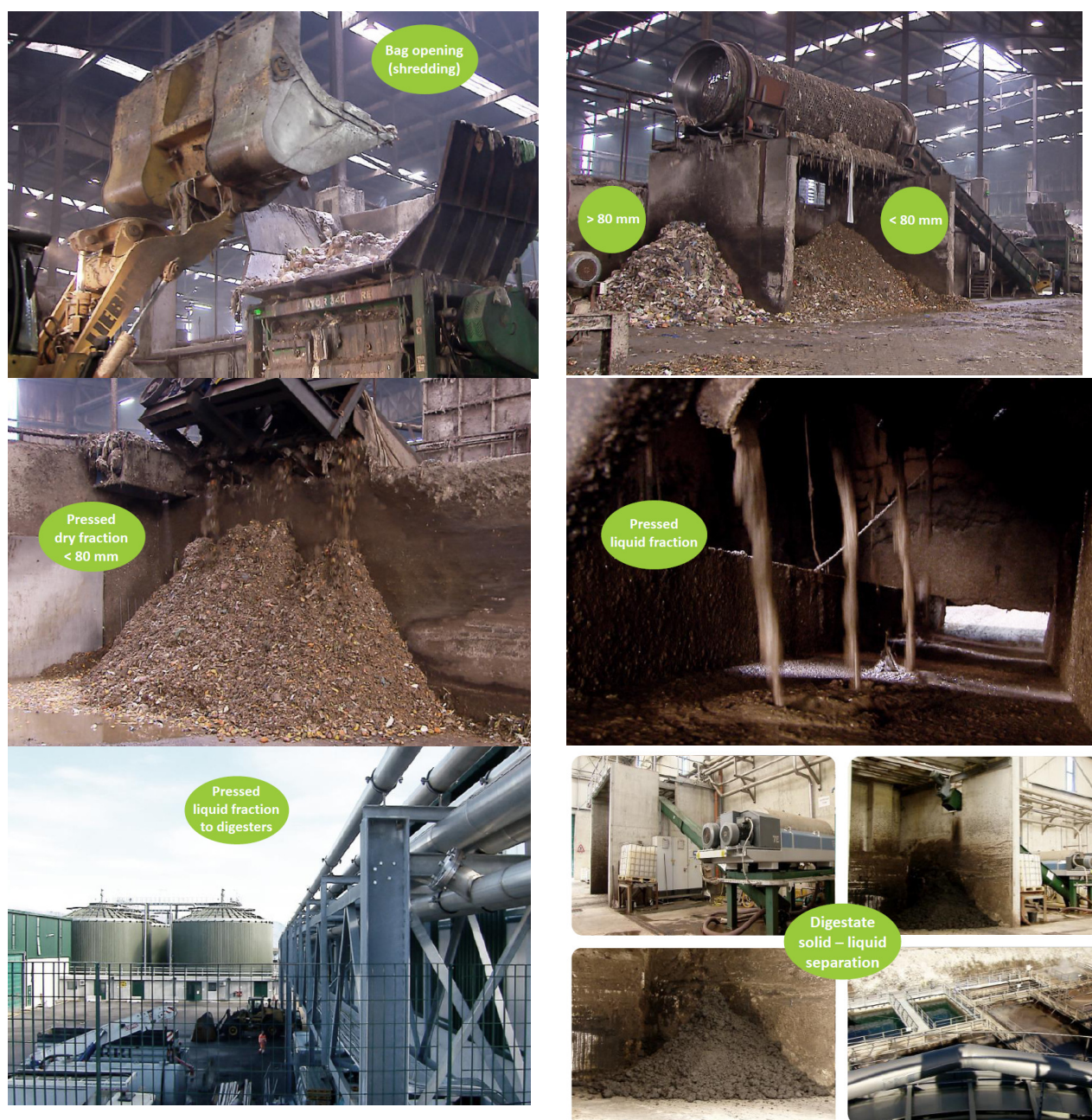


Fig. 5.10 – Impianto di digestione anaerobica di Maniago

5.1.5 Impianto di Salerno (processo wet, Ros Roca)

L'intervento di realizzazione dell'impianto di Salerno, del complessivo importo di € 24.993.000,00, è stato finanziato dalla Regione Campania con le risorse di cui ai fondi Europei POR FERS Campania 2007/2013 – Obiettivo operativo 1.1.

