

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO DICAM

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

TESI DI LAUREA

in

Valorizzazione biotecnologica dei rifiuti e degli effluenti organici

**PRODUZIONE DI BIOGAS DAGLI SCARTI DELLA
LAVORAZIONE DEGLI AGRUMI**

CANDIDATO

Silvia Interlandi

RELATORE:

Prof. Lorenzo Bertin

Anno Accademico 2013/14

Sessione II

*A Giuseppe che continua a
sostenermi e guidarmi
con immenso amore.*

*Ai miei genitori che mi hanno
permesso di concludere la
difficile e lunga strada
della conoscenza.*

*A mia sorella che con la sua
pazienza e infinita comprensione
mi ha supportato in questi anni
di lontananza e grandi sacrifici.*

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
1.1 Premessa	1
1.2 Gli agrumi	2
1.2.1 Inquadramento tassonomico	2
1.2.2 Valori nutrizionali.....	4
1.2.3 Raccolta	5
1.2.4 Parametri di qualita'	7
1.2.5 Agrumi in Italia	9
1.3 Rifiuti dalla lavorazione degli agrumi	13
1.3.1 Premessa	13
1.3.2 Il pastazzo.....	15
1.3.3 Destino attuale degli scarti dalla lavorazione degli agrumi.....	17
1.3.3.1 Utilizzo del pastazzo di agrumi come alimento zootecnico	18
1.3.3.2 Utilizzo del pastazzo di agrumi per la produzione di compost.....	21
1.3.3.3 Estrazione di pectina dai residui dell'industria agrumaria.....	23
1.3.3.4 Utilizzo del pastazzo per estrarre fibre alimentari.....	25
1.3.3.5 Recupero di limonene dalla lavorazione degli agrumi	27
1.3.3.6 Estrazione di oli essenziali dalle bucce di agrumi.....	27
1.3.3.7 Produzione di bioetanolo dai sottoprodotti degli agrumi	28
1.3.3.8 Digestione anaerobica dei sottoprodotti della lavorazione degli agrumi.....	28
1.4 Digestione anaerobica	31
1.4.1 Premessa.....	31
1.4.2 Processo di Digestione Anaerobica.....	33
1.4.3 I batteri.....	39
1.4.4 Biochimica del processo.....	40
1.4.5 Cinetiche microbiologiche di reazione.....	41
1.4.6 Effetto della temperatura sulle cinetiche di reazione.....	42
1.4.7 Fattori che influenzano la produzione di biogas.....	43
1.4.8 Biogas: rese da varie materie prime agricole.....	46
1.4.9 Utilizzi del digestato.....	49
1.4.10 Tipi di Digestione Anaerobica.....	50

1.5 Quadro normativo	53
1.5.1 Premessa.....	53
1.5.2 Rifiuto e sottoprodotto.....	53
1.5.2.1 Art. 10 D.Lgs. 205/2010.....	54
1.5.2.2 Art. 12 D.Lgs. 205/2010.....	54
1.5.2.3 Nota 14843 della Regione Sicilia (1 Marzo 2012).....	55
1.5.3 Decreto 21 Maggio 2014: “Reimpiego scarti agrumi”.....	56
1.5.3.1 Sintesi del decreto.....	56
1.5.3.2 Definizioni (Art 2).....	57
1.5.3.3 Caratteristiche dei progetti (Art 4).....	58
1.5.3.4 Spese ammissibili e costi agevolabili (Art 5).....	59
1.5.3.5 Commissione di valutazione e criteri (Art 10).....	60
1.5.4 Certificati verdi.....	61
1.5.5 Evoluzione del sistema degli incentivi.....	62
1.5.6 DM 6 Luglio 2012: “Incentivi per energia da fonti rinnovabili elettriche non fotovoltaiche”.....	64
1.5.6.1 Inquadramento normativo e considerazioni preliminari.....	65
1.5.6.2 Novità introdotte dal D.M. 6 Luglio 2012.....	67
1.5.6.3 Incentivazione della produzione elettrica da fonte rinnovabile: quadro aggiornato.....	68
1.5.6.4 Determinazione degli incentivi per impianti nuovi.....	69
1.5.6.5 Modalità di accesso agli incentivi.....	73
1.5.6.6 Conversione del diritto ai certificati verdi in incentivo	74
1.5.6.7 Disposizioni specifiche biomassa, biogas e bioliquidi sostenibili (Art. 8).....	75
1.5.6.8 Premi per impianti a biogas che utilizzano tecnologie avanzate (Art. 26).....	78
1.5.6.9 Cumulabilità	80
1.6 Panorama impianti allestiti	80
1.6.1 Storia.....	80
1.6.2 Digestione anaerobica: situazione impiantistica europea	82
1.6.3 Digestione anaerobica: situazione impiantistica italiana	85
1.6.4 Digestione anaerobica: situazione impiantistica siciliana	88

2. SCOPO DELLA TESI	92
3. CASO STUDIO: IMPIANTO DI MUSSOMELI	94
3.1 Descrizione dell'impianto di Mussomeli (CL)	94
3.1.1 Premessa.....	94
3.1.2 Mercato delle biomasse in ingresso (analisi dell'offerta)	95
3.1.3 Aspetti ambientali derivanti dall'utilizzo delle biomasse	100
3.1.4 Potenzialità dell'impianto.....	102
3.1.5 Componenti dell'impianto di biogas	103
3.1.5.1 Prevasca - Fossa di raccolta di cofermenti non palabili	104
3.1.5.2 Distribuzione dei cofermenti non palabili.....	105
3.1.5.3 Dosaggio, trasporto e immissione della biomassa (cofermenti palabili)	106
3.1.5.4 Fermentatore	107
3.1.5.5 Riscaldamento del fermentatore	109
3.1.5.6 Tecnologia di miscelazione	110
3.1.5.7 Scarico (tubo di prelievo)	111
3.1.5.8 Postfermentatore	111
3.1.5.9 Stoccaggio finale	112
3.1.5.10 Sistema e condotta del gas	113
3.1.5.10.1 Percorso del biogas.....	113
3.1.5.10.2 Trattamento del biogas: desolforazione	115
3.1.5.10.3 Raffreddamento ed essiccazione	116
3.1.5.11 Copertura ermetica a telo	117
3.1.5.12 Motore e generatore.....	117
3.1.6 Caratteristiche dei materiali costituenti l'impianto	119
3.1.7 Apparecchi di sicurezza.....	119
3.1.7.1 Protezione contro sovrappressione	120
3.1.7.2 Controllore di depressione.....	120
3.1.7.3 Sensori	120
3.1.8 Ciclo Produttivo	121
3.1.8.1 Stoccaggio delle biomasse	121
3.1.9 Insilamento.....	122

3.1.9.1	Tecnica d'insilamento	122
3.1.9.2	Processi fermentativi nella massa insilata	122
3.1.10	Cogenerazione	123
3.1.11	Effetti della fermentazione sulla composizione del substrato fermentato	123
3.1.11.1	Descrizione generale del substrato fermentato	123
3.1.11.2	Analisi del substrato fermentato	124
3.1.11.3	Spandimento del substrato	125
3.1.12	Controllo e gestione dell'impianto	125
3.1.12.1	Generale	125
3.1.12.2	PLC	126
3.1.12.3	Archiviazione e controllo.....	126
3.1.13	Anomalie di funzionamento	127
3.1.13.1	Difetti tecnici al cogeneratore	127
3.1.13.2	Disturbi tecnici alle vasche	127
3.1.13.3	Rottura del telo.....	128
3.1.13.4	Rottura degli agitatori	129
3.1.13.5	Rottura delle condotte elettriche degli agitatori	129
3.1.13.6	Rottura della desolforazione	129
3.1.13.7	Rottura di una pompa del liquame	129
3.1.14	Sorveglianza del processo - Controllo della qualità del gas	129
3.1.15	Sicurezza sul lavoro	130
3.1.16	Norme relative alla tutela dell'ambiente e della salute	130
3.1.16.1	Tutela delle acque dall'inquinamento.....	130
3.1.16.2	Emissioni e contromisure.....	131
3.1.16.3	Emissione di calore	131
3.1.16.4	Biogas	131
3.1.16.5	Odore	132
3.1.16.6	Tutela acustica e dalle vibrazioni.....	132
3.1.17	Riferimenti normativi	133
3.1.17.1	Decreto Ministeriale 12-07-1990	133
3.1.17.2	Decreto Legislativo 29 dicembre 2003, n. 387	133
3.1.17.3	Decreto legislativo del 03 aprile 2006, n. 152	133

4. ELABORAZIONE DATI	135
4.1 Premessa	135
4.2 Il potenziale metanigeno	136
4.3 Il corretto dimensionamento di un impianto di biogas	137
4.3.1 Potenziale metanigeno con metodo statico	138
4.3.2 Potenziale metanigeno con metodo dinamico	139
4.3.3 Potenziale metanigeno con analisi chimiche	140
4.4 Analisi chimiche delle matrici in input all'impianto	141
4.4.1 Pastazzo di agrumi	142
4.4.2 Silomais	143
4.4.3 Pollina	144
4.4.4 Sansa di oliva	145
4.4.5 Insilato di sulla	146
4.4.6 Digestato	147
4.5 Bilancio di massa	148
4.6 Osservazioni progettuali	150
5. RISULTATI	153
5.1 Valutazioni sperimentali	153
5.1.1 Analisi di fattibilità economica	153
5.1.2 Produzione di biogas da solo pastazzo di agrumi	157
5.1.3 Produzione di biogas da solo silomais	158
5.2 Discussioni	160
6. CONCLUSIONI	163
Ringraziamenti	167
Bibliografia	168

1. INTRODUZIONE

1.1 Premessa

Negli anni la produzione di energia è rientrata a tutti gli effetti come attività agricola, soprattutto relativamente alla produzione di energia elettrica e termica da biomasse. Nei piani di sviluppo rurale, diverse sono le misure finalizzate ad appoggiare un modello di azienda agricola multifunzionale. Si lavora per promuovere un modello di filiera biomassa-energia sostenibile, che valorizzi le risorse locali e i sottoprodotti dell'agricoltura. La sostenibilità della filiera si basa innanzitutto sull'impiego dei sottoprodotti che altrimenti andrebbero inutilizzati; nel biogas in particolare vengono impiegati: residui di coltura (sfalci, colletti di bietola, stocchi di mais, paglia, frutta di scarto), vegetali e foraggi di scarsa qualità, liquami e letami degli allevamenti, bucce di pomodoro, vinacce, sanse di oliva, scarti di macellazione, in aggiunta a colture energetiche dedicate, quali: cereali, colza, girasole, foraggi. Inoltre è importante e necessario l'accesso agli incentivi sulla produzione di biogas, specialmente per i vantaggi che questa tecnologia permette di conseguire nella promozione di un'agricoltura sostenibile a salvaguardia dell'ambiente e a favore dell'intera economia nazionale. L'attuale tariffa omnicomprensiva ha permesso sicuramente un'accelerazione nell'avviamento di questi impianti sul territorio, creando i presupposti per la produzione di energia elettrica rinnovabile, diminuendo l'impiego delle fonti fossili. Oggi esistono tutte le condizioni perché si affermi, anche e soprattutto in una regione come la Sicilia, un modello di produzione di biogas basato sui piccoli impianti aziendali e interaziendali, comunque al servizio di imprese agricole e zootecniche locali. In particolare gli scarti della lavorazione degli agrumi rappresentano un rifiuto il cui corretto smaltimento ha rappresentato un costo con problemi non indifferenti per le aziende. Attualmente, infatti, il pastazzo di agrumi viene utilizzato come fertilizzante in agricoltura, come mangime per animali, additivo per alimentazione umana, compost, come fonte di sostanze ad alto valore aggiunto. Ma nessuna di queste soluzioni è stata sinora in grado di assorbire l'ingente quantitativo prodotto in Sicilia. Di recente il pastazzo è stato però individuato come componente nella produzione di biogas, avviando un

processo virtuoso di recupero degli scarti che, oltre a generare un ritorno economico, contribuisce a generare energia elettrica e termica rinnovabile. Un esempio di tale applicazione è l'impianto di produzione di biogas Nuova Scala di Mussomeli in provincia di Caltanissetta, che tratta, oltre al pastazzo di agrumi, anche insilato di sulla, silomais, pollina e sansa di olive. Costruendo impianti di biogas, l'agricoltura offre un importante contributo alla distribuzione di energia prodotta da fonti rinnovabili e allo smaltimento dei rifiuti organici.

1.2 Gli agrumi

1.2.1 Inquadramento tassonomico

Con il termine generico di *agrumi* vengono oggi indicate tutte quelle specie (arance, mandarini, pompelmi, pummeli, limoni, lime e cedri) conosciute e diffuse appartenenti principalmente al genere *Citrus*. Il termine prende origine dalla forma latina *cedrus*, che indicava alberi di cedro, pino e cipresso. La maggior parte degli agrumi oggi coltivati appartiene alla famiglia delle *Rutaceae* che comprende circa 160 generi e ben 1650 specie tra alberi e arbusti. A livello mondiale i frutti di agrumi sono divisi in cinque gruppi di significativa importanza economica: arance dolci, mandarini, pompelmi, limoni e lime. Altre specie quali l'arancio amaro, il pummelo, il cedro hanno minore importanza dal punto di vista commerciale. L'arancio dolce e l'arancio amaro, facilmente distinguibili per differenti caratteri morfologici e sensoriali, hanno origine parallela: entrambi derivano dall'incrocio tra il pummelo e il mandarino. Il mandarino è una delle tre specie originarie, capostipite degli agrumi coltivati, e la sua origine è molto antica. Il problema dell'inquadramento botanico di tali specie è ancora più complesso in considerazione dell'elevato numero di ibridi naturali intraspecifici e interspecifici esistenti oltre a quelli derivanti da incroci artificiali. Il pompelmo può essere considerato, in ordine di tempo, l'ultima specie di importanza commerciale a essere stata rinvenuta. È un ibrido derivato dall'incrocio naturale tra il pummelo e l'arancio dolce. Il pummelo, è un agrume oggi molto popolare in Cina e in vari altri paesi asiatici, mentre è pressoché sconosciuto in Occidente. Generalmente il frutto è molto grosso, il più grosso tra gli agrumi, e forse è proprio questo il motivo dello scarso successo riscontrato nei paesi europei. Essendo specie

1. INTRODUZIONE

autoincompatibile, si ibrida facilmente e nel tempo ha dato origine a numerose varietà molto variabili per forma e dimensione così come per la colorazione della polpa. Per quanto riguarda il limone, da recenti studi molecolari sembrerebbe che esso sia discendente dal cedro e dall'arancio amaro. Numerosi e molto diffusi sono oggi gli ibridi tra limone e cedro. Il cedro è una specie che ha dato origine a numerosi altri importanti ibridi di agrumi quali il bergamotto, il limone volkameriano, il limone rugoso. Infine le lime vengono commercialmente distinte in dolci e acide; queste ultime a loro volta vengono ulteriormente classificate a frutto grande e a frutto piccolo. (*Elisabetta Nicolosi, "Gli agrumi", 2012*).

L'importanza commerciale degli agrumi è enorme e i loro frutti, molto ricchi di vitamina C, si consumano non solo freschi ma anche trasformati in succhi, spicchi, conserve, gelatine e marmellate; si ottengono anche sottoprodotti per usi cosmetici e medicinali.



1.2.2 Valori nutrizionali

Dal punto di vista nutrizionale il frutto degli agrumi è di notevole interesse. Comunemente viene consumata la parte interna (l'endocarpo) sia cruda sia in preparazioni quali marmellate, conserve, succhi e sciroppi. Il pericarpo (flavedo + albedo) o scorza è utilizzato per canditi o per la preparazione di liquori. Gli agrumi sono importanti per la presenza dell'acido ascorbico (vitamina C). I mammiferi non sono in grado di sintetizzare l'acido ascorbico a causa della carenza della L-gulonolattone ossidasi, l'enzima che catalizza l'ultima reazione di sintesi dell'acido ascorbico. Esso pertanto deve essere assunto tramite la dieta, principalmente mediante consumo di frutta e verdura cruda. La vitamina assorbita si ritrova nella circolazione sanguigna come acido ascorbico (90-95%) e come acido deidroascorbico (5-10%). Essa è inoltre immagazzinata nei tessuti e negli organi, particolarmente nel surrene e nel fegato. Da un punto di vista chimico l'acido ascorbico esiste in due forme enantiomere (immagini speculari non sovrapponibili tra loro) ma solo una di esse, l'enantiomero è la vitamina C. Si tratta di un composto molto idrosolubile, spiccatamente acido, con pH circa 2,5. Un'importante peculiarità dell'acido ascorbico consiste nella sua spiccata capacità, in presenza di ossigeno o metalli, di ossidarsi formando acido deidroascorbico, anch'esso dotato di attività vitaminica. La sua capacità riducente non è solo spiccata ma anche reversibile, peculiarità che rende tale molecola unica tra gli antiossidanti naturali. In tal modo contribuisce significativamente alla neutralizzazione di radicali liberi dell'ossigeno donando un elettrone al tocoferil-radical e rigenerando così l'attività antiradicalica della vitamina E e contribuendo anche alla stabilità chimica della vitamina A, dell'acido folico e della tiamina. Per tali proprietà viene largamente impiegato quale additivo (tal quale o sotto forma di sale sodico, potassico o calcico) dall'industria alimentare. Esso inoltre riduce, a livello gastrico, la formazione di nitrosamine, composti cancerogeni. Come agente riducente partecipa anche ad altre reazioni nel nostro organismo, favorendo sia la riduzione dell'acido folico nelle sue forme coenzimatiche, sia la riduzione da Fe^{3+} a Fe^{2+} (*Fabio Galvano et al, "Gli agrumi", 2012*). Nella popolazione italiana adulta si raccomanda un livello di assunzione giornaliera di acido ascorbico di 60 mg, quindi considerando che mediamente arancia e limone

1. INTRODUZIONE

ne contengono 50 mg/100 g è possibile asserire che un consumo quotidiano di agrumi consente la pressoché totale copertura del fabbisogno giornaliero di vitamina C.

Tabella 1.1 Contenuto di vitamina C nei frutti di agrumi (“*Gli agrumi*”, 2012).

Specie	Vitamina C [mg 100 ml]
Arancia comune	40,0
Arancia rossa	60,0
Mandarini	25,0
Clementine	48,2
Limone	50,0

Infine gli agrumi del genere *Citrus* sono anche apportatori di vitamine del gruppo B, quale l'acido folico (anche detta vitamina B9, contenuta in particolare nelle arance), e di fibre insolubili e solubili (pectine). Tra i minerali si segnala un buon apporto di potassio.