L'opera è stata realizzata dall'A.T.I. composta dalle imprese Daneco Impianti Srl (mandataria) con sede in Milano - RCM Costruzioni Srl (mandante), con sede in Sarno (SA) - Ros Roca S. A. (mandante) con sede in Tarragona (Spagna), aggiudicataria della gara di appalto (primavera 2009) con un ribasso del 7,11% sull'importo a base d'asta per i lavori di Euro 16.792.190,00 di cui Euro 261.016,00, per la sicurezza e del 9,82% sull'importo della gestione provvisoria biennale (Euro 1.055.000,00 annui di cui € 52.750,00 per oneri di sicurezza).

L'impianto è autorizzato per una capacità di trattamento complessiva di circa 30.000 t/a così suddivisa:

- FORSU: 23.000 t/anno circa che corrisponde a circa 70 t/giorno;
- Rifiuti di natura ligno-cellulosica, di tipo urbano (raccolta del verde) o speciale (imballaggi in legno) da utilizzare come "strutturante" nel processo di compostaggio aerobico (circa 7.000 t/anno).



Fig. 5.11 – L'impianto di gestione anaerobica di Salerno.

L'impianto è composto dalle seguenti sezioni:

- ricezione (area scarico rifiuti);
- pretrattamento: spremitura della FORSU e preparazione della miscela alla fase aerobica;
- bioossidazione in biocelle della frazione organica palabile derivante da spremitura;
- sezione di digestione anaerobica della frazione liquida dalla spremitura;
- sezione di maturazione in aia della matrice compostata.

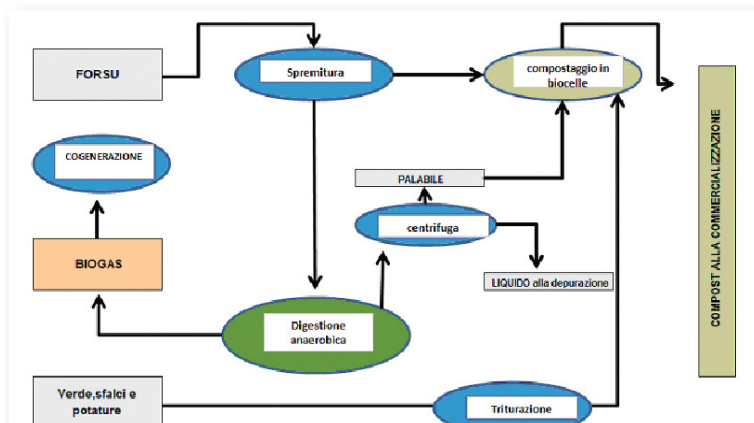


Fig. 5.12 – Schema di processo dell'impianto di Salerno a tecnologia Ros Roca

5.1.6 Impianto di Novi Ligure (processo dry, Kompogas)

L'impianto di digestione anaerobica di Novi Ligure è caratterizzato da una capacità di trattamento di 18.000 tonnellate l'anno, di cui 12.000 di rifiuti organici e 6.000 di ligneo-cellulosici (scarti di potatura e sfalcio erba); entrato in esercizio nel 2013, è strettamente connesso all'impianto di compostaggio di SRT già presente a Tortona.

Il rifiuto, una volta triturato, viene trasferito ad un vaglio attraverso nastri trasportatori, dotati di deferrizzatore. La vasca di stoccaggio del materiale pretrattato è servita con un carroponete; una benna a polipo carica il materiale in una tramoggia di pesatura; da qui passa alle coclee che lo trasferiscono nel digestore (a tecnologia Kompogas). Nel digestore la miscela permane in media 15 giorni; l'agitazione è garantita da un albero rotante ad asse orizzontale.

Alla fine del processo si ottiene un refluo liquido con sostanza secca molto bassa (meno del 2%) e una parte solida intorno al 30 - 35% che viene indirizzata verso l'impianto di compostaggio di proprietà Srt in Tortona.

Nel luglio 2011 è stata aggiudicata la gara per la progettazione esecutiva e la realizzazione dei lavori alla ditta Cesaro Mac Import di Eraclea (VE), che ha proposto un digestore basato sul brevetto Kompogas, con un ribasso del 4% rispetto alla base d'asta (€ 5.736.914,74 a fronte di € 5.788.452,85 -oltre ad € 180.000 per oneri sicurezza - a base d'asta).



Fig. 5.13 – Impianto di digestione anaerobica di Novi Ligure.

5.1.7 Impianto di Voltana di Lugo (processo dry, Bekon)

L'impianto di compostaggio di Voltana di Lugo, gestito da Hera, è stato avviato nel gennaio 2005. Nel dicembre 2011 è stato approvato dalla Provincia di Ravenna il progetto di realizzazione della sezione di digestione anaerobica a secco e della linea di trattamento biomassa ligneocellulosica, previsto presso il sito in oggetto. L'attività di cantiere per la realizzazione delle opere previste da progetto ha preso avvio nel febbraio 2012 e l'impianto è entrato in esercizio nel dicembre 2012.

L'impianto ha una potenzialità di trattamento di 60.000 t/anno di rifiuti, suddivisi nei seguenti quantitativi:

- 40.000 tonnellate/anno di rifiuto organico;
- 20.000 tonnellate/anno di rifiuto ligneo-cellulosico.

Le principali caratteristiche dell'impianto di digestione anaerobica sono:

- miscela da trattare costituita da FORSU triturata, rifiuti lignocellulosici triturati e/o deferrizzati/vagliati, e digestato (materiale in uscita dai digestori avente la funzione di inoculo di processo);
- tecnologia basata su un processo monostadio di tipo batch;

- il processo sfrutta più digestori in batteria (10 celle), caricati e svuotati a precisi intervalli di tempo e gestiti in modo sfasato tra loro, garantendo così la continuità del trattamento di digestione e la produzione costante di biogas;
- dimensione cella: 6.90 x 30.00 m - H = 5.00 m
- tempo di ritenzione biomassa in fase di digestione: ≥ 25 gg.



Fig. 5.14 – Digestori di Voltana di Lugo (10 digestori)

Il processo di degradazione biologica della biomassa e la conseguente produzione di biogas avviene in condizioni di mesofilia ($37^{\circ}40^{\circ}\text{C}$).

Le condizioni di umidità costante del substrato sono garantite dal ricircolo dei liquidi di percolazione generati dal processo stesso. Il ricircolo del percolato, inoltre consente la regolazione della temperatura del substrato e l'eventuale aggiunta, se necessario, di additivi per il controllo e l'ottimizzazione del processo.

Il mantenimento della temperatura durante il processo è garantito mediante un sistema di riscaldamento del fondo e delle pareti del digestore che sfrutta il calore generato dal sistema di cogenerazione.

Per ciò che concerne il biogas, il tenore di metano nel biogas prodotto si attesta sul 55-60% e la produzione specifica è di circa $90\text{-}100 \text{ Sm}^3/\text{t}$ di FORSU in ingresso.

6 CONCLUSIONI

La digestione anaerobica è un processo biologico complesso attraverso il quale, in assenza di ossigeno, la sostanza organica viene trasformata in biogas costituito principalmente da metano (50-80%) e anidride carbonica, utilizzabile quindi come combustibile nella produzione di energia (elettrica o termica) o come metano per autotrazione.

Proprio l'aspetto legato alla possibilità di valorizzare energeticamente la componente putrescibile dei rifiuti urbani ha determinato, negli ultimi anni, un crescente interesse verso questa tecnica che sempre più frequentemente viene applicata al trattamento della FORSU, anche su impulso della Comunità Europea.

In effetti le norme ispirate al Protocollo di Kyoto, la riforma della politica energetica dell'Unione Europea e le conseguenti legislazioni e regolamentazioni a livello nazionale (Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 6 luglio 2012, recante le modalità di incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti alimentati da fonti rinnovabili diverse da quella solare fotovoltaica), hanno dato un forte incentivo allo sviluppo di tecnologie di produzione di energia da fonti rinnovabili sempre più competitive.

Nel Libro Verde (documento COM(2008)811 definitivo del 3/12/2008) della Commissione Europea, che fornisce indicazioni circa la gestione dei rifiuti organici biodegradabili nell'Unione, la digestione anaerobica viene ritenuta, rispetto al compostaggio, la tecnica di trattamento più vantaggiosa sia sotto il profilo ambientale che economico: *"Poiché la digestione anaerobica si svolge in reattori chiusi, le emissioni nell'aria sono significativamente ridotte e più facili da controllare rispetto al compostaggio. Ogni tonnellata di rifiuti organici biodegradabili inviata al trattamento biologico può produrre 100-200 m³ di biogas. Per via del potenziale di recupero energetico del biogas e del potenziale di miglioramento del suolo dei residui (in particolare quando i rifiuti organici biodegradabili vengono raccolti in maniera differenziata), la digestione anaerobica rappresenta spesso la tecnica di trattamento più vantaggiosa sotto il profilo sia ambientale che economico."*

Inoltre il Parlamento Europeo con Risoluzione del 6 luglio 2010 sul Libro Verde della Commissione sulla gestione dei rifiuti organici biodegradabili (pubblicata in Gazzetta Ufficiale del 2/12/2011), *"sottolinea che, al fine di raggiungere gli obiettivi fissati a vari livelli (lotta al riscaldamento climatico e al degrado e all'erosione del suolo; raggiungimento degli obiettivi in materia di energie rinnovabili), l'abbinamento tra compostaggio e fermentazione dei rifiuti organici raccolti in modo differenziato, se fattibile, presenta indubbiamente vantaggi e dovrebbe essere incoraggiato"*.