1.2.3 Raccolta

Appena il frutto è staccato dalla pianta il processo di maturazione si interrompe e il frutto si avvia alla senescenza, che è accompagnata da un graduale declino degli acidi organici, della vitamina C, degli zuccheri e dell'attività respiratoria. A seconda delle varietà e dell'intensità dell'attività metabolica, tale declino può essere molto rapido (clementine, mandarini) o più lento (limoni, pompelmi, certe varietà di arancia). La temperatura di conservazione può rallentare o accelerare questi processi e quindi incidere significativamente sulla durata della vita post-raccolta. La conservabilità dei frutti è inoltre fortemente influenzata dalle condizioni igrometriche dell'ambiente di conservazione, da cui dipende in parte l'attività traspiratoria. Un'eccessiva traspirazione può portare al raggrinzimento

1. INTRODUZIONE

della buccia, alla perdita di consistenza, al distacco della rosetta e accelerare i processi di senescenza.

Le principali fasi di una catena o linea di lavorazione per gli agrumi sono le seguenti:

- ingresso nel bunker di alimentazione della linea: a seconda che la raccolta sia avvenuta con il posizionamento dei frutti in casse o cassoni;
- lavaggio dei frutti: può essere effettuato con un'apposita lavaspazzolatrice o per immersione completa in vasca; non di rado e sempre più frequentemente, in un'apposita sezione, viene effettuato anche il trattamento anticrittogamico con agrofarmaci autorizzati e il meno aggressivi possibile;
- trattamento con agrofarmaci: serve a creare una barriera all'attacco prevalente di *Penicillium* (muffa azzurra e verde);
- ceratura: ha due funzioni prevalenti: una cosmetica e una fisiologica (infatti diminuisce l'attività respiratoria e traspiratoria chiudendo gli stomi del frutto);
- selezione: è generalmente fatta a mano ma ora anche con macchine elettroniche, che possono individuare i frutti con difetti tali da essere scartati, da cui si ricavano tre categorie merceologiche: la extra, la prima e la seconda;
- calibratura: viene effettuata in funzione della disposizione delle macchine automatiche che provvederanno a dividere i frutti stessi nei calibri previsti;
- confezionamento: l'operazione consiste nel vestire al meglio i frutti alla fine delle linee di lavorazione: si mettono bollini, carte avvolgenti richiamanti messaggi gradevoli o immagini tipiche del territorio, si dispongono i frutti in strati ordinati e si inseriscono in imballaggi. Terminata l'opera di riempimento dei contenitori, inizia il loro posizionamento sui pallett, oltre che la legatura degli stessi con rete avvolgente, con materiale plasticato, o con angolari ben legati. A questo punto saranno i muletti elevatori a disporre le unità di carico sui camion e questi ultimi partiranno per le diverse destinazioni. (*Salvatore Spezziga et al, "Gli agrumi", 2012*).

1. INTRODUZIONE

Vi sono paesi nei quali il mercato interno assume notevole rilievo, con assorbimento di aliquote prossime o superiori al 40% (Italia, Turchia, Tunisia, Argentina), altri nei quali l'esportazione è prevalente o ha peso non molto dissimile dal mercato interno (Spagna, Marocco, Egitto, Sud Africa, Marocco), altri ancora in cui assolve un ruolo fondamentale e significativo l'industria dei derivati (Brasile, Stati Uniti, Argentina, Italia); infine vi sono paesi nei quali si rileva un certo equilibrio tra le diverse destinazioni (Israele, Grecia e in parte Argentina). (*Alessandro Scuderi et al, "Gli agrumi", 2012*).

1.2.4 Parametri di qualità

Specie e varietà condizionano dimensioni e forma del frutto degli agrumi, che può essere ovale, piriforme, sferico o appiattito ai poli. I frutti di agrumi hanno un periodo di sviluppo molto prolungato, variabile da 6 a oltre 12 mesi, in funzione della specie e delle varietà. Nell'emisfero settentrionale, il calendario di maturazione va sostanzialmente da settembre, con i limoni "primofiore", a luglio, con le arance tardive, non considerando i limoni a maturazione estiva. In generale la crescita del frutto, in termini di peso, segue un andamento a sigmoide semplice, con una terza fase più o meno prolungata. I frutti di agrumi hanno tassi di respirazione in genere bassi e, diversamente dai frutti climaterici, possono essere mantenuti sulla pianta per periodi più o meno lunghi dopo il raggiungimento della maturazione fisiologica con minime perdite delle caratteristiche qualitative. Gli indici chimici sono il contenuto in zuccheri e l'acidità titolabile della polpa. Il contenuto in zuccheri, espresso in °Brix, si determina con il rifrattometro. Il dosaggio dell'acidità totale esprime il contenuto di acidi presenti nel frutto ed è ottenuto neutralizzando gli acidi totali liberi presenti nel succo (acido citrico) con una soluzione 0,1 N di idrossido di sodio (NaOH) (*Paolo Inglese et al, "Gli agrumi", 2012*).

1. INTRODUZIONE

Tabella 1.2 Composizione chimica e valore energetico per 100 g di parte edibile (“*Gli agrumi*”, 2012).

Composizione chimica	Arancia	Limone	Pompelmo	Mandarino
Parte edibile [%]	80	64	70	80
Acqua [g]	87,2	89,5	91,2	81,4
Proteine [g]	0,7	0,6		0,9
Lipidi [g]	0,2	0	0,6	0,3
Colesterolo [mg]	0	0	0	0
Carboidrati disponibili [g]	7,8	2,3	0	17,6
Amido[g]	0	0	6,2	0
Zuccheri solubili [g]	7,8	2,3	0	17,6
Fibra totale [g]	1,6	1,9	6,2	1,7
Fibra solubile [g]	0,6		1,6	0,67
Fibra insolubile [g]	1		0,54	1,03
Alcol [g]	0	0	1,06	0
Energia [Kcal]	34	11	0	72
Energia [KJ]	142	46	26	303
Sodio [mg]	3	2	107	1
Potassio [mg]	200	140	1	210
Ferro [mg]	0,2	0,1	230	0,3
Calcio [mg]	49	14	0,3	32
Fosforo [mg]	22	11	17	19
Magnesio [mg]			16	
Riboflavina [mg]	0,05	0,01	0,05	0,07
Acido pantotenico	0,21	0,19		0,2
Vitamina B6	0,08	0,06		0,05
Vitamina C [mg]	50	50	tr	42
Vitamina E [mg]			40	

Tabella 1.3 Zuccheri nei frutti di agrumi (*“Gli agrumi”, 2012*).

Specie	Glucosio	Fruttosio	Saccarosio	TSS
Arance comuni	19,3	22,6	44,2	10,7
Arance rosse	24,0	30,0	46,9	12,5
Mandarini	12,2	11,5	70,8	11,6
Clementine	14,4	16,6	62,7	11,2
Limoni	7,8	7,7	4,1	7,6

1.2.5 Agrumi in Italia

L'agrumicoltura italiana nel 2010 contribuisce alla ricchezza del paese con un valore delle proprie produzioni, ai prezzi di base, che si attesta intorno a 1,4 miliardi di euro, incidendo per poco meno di un terzo del valore complessivo della frutta (fresca e secca). Nel suo insieme il comparto agrumicolo contribuisce a poco meno del 3% del valore dell'agricoltura nazionale, attestandosi su livelli sostanzialmente analoghi a quelli riscontrati alla fine degli anni '90 del secolo scorso. In Italia le superfici agrumetate, nel 2011, si attestano intorno ai 170.000 ettari, con una netta preponderanza di quelle arancicole (60,1%), seguite a notevole distanza dai "piccoli frutti", clementine e mandarini (22,2%), dai limoni (16,2%) e dalle "altre" (bergamotto, pompelmo ecc.) (1,1%). Riguardo alla distribuzione geografica degli investimenti, la Sicilia assume saldamente il ruolo di leader nazionale (58%), con quasi 95.000 ettari coltivati, seguita a notevole distanza dalla Calabria (27%), con poco più di 43.000 ettari investiti. Meno sviluppata l'agrumicoltura in Puglia (7%), con poco più di 11.000 ettari, in Basilicata (5%) e in Sardegna (2%), dove si coltivano appena oltre 8000 ettari. Residuale l'agrumicoltura nelle altre regioni d'Italia (1%), con meno di 1000 ettari di coltivazione.

1. INTRODUZIONE

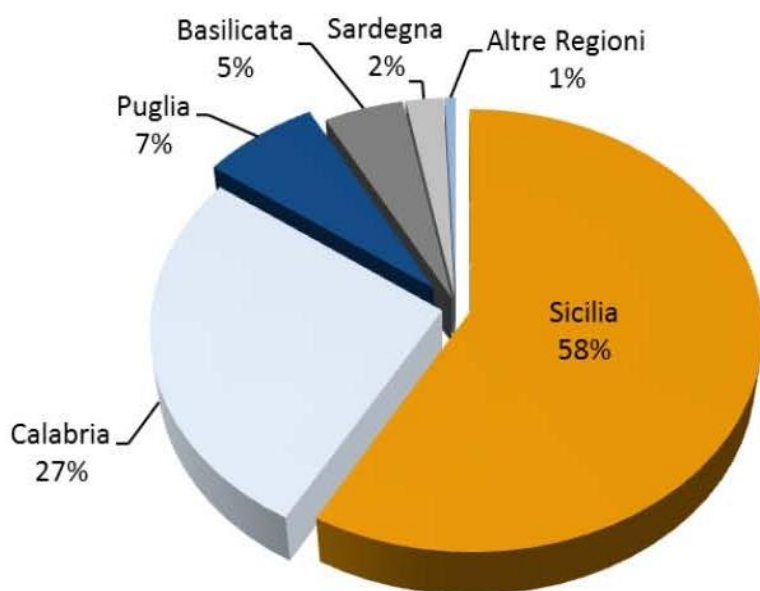


Figura 1.1 Superfici ad agrumi in Italia per regione (*stima ISMEA*).

Gli agrumi, trattandosi di specie sempreverdi, vedono il peggior nemico nelle basse temperature, ma non sopportano nemmeno la carenza d'acqua o gli eccessi d'umidità, l'eccessiva insolazione né i venti.

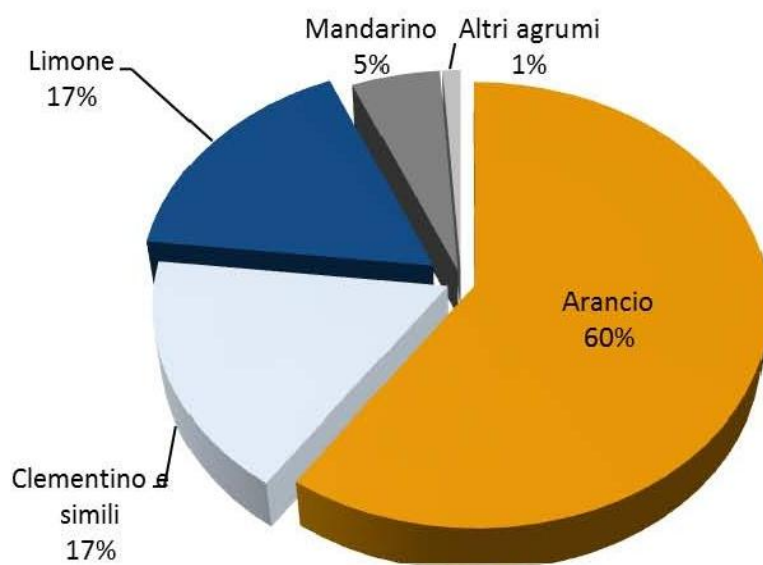


Figura 1.2 Superfici ad agrumi in Italia per specie (*stima ISMEA*).

1. INTRODUZIONE

La coltivazione degli agrumi si è diffusa con notevole facilità in Sicilia, dove ha trovato condizioni pedoclimatiche ideali per produzioni di particolare pregio. Gli agrumi coltivati nell'isola oggi sono concentrati prevalentemente lungo le fasce costiere tirrenica e ionica, nella Piana di Catania e in un breve tratto della costa meridionale, da Campobello di Mazara a Ribera. L'arancio, anche se interessa tutte le province, è concentrato per oltre il 40% delle superfici regionali nei territori di Catania, Siracusa, Enna e Agrigento. L'areale più importante è la Piana di Catania, con la coltivazione delle varietà pigmentate (Tarocco, Moro e Sanguinello), di grande interesse economico per gli operatori della filiera agrumicola siciliana. La disponibilità, negli ultimi anni, di nuovi cloni di Tarocco ha consentito l'ampliamento del calendario di produzione, con una raccolta che parte a dicembre per continuare fino a giugno. (Mario D'Amico et al, "Gli agrumi", 2012).



Figura 1.3 Agrumeto alle pendici dell'Etna.

1. INTRODUZIONE

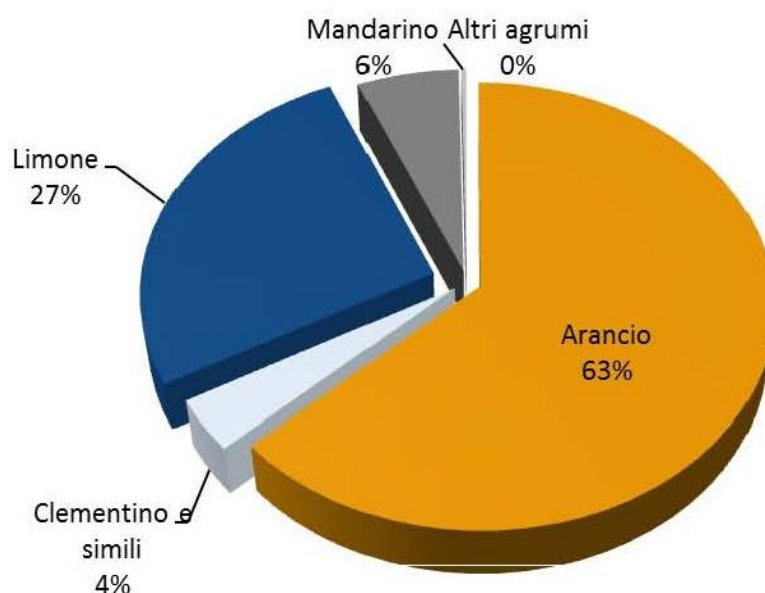


Figura 1.4 Superfici ad agrumi in Sicilia per specie (*stima ISMEA*).

L'eccellente qualità del prodotto ha permesso il riconoscimento con marchi come l'Arancia Rossa di Sicilia IGP; a partire dal 1992 l'Unione Europea, attraverso i Regolamenti 2081e 2082 con i quali si istituiscono le Indicazioni Geografiche Denominazione di Origine Protetta (DOP) e Indicazione Geografica Protetta (IGP), si dota di uno strumento normativo avanzato per la protezione delle produzioni agroalimentari e per il rilancio della cultura della qualità. Le DOP e le IGP offrono al consumatore una garanzia unica di trasparenza su metodi di produzione, genuinità e salubrità. Per ottenere la certificazione ed essere immesse al consumo con i rispettivi marchi, le denominazioni registrate devono, infatti, superare un rigoroso sistema di controllo. Nell'ambito delle produzioni agroalimentari e dei prodotti ortofrutticoli certificati, un peso notevole assumono gli agrumi, in particolare per l'Italia. Su 19 tipologie di agrumi riconosciute nel mondo, ben 12 denominazioni ricadono nel nostro paese, in Sicilia, Calabria, Campania e Puglia. L'Arancia Rossa di Sicilia IGP rappresenta la produzione agrumicola di eccellenza della Sicilia orientale, con una superficie di circa 32.000 ettari. Le arance sono raccolte da dicembre ad aprile. (*Giuseppe Pasciuta et al, "Gli agrumi", 2012*).



Figura 1.5 Localizzazione delle produzioni agrumicole di qualità DOP e IGP.

1.3 Rifiuti dalla lavorazione degli agrumi

1.3.1 Premessa

Tutti i processi di trasformazione utilizzati nell'industria agrumaria danno origine a tre prodotti principali: *succo*, *olio essenziale* e *pastazzo*. Le percentuali relative di ogni singolo componente per unità di prodotto trasformato, sono all'incirca del 35 - 45% per il succo, dello 0,2 - 0,5% per l'olio essenziale e del 55 - 65% per il pastazzo. I primi due costituiscono i prodotti principalmente vendibili, il terzo viene, invece, considerato sottoprodotto a basso valore o scarto di lavorazione.

1. INTRODUZIONE

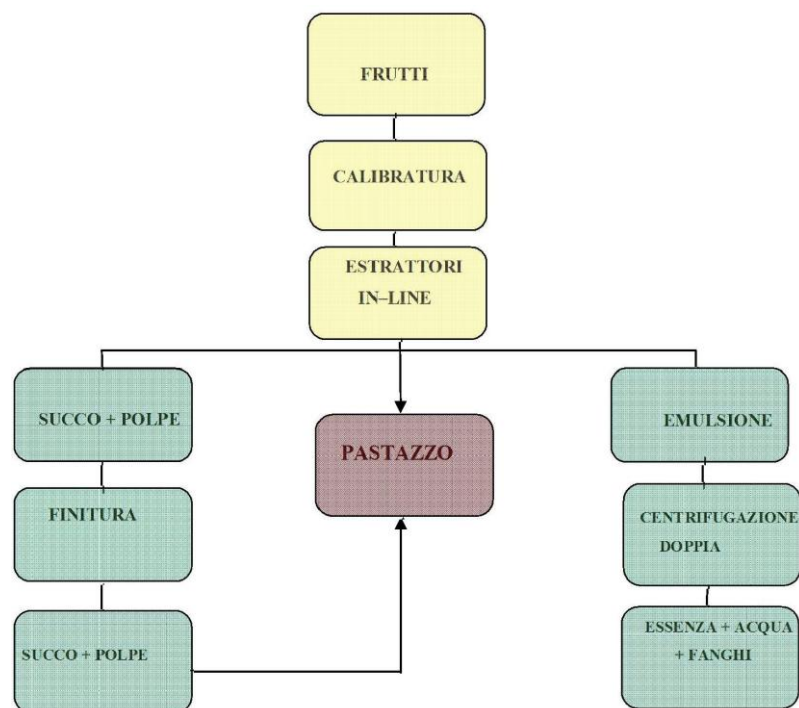


Figura 1.6 Estrazione contemporanea di succo ed essenza.

I principali sottoprodotti ottenuti da questo residuo sono: buccia secca, agrumi, D-limonene, pectine, solidi solubili, flavonoidi, limonoidi, fibra di buccia, oli di semi, alcool etilico, bucce in salamoia, canditi, prodotti di fermentazione, ecc.

Tabella 1.4 Incidenza percentuale delle varie parti che costituiscono i frutti in funzione della tipologia di agrume.

%	<i>Arancia</i>	<i>Limone</i>	<i>Mandarino</i>	<i>Pompelmo</i>
Buccia	20 – 40	30 – 45	25 – 35	34 – 36
Polpa	60 – 80	50 – 65	65 – 75	63 – 67
Succo	25 – 50	20 – 30	30 – 38	30 – 35

1.3.2 Il pastazzo

Il principale sottoprodotto dei processi di trasformazione dell'industria agrumaria, denominato comunemente "pastazzo", è una biomassa vegetale costituita da scorze, detriti di polpa, semi e frutti di scarto.

A fronte di un totale di agrumi annualmente trasformati in Italia di circa 1.200.000 t, le produzioni di pastazzo ammontano a quasi 720.000 t/anno. In generale dalla trasformazione di circa 1.000.000 – 1.300.000 t di agrumi si ottengono circa 500.000-600.000 t di pastazzo (*dati ISTAT*).

Le scorze e le polpe che rappresentano i maggiori costituenti del pastazzo sono formate principalmente da:

- acqua (mediamente 75- 85% in peso);
- mono e disaccaridi, composti principalmente da glucosio, fruttosio e saccarosio (6 -8%);
- polisaccaridi (pectina, proto pectina, cellulosa ed emicellulosa) pari a circa 1,5 -3%;
- acidi organici dallo 0,5-1,5% (citrico, malico, isocitrico);
- altre sostanze con spiccate proprietà biologiche quali vitamine, flavonoidi, amminoacidi, pigmenti, enzimi ed elementi minerali.

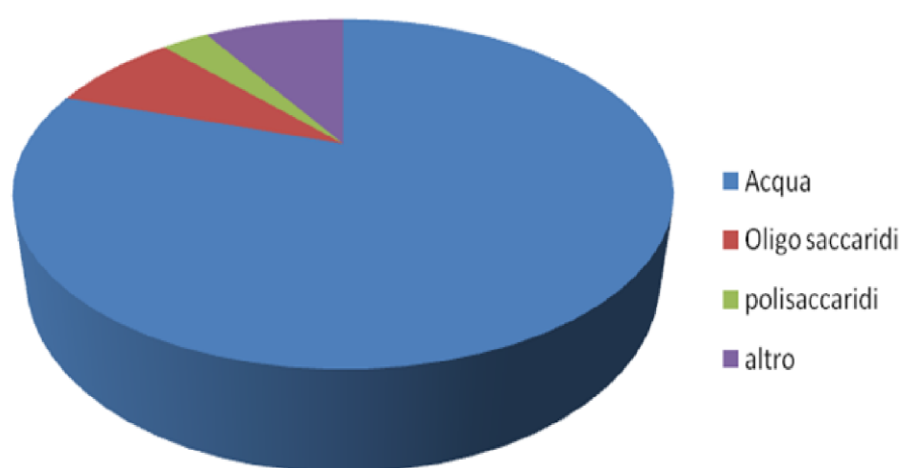


Figura 1.7 Composizione del pastazzo.

1. INTRODUZIONE

Nella tabella 1.5 sono riportati, per il pastazzo di limone, mandarino e arancio, i valori medi e le relative deviazioni standard del contenuto in carbonio organico, azoto totale, fosforo, potassio e degli altri elementi minerali, nonché il valore di pH e di umidità.

I dati si riferiscono ad una campagna di campionamenti realizzata presso due industrie di trasformazione di agrumi fra le più importanti operanti in Sicilia, entrambe ubicate nel comune di Milazzo, in provincia di Messina.

Tabella 1.5 Caratteristiche chimiche del pastazzo di agrumi.

Parametro	Unità di misura	Pastazzo di limone	Pastazzo di mandarino	Pastazzo arancio
C organico	%	45,8±1,0	45,6	45,4±0,5
N totale	%	1,4±0,2	1,1	1,2±0,2
C/N	----	34,5±4,8	41,4	38,5±6,9
K	%	0,96±0,13	0,84	0,91±0,22
P	%	0,14±0,01	91	0,13±0,02
Ca	%	0,79±0,10	0,81	0,77±0,09
Mg	%	0,10±0,02	0,09	0,09±0,01
Na	%	0,16±0,06	0,11	0,13±0,05
Cu	mg/Kg	8,5±2,0	8,0	9,3±4,5
Fe	mg/Kg	95,8±88,2	120,0	80,0±22,5
Zn	mg/kg	8,8±2,9	7,0	8,4±3,1
Mn	mg/kg	6,2±2,7	6,0	5,6±2,4
pH (sul tal quale)	----	3,40	3,72	3,70
Umidità (sul tal quale)	%	85,6±1,2	86,8	83,6±1,7
*i valori sono riferiti s.s.a 105°C				

Il pastazzo può essere impiegato allo stato fresco tal quale, ossia senza alcuna lavorazione successiva al processo di separazione dal succo e dagli oli

1. INTRODUZIONE

essenziali, oppure previa pressatura ed eventuale essiccazione, operazioni che consentono di ridurre (in modo significativo con l'essiccazione) gli oneri connessi allo stoccaggio e soprattutto al trasporto. Il pastazzo non essiccato si conserva per acidificazione naturale (insilamento). I possibili utilizzi del pastazzo di agrumi dipendono da numerosi fattori (variabilità stagionale della produzione e della domanda, costi di movimentazione, trasporto e stoccaggio), che condizionano la sostenibilità economica delle diverse modalità di impiego, determinando destinazioni ottimali diverse da caso a caso e anche da anno ad anno. (*Vincenzo Vacante et al, "Citrus-Trattato di agrumicoltura", ed. Edagricole*).

Le operazioni di estrazione del succo e degli oli essenziali, da cui si origina il pastazzo di agrumi, possono essere effettuate con differenti macchine operatrici. In relazione al tipo di agrume e di lavorazione la produzione di pastazzo fresco varia dal 49% al 69% in peso del frutto sottoposto al processo di trasformazione (*Martinez- Pascual e Fernandez-Carmona, 1980*); talvolta il pastazzo contiene anche acqua di processo assorbita durante le fasi produttive.

1.3.3 Destino attuale degli scarti dalla lavorazione degli agrumi

La composizione chimica degli scarti della lavorazione degli agrumi offre ampie possibilità di utilizzazione sia come fonte di sostanze ad alto valore aggiunto (pectine, flavonoidi, vitamine), sia come alimento zootecnico. Se fino al più recente passato la gestione dei rifiuti è stata considerata solo in un'ottica di smaltimento, l'obiettivo oggi perseguito è quello di ridurre la quantità degli stessi e di promuovere, nel contempo, proficue attività di recupero e di riciclaggio. A queste esigenze è rispondente anche la pratica del compostaggio, volta al recupero e alla valorizzazione di quei materiali organici, come il pastazzo, che, diversamente, vedrebbero quale ipotesi di collocazione alternativa il conferimento in discarica.

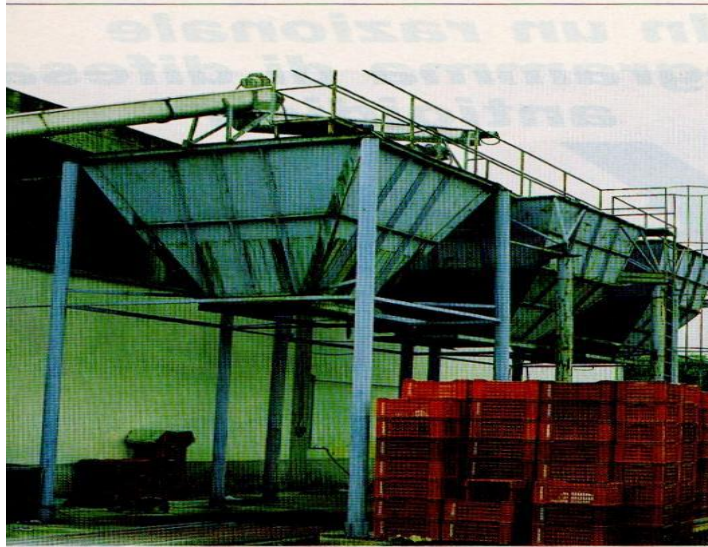


Figura 1.8 Sili di raccolta delle scorze e polpe triturate.

Dunque il pastazzo è utilizzabile anche per fini agronomici, come ammendante o come base per la produzione di compost; ne è stato inoltre proposto l'utilizzo come combustibile o come matrice organica per la produzione di bioetanolo e biogas.

Di recente si stanno sviluppando utilizzazioni ad alto valore aggiunto (quali la produzione di fibre ed altri prodotti per l'alimentazione umana), che finora hanno tuttavia interessato quantità di prodotto molto ridotte.

1.3.3.1 Utilizzo del pastazzo di agrumi come alimento zootecnico

Sin dalla nascita dell'industria di trasformazione agrumaria l'impiego più diffuso del pastazzo di agrumi (allo stato fresco, insilato o essiccato) è stato l'alimentazione zootecnica, soprattutto per l'elevato livello nutritivo dei propri componenti. Infatti, dal punto di vista normativo, le scorze di agrumi sono chiaramente ed esplicitamente definite in termini sia di prodotto agricolo, sia di alimento zootecnico. In particolare il D. Lgs. 360/99 riporta nell'allegato I la definizione generale dei mangimi e nell'allegato II include tra le materie prime per mangimi il "pastazzo di agrumi, sottoprodotto ottenuto per pressione degli agrumi durante la produzione di succo di agrumi". Si può stimare che tale destinazione assorba una quota, molto variabile fra le diverse industrie e fra le varie campagne agrumarie, di almeno il 70-80% della produzione annua. Potenzialità e

1. INTRODUZIONE

convenienza economica di tale utilizzazione sono limitate (in particolare nei comprensori a bassa densità zootecnica) dall'elevato contenuto di umidità, che rende onerosi i costi di trasferimento dell'unità di sostanza secca nello spazio (dall'industria di trasformazione all'utilizzatore) e nel tempo (dalla stagione di produzione agli altri periodi di utilizzazione nell'arco dell'anno). Allo stato attuale solo piccole quantità di pastazzo vengono essiccate per essere successivamente destinate all'industria mangimistica. Il grosso della produzione, invece viene in parte utilizzato tal quale per alimentazione animale o avviato allo smaltimento in discariche più o meno controllate.



Figura 1.9 Pastazzo di arance rosse.

Il pastazzo, caratterizzato in generale da una discreta appetibilità per gli animali (maggiore per il pastazzo di limone), viene utilizzato in sostituzione, generalmente parziale, delle fonti energetiche più comunemente utilizzate, quali i cereali. Le quantità somministrabili (da introdursi gradualmente nelle diete) dipendono dalla razza e dallo stato fisiologico del bestiame. Secondo la bibliografia la quantità massima di pastazzo umido o secco in una dieta equilibrata mista per animali adulti di media età senza spiccate attitudini produttive e di peso medio, è pari alle quantità indicate nella tabella di seguito riportata.

1. INTRODUZIONE

Tabella 1.6 Dose massima giornaliera e annua di pastazzo per tipologia di bestiame.

Tipologia capo bestiame	Tipologia prodotto	Dose giornaliera max (Kg)	Dose annua max (Kg)
Bovino	Umido	15	5.475
	Secco	4	1.460
Suino	Umido	6	2.190
	Secco	3	1.095
Ovino	Umido	5	1.825
	Secco	2	730
Caprino	Umido	4	1.460
	Secco	1	365

L'utilizzo allo stato fresco è possibile solo nel limitato periodo di tempo coincidente con la campagna di lavorazione prevalentemente in insediamenti zootecnici localizzati in prossimità delle industrie di trasformazione. La convenienza economica dell'utilizzo del pastazzo fresco in allevamenti distanti dal luogo di produzione è limitata essenzialmente dai costi di trasporto (che ne determinano principalmente il prezzo di vendita); le modalità di utilizzo sono anche condizionate dalle caratteristiche strutturali e gestionali dell'allevamento, quali la disponibilità di infrastrutture per l'insilamento, di sistemi meccanizzati di somministrazione e di tecniche mangimistiche adeguate. Il pastazzo di agrumi essiccato, oltre alla maggiore facilità ed economicità di trasferimento su lunghe distanze, è maggiormente apprezzato dagli animali rispetto al pastazzo fresco o insilato (Gohl, 1978; Bampidis e Robinson, 2006). Nelle regioni mediterranee una parte consistente della produzione di pastazzo di agrumi (circa il 40-50%) viene utilizzata come alimento zootecnico dopo l'essiccazione naturale.

1.3.3.2 Utilizzo del pastazzo di agrumi per la produzione di compost

Il compostaggio è un processo biologico di tipo aerobico caratterizzato da: stabilizzazione, igienizzazione e umificazione degli scarti organici. Nel contesto di una migliore valorizzazione dei sottoprodotti dell'industria agrumaria si inserisce la possibilità di utilizzare i residui di lavorazione degli agrumi, come matrice per la produzione di un compost di qualità. Il compost da pastazzo di agrumi rappresenta un ottimo ammendante per il recupero della fertilità organica e chimica dei suoli, dunque corregge e migliora la qualità di un terreno agricolo. Le caratteristiche precedentemente riportate mettono in evidenza il carattere di elevata qualità del pastazzo per quanto riguarda la composizione chimico - fisica. In particolare il rapporto C/N, il contenuto di acqua, la presenza di micro elementi e il bassissimo contenuto di metalli pesanti, fanno sì che questa tipologia di sottoprodotto dell'industria agrumaria, rappresenti una matrice idonea per la realizzazione di un processo di stabilizzazione mediante compostaggio.

Le fasi del processo di compostaggio sono:

- raccolta e caratterizzazione delle materie prime;
- miscelazione della biomassa;
- processo bio-ossidativo;
- maturazione della sostanza organica;
- condizionamento finale

Il processo di compostaggio può essere suddiviso in due fasi:

- fase attiva di bioossidazione accelerata in cui sono più rapidi ed intensi i processi degradativi a carico delle componenti organiche maggiormente fermentescibili; in questa fase si raggiungono elevate temperature, occorre drenare l'eccesso di calore e si ha un'elevata richiesta di ossigeno necessaria per le reazioni biochimiche;
- fase di maturazione in cui si completano i fenomeni degradativi a carico delle molecole meno reattive. Le esigenze di drenaggio di calore e quelle di adduzione di ossigeno al sistema sono minori rispetto alla fase attiva.

I fattori principali di controllo del processo che garantiscono le ottimali condizioni di sviluppo della microflora e che consentono di accelerare le reazioni di decomposizione e trasformazione sono:

1. INTRODUZIONE

- concentrazione di ossigeno : la permanenza a livelli superiori al 15% garantisce una condizione di perfetta aerobiosi indispensabile per il metabolismo batterico; ciò consente di ridurre i fenomeni putrefattivi;
- temperatura: si innalza come conseguenza del calore biogeno sviluppato dai processi degradativi; il suo accumulo nella massa dipende dall'equilibrio tra sviluppo di calore (legato alla fermentescibilità) e dispersione di calore (legato alla dimensione della massa e alla sua umidità).

Il compost ottenuto alla fine del processo non contiene residui visibili delle matrici di partenza e si presenta di colore scuro, omogeneo e di granulometria fine.



Figura 1.10 Evoluzione del pastazzo a compost.

In tabella sono riportati i dati chimico-fisici di maggiore interesse del compost e alcuni parametri , quali il contenuto in ceneri, in macroelementi e la conducibilità elettrica , che consentono delle valutazioni sulle potenziali destinazioni d'uso dell'ammendante prodotto.

Tabella 1.7 Parametri fisico chimici del compost e limiti di legge

PARAMETRO	C.-Conv.	C.-Biol.	Circolare MIPAF n.8/99
pH	8,4	8,5	8,5
Ceneri (%)	37,5	24,6	-----
C org. totale (%)	31	38	>25
N totale (%)	2,8	2,5	-----
P ₂ O ₅ (%)	2,3	0,7	-----
C/N	12	15	<25
Cd totale (mg/kg)	1,5	<0,5	1,5
Hg totale (mg/kg)	<0,1	<0,1	1,5
Zn totale (mg/kg)	320	99	500
Pb totale (mg/kg)	10	13	140
Conduc. elettrica (mS/cm)	2,08	1,78	-----

1. INTRODUZIONE

I risultati analitici indicano che i composti prodotti con i residui dell'industria agrumaria hanno delle caratteristiche di elevata qualità ambientale ed agronomica, rientrando ampiamente nei restrittivi limiti imposti dalle normative relative agli ammendanti organici.

1.3.3.3 Estrazione di pectina dai residui dell'industria agrumaria

Il pastazzo si può considerare una fonte di sostanze ad alto valore aggiunto, come ad esempio di pectina. Essa è un eteropolisaccaride composto dall'unione di più monosaccaridi differenti, estratto dalla frutta a partire dalla protopectina in essa contenuta. Le pectine formano dei colloidali gelatinosi, abbondanti nella parete cellulare della frutta: essi vengono idrolizzati con la maturazione da alcuni enzimi come la pectasi e la pectinasi. La pectina trova impiego nell'industria alimentare come gelificante, soprattutto nella realizzazione di marmellate e confetture. L'Europa è uno dei principali consumatori di pectina (600 t / anno). I produttori che utilizzano bucce di agrumi hanno scoperto che il loro concentrato di pectina non può essere utilizzato nella maggior parte delle applicazioni a causa del suo odore molto sgradevole. Per questo motivo, hanno prodotto pectina solida da precipitazione con alcool o sali. La situazione attuale del settore è il risultato di questa evoluzione verso la produzione di pectina in polvere. Negli ultimi anni, i produttori americani di pectina di mele hanno subito un aumento dei costi rispetto ai produttori di pectina da agrumi. Il risultato è stato che i produttori di pectina di agrumi dominano il mercato (*The Copenhagen Pectin Factory, 1998*). Attualmente, un fattore fondamentale per l'estrazione della pectina è il processo di lavaggio e il trattamento delle scorze di agrumi prima dell'essiccazione, così come il processo stesso di essiccazione (*Johnston, 2002*). Questi processi, insieme alla coagulazione e purificazione, costituiscono i punti critici del processo di produzione dal punto di vista ambientale. Il tradizionale processo di produzione è mostrato nella Figura 1.11.