In linea con gli indirizzi della Comunità Europea, negli ultimi anni si riscontra la tendenza ad integrare la digestione anaerobica all'interno di impianti di compostaggio esistenti: la digestione anaerobica va a sostituire la prima fase del processo di compostaggio, la bio-ossidazione, nota anche come *high rate, active composting time*, caratterizzata da intensi processi di degradazione delle componenti organiche più facilmente degradabili.

L'inserimento della sezione di digestione anaerobica, nell'ambito del revamping di impianti di compostaggio in esercizio, consente di utilizzare le apparecchiature esistenti con diversi altri vantaggi quali:

- bilancio energetico positivo dell'impianto, in quanto nella fase anaerobica si ha in genere la produzione di un surplus di energia rispetto al fabbisogno dell'intero impianto;
- miglior controllo, e a costi minori, dei problemi olfattivi; le fasi maggiormente odorigene sono gestite in reattore chiuso e le "arie esauste" sono rappresentate dal biogas (utilizzato e non immesso in atmosfera). Il digestato è un materiale già semi-stabilizzato, risulta pertanto più agevole il controllo degli impatti olfattivi durante la fase aerobica;
- minor impegno di superficie a parità di rifiuto trattato, pur tenendo conto delle superfici necessarie per il compostaggio, grazie alla maggior compattezza dell'impiantistica anaerobica;
- riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera.

Uno studio recente (De Baere, 2013) ha censito, in Europa, 244 impianti (tra realizzati e in fase di realizzazione) che trattano frazione organica da rifiuto solido urbano, da sola o con altre matrici, per una capacità di trattamento annuo di circa 8 milioni di tonnellate riferite alla sola frazione organica. I Paesi che presentano la maggiore capacità installata sono Germania (con 2 milioni di tonnellate annue di capacità) e Spagna (1.6 milioni di tonnellate).

L'Italia ha iniziato a muoversi in modo deciso verso l'applicazione della digestione anaerobica al trattamento della FORSU, solo negli ultimi anni, tramite l'approccio integrato anaerobico-aerobico, ovvero inserendo la sezione di digestione anaerobica in impianti di compostaggio esistenti. Ad oggi risultano operativi 43 impianti di trattamento del rifiuto organico (ISPRA, 2014), ed altri sono in fase di autorizzazione o realizzazione; di questi una trentina trattano FORSU in quantità superiore a 3.000 t/anno. Si tratta di impianti industriali di media/grande taglia per il recupero energetico e di materia da frazioni organiche raccolte in maniera differenziata: la capacità media autorizzata è pari a quasi 47.000 t/a per impianto.

In particolare, gli approfondimenti condotti nell'ambito del presente Studio con riferimento alla realtà italiana, hanno evidenziato quanto segue:

- Il primo impianto di digestione anaerobica della FORSU realizzato in Italia è quello di Lozzo Atesino (Padova), avviato nel 1999 e avente una potenzialità di 73.000 t/anno.
- In genere il trattamento anaerobico è preliminare alla successiva fase di compostaggio realizzata presso il medesimo sito; in molti casi si tratta di impianti di compostaggio preesistenti di recente riqualificati con l'introduzione di una sezione di digestione anaerobica.
- Il biogas prodotto viene utilizzato per produrre energia elettrica e calore in cogenerazione, con potenze elettriche installate in genere pari o di poco inferiori a 1.000 kW, fatta eccezione per alcuni impianti di grosse dimensioni. In particolare a Este è stato sviluppato un progetto di teleriscaldamento mediante il calore di recupero dei motori alimentati con il biogas dell'impianto di digestione anaerobica e della vicina discarica della potenza media di 12 MWt. Presso il Polo Ecologico di Pinerolo Acea Pinerolese ha realizzato un impianto per la produzione di biometano in grado di trattare 100 Sm³/h di biogas.

Scendendo nello specifico del processo di digestione, la principale distinzione per approccio impiantistico si basa sul tenore di sostanza secca del substrato alimentato al reattore. Le tecnologie di digestione possono essere suddivise, da questo punto di vista, in due gruppi principali:

- digestione *a umido* (wet), quando il substrato in digestione ha un contenuto di sostanza secca inferiore al 15%;
- digestione *a secco* (dry), quando il substrato in digestione ha un contenuto di sostanza secca superiore al 15%.

Una seconda distinzione fa riferimento al *regime termico* con cui viene condotto il processo biologico. All'interno del reattore anaerobico possono essere stabilite condizioni di: psicofilia (20 °C); mesofilia (35-37 °C); termofilia (55 °C); estrema termofilia (65-70 °C). In realtà le condizioni estreme sono poco utilizzate ed i processi industriali si concentrano sui regimi mesofili e termofili.

Il tipo di caricamento dei reattori distingue:

- *processi in continuo*, dove il reattore viene alimentato, quotidianamente o con frequenze maggiori, con una quota di rifiuto, a cui corrisponde lo scarico di una analoga quantità di digestato;
- *processi in batch*, dove le matrici vengono introdotte in un'unica soluzione nel reattore.

Nell'ambito dei processi in continuo si distingue ancora in base alle condizioni fluidodinamiche:

- reattori a completa miscelazione (CSTR, Continuous Stirred Tank Reactor);
- reattori con flusso a pistone (PF, Plug Flow).

Un'ultima distinzione fa riferimento al numero di reattori impiegati in serie per lo svolgimento del processo anaerobico. Si distingue tra:

- processi *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 avviene in un secondo stadio.

Per quanto riguarda le applicazioni tecnologiche, in riferimento al tenore di solidi nel reattore, mentre a livello europeo si riscontra una prevalenza di impianti di tipo dry (il 62% contro il 38% di impianti operanti in modalità wet), in Italia le percentuali sono invertite: i processi wet coprono il 65% degli impianti censiti (Tab. 5.2).

Per quanto riguarda il regime termico i processi mesofili sono i più diffusi sia a livello europeo che a livello italiano, sebbene i processi termofili, pur con costi energetici maggiori, consentono, rispetto ai processi mesofili, velocità di degradazione più elevate e, di conseguenza, minori tempi di permanenza dentro ai reattori e un miglior controllo dei microrganismi patogeni e della disidratabilità del digestato.

Per ciò che concerne le tecnologie, è possibile suddividere gli impianti di digestione anaerobica che operano sul territorio nazionale come segue:

- Impianti che operano digestione anaerobica a umido all'interno di un reattore CSTR; il processo può avvenire in regime termofilo come a Pinerolo (tecnologia monostadio Waasa) o a Camposampiero (tecnologia bistadio Linde) o in regime mesofilo come a Castelleone (CR) dove si effettua codigestione della FORSU con altre matrici e Villacidro (CA); sia a Castelleone che a Villacidro il processo avviene in reattori BTA.
- impianti che operano spremitura della FORSU seguita da digestione anaerobica della frazione liquida e compostaggio (in genere in biocelle) della fase solida; tra gli impianti che operano tale processo ci sono quello di Casal Cermelli (AL), quello di Lozzo Atesino (PD), quello di Este (PD) e quello di Salerno;
- impianti dry che utilizzano reattori a flusso a pistone (plug flow), che possiamo ulteriormente suddividere, a seconda della configurazione adottata per il digestore, in:
 - impianti che utilizzano reattori ad asse orizzontale (in regime termofilo) in cui il mescolamento viene ottenuto mediante inserimento di elementi rotativi a disco all'interno del reattore (processo Kompogas): impianto di Novi Ligure (AL), Faedo (TN), Santa Giustina Bellunese (BL);
 - un impianto, a Bassano del Grappa (VI), caratterizzato da reattore di forma cilindrica, verticale, separato in due sezioni, in cui la miscelazione avviene grazie all'iniezione di biogas dal fondo del reattore attraverso una serie di iniettori (tecnologia Valorga)
- impianti dry di tipo batch costituiti da celle in cui il substrato non viene mescolato meccanicamente e l'umidità viene mantenuta a livelli ottimali mediante ricircolo di parte del percolato (tecnologia Bekon). Tale tecnologia ha trovato applicazione tra il 2009 e il 2012 in tre impianti realizzati da Hera (Cesena, Rimini e Voltana di Lugo) e nell'impianto di Caivano (NA), riconversione di uno Stabilimento di Tritovagliatura e Imballaggio Rifiuti (STIR).