1. INTRODUZIONE

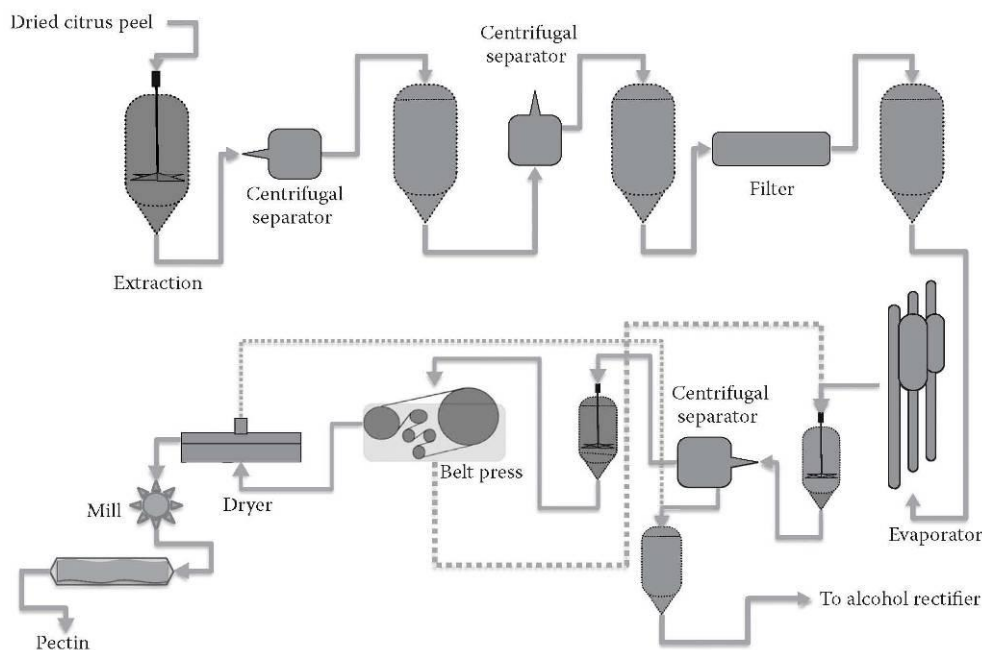


Figura 1.11 Diagramma di flusso per la produzione industriale di pectina da agrumi.

I processi possono essere raggruppati in fasi comuni a tutte le tecniche di produzione (*Transformación de Aditivos, 1998*) e mostrati in Figura 1.11.

La produzione industriale di pectina avviene attraverso le seguenti fasi: nella prima fase, le bucce di agrumi devono essere accuratamente lavate per eliminare il maggior numero di impurezze solubili, in quanto potrebbero compromettere l'ulteriore processo di purificazione. Le bucce vengono poi sottoposte ad un processo di essiccazione, che diminuisce il tasso di umidità e consente la stabilizzazione della buccia per lo stoccaggio, riducendo il costo di trasporto. Queste fasi sono di solito eseguite in strutture vicino agli impianti di produzione di succhi di agrumi. Nell'estrazione tradizionale, la buccia deve essere sottoposta al processo di inattivazione enzimatica. L'estrazione di pectina viene effettuata ad alta temperatura e in ambiente acido. Successivamente, una separazione centrifuga consente di ottenere un liquido molto fluido e torbido, che viene filtrato per ottenere un liquido chiarificato e concentrato. Viene aggiunto etanolo a questo concentrato, causando flocculazione. Poi, in un nuovo processo di separazione, il tutto viene premuto in una pressa a nastro, ottenendo la pectina imbevuta di etanolo. Questo materiale viene sottoposto ad essiccazione,

1. INTRODUZIONE

macinazione e raffinazione, lasciando una polvere bianca che è pectina commerciale. Questo schema di produzione presenta i seguenti inconvenienti: la necessità di un intenso trattamento del materiale grezzo che comporta la generazione di una grande quantità di rifiuti inquinanti, un processo di estrazione in mezzo acido ad alta temperatura, e una fase di purificazione in alcool che comporta elevati costi di installazione e di produzione e genera una grande quantità di scorie inquinanti. Pertanto, sono necessarie procedure alternative per stabilizzare le bucce di agrumi senza asciugatura, utilizzando altri processi di estrazione come la cavitazione o ultrasuoni, per purificare e asciugare la buccia senza flocculazione in etanolo. Gli sviluppi futuri nella produzione industriale di pectina avranno tali obiettivi.

1.3.3.4 Utilizzo del pastazzo per estrarre fibre alimentari

La fibra alimentare è nota da oltre 2000 anni in forme diverse (crusca, foraggi, ecc). Essa è definita dalla Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2000), come l'insieme di polisaccaridi e di materiali di scarto vegetale che sono resistenti all'idrolisi (digestione) dagli enzimi digestivi umani, e non possono essere metabolizzati o assorbiti. Dunque la fibra alimentare è vista come un componente naturale di cibo (*Cho et al., 1997*). Le fibre tradizionalmente utilizzate nella tecnologia alimentare provengono da cereali. Tuttavia, le fibre di frutta e verdura, anche se meno studiate, hanno maggiori qualità nutrizionali e tecnologiche. Recentemente, sono stati condotti studi di estrazione e composizione delle fibre di diversa provenienza. Nel caso di fibre alimentari da frutti, essi stanno guadagnando maggiore importanza rispetto a quelle di cereali perché presentano un rapporto più equilibrato di fibra dietetica totale (TDF), e quindi salvaguardano maggiormente la salute dei consumatori (*Borroto et al., 1995*). Il contenuto di TDF è influenzata anche dal metodo di estrazione. In generale, la maggior parte di frutta e verdura hanno valori compresi tra 1% e il 2,2% di TDF; i valori normalmente sono espressi in percentuale di peso dell'alimento (*Mongeau et al., 2001*). L'assunzione di fibra alimentare nei paesi sviluppati è carente, e diversi studi su linee guida alimentari consigliano un aumento del consumo di prodotti ricchi di fibre come frutta e verdura (*Gibney et*

1. INTRODUZIONE

al., 2000). In questo senso, la fibra ottenuta dalla scorza di agrumi costituisce una valida alternativa alla fibra a base di cereali.

Il processo di ottenimento di fibra alimentare da scorze di agrumi è descritto nella Figura 1.12.

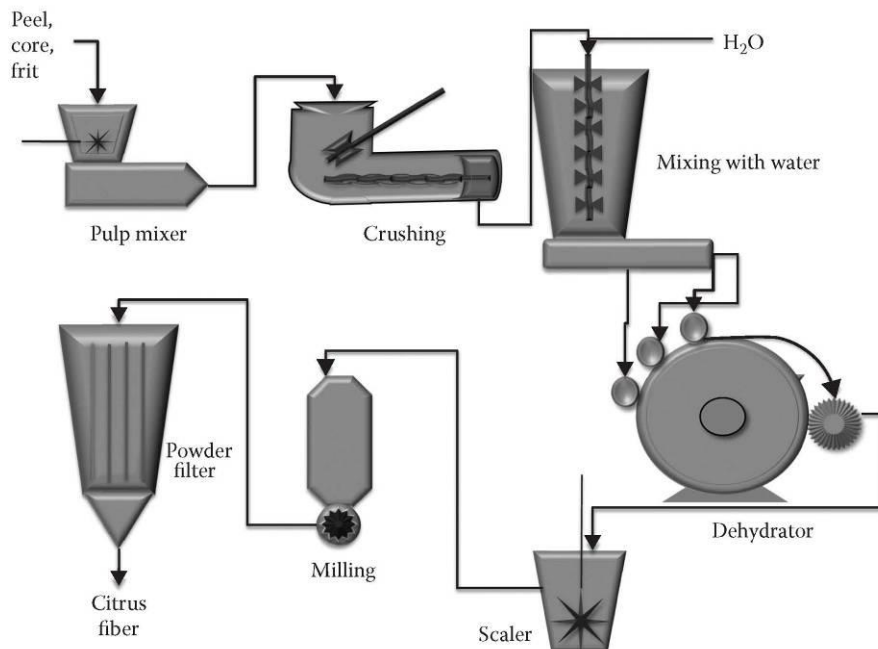


Figura 1.12 Produzione di fibre di agrumi.

La premiscela di nocciolo, buccia, e frutto è omogeneizzata e poi pressata. Viene aggiunta acqua a questa miscela omogenea in una proporzione variabile da 1:3 a 1:10; il tutto viene poi sottoposto a trattamento enzimatico chimico a temperatura controllata, che determina le caratteristiche finali della fibra ottenuta. Poi la massa trattata viene essiccata in un essiccatore rotativo, e ciò che ne risulta può essere frammentato in fiocchi asciutti. Questi fiocchi sono macinati e la polvere risultante viene setacciata fino a raggiungere la dimensione media delle particelle richiesta (MPS). Il tipo di fibra ottenuta dipende dalla fonte, dalla fase di trattamento con acqua e MPS. È chiaro che il metodo utilizzato determina la qualità della fibra alimentare. La migliore fonte di fibra alimentare è la buccia di arance varietà Navel e di limoni (*Figuerola et al., 2005*).

1.3.3.5 Recupero di limonene dalla lavorazione degli agrumi

Il limonene è un idrocarburo, che prende il suo nome dal limone; la buccia del limone, come gli altri agrumi, contiene grandi quantità di questo composto chimico, che è in gran parte responsabile dell'odore caratteristico. Il principale composto chimico presente in natura e di maggior interesse in campo industriale e merceologico è il D-limonene. Il limonene è comune nella produzione di prodotti cosmetici; dato il suo odore di arancia il D-limonene è usato nell'industria alimentare come insaporitore; è inoltre usato in botanica come insetticida. Infine è aggiunto ai prodotti detergenti per conferire loro un odore di arancia. L'uso di limonene sta aumentando notevolmente come solvente per la pulizia di superfici e può inoltre essere considerato un biocarburante.

Attualmente, ci sono tre modi per ottenere limonene come sottoprodotto di agrumi:

- recupero con un evaporatore, dal calore residuo che proviene dal processo di essiccazione della buccia;
- stripping sulla emulsione di olio essenziale, utilizzando estrattori senza centrifughe;
- distillazione.

Da un punto di vista commerciale, è interessante che l'industria di succo di agrumi crei una grande quantità di rifiuti, utilizzati per ottenere limonene. Il basso costo di limonene (2 - 7 €/ kg), estratto dai residui ha suscitato grande interesse per l'industria chimica. Per queste ragioni, il suo mercato è in espansione.

1.3.3.6 Estrazione di oli essenziali dalle bucce di agrumi

La buccia degli agrumi contiene numerose cellule dalle quali si può espellere l'olio. La buccia d'arancia fresca produce circa 0,54% di olio con il metodo di spremitura a freddo. L'olio di scorza di agrumi ha raggiunto una grande importanza commerciale nel condimento di diversi tipi di bevande, dolci e prodotti da forno. È utilizzato anche in cosmesi. La purezza degli oli di agrumi è determinata misurando il loro peso specifico, indice di rifrazione, rotazione ottica, e il contenuto di aldeidi ed esteri.

1.3.3.7 Produzione di bioetanolo dai sottoprodotti degli agrumi

I residui di lavorazione della frutta, contengono zuccheri che possono essere convertiti in etanolo attraverso la fermentazione. L'etanolo è una fonte di energia molto versatile perché può essere utilizzato come combustibile per il trasporto; tuttavia, la sua produzione è un processo costoso che coinvolge fermentazione e distillazione. Il vantaggio significativo del processo di conversione della biomassa in biocarburanti può consentire la sostituzione del 30% di carburanti convenzionali utilizzati globalmente per tutti i trasporti (*Perlack et al., 2005*). Sarebbe impossibile raggiungere questo obiettivo utilizzando etanolo solo a base di cereali. In questo senso, l'uso di scorze di agrumi come fonte di biomassa fermentescibile per il bioetanolo è una opzione molto interessante (*Choi et al., 2013*). In Florida si producono circa 4.000.000 di galloni di etanolo all'anno dai rifiuti degli agrumi. Il processo di produzione di biocarburanti attraverso la digestione anaerobica di frutta e scarti vegetali può essere suddiviso in quattro fasi. Nella prima fase, le materie prime come cellulosa, emicellulosa e lignina devono subire degradazione da enzimi extracellulari (*Veeken et al. 2000*). Nella seconda fase, i componenti organici solubili contenenti prodotti idrolizzati quali aminoacidi, zuccheri e acidi grassi a catena lunga vengono convertiti in acido, alcool, idrogeno e anidride carbonica. Nella terza fase, i prodotti acidificati sono convertiti in acido acetico, idrogeno e biossido di carbonio da acetogenesi. Nella quarta fase, il metano può essere prodotto attraverso metanogenesi da batteri metanogeni (*Bouallagui et al. 2005*). Tuttavia, a causa del basso contenuto di cellulosa nella frutta e nei rifiuti vegetali, i prodotti intermedi, come acidi grassi volatili, si formano più facilmente durante l'acidificazione, che a sua volta inibisce la successiva metanogenesi. Pertanto, il controllo del PH delle materie prime diventa estremamente importante (*Veeken e Hamelers 1999*).

1.3.3.8 Digestione anaerobica dei sottoprodotti della lavorazione degli agrumi

I rifiuti dalla lavorazione degli agrumi hanno un alto contenuto organico, costituito da vari

1. INTRODUZIONE

carboidrati solubili e insolubili, che rendono tale biomassa suscettibile e interessante per la digestione anaerobica (*Kaparaju e Rintala*).

In particolare il pastazzo rappresenta una biomassa per produrre biogas, con le seguenti caratteristiche:

- resa specifica in metano: 330 Nm³ di CH₄/ t SV;
- elevata acidità (gestione oculata dei carichi, monitoraggio attento per evitare acidosi);
- importanza del monitoraggio del processo biologico per evitare fenomeni di inibizione (acidosi).

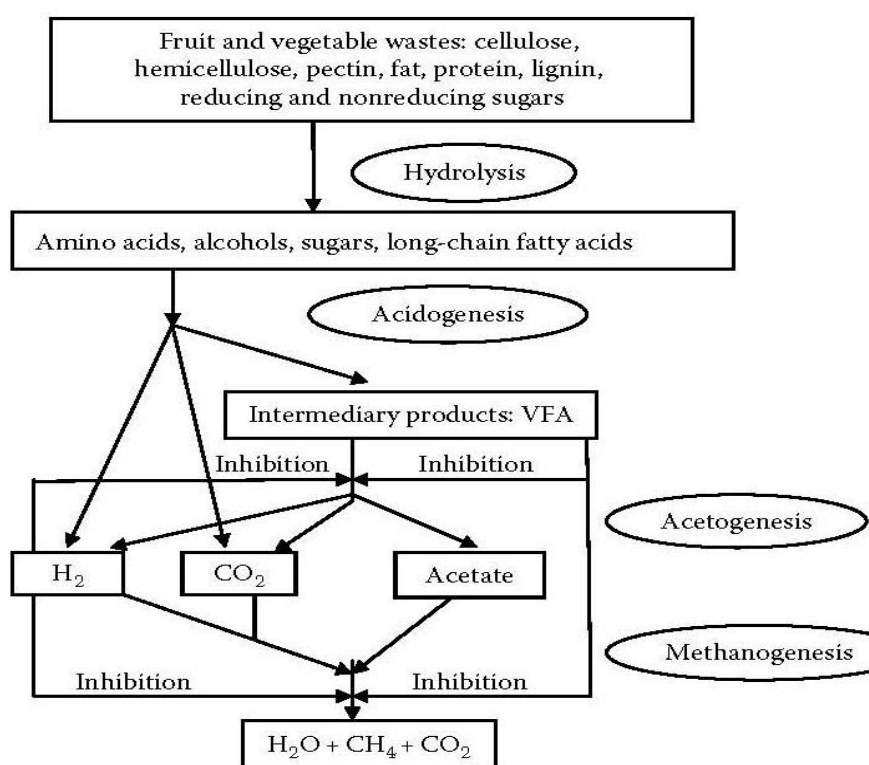


Figura 1.13 Digestione anaerobica di rifiuti da frutta e da verdura. (*Bouallagui et al., Process Biochem., 2005*).

Tuttavia, il problema principale di questi rifiuti è la loro disponibilità stagionale. Oltre a questo, una limitazione importante nella digestione anaerobica dei rifiuti di frutta e verdura è la rapida acidificazione di questi rifiuti (diminuzione del PH nel reattore) e la produzione di grandi quantità di VFAS, che inibiscono l'attività dei batteri metanogeni (*Bouallagui et al., 2005*). Inoltre la presenza di D-limonene nella buccia, e le acque reflue ostacolano il processo di digestione

1. INTRODUZIONE

anaerobica (*Mizuki et al.*). Nonostante il noto effetto inibitorio del D-limonene, vari sono i processi sviluppati per utilizzare efficacemente il pastazzo per la produzione di biogas. Questi processi consistono tipicamente nella riduzione delle dimensioni (*Kaparaju et al.*), accoppiata con pretrattamento a vapore, distillazione (*Martin et al.*), estrazione con solvente (*Nguyen*), e aggiunta di enzimi (*Srilatha et al.*). Dunque i processi coinvolti per la digestione anaerobica necessitano di un pretrattamento per rimuovere il limonene, ad esempio aerazione, prima di essere digeriti in un CSTR (continuously fed stirred tank reactor) (*Martinez e Andreu et al.*).

Kaparaju et al. hanno recentemente riportato i risultati di esperimenti fatti sui rifiuti dagli agrumi, concludendo che essi anaerobicamente digeriti possono essere utilizzati in modo sicuro. Tutti gli esperimenti di digestione anaerobica sono stati effettuati a temperatura termofila, ed è stato utilizzato un processo leach-bed per produrre biogas dai rifiuti di agrumi e per valutare il potenziale di biometanazione di queste materie prime.

Le bucce di arancia sono state prontamente convertite in biogas: in 25 giorni è stato prodotto un totale di 0,627 m³ di metano. Non è stata osservata nessuna tossicità dall'olio della buccia durante le esecuzioni di digestione. Anche le acque reflue dalla lavorazione degli agrumi sono un ottimo substrato per la digestione anaerobica. Sulla base del potenziale di biometanazione, è stato stimato che il biogas prodotto mediante digestione anaerobica di scarti di agrumi può essere utilizzato come combustibile per generare elettricità, anche per soddisfare il fabbisogno di calore di processo degli impianti.

I valori di rendimento di metano misurati sperimentalmente, sono stati utilizzati per stimare l'energia elettrica e termica prodotta in un piccolo impianto di trattamento di agrumi in Florida. Tale impianto, ad esempio, produce 162.000 t di agrumi ogni anno. L'impianto consuma 324.000 kWh di elettricità all'anno e 50.064 MMBtu / anno (52.817 GJ / anno) di combustibili fossili sotto forma di olio combustibile e gas. Il consumo totale di energia della struttura di trasformazione (combustibili fossili ed energia elettrica) è 55.592 MMBtu / anno (58.650 GJ). La generazione di biogas, forma di energia utilizzabile, dai rifiuti della lavorazione degli agrumi allevia l'uso di combustibili fossili per produrre energia.

1.4 *Digestione anaerobica*

1.4.1 *Premessa*

Per biomassa si intende «la parte biodegradabile dei prodotti residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze animali e vegetali), dalla silvicoltura e da industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani». (D. Lgs. 387/2003 art.2 comma 1, lett.a).

Le biomasse possono essere distinte in:

- residuali, cioè originate da processi agricoli, industriali e civili di trasformazione e di utilizzazione degli alimenti e della sostanza organica in genere (reflui zootecnici, scarti di industrie alimentari, sottoprodotti della lavorazione del legno, FORSU, scarti vegetali vari da potature e manutenzione del verde pubblico, etc.).
- dedicate, prodotte cioè in alternativa a quelle alimentari per scopi energetici.

Per quanto riguarda la seconda categoria di biomasse si deve considerare il fatto che, sottraendo terreno alle colture alimentari, tale uso comporterebbe un aumento dei prezzi delle materie prime (EPI, *Earth Policy Institute*).

Le biomasse elencate possono essere sottoposte a diversi processi di trasformazione (figura 1.18).

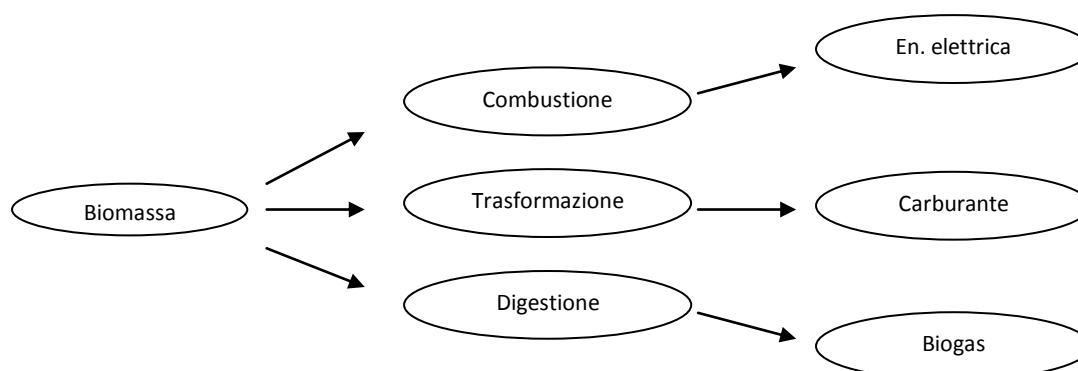


Figura 1.14 Processi di trasformazione della biomassa (Ragazzoni A., 2010).

La direzione strategica verso cui si muove il sistema industriale è il recupero e la valorizzazione di fonti considerate rifiuti da smaltire, ad oggi valutate come sorgente di oneri economici. Queste possono essere efficacemente convertite in nuovi materiali ad alto valore economico aggiunto. La convergenza tra normativa

1. INTRODUZIONE

e recupero energetico ha fatto sì che negli ultimi dieci anni la digestione anaerobica si diffondesse in molti Paesi europei tra cui l'Italia. In Italia il rinnovato interesse si deve anche all'introduzione degli incentivi.

La digestione anaerobica è la fermentazione di rifiuti organici in assenza di ossigeno (*Abbasi et al. 2012*). Tale capacità di alcuni ceppi batterici viene sfruttata in appositi impianti per la produzione di biogas. Il nucleo centrale di questi impianti è il digestore (uno o più) che viene alimentato con un substrato di biomasse e in cui avvengono le reazioni di degradazione. All'interno del reattore si crea un ambiente con determinate caratteristiche (PH, temperatura, composizione) che favorisce il metabolismo di alcuni tipi di batteri. Il prodotto della digestione anaerobica è un biogas ricco di energia costituito per il 50÷70% da metano e per la restante parte soprattutto da CO₂, ed avente un potere calorifico medio dell'ordine di 23.000 KJ/Nm³. Il biogas così prodotto viene raccolto, essiccato, compresso ed immagazzinato e presenta un ottimo potere calorifico dato l'elevato contenuto in metano, per cui si presta ad una valorizzazione energetica per combustione diretta, attuata in caldaia per sola produzione di calore, o in motori accoppiati a generatori per la produzione di sola elettricità o per la cogenerazione di elettricità e calore. Gli impianti termoelettrici a biogas effettuano quindi la conversione dell'energia termica contenuta nel biogas in energia meccanica e successivamente in energia elettrica. L'altro prodotto della digestione è il digestato ricco di sostanze nutritive; esso può essere separato all'interno di un opportuno separatore in una frazione liquida e in una solida. Il liquido ha delle caratteristiche che lo rendono idoneo alla fertirrigazione e il solido può essere usato come ammendante agricolo, sempre entro i limiti normativi. La digestione anaerobica fornisce una soluzione per la conversione dei rifiuti in energia e compost e per prevenire l'inquinamento (*Wellinger 2007*). La produzione di biogas è uno dei metodi più efficienti e rispettose dell'ambiente, in quanto permette estrazione di energia da biomassa (*Weiland 2010*). I digestori anaerobici sono stati originariamente progettati per il trattamento di fanghi di depurazione e concime animale. Il biogas viene prodotto ormai da letame, liquami, rifiuti biodegradabili, discariche, colture energetiche e rifiuti industriali e urbani. Quasi tutto il materiale putrescibile può essere digerito. La recente

1. INTRODUZIONE

diffusione nel mondo occidentale ha visto anche un cambiamento per la digestione anaerobica, che non è più solo una opzione di trattamento dei rifiuti; ora colture energetiche vengono coltivate appositamente per essere sottoposte a digestione anaerobica. Esempi comuni di colture energetiche sono granturco, miscanto, sorgo e trifoglio (*Al Seadi et al. 2008*).

1.4.2 Processo di Digestione Anaerobica

Si può riassumere la descrizione delle fasi della digestione anaerobica, dei batteri che vi prendono parte, dei principali composti generati e delle loro relazioni quantitative in un unico grafico (figura 1.15). Il processo biodegradativo si compone delle seguenti fasi: una prima fase di idrolisi dei substrati complessi accompagnata da acidificazione con formazione di acidi grassi volatili, chetoni ed alcoli; una successiva fase acetogenica, in cui, a partire dagli acidi grassi, si ha la formazione di acido acetico, acido formico, biossido di carbonio ed idrogeno molecolare, ed, infine, un'ultima fase in cui, a partire dai prodotti della fase precedente, si osserva la metanizzazione, cioè la 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.

1. INTRODUZIONE

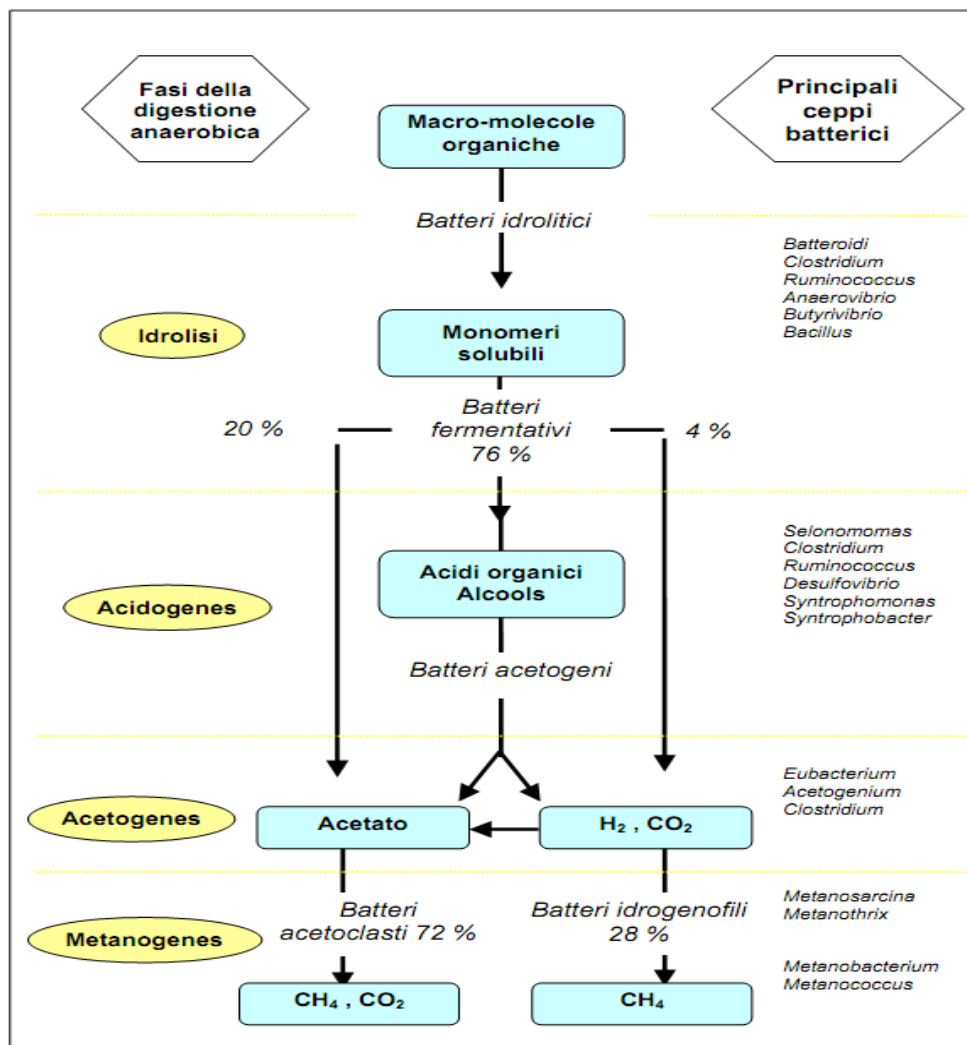


Figura 1.15: Schema generale del processo di digestione anaerobica (*Digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti solidi, APAT*).

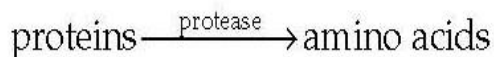
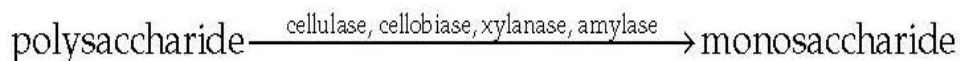
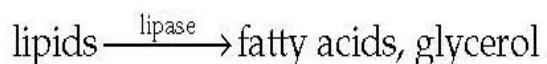
Il processo di digestione anaerobica si verifica in quattro stadi di reazione. Le reazioni possono essere descritte come segue:

1) Idrolisi

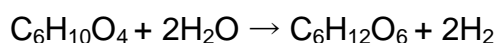
In questa prima fase, per intervento di diversi gruppi batterici, si ha la degradazione di substrati organici complessi, quali proteine, grassi e carboidrati, con formazione di composti semplici, quali aminoacidi, acidi grassi e monosaccaridi in forma solubile. In particolare, i microrganismi idrolizzanti possono colonizzare il materiale particolato e degradarlo, oppure produrre enzimi extracellulari in grado di scindere le molecole organiche complesse in oligomeri e

1. INTRODUZIONE

monomeri che sono quindi resi disponibili per il trasporto all'interno delle cellule di microrganismi acidogenici fermentanti. Questi operano generalmente l'ossidazione dei substrati organici semplici a piruvato che viene poi trasformato in acidi grassi volatili, alcoli e chetoni che rappresentano i substrati di partenza per la successiva fase acetogenica. L'accumulo di aminoacidi e zuccheri può inibire il processo di idrolisi, a causa dell'interferenza nella produzione ed attività degli enzimi idrolitici. L'idrolisi è catalizzata dagli enzimi escreti dai batteri. La velocità di idrolisi dipende dalla complessità della materia prima: i carboidrati vengono convertiti molto rapidamente, mentre i rifiuti cellulósici grezzi vengono trasformati lentamente (*Ostrem e Themelis 2004*). Le principali reazioni e batteri sono i seguenti (*Al Seadi et al 2008*):

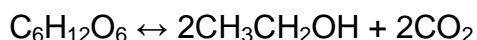


Una reazione di idrolisi è la seguente:



2) Acidogenesi o fermentazione

I batteri convertono i prodotti di idrolisi in acidi grassi volatili (VFAS, principalmente lattici, propionico, butirrico e acido valerianico), acetati, alcoli, ammoniaca, anidride carbonica e idrogeno solforato, come mostrato nelle seguenti equazioni:

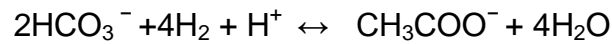
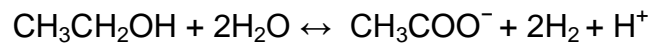
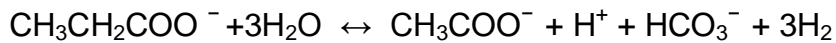


3) Acetogenesi

I batteri acetogeni agiscono sul substrato formatosi a seguito della fase di idrolisi e acidificazione, che è costituito essenzialmente da acidi volatili e alcoli,

1. INTRODUZIONE

producendo acido acetico, acido formico, anidride carbonica e idrogeno attraverso percorsi visualizzati nelle seguenti equazioni:



Questo meccanismo può essere limitato dalla presenza di idrogeno molecolare nel mezzo; se però viene mantenuto a basse concentrazioni tramite i batteri metanigeni ossidanti (batteri idrogenotrofi), la degradazione degli acidi grassi ad idrogeno per mezzo dei batteri acetogeni è resa più probabile, nonostante la formazione di idrogeno sia energeticamente sfavorita. Bisogna considerare due differenti meccanismi a seconda che la degradazione avvenga a partire da acidi grassi a catena lunga (LCFA, long chain fatty acids) o a catena corta (SCFA, short chain fatty acids, o VFA, volatile fatty acids). In generale, si definiscono acidi grassi a catena lunga quelli con più di 5 atomi di carbonio.

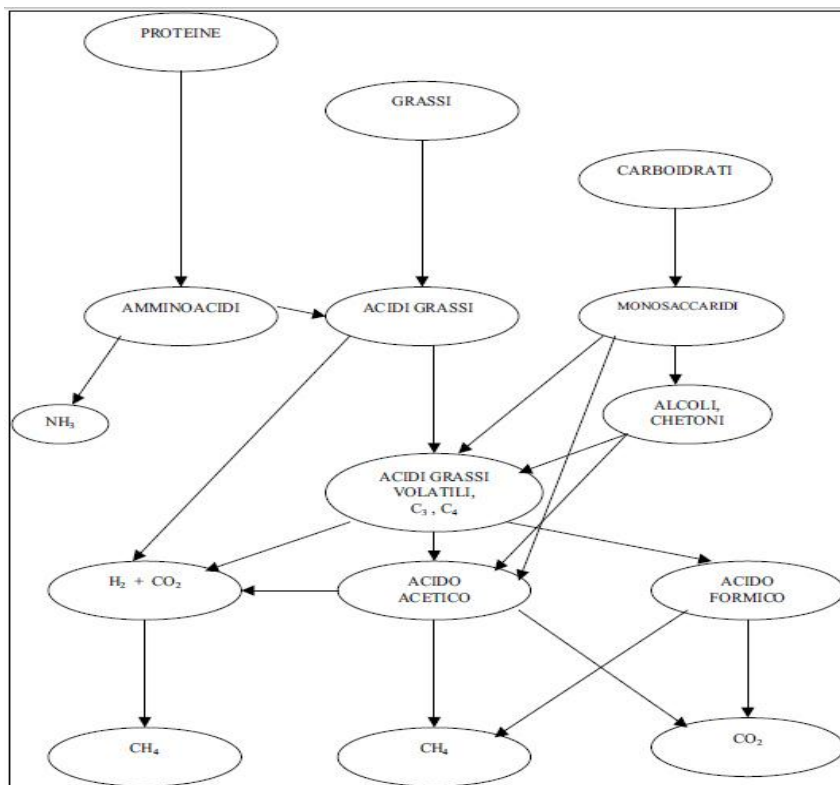


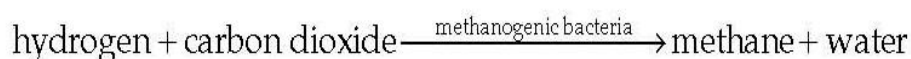
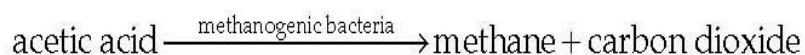
Figura 1.16: Diagramma complesso delle diverse fasi coinvolte nel processo di digestione anaerobica (Gujer e Zehnder, 1983).

1. INTRODUZIONE

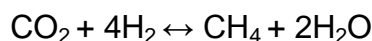
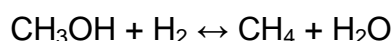
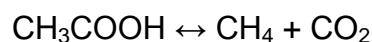
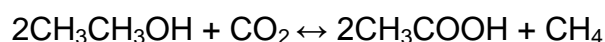
4) Metanogenesi

La catena trofica anaerobica si conclude con la produzione di CH₄, che è l'unico composto non reattivo e può per tanto essere considerato il prodotto finale dell'intero processo. La produzione di metano è operata da due diversi tipi di batteri: idrogenotrofi e acetoclasti. I primi compiono un'ossidazione anaerobica dell'idrogeno, mentre gli ultimi trasformano l'acido acetico in metano e biossido di carbonio tramite una dismutazione anaerobica. Questi due ceppi di batteri hanno un ruolo fondamentale all'interno della catena trofica anaerobica: da un lato degradano l'acido acetico e quello formico a metano eliminando gli acidi grassi dal mezzo ed arrestando l'inibizione dei fenomeni di degradazione dei substrati organici per eccesso di acidità, dall'altro tengono bassa la concentrazione di H₂ in modo tale da consentire la conversione degli acidi grassi a catena lunga e degli alcoli ad acetato ed H₂. Infatti, se l'azione dei batteri idrogenotrofi viene rallentata, si ottiene un accumulo di H₂ nel mezzo, con il conseguente rallentamento della produzione di metano, mentre la via acetoclastica viene inibita a causa dell'elevata concentrazione di acido acetico. Per valori di PH bassi (inferiori a 5) la concentrazione dell'acido acetico in forma indissociata può essere così elevata da risultare superiore alla capacità di metabolizzazione della cellula, e si ha quindi inibizione del processo.