Come emerge dal quadro descritto, sul panorama nazionale risultano applicate alla FORSU differenti tecnologie di digestione anaerobica che operano, ormai da diversi anni e con buoni risultati, adottando le più svariate condizioni di processo: processi wet condotti in reattori CSTR in regime di mesofilia o termofilia monostadio o bistadio, processi dry condotti in reattori plug-flow ad asse orizzontale o verticale, generalmente in condizioni termofile e, negli ultimi anni, processi dry di tipo batch.

Alla luce delle risultanze del presente Studio si individua nella **digestione anaerobica** la tecnica da adottare nella riqualificazione dell'impianto di trattamento FORSU di Druento, prevedendo di inserire un'apposita sezione di digestione anaerobica preliminare al compostaggio da effettuarsi presso il medesimo impianto, con il duplice vantaggio di sfruttare il potenziale energetico della FORSU, mediante la produzione di biogas, e di minimizzare l'impatto odorigeno del trattamento.

Dal momento che il mercato offre oramai una notevole varietà di sistemi e approcci tecnologici più o meno diffusi, ma comunque oramai consolidati, affidabili e applicati su scala industriale, si ritiene di non fornire prescrizioni circa il tenore di solidi da applicare nel reattore né in ordine al regime termico da adottare, anche al fine di non limitare la concorrenza.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Juniper, Commercial Assessment Anaerobic Digestion Technology for Biomass Projects, Giugno 2007
- [2] M. Scagliotti, C. Valli, Utilizzo di biogas per alimentazione di fuel cells: stato dell'arte e sperimentazione con celle MCFC, febbraio 2010
- [3] APAT, "Digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti solidi, Manuali e linee guida 13/2005.
- [4] Mario Beccari, Enrico Rolle Energia da biomasse. Il ruolo crescente della digestione anaerobica, Workshop "Risparmio & Recupero energetico nella depurazione delle acque di scarico – IRSA 29/30 novembre 2012
- [5] LIBRO VERDE La gestione dei rifiuti organici biodegradabili nell'Unione europea Bruxelles, 3.12.2008 COM(2008) 811 definitivo
- [6] Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo relativa alle prossime misure in materia di gestione dei rifiuti organici nell'Unione europea, COM(2010)235 definitivo, Bruxelles, 18/5/2010
- [7] Libro verde della Commissione sulla gestione dei rifiuti organici biodegradabili nell'Unione europea - Risoluzione del Parlamento europeo del 6 luglio 2010 sul Libro verde della Commissione sulla gestione dei rifiuti organici biodegradabili nell'Unione europea (2009/2153(INI)), (2011/C 351 E/07)
- [8] V. Frittelloni, A. M. Lanz , Il recupero della frazione organica della raccolta differenziata. I numeri del sistema, Ecomondo, 6-9 novembre 2013
- [9] R. Laraia, La gestione dei rifiuti come risorsa, Parma, 21 marzo 2013
- [10] L. De Baere, B. Mattheeuws, Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste in Europe – Status, Experience and Prospects – Waste Management, Vol. 3: Recycling and Recovery – Thomé-Kozmiensky Karl J., Thiel S., p 517-526, settembre 2012 http://issuu.com/tkverlag/docs/waste_management_volume_3
- [11] S. Piccinini, Biogas: produzione e prospettive in Italia, 2004
- [12] ENEA, Federambiente. Rapporto sulle tecniche di trattamento dei rifiuti urbani in Italia, maggio 2010
- [13] Co-digestione anaerobica di fanghi di depurazione e frazione organica dei R.U. - Sperimentazioni full-scale del processo BTA presso la Fisia Italimpianti di Villacidro, tesi di laurea, Daniele Olmetto a.a. 2007-2008
- [14] W. Müller, Anaerobic digestion – technologies and practical experience in biowaste treatment, 3rd Baltic Biowaste Conference, 23/24 Nov. 2011, Vilnius "Anaerobic digestion – technologies and practical experience in biowaste treatment"
- [15] Zeshan, Dry anaerobic digestion of municipal solid waste and digestate management strategies, dicembre 2012
- [16] Ispra, Rapporto Rifiuti Urbani 2014
- [17] CIC, Rapporto Annuale 2014
- [18] Pytheas Business Guides, Treatment of Municipal Solid Waste – Anaerobic Digestion Technologies, febbraio 2008
- [19] Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste
- [20] Website OWS: <http://www.ows.be/biogas-plants/references>
- [21] BIOENERGIA TRENINO srl, Relazione Tecnica Integrativa relativa alla domanda di localizzazione nel Piano Provinciale di Smaltimento Rifiuti dell'impianto di digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti urbani nel Comune di Faedo, gennaio 2011
- [22] V.A.S. relativa alla redazione del PPGR della Provincia di Cremona. Studio di incidenza, novembre 2013
- [23] L. Paradisi, F. Loro, Convegno Legambiente Manifesto per un'energia da rifiuti senza CO2 Riduzione delle emissioni dei gas serra e arricchimento dei suoli. La digestione anaerobica. *Alcune riflessioni a partire dalla situazione della Regione Veneto*, aprile 2008
- [24] Ecocenter, impianto di fermentazione di Lana, Scheda Tecnica
- [25] BIOTEC, Impianto di produzione biogas di Castelleone, Cremona - Italia
- [26] Arpa Lombardia, Impianti di trattamento rifiuti - Regione LOMBARDIA, anno 2013