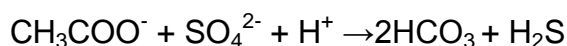
Le principali reazioni e i batteri sono i seguenti:



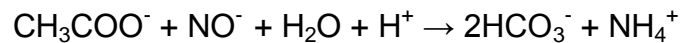
Le reazioni che si verificano sono riportate nelle seguenti equazioni:



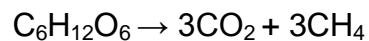
Altre reazioni collaterali importanti sono date dalle seguenti equazioni:



1. INTRODUZIONE



Un'equazione generica semplificata per l'intero processo è la seguente:



La figura 1.17 quantifica percentualmente la distribuzione nei diversi cammini metabolici coinvolti nel processo di digestione.

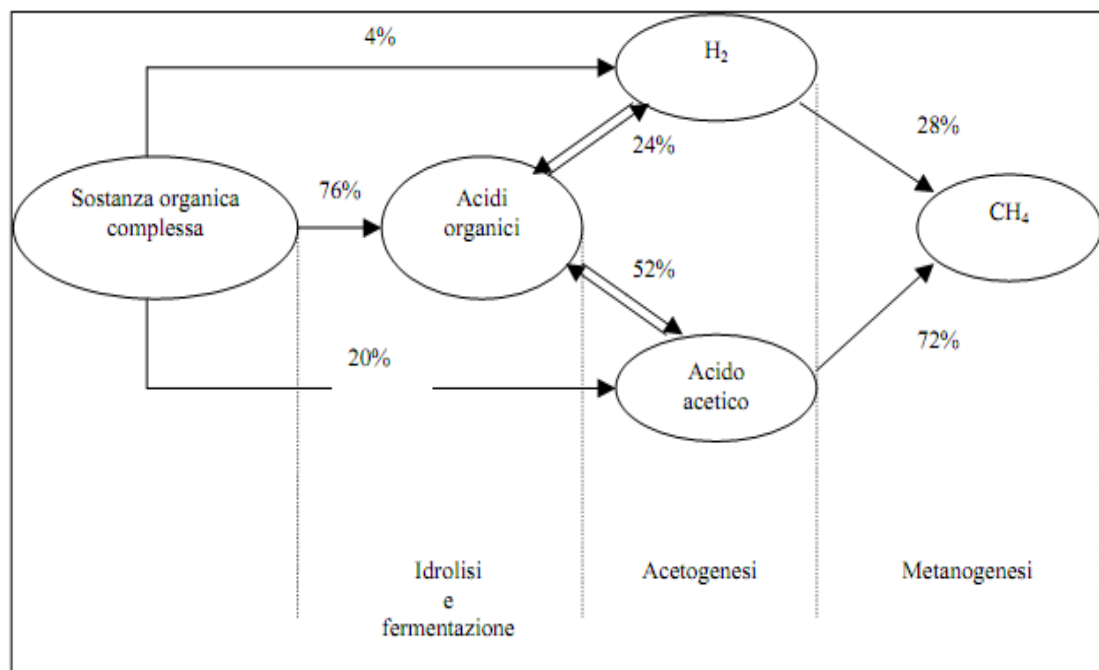


Figura 1.17 Schema di flusso quantitativo dei diversi cammini metabolici del processo di digestione anaerobica.

Come mostrato nelle equazioni, nel processo vengono generati solfuro di idrogeno ed ammoniaca. Pertanto, il digestato richiede invecchiamento in un compostaggio aerobico per ridurre l'ammoniaca in nitrati e ridurre eventuali odori prima dell'applicazione come fertilizzante. Ostrem afferma che i batteri metanogeni hanno un tasso molto più lento di crescita rispetto agli acidogeni, dunque la metanogenesi è tipicamente la fase critica di passaggio.

1.4.3 I batteri

In base al comportamento in presenza di ossigeno molecolare libero i batteri possono essere divisi in:

- aerobi stretti, che degradano il substrato in presenza di ossigeno, muoiono in assenza di ossigeno;
- aerobi facoltativi, attivi sia in assenza sia in presenza di ossigeno che viene usato in tal caso per l'attività enzimatica. Se l'ossigeno è assente può essere usata un'altra molecola per degradare il substrato, ad esempio il nitrato. Questi microorganismi si trovano in larga misura sia nei processi aerobici sia in quelli anaerobici. Durante la degradazione del substrato gli anaerobi facoltativi, ad esempio l'Enterobacter, producono una grande varietà di acidi, di alcoli, idrogeno e CO₂ da carboidrati, proteine e lipidi;
- anaerobi, inattivi in presenza di ossigeno e possono essere divisi in due sottogruppi: quelli che tollerano la presenza di ossigeno e quelli che sono intolleranti alla presenza di ossigeno chiamati anche anaerobi stretti. Alcuni anaerobi, come lo Streptococco, sono produttori di acidi forti, altri come il Desulfomarculum, riducono il solfato a solfuro di idrogeno (H₂S).

Vi sono anaerobi che sopravvivono dunque alla presenza di ossigeno ma la loro attività cellulare è ridotta, mentre gli anaerobi stretti, come ad esempio quelli responsabili della metanogenesi, muoiono in presenza di ossigeno.

I gruppi microbici interagenti tra loro nella digestione anaerobica sono riconducibili a tre gruppi principali:

- batteri idrolitici;
- batteri acidificanti;
- batteri metanigeni.

I digestori anaerobici possono funzionare in condizioni mesofile, termofile o psicrofile. La digestione mesofila è nell'intervallo 20 - 45 °C, con digestione ottimale tra 30 °C e 38 °C. La digestione termofila si verifica fino a 70 °C, con digestione ottimale tra 47 °C e 57 °C. La digestione psicrofila avviene a basse temperature (<20 °C), con temperature ottimali tra 15 °C e 20 °C. La stabilità del reattore è inversamente proporzionale alla temperatura di digestione, con basse temperature che offrono la massima stabilità. Inoltre le temperature più basse

1. INTRODUZIONE

richiedono grandi vasche di digestione a causa del tasso di digestione lenta. Pertanto, la digestione mesofila è considerata più stabile ed è più tollerante di cambiamenti rispetto alla digestione termofila, ma richiede tempi di permanenza più lunghi, e quindi digestori più grandi. La digestione termofila richiede un input di energia superiore alla digestione mesofila; tuttavia, viene rimossa più energia dalla biomassa, con velocità di reazione più rapida e maggiore sterilizzazione del prodotto digerito (OCSE 2010). La digestione psicofila dà rendimenti globali di metano paragonabili alla digestione mesofila; tuttavia, i tassi di produzione sono così lenti che le dimensioni del digestore sono in genere troppo grandi per essere economiche (Safley e Westerman 1990).

I digestori mesofili sono i più comuni per i motivi di cui sopra, ma anche perché i batteri mesofili sono i batteri più importanti e più comunemente presenti in natura, nella maggior parte delle materie prime. Viceversa, i batteri termofili e psicofili sono abbastanza rari, e in genere devono essere seminati nel digestore (Schanbacher 2009).

La presenza di adeguate colonie batteriche è essenziale per una digestione efficiente. Fonti ottimali di batteri includono concime animale, rifiuti di macellazione e liquami. Per questo motivo, i reattori possono essere seminati con questi materiali.

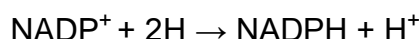
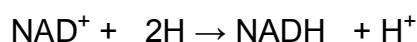
Sebbene la maggior parte dei batteri coinvolti nel processo sono anaerobi rigorosi quali Bacterioides, Clostridi e Bifidobatteri (Weiland 2010), in senso stretto, è solo la fase metanogenica finale che è veramente anaerobica; altri batteri cellulolitici, acidogeni e acetogeni sono aerobici o facoltativi (Abbasi et al. 2012). Batteri metanogeni si trovano naturalmente nei sedimenti profondi o nel rumine degli erbivori (Ostrem et al. 2004).

1.4.4 Biochimica del processo

La degradazione di substrati organici ha il duplice fine di ricavare l'energia necessaria per il metabolismo batterico (catabolismo) sotto forma di energia chimica di ossidazione e, in misura molto minore, di sintetizzare nuove cellule (anabolismo). Mentre i microrganismi aerobi utilizzano ossigeno molecolare come accettore finale di elettroni nei processi ossidativi della sostanza organica, i

1. INTRODUZIONE

microrganismi anaerobi utilizzano altra sostanza organica. L'ossidazione avviene essenzialmente a causa della perdita di una coppia di atomi di idrogeno da parte della sostanza organica ossidata (deidrogenazione): l'idrogeno viene quindi trasferito alla specie ossidante (accettore di idrogeno). L'ossidazione di composti organici in ambiente anaerobico è catalizzata da enzimi ed avviene grazie all'intervento di coenzimi come NAD⁺ (nicotinamide-adenosin-dinucleotide - forma ossidata) ed NADP⁺ (nicotinamide-adenosin-dinucleotide fosfato- forma ossidata) (*Stafford et al., 1980*):



L'accettore finale dell'H₂ non è però il coenzima, che viene riossidato e quindi rigenerato, ma, l'ossigeno, il carbonio, l'azoto o lo zolfo legati originariamente alla sostanza organica che viene ossidata. E' proprio il passaggio attraverso queste reazioni che fornisce l'energia che viene immagazzinata attraverso una ritrasformazione in energia chimica, sotto forma di ATP (adenosina tri-fosfato).

1.4.5 Cinetiche microbiologiche di reazione

Dal punto di vista cinetico un sistema microbiologico viene caratterizzato attraverso due differenti processi:

- 1) la velocità di crescita netta della biomassa su un dato substrato, data dall'espressione generale:

$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{dS}{dt} - k_d X$$

dove:

dX/dt: velocità di crescita dei microrganismi;

Y: coefficiente di rendimento di crescita;

dS/dt: velocità di utilizzo del substrato da parte dei microrganismi;

k_d: coefficiente di decadimento dei microrganismi;

X: concentrazione di microrganismi.

1. INTRODUZIONE

- 2) la velocità di utilizzo del substrato: è possibile fare riferimento a diversi modelli; frequente è il ricorso al modello cinetico di Monod, relativo all'utilizzo di substrato secondo un modello saturazionale (APAT, 2005).

1.4.6 Effetto della temperatura sulle cinetiche di reazione

Come già detto in precedenza, i tipici intervalli di temperatura incontrati nei reattori di digestione anaerobica sono il mesofilo, il termofilo, e lo psicrofilo, anche se più raramente applicato. Quando si passa da un regime di temperatura ad un altro si osserva un vero e proprio cambiamento nella composizione della comunità batterica. Infatti, gli andamenti di sviluppo delle diverse popolazioni batteriche non sono monotoni, ma presentano dei picchi in corrispondenza di ben definiti intervalli di temperatura, differenti per ciascuna specie.

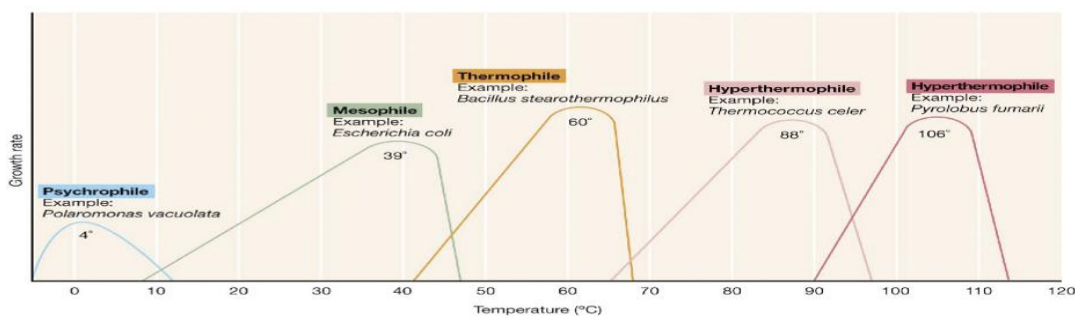


Figura 1.18 Influenza della temperatura sulla cinetica biologica (APAT, 2005).

Una variazione di temperatura all'interno di un certo intervallo, e quindi per una data popolazione, determina una variazione nelle velocità di reazione. L'espressione per quantificare l'effetto delle variazioni di temperatura sulla cinetica di reazione è derivata dall'equazione di Arrhenius ed è esprimibile nella forma:

$$V_T = V_0 e^{\varphi(T-T_0)}$$

dove:

V_T : velocità di reazione ad una certa temperatura T ,

V_0 : velocità di reazione alla temperatura di riferimento T_0 ,

φ : coefficiente sperimentale, che, negli usuali intervalli di temperatura di esercizio dei digestori, può essere assunto costante (APAT, 2005).

1.4.7 Fattori che influenzano la produzione di biogas

I fattori più importanti da considerare quando si sceglie un feed di biomassa per la produzione di digestione anaerobica sono il contenuto di solidi totali, la percentuale di solidi volatili, rapporto carbonio-azoto (C / N) e biodegradabilità delle materie prime. La resa è anche una funzione dei tempi di ritenzione idraulica, solidi, PH, temperatura di fermentazione, tasso di carico, effetti inibitori dei composti (ad esempio ammoniacale, VFAS, idrogeno solforato), grado di miscelazione / agitazione e la presenza di eventuali agenti patogeni (*Abbasi et al. 2012*). I parametri di gestione del reattore definiscono l'esercizio in termini di tempi di permanenza della massa alimentata nel reattore, di concentrazione dei microrganismi, di rese di produzione di biogas in relazione al volume del reattore ed alle caratteristiche del substrato trattato. In questi parametri il termine substrato potrà essere, di volta in volta, sostituito da una misura della quantità di composti biodegradabili presenti nel campione. Il substrato è generalmente definito, nell'ambito dei processi di digestione, in termini di solidi totali (TS), di solidi totali volatili (TVS), di domanda chimica di ossigeno (COD), o di domanda biologica di ossigeno a 5 giorni (BOD_5). Si riportano di seguito gli elementi essenziali di definizione di queste grandezze:

- TS: solidi totali o sostanza secca, ossia il contenuto in sostanza secca di un campione, determinato per essiccamento in stufa a 105 °C per 24 ore. Questi rappresentano, in prima approssimazione, la somma della frazione organica e di quella inerte del substrato;
- TVS: solidi totali volatili o sostanza organica, cioè la frazione di sostanza secca che risulta volatilizzata per combustione a 550 °C fino a peso costante. Questi rappresentano, in prima approssimazione la frazione organica della sostanza secca, calcolata come differenza dei valori di TS e TFS (solidi totali fissi) che rappresentano la frazione inerte, costituita per lo più, da composti inorganici, misurata per pesata dopo il trattamento a 550 °C;
- COD: domanda chimica di ossigeno. Quantità di ossigeno consumato per l'ossidazione della sostanza organica, determinata attraverso l'utilizzo di un forte agente chimico ossidante ($K_2Cr_2O_7$) in ambiente acido;

1. INTRODUZIONE

- BOD₅: quantità di ossigeno consumata in 5 giorni, in condizioni controllate, per l'ossidazione biologica della sostanza organica presente nel campione;
- BOD_L: (B₀) domanda biologica di ossigeno a 20 giorni;
- contenuto di solidi: i solidi devono essere diluiti per formare un impasto adeguato che può essere mescolato e permettere al gas di fluire verso l'alto. Ogni valore è specifico del tipo di reattore, ma generalmente va dal 10% al 25% di solidi;
- C / N: un rapporto carbonio-azoto di 20/30 è tipicamente ottimale. Se il rapporto è troppo elevato, l'azoto viene rapidamente consumato dai metanogeni per la formazione di proteine e l'azoto insufficiente rimane a reagire con materiale residuo. Se il rapporto è troppo basso, l'azoto viene liberato e si accumula come ammoniaca, che aumenta il PH ed esercita un effetto tossico sui batteri metano geni;
- PH: il valore ottimale di ingresso del PH è compreso tra 6 e 7. Inizialmente, durante la digestione, il PH diminuisce e poi aumenta al procedere della reazione, dovuta alla produzione di ammoniaca. Quando la produzione di metano si stabilizza, il PH è tipicamente 7,2 - 8,2. I batteri metanogeni preferiscono un ambiente leggermente alcalino, e non possono sopravvivere ad un PH inferiore a 6 (*Ostrem et al. 2004*). L'esecuzione di un digestore su materiale vegetale che opera in modalità batch può richiedere l'aggiunta di calce per la regolazione del PH;
- temperatura: in larga scala la digestione anaerobica è generalmente operata da batteri mesofili, meno da batteri termofili e molto meno psicrofili. La digestione termofila è generalmente più efficiente della digestione mesofila, con un tasso di digestione più veloce, ma è più difficile da controllare, i batteri sono più rari e quindi devono tipicamente essere seminati nel reattore, i costi di investimento sono più alti e richiede un input di energia in più per mantenere la temperatura desiderata. La digestione anaerobica ad opera di batteri psicrofili è molto rara a causa del tasso estremamente lento di digestione a temperature così basse;

1. INTRODUZIONE

- tasso di carico: il regime di carico organico è una misura della capacità di conversione biologica del sistema. Si determina la quantità di solidi volatili che un sistema può tollerare. Un sovraccarico porta rapidamente a errori di sistema tramite miscelazione inadeguata, maggiore contenuto di VFA e diminuzione del PH;
- tempo di ritenzione: la durata del contatto nel digestore di materiale organico (substrato) e microrganismi (solidi) necessario per raggiungere la degradazione desiderata;
- tempo di residenza idraulico (HRT): il tempo in cui la biomassa rimane nel digestore:

$$\text{HRT [giorni]} = V \text{ reattore [m}^3\text{]} / \text{input biomassa giornaliera [m}^3\text{/giorno]}$$

- tempo di residenza dei solidi (SRT o ST): il tempo in cui i microrganismi attivi permangono nel digestore:
- $$\text{SRT [giorni]} = V \text{ reattore [m}^3\text{]} * \text{conc.SV [Kg/m}^3\text{]} / \text{solidi volatili effluenti [Kg/giorno]}$$
- la relazione tra HRT e SRT, che determina il rapporto tra la quantità di substrato e la quantità di batteri disponibili a consumare quel substrato; questo è il fattore di controllo in tutti i trattamenti biologici;
 - tossicità: ioni minerali, in particolare di metalli pesanti e detergenti, inibiscono la normale crescita batterica. Piccole quantità di minerali come sodio, potassio, calcio, magnesio, ammonio e zolfo possono stimolare la crescita batterica, ma concentrazioni più elevate sono tossiche. I metalli pesanti come rame, nichel, cobalto, cromo, zinco e piombo sono essenziali per la crescita batterica in quantità molto piccole, ma, in maggiori quantità, sono tossici e impediscono l'utilizzo del digestato come fertilizzante. Detergenti (sapone), antibiotici e solventi organici possono inibire i batteri;
 - miscelazione / agitazione: la miscelazione o agitazione è necessaria per mantenere l'omogeneità del fluido, producendo in tal modo la stabilità del processo. Gli obiettivi di miscelazione sono di combinare materiale in ingresso con i batteri, fermare la formazione di schiuma e di evitare gradienti di temperatura marcate all'interno del digestore.

1.4.8 Biogas: rese da varie materie prime agricole

La biomassa utilizzabile per la digestione anaerobica non è esclusivamente di origine agricola. I substrati comunemente più usati sono:

- liquami suini: hanno un contenuto di S.S. (sostanza secca) compreso nell'intervallo 1-6%; da un capo suino del peso di 85 kg si possono ottenere 0,100 m³/d di biogas;
- liquami bovini: S.S. tra 8% e 15%; un capo del peso di 500 kg produce mediamente 0,750 m³/d di biogas;
- deiezioni avicole: hanno un tenore in solidi del 18-20% di conseguenza possono causare problemi di sedimentazione. Inoltre contenendo azoto in quantità elevate determinano una maggiore formazione di ammoniaca che ad alte concentrazioni inibisce il processo;
- residui colturali: sono addizionabili come co-substrati;
- colture ad uso energetico: sono usate generalmente come co-substrati; la loro produzione è incentivata. Mais sorgo e foraggi se aggiunti al substrato migliorano la resa in biogas;
- reflui e scarti dell'agro-industria: gli scarti di distillerie, aziende casearie, aziende vinicole ecc. possono essere aggiunti in co-digestione ed il digestato risultante può essere usato come ammendante per terreni ad uso agricolo;
- fanghi di depurazione: nonostante la compatibilità come substrati la normativa di riferimento li classifica come rifiuti, di conseguenza il residuo finale della digestione non può essere usato per lo spandimento su terreno. I conseguenti costi per lo smaltimento ne scoraggiano l'uso;
- FORSU (frazione organica dei rifiuti solidi urbani): rappresenta un substrato che ha delle buone caratteristiche per essere degradato anaerobicamente.

Si riassumono in tabella 1.8 le rese dei substrati comunemente usati.

Tabella 1.8 Biomasse e scarti organici avviabili a DA e loro resa in biogas.

Materiali	m^3 biogas/t SV
Deiezioni animali (suini, bovini, avi-cunicoli)	200 – 500
Residui colturali (paglia, colletti barbabietole...)	350 – 400
Scarti organici agroindustria (siero, scarti vegetali, lieviti, fanghi e reflui da distillerie, birrerie e cantine...)	400 – 800
Scarti organici macellazione (grassi, contenuto stomacale ed intestinale, sangue, fanghi di flottazione)	550 – 1000
Fanghi di depurazione	250 – 350
Frazione organica rifiuti urbani	400 – 600
Colture energetiche (mais, sorgo zuccherino...)	550 – 750

Storicamente, la digestione ha utilizzato solo i rifiuti come materia prima; tuttavia, con la crescente diffusione della produzione di biogas nella zona occidentale del mondo si è avuto un aumento del numero di colture energetiche. Alimentazioni tradizionali come il letame e acque reflue danno rendimenti in metano inferiori rispetto a colture ad alta densità energetica e rifiuti dei macelli. Grassi e proteine generano quantità significative di idrogeno e quindi forniscono la massima resa di biogas, ma i grassi insaturi a catena lunga hanno scarsa biodisponibilità. I grassi e i carboidrati hanno i tassi di conversione più veloci, ma il loro rendimento è notevolmente inferiore (Abbas *et al.* 2012). In determinate condizioni, gli intermedi possono essere convertiti in prodotti di reazione differenti rispetto al metano, e quindi il contenuto complessivo di biogas e metano variano a seconda del substrato, delle colonie biologiche e delle condizioni del reattore utilizzato. I rifiuti animali hanno diversi vantaggi rispetto ad altre materie prime di digestione anaerobica, (Al Seadi *et al.* 2008). Tuttavia, i rifiuti animali in genere hanno una bassa resa di metano, che può essere migliorato da codigestione con prodotti alimentari o agricoli di rifiuto (Al Seadi *et al.* 2008). Si trova in genere che la codigestione di diverse sostanze insieme aumenta la resa in metano complessiva

1. INTRODUZIONE

rispetto a singole sostanze digerite da sole. Ad esempio, *Macias-Coral et al. (2008)* trovarono che, digerita da sola, la frazione organica dei rifiuti solidi urbani e di letame di mucca ha dato rendimenti di 0,03 e 0,08 m³ CH₄ kg⁻¹ VS aggiunti, rispettivamente. Quando i due sono stati digeriti insieme, il rendimento è aumentato di 0,1 m³ CH₄ kg⁻¹ VS aggiunto. Tale incremento è attribuibile al miglioramento del rapporto carbonio - azoto e ai batteri per l'equilibrio alimentare visto durante la miscelazione di sostanze. Rese di metano sono spesso riportati in metri cubi per tonnellata di solidi volatili (m³ / t VS). Una tonnellata di solidi volatili ha un contenuto energetico di 19 GJ, e 1 m³ di metano ha un contenuto energetico di 38 GJ, il rendimento massimo teorico del metano è di 500 m³ / t VS (*Murphy et al. 2011*). Secondo i dati di *Murphy et al.* le più alte cariche di rendimento in termini di metano per tonnellata di solidi volatili sono orzo, erba medica e barbabietole da foraggio a 658, 555, 500 e 500 m³ / t VS, rispettivamente. *Murphy et al.* hanno scoperto che la barbabietola da foraggio ha dato il miglior guadagno netto di energia, con 4,7 volte di energia in più in uscita, seguita da patate al 4,6 e mais a 4,3.

Tabella 1.9 Resa in metano per ettaro di colture tipiche energetiche (*Appels L. et al, 2011*).

Crop	Methane Yield (m³/ha)
Sugar beet	3600–6600
Fodder beet	6400–10000
Maize	8100–14000
Corn cob mix	2400–3800
Wheat	9500–17000
Triticale	7000–9000
Sorghum	6300–14000
Grass	3100–5000
Red clover	1300–2200
Sunflower	2100–3800
Wheat grain	1900–3400
Rye grain	1000–2400

1. INTRODUZIONE

I rendimenti più alti per ettaro includono grano, sorgo e mais. *Amon et al. (2007)* hanno confrontato la resa di metano per ettaro di diverse colture ai fini della produzione di energia e hanno trovato che il mais possiede il massimo rendimento, più del doppio della possibilità di altre colture studiate. Essi suggeriscono anche una rotazione delle colture sostenibile che integra colture alimentari e mangimi piantando una successione di diverse colture e utilizzando diversi componenti per produrre energia.

1.4.9 Utilizzi del digestato

Oltre a valorizzare il biogas ricco di energia, una grande attenzione deve essere data al valore del digestato, che è ricco di azoto, fosforo e potassio. Per digestato si intende l'effluente dal digestore anaerobico. Le caratteristiche del digestato dipendono dalle biomasse in alimentazione al digestore che influiscono sul contenuto di azoto e su altri macro e micro elementi nutritivi (fosforo, potassio, magnesio), e sul contenuto di solidi: liquami di suini, inerti di polline, biomasse residuali. *Tambone et al. (2010)* hanno confrontato le proprietà del digestato come materia prima per mangime e compost. Essi hanno scoperto che le proprietà del digestato differiscono notevolmente per le due differenti destinazioni; il mix organico di partenza influenza le sue caratteristiche finali; essi concludono che ha eccellenti proprietà di fertilizzante, adatto alla sostituzione di fertilizzanti chimici. Il valore agronomico del digestato consiste nei seguenti fattori:

- restituzione di nutrienti minerali al campo (azoto, fosforo, potassio, magnesio, ecc);
- concimazione (nella digestione di reflui zootecnici ed in presenza di alimenti l'utilizzo del digestato comporta un apporto aggiuntivo di elementi nutritivi);
- restituzione della sostanza organica composta da humus degradabile lentamente;
- miglioramento della struttura del terreno per l'aggiunta di humus;
- elevata percentuale di azoto mineralizzato (N_{amm}) a pronto effetto agronomico;

1. INTRODUZIONE

- possibili effetti di costipazione del terreno;
- minore impatto ambientale per effetto di un minor contenuto di sostanze odorigene.

Il digestato può essere oggetto di trattamento:

- trattamenti meccanici: separazione frazione solida - liquida con centrifughe e presse;
- trattamenti termici: essiccazione del digestato;
- trattamenti chimico fisici: rimozione conservativa dell'azoto;
- trattamenti biologici: rimozione distruttiva dell'azoto.

Esistono incentivi e premi per impianti a biogas che utilizzano tecnologie avanzate (DM 6/07/2012 Art. 26) nel caso in cui tali impianti prevedano il recupero dell'azoto dalle sostanze trattate con finalità di produrre fertilizzanti. Di tali incentivi si parlerà in seguito.

1.4.10 Tipi di Digestione Anaerobica

Le tipologie di processi e di impianti di digestione anaerobica possono essere redatte in base a diverse caratteristiche; più generalmente le tecniche di digestione anaerobica si riconducono a due tipologie principali:

- ad umido: quando il substrato ha un contenuto di sostanza secca inferiore al 10%;
- a secco: nel caso in cui il contenuto sale al 20%.

Se ci si trova in una condizione intermedia si può parlare di processi a semisecco, tuttavia quest'ultima situazione è poco frequente. Le diverse condizioni ottimali richieste dai batteri hanno indicato come sia opportuno, in alcuni casi, separare in due fasi la digestione anaerobica, ne consegue un'ulteriore distinzione dei processi:

- processo monostadio: tutto avviene in un unico reattore;
- processo bistadio: due reattori distinti con condizioni diverse. Nel primo avvengono idrolisi e acidificazione, nel secondo acetogenesi e metanogenesi.

I reattori monostadio hanno costi di costruzione più bassi, ma anche meno controllo, in quanto ogni fase di reazione ha un mix batterico diverso e richiede

1. INTRODUZIONE

un PH specifico per un funzionamento ottimale. Le reazioni biologiche di specie diverse possono essere in concorrenza diretta tra loro. Pertanto, i batteri acidogeni, per l'abbassamento del PH, possono inibire la fase metanogenica e quindi può essere utile la digestione separata in due fasi. Nei reattori a due stadi, i primi tre stadi di reazione si verificano in un recipiente e vengono poi trasferiti ad un secondo recipiente per la metanogenesi (*Abbasi et al. 2012*).

Ulteriori suddivisioni possono essere effettuate in base all'alimentazione del reattore, che può essere continua o discontinua (batch), e al tipo di reattore utilizzato: CSTR (continuous stirred tank reactor) e PFR (plug flow reactor). Un sistema molto semplice è rappresentato dall'utilizzo di una vasca coperta, tuttavia le dispersioni termiche e l'assenza di miscelazione richiedono tempi di permanenza più lunghi.

Di seguito sono riportati tre schemi d'impianto, rispettivamente:

- sistema con vasca coperta e riscaldata (figura 1.19);
- sistema con reattore CSTR (figura 1.20);
- sistema con reattore PFR (figura 1.21).

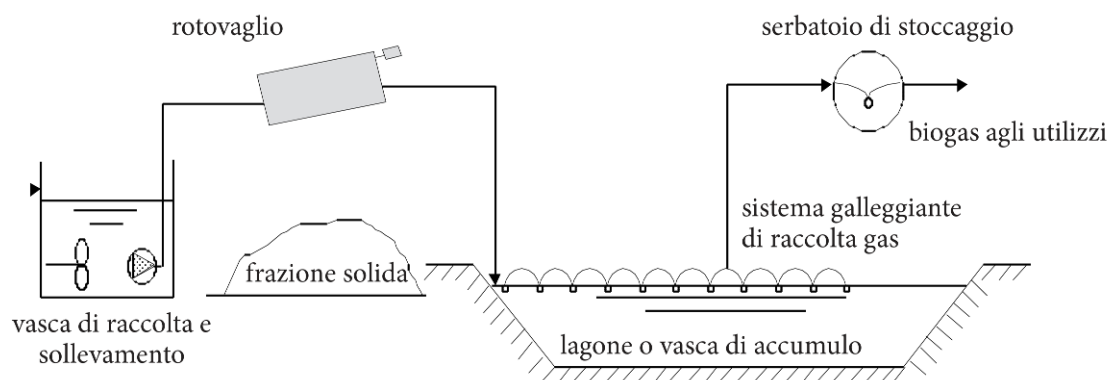


Figura 1.19 Sistema con vasca coperta e riscaldata

1. INTRODUZIONE

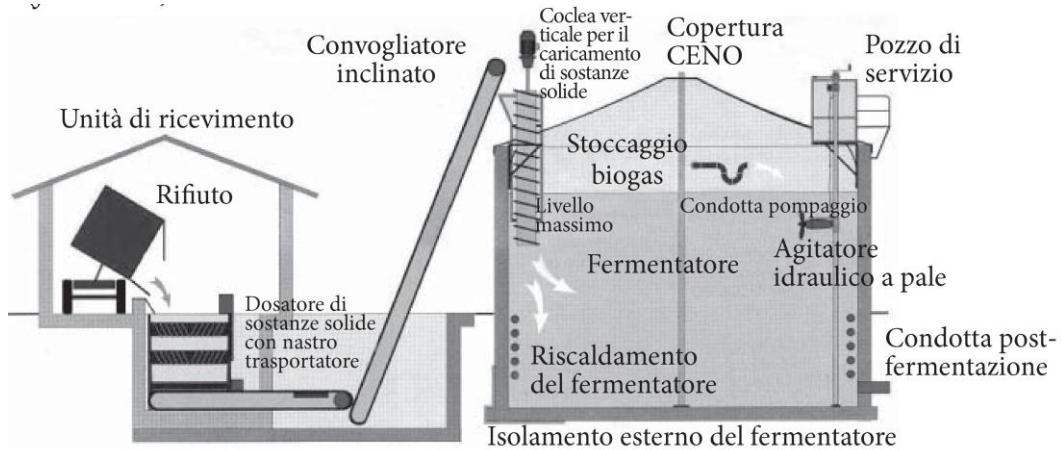


Figura 1.20 Reattore CSTR

Il reattore CSTR si basa sul modello fluidodinamico della fase perfettamente miscelata. Tale ipotesi comporta che all'interno del reattore la composizione sia omogenea ed uguale alla composizione uscente; ciò porta all'uguaglianza della concentrazione nelle correnti in uscita e dunque a poterle ridurre ad un'unica corrente. CSTR è l'acronimo di continuous stirred tank reactor, che significa reattore agitato ad alimentazione continua, viene usato solitamente nei processi a umido e a semisecco.

Introducendo un ricircolo al reattore dopo un'opportuna separazione, è possibile reintegrare parte della biomassa microbica che altrimenti verrebbe espulsa.

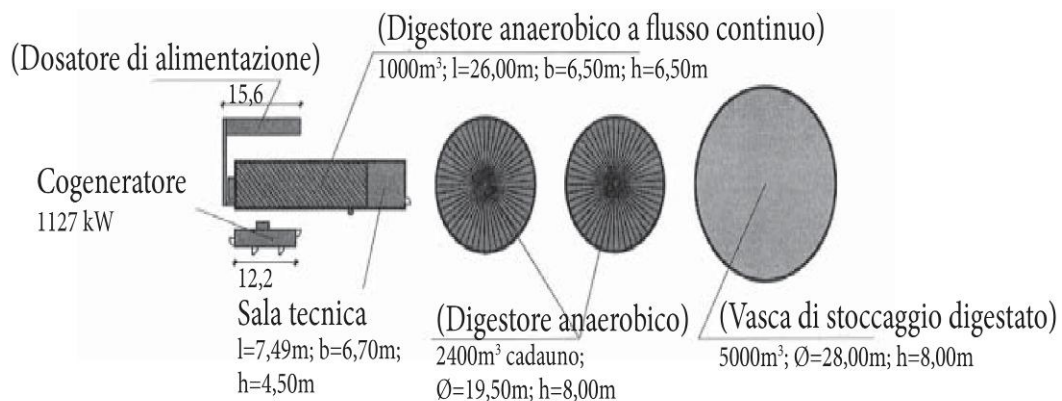


Figura 1.21 Reattore PFR.

1. INTRODUZIONE

Il modello fluidodinamico su cui si basa il PFR è definito corrente monodimensionale e si basa sull'ipotesi semplificativa che la concentrazione lungo una sezione trasversale del reattore sia costante. I processi diffusivi vengono trascurati. Si può tuttavia tener conto della diffusione in direzione assiale (corrente monodimensionale con diffusione assiale). La composizione varia lungo l'asse del reattore. La configurazione senza ricircolo è teoricamente possibile, con i reagenti considerati, se la concentrazione iniziale di biomassa microbica risulta diversa da zero. Per questo motivo la soluzione comunemente adottata prevede il ricircolo di biomassa al reattore. I processi con reattore del tipo plug flow si utilizzano maggiormente nei processi a secco. In questo modo si evitano problemi legati alla perfetta miscelazione richiesta invece nel CSTR. Analogamente alle precedenti soluzioni si prevede una separazione solido-liquido e un ricircolo per non far diminuire la biomassa attiva all'interno del reattore.

1.5 Quadro normativo

1.5.1 Premessa

Il presente quadro normativo riguarda gli incentivi per la produzione di biogas, in particolare:

- la definizione di rifiuto e sottoprodotto (D.Lgs.205/2010);
- gli incentivi sulla ricerca industriale e lo sviluppo sperimentale nel settore agro-industriale (Decreto 21 maggio 2014);
- il passaggio dal sistema di incentivazione con Certificati Verdi alla tariffa omnicomprensiva;
- gli incentivi per sostenere la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, quali biomassa, biogas, e bioliquidi sostenibili (DM 6 luglio 2012).