- [27] Impianto di recupero di rifiuti urbani non pericolosi e rifiuti speciali non pericolosi sito in comune di Maniago (PN) con produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili e attivita' connesse, Domanda Di Autorizzazione Integrata Ambientale, luglio 2014
- [28] Provincia di Alessandria, Pronuncia di compatibilità ambientale per il potenziamento ed ampliamento impianto di trasformazione rifiuti organici in Comune di Casalcermeli - proponente: Ditta Bioland s.r.l., marzo 2011
- [29] Etra, Schema di processo Centro Biotrattamenti Camposampiero (PD)
- [30] Provincia di Padova, Autorizzazione alla gestione dell'impianto di compostaggio e digestione anaerobica sito nel Comune di Este (PD), febbraio 2011
- [31] eAmbiente, Il caso SESA di Este (PD) e il caso BIOMAN di Maniago (PN) Il caso SESA
- [32] Arpa Veneto, Il recupero della frazione organica nel Veneto - Anno 2010
- [33] Arpa Veneto, Il recupero della frazione organica nel Veneto - Anno 2011
- [34] Arpa Veneto, Il recupero della frazione organica nel Veneto - Anno 2012
- [35] Arpa Veneto, Il recupero della frazione organica nel Veneto - Anno 2013
- [36] Centro Ricerche e Produzioni Animali C.R.P.A. Spa, Arpa Veneto, Stato dell'arte delle tecnologie di trattamento di tipo anaerobico e aerobico degli scarti organici, Reggio Emilia ottobre 2006
- [37] G. Urbini, V. Torretta, P. Bini, M. Valvassori, F. Conti, Digestione anaerobica: situazione impiantistica italiana ed europea, RS Rifiuti Solidi, vol. XXII n. 6 novembre-dicembre 2008
- [38] D. Mainero, Un esempio avanzato di sistema integrato anaerobico-aerobico, RS Rifiuti Solidi vol. XXIV n. 4 luglio-agosto 2010
- [39] Acea Pinerolese, Il polo ecologico ACEA: tecnologia e comunicazione in un sistema integrato RS Rifiuti Solidi vol. XXV n. 5 settembre-ottobre 2011
- [40] D. Mainero BIOMETHAIR: l'evoluzione della mobilità urbana con il biometano da rifiuto organico, Pinerolo, 1 Aprile 2014
- [41] D. Mainero, Il Biogas dalle filiere dei rifiuti – il caso ACEA, Ecomondo, Rimini, 7 novembre 2014
- [42] T. Savina, Il biodigestore di Novi Ligure, Recycling settembre 2013
- [43] SRT, Lavori di realizzazione di un trattamento anaerobico della FORSU raccolta nel bacino di competenza di SRT, Progetto definitivo, marzo 2011
- [44] Evoluzione dell'area industriale di Salerno: dalla produzione al commercio e alle residenze La forma silenziosa dell'impianto di compostaggio - Un prisma per il riutilizzo dei rifiuti come manifesto della sostenibilità sociale, Rivista Progetto - Trimestrale dell'Ordine degli architetti pianificatori
- [45] Daneco Impianti, Impianto di digestione anaerobica con recupero energetico – Comune di Salerno paesaggisti e conservatori della provincia di Salerno n° 02/2012
- [46] V. Pellicchia, L'Impianto di COMPOSTAGGIO a Salerno, Costozero, giugno 2011
- [47] W. Giacetti, Compost e Biogas da frazioni organiche dei rifiuti urbani - L'esperienza di ETRA spa, Convegno MatER 15-16 Maggio 2013
- [48] BUR n. 89 del 30/10/2012, Deliberazione della Giunta Regionale Veneto n. 2030 del 08 Ottobre 2012, Proponente: Villa Bioenergie srl
- [49] C. Garaffa, Anaerobic Digestion and Bioplastics: a Strong Alliance for Optimal Food Waste Capture Rates, Higher Biogas Yields and Quality Compost Production, AD Europe 2014 - 20-21 February 2014 Dublin, Ireland
- [50] L. Arsova, Anaerobic digestion of food waste: Current status, problems and an alternative product, Columbia University, maggio 2010
- [51] D. Valenzano, Il meccanismo di incentivazione del biometano Il ruolo del GSE, Biogas Italy Rimini, 13 febbraio 2015
- [52] WRAP, A survey of the UK Anaerobic Digestion industry in 2013, Settembre 2014
- [53] C. Cabral, F. Eveillard, L. Heer, M. Oertig, Tapping into the large potential of organics recycling, using dry Anaerobic Digestion – the European experience, Paper for the Canadian Waste Resource Symposium, Vancouver 2 - 4 April 2014
- [54] W. Merzagora, M. Monni, Recupero di biogas dalle frazioni umide dei rifiuti solidi urbani e speciali non pericolosi, Guida 2012 Biomasse Biogas
- [55] B. Mattheeuws, State of The Art of Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste in Europe, DAKOFA Conference 2012, February 29th – Copenhagen
- [56] E. Angelonidi, A critical assessment of wet and dry anaerobic digestion processes for the treatment of municipal solid waste and food waste, settembre 2013

- [57] R. Waltenberger, R. Kirchmayr , Wet and Dry Anaerobic Digestion Processes, 14 agosto 2013
- [58] T. Pytlar, D. Phagoo, Comparison of anaerobic digestion options: mixed refuse versus pre-segregated organics processing and wet versus dry systems, Federation of New York solid waste associations solid waste & recycling conference and trade show, 8 Maggio, 2013
- [59] M. Scagliotti, Sistemi di upgrading a confronto e quadro normativo, Misure ambientali ed energetiche del nuovo PSR 2014-2020 Lodi, 31 marzo 2015
- [60] A. Comparetti*, P. Febo, C. Greco and S. Orlando, Current state and future of biogas and digestate production, Bulgarian Journal of Agricultural Science, 19 (No 1) 2013, 1-14
- [61] Cornerstone Environmental Group, LLC, It's Organic!, New York October 24, 2012
- [62] N.J. Themelis Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes, Columbia University, maggio 2002
- [63] M. Wittmaier, Fermentation of solid substrates Institute for Recycling and Environmental Protection, Hochschule Bremen, 2006
- [64] Proceedings of the International Conference on Solid Waste 2011- Moving Towards Sustainable Resource Management – Anaerobic Digestion, Hong Kong SAR, P.R. China, 2 – 6 May 2011
- [65] Ris International Ltd, Feasibility of Generating Green Power through Anaerobic Digestion of Garden Refuse from the Sacramento Area Final Report, April 2005
- [66] M. Bartoli, Tecnologie e tendenze per il recupero da rifiuti - Recupero di energia da fonti rinnovabili: la valorizzazione della frazione biodegradabile del rifiuto di matrice organica, Convegno MatER 15-16 Maggio 2013
- [67] V. Nosiglia, I processi di recupero del rifiuto organico. Trasformare il rifiuto organico raccolto in un substrato omogeneo per produrre energia
- [68] CESARO MAC IMPORT e Axpo Kompogas, Il sistema Kompogas - Dalla gestione dei rifiuti a quella delle risorse
- [69] Korz, Industrial experience with anaerobic digestion plants in Europe
- [70] Website Veneto Agricoltura <http://www.venetoagricoltura.org>
- [71] Website <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1629271>
- [72] Website <http://www.ranierieditore.it/pdf/Prima%20di%20Copertina52014.pdf>
- [73] Website <http://www.alansrl.it/page/76/Zinasco-e-Voghera>
- [74] Website <http://www.ecodallecitta.it/notizie/375394>
- [75] Website Biotec: <http://www.biotecsistemi.it/>
- [76] Website International Energy Agency: <http://www.iea-biogas.net>
- [77] Website OWS: <http://www.ows.be/>
- [78] Website Valorga: <http://www.valorgainternational.fr/en/>