1.5.2 Rifiuto e sottoprodotto

Non tutti i residui di produzione sono giuridicamente "rifiuti". Infatti, alcuni di essi non acquistano mai la natura di rifiuto, altri invece la perdono all'esito di un procedimento di recupero. In particolare, ai sensi della vigente normativa dei "rifiuti" godono di un regime di favore per la loro gestione. Il fatto che una

1. INTRODUZIONE

sostanza sia un materiale residuale di produzione o di consumo costituisce un indizio che si tratti di un rifiuto, e la sola circostanza che una sostanza sia destinata a essere riutilizzata, o possa esserlo, non può essere determinante per la sua qualifica o meno come rifiuto. Tuttavia, in determinate situazioni, un bene, un materiale o una materia prima che deriva da un processo di estrazione o di fabbricazione che non è principalmente destinato a produrlo può costituire non tanto un residuo, quanto un sottoprodotto. L'Art. 12 del D.Lgs. 205/2010, introduce l'Art. 184 bis nel D.Lgs. 152/2006 (Testo Unico Ambientale), che chiarisce il concetto di sottoprodotto e lo rende nettamente distinguibile dal concetto di rifiuto definito nell'Art. 10 del D.Lgs. 205/2010, che sostituisce l'Art. 183 del D.Lgs. 152/2006.

1.5.2.1 Art. 10 D.Lgs. 205/2010

(Modifiche all'articolo 183 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152)

Si intende per:

- a) "rifiuto": qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o abbia l'obbligo di disfarsi;
- b) "sottoprodotto": qualsiasi sostanza od oggetto che soddisfa le condizioni di cui all'articolo 184- *bis*, comma 1, o che rispetta i criteri stabiliti in base all'articolo 184-bis, comma 2.

1.5.2.2 Art. 12 D.Lgs. 205/2010

(Sottoprodotto e cessazione della qualifica di rifiuto)

Articolo 184-bis:

Sottoprodotto

È un sottoprodotto e non un rifiuto ai sensi dell'articolo 183, comma 1, lettera a), qualsiasi sostanza od oggetto che soddisfa tutte le seguenti condizioni:

- a) la sostanza o l'oggetto è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto;

1. INTRODUZIONE

b) è certo che la sostanza o l'oggetto sarà utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi;

c) la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;

d) l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana.

Se, oltre alla mera possibilità di riutilizzare la sostanza di cui trattasi, il detentore consegue un vantaggio economico nel farlo, la probabilità di tale riutilizzo è alta. In un'ipotesi del genere la sostanza in questione non può più essere considerata un onere di cui il detentore cerchi di «disfarsi», bensì un autentico prodotto.

In conclusione un bene, un materiale o una materia prima risultante da un processo di fabbricazione che non è destinato a produrlo può essere considerato come un sottoprodotto di cui il detentore non desidera disfarsi solo se il suo riutilizzo, incluso quello per i bisogni di operatori economici diversi da colui che l'ha prodotto, è non semplicemente eventuale, ma certo, non necessita di trasformazione preliminare e interviene nel corso del processo di produzione o di utilizzazione.

1.5.2.3 Nota 14843 della Regione Sicilia (1 Marzo 2012)

La nota 14843 del 01/03/2012 emanata dalla Regione Siciliana, riferendosi all'articolo 184 bis, di cui sopra, definisce il pastazzo di agrumi come un sottoprodotto dell'industria di trasformazione agrumaria.

Nella stessa nota, per la definizione di sottoprodotto si fa riferimento all'art. 183 comma 1 lettera n) del D.lgs 152/2006, ma nel 2012 (anno in cui è stata emanata la Nota in oggetto) tale lettera non era più corrispondente alla definizione di "sottoprodotto", a seguito delle modifiche indotte dal D. Lgs. 205/2010. Dopo quest'ultimo, infatti, la definizione di sottoprodotto la si ritrova all'art. 183 comma 1 lettera qq) del D. Lgs. 152/2006, ed è: qualsiasi sostanza od oggetto che

1. INTRODUZIONE

soddisfa le condizioni di cui all'articolo 184-bis, comma 1, o che rispetta i criteri stabiliti in base all'articolo 184-bis, comma 2.

1.5.3 Decreto 21 Maggio 2014: “Reimpiego scarti agrumi”

1.5.3.1 Sintesi del decreto

Obiettivo

L'obiettivo di tale decreto è incentivare la ricerca industriale e lo sviluppo sperimentale nel settore agro-industriale delle aree di produzione della Sicilia orientale, con particolare riferimento al reimpiego sostenibile degli scarti provenienti dalla lavorazione industriale degli agrumi. L'incentivo consiste in contributi di natura economica, destinati a progetti vincitori di apposito bando.

Destinatari

I soggetti destinatari dei contributi sono le imprese che svolgono attività di “Produzione di succhi di frutta e di ortaggi” e le “Industrie delle bevande” aventi sede produttiva nelle province della Sicilia orientale (Messina, Catania, Siracusa, Ragusa ed Enna), ed i consorzi e le società consortili le cui quote sono partecipate per più del 30% da imprese aventi i predetti requisiti.

Progetti ammessi a contributo

Sono ammessi a contributo i progetti di ricerca industriale e di sviluppo sperimentale presentati dai soggetti beneficiari in forma singola o associata fra loro.

Nei progetti presentati in forma associata deve essere prevista la partecipazione al progetto di un Organismo di ricerca nella modalità di ricerca contrattuale. Ciascun progetto deve prevedere che almeno una delle imprese beneficiarie svolga funzioni di soggetto utilizzatore del prototipo da realizzare, mettendo a disposizione gli impianti per la sperimentazione.

Risorse finanziarie

L'entità delle risorse disponibili ammonta ad euro 1.818.782,00.

Contributo

Le agevolazioni sono riconosciute in conformità con le disposizioni ed i limiti delle intensità massime di aiuto previste dall'art. 31 del GBER, Regolamento (CE) n. 800 del 6 agosto 2008, per gli “Aiuti a progetti di ricerca e sviluppo”.

1. INTRODUZIONE

Le agevolazioni, espresse in equivalente sovvenzione lordo, sono pari al:

- a) 50% per i costi agevolabili relativi alla ricerca industriale;
- b) 25% per quelli relativi allo sviluppo sperimentale.

Le intensità di aiuto sono maggiorate di 10 punti percentuali per le medie imprese e di 20 punti percentuali per le piccole imprese. Una maggiorazione di 15 punti percentuali, a concorrenza di un'intensità massima dell'80% dei costi ammissibili, può essere applicata se il progetto comporta la collaborazione effettiva fra almeno due imprese indipendenti l'una dall'altra e sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- nessuna impresa sostiene da sola oltre il 70% dei costi ammissibili del progetto di collaborazione;
- il progetto prevede la collaborazione con almeno una piccola e media impresa.

Il Ministro dello Sviluppo Economico, visto l'articolo 1, comma 114, della legge 27 dicembre 2013, n. 147, con il quale è stata stanziata la somma di 2 milioni di euro a valere su apposito capitolo di spesa del Ministero dello sviluppo economico al fine di elaborare e di realizzare progetti di ricerca e sviluppo nel settore agro-industriale nelle aree di produzione della Sicilia orientale, con particolare riferimento al reimpiego sostenibile degli scarti provenienti dalla lavorazione industriale degli agrumi e ritenuto che le predette condizioni, criteri e modalità di concessione debbano tener conto prioritariamente della elevata presenza nel territorio della Sicilia orientale di imprese di lavorazione industriale degli agrumi e della necessità di concentrare gli interventi sulla finalità del reimpiego sostenibile degli scarti provenienti dalla lavorazione industriale degli agrumi, ha elaborato tale decreto.

1.5.3.2 Definizioni (Art 2)

1. Ai fini del presente decreto si intende per:

- a) "ricerca industriale": ricerca pianificata o indagini critiche miranti ad acquisire nuove conoscenze, da utilizzare per mettere a punto nuovi prodotti, processi o servizi o permettere un notevole miglioramento dei prodotti, processi o servizi esistenti. Comprende la creazione di componenti di sistemi complessi necessaria

1. INTRODUZIONE

ai fini della ricerca industriale, in particolare per la validazione di tecnologie generiche, ad esclusione dei prototipi di cui alla lettera b);

b) “sviluppo sperimentale”: acquisizione, combinazione, strutturazione e utilizzo delle conoscenze e capacità esistenti di natura scientifica, tecnologica, commerciale e altro, allo scopo di produrre piani, progetti o disegni per prodotti, processi o servizi nuovi, modificati o migliorati. Può trattarsi anche di altre attività destinate alla definizione concettuale, alla pianificazione e alla documentazione concernenti nuovi prodotti, processi e servizi. Tali attività possono comprendere l’elaborazione di progetti, disegni, piani e altra documentazione, purché non siano destinati a uso commerciale. Rientra nello sviluppo sperimentale la realizzazione di prototipi utilizzabili per scopi commerciali e di progetti pilota destinati a esperimenti tecnologici e/o commerciali, quando il prototipo è necessariamente il prodotto commerciale finale e il suo costo di fabbricazione è troppo elevato per poterlo usare soltanto a fini di dimostrazione e di convalida.

c) “organismo di ricerca”: soggetto senza scopo di lucro, quale un’università o un istituto di ricerca, indipendentemente dal suo status giuridico (costituito secondo il diritto privato o pubblico) o fonte di finanziamento, la cui finalità principale consiste nello svolgere attività di ricerca di base, di ricerca industriale o di sviluppo sperimentale e nel diffonderne i risultati, mediante l’insegnamento, la pubblicazione o il trasferimento di tecnologie; tutti gli utili sono interamente reinvestiti nelle attività di ricerca, nella diffusione dei loro risultati o nell’insegnamento; le imprese in grado di esercitare un’influenza su simile ente, ad esempio in qualità di azionisti o membri, non godono di alcun accesso preferenziale alle capacità di ricerca dell’ente medesimo né ai risultati prodotti;

1.5.3.3 Caratteristiche dei progetti (Art 4)

I progetti devono prevedere attività di ricerca industriale e/o di sviluppo sperimentale nel settore agro-industriale, con riferimento al reimpiego sostenibile degli scarti provenienti dalla lavorazione industriale degli agrumi. I progetti dovranno concludersi con la realizzazione di un prototipo funzionante del prodotto/processo innovativo.

I progetti devono:

1. INTRODUZIONE

- a) sviluppare una nuova tecnologia e/o integrare tecnologie esistenti in sistemi innovativi e/o sviluppare modelli applicativi totalmente nuovi, in grado di modificare sostanzialmente i prodotti/processi e il loro contenuto di conoscenza e valore aggiunto, ovvero sviluppare l'applicazione in un contesto nuovo di una tecnologia esistente o di una sua evoluzione, in grado di determinare un significativo cambiamento dei prodotti/processi;
- b) modificare sensibilmente lo stato dell'arte tecnologico;
- c) realizzare un prototipo funzionante, che abbia validità industriale e sia in grado di qualificare un prodotto innovativo;
- d) prevedere modalità realizzative, finanziarie e gestionali, nonché un programma di utilizzo dei risultati, che garantiscano il pieno conseguimento degli obiettivi prefissati.

1.5.3.4 Spese ammissibili e costi agevolabili (Art 5)

- 1) Le tipologie di spese ammissibili e i relativi costi agevolabili, nella misura congrua e pertinente, riguardano:
 - a) costi del personale, relativamente alle retribuzioni lorde, compreso il contributo del datore di lavoro, per ricercatori, tecnici e altro personale ausiliario nella misura in cui sono impiegati per la realizzazione del programma. Viene preso in considerazione il personale dipendente, compreso quello con contratto "a progetto";
 - b) costi della strumentazione e delle attrezzature di nuova acquisizione, nella misura e per il periodo in cui sono utilizzati per il programma, nel limite delle quote di ammortamento fiscali ordinarie;
 - c) i costi della ricerca contrattuale, delle competenze tecniche e dei brevetti, acquisiti o ottenuti in licenza da soggetti esterni, nonché di servizi di consulenza ed i servizi equivalenti utilizzati esclusivamente per l'attività del programma, inclusa, nel limite del 3% dei costi ammissibili, l'acquisizione dei risultati di ricerca, di brevetti e di know-how, di diritti di licenza, nell'ambito di un'operazione effettuata alle normali condizioni di mercato;
 - d) spese generali nella misura del 30% dei costi del personale;

1. INTRODUZIONE

e) costi di materiali, forniture e prodotti analoghi (ad es. componentistica per la realizzazione del prototipo, materie prime per la sperimentazione, ecc.), connessi direttamente al programma.

2) I costi per gli studi di fattibilità tecnica preliminari ad attività di ricerca industriale o di sviluppo sperimentale sono ammissibili purché l'intensità di aiuto non superi:

a) per le PMI, il 75% dei costi ammissibili per gli studi preliminari ad attività di ricerca industriale e il 50% dei costi ammissibili per gli studi preliminari ad attività di sviluppo sperimentale;

b) per le grandi imprese, il 65% dei costi ammissibili per gli studi preliminari ad attività di ricerca industriale e il 40% dei costi ammissibili per gli studi preliminari ad attività di sviluppo sperimentale.

1.5.3.5 Commissione di valutazione e criteri (Art 10)

Presso il Ministero è costituita con decreto direttoriale la Commissione di valutazione dei progetti presentati. Ne fanno parte due rappresentanti della Direzione generale per la politica industriale, la competitività e le piccole e medie imprese, di cui uno con funzioni di presidente, un rappresentante della Regione Siciliana e due esperti del settore scelti dall'albo degli esperti in materia di innovazione tecnologica. La valutazione è effettuata sulla base dei criteri di seguito indicati, in relazione a ciascuno dei quali è riportato il punteggio da attribuire ai fini dell'ammissione del programma alla graduatoria:

a) innovazione nella conoscenza e nello sviluppo tecnologico, valutata con riferimento al grado di definizione del programma di ricerca e sviluppo proposto, all'innovatività delle caratteristiche funzionali e di prestazione dei prodotti attesi (componenti e sottosistemi innovativi nonché prodotto/processo produttivo finale), rispetto allo stato dell'arte e della concorrenza ed alla sua rispondenza alle finalità e agli ambiti di intervento di cui ai commi 1 e 2 dell'articolo 4: *punti da 0 a 40*;

b) ricadute potenziali in termini tecnologici, economici e di competitività, valutate con riferimento agli impatti attesi sulla filiera, ai settori industriali ed utenti finali, di benefici dimostrabili per la sostenibilità ambientale: *punti da 0 a 30*.

c) adeguatezza del partenariato e dell'organizzazione del progetto, valutata con riferimento alla rappresentatività della filiera produttiva, alla partecipazione degli Organismi di ricerca, all'intensità e qualità dell'eventuale partecipazione delle PMI, all'affidabilità economico finanziaria dei soggetti richiedenti le agevolazioni, al ruolo previsto per i vari soggetti ed alla distribuzione fra gli stessi delle attività e dei relativi costi, con particolare riferimento agli utilizzatori finali di cui all'articolo 4 comma 5: *punti da 0 a 30*.

1.5.4 Certificati verdi

I Certificati Verdi sono titoli negoziabili, rilasciati dal GSE (Gestore dei Servizi Energetici) in misura proporzionale all'energia prodotta da un impianto qualificato IAFR (impianto alimentato da fonti rinnovabili), entrato in esercizio entro il 31 dicembre 2012 ai sensi di quanto previsto dal D. Lgs. 28/2011, in numero variabile a seconda del tipo di fonte rinnovabile e di intervento impiantistico realizzato (nuova costruzione, riattivazione, potenziamento e rifacimento). Il meccanismo di incentivazione con i Certificati Verdi si basa sull'obbligo, posto dalla normativa a carico dei produttori e degli importatori di energia elettrica prodotta da fonti non rinnovabili, di immettere annualmente nel sistema elettrico nazionale una quota minima di elettricità prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili. Il possesso dei Certificati Verdi dimostra l'adempimento di questo obbligo: ogni Certificato Verde attesta convenzionalmente la produzione di 1 MWh di energia rinnovabile. I Certificati Verdi hanno validità triennale: quelli rilasciati per la produzione di energia elettrica in un dato anno (anno di riferimento dei CV) possono essere usati per ottemperare all'obbligo anche nei successivi due anni. L'obbligo può essere rispettato in due modi: immettendo in rete energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili oppure acquistando i Certificati Verdi dai produttori di energia "verde".

Il mercato dei certificati verdi, organizzato dal GME, garantisce: liquidità: il GSE, ai sensi dell'articolo 9 del D.M. 24 ottobre 2005, offrirà i certificati verdi emessi a proprio favore sul mercato organizzato dal GME; trasparenza: i prezzi che si formeranno sul mercato saranno pubblici e accessibili

a tutti;
sicurezza: il GME opera sul mercato in qualità di CONTROPARTE CENTRALE e garantisce il buon fine delle operazioni.

Il produttore può richiedere l'emissione dei Certificati Verdi a valle dell'esito positivo della procedura di "qualifica di impianto alimentato da fonti rinnovabili" (qualifica IAFR). Solo per gli impianti di potenza nominale media annua non superiore ad 1 MW (0,2 MW per gli impianti eolici) con esclusione della fonte solare può essere esercitato il diritto di opzione tra i Certificati Verdi e la Tariffa Omnicomprensiva.

1.5.5 Evoluzione del sistema degli incentivi

Il D. lgs. 79/99, art. 11, prevede che, dal 2002, produttori e importatori di energia elettrica prodotta da fonti non rinnovabili hanno l'obbligo di immettere ogni anno in rete una quota di energia elettrica prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili. Tale quota è pari al 2% dell'energia elettrica prodotta o importata da fonte non rinnovabile nell'anno precedente, eccedente i 100 GWh/anno. A partire dal 2004 e fino al 2006, la quota minima di elettricità prodotta da fonti rinnovabili da immettere in rete nell'anno successivo è stata incrementata dello 0,35% annuo. La Legge Finanziaria 2008 ha successivamente previsto che nel periodo 2007-2012, la quota fosse incrementata dello 0,75% annuo. Secondo quanto disposto dalla legge 244/07, la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili in impianti entrati in esercizio o ripotenziati a partire dal 1° aprile 1999 fino al 31 dicembre 2007, ha diritto alla certificazione di produzione da fonti rinnovabili (certificato verde) per i primi dodici anni di esercizio. La produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili in impianti entrati in esercizio o ripotenziati a partire dal 1° gennaio 2008, invece, ha diritto alla certificazione di produzione da fonti rinnovabili per i primi quindici anni di esercizio. Il D.Lgs. 3 marzo 2011, n. 28, "di attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE" ha riformato il sistema di incentivazione dell'energia elettrica da fonti rinnovabili, prevedendo, tra l'altro, che l'attuale sistema di mercato basato sui certificati verdi venga

1. INTRODUZIONE

sostituito gradualmente da un sistema di tipo feed-in tariff. Tra le principali novità, è previsto che gli impianti alimentati da fonti rinnovabili che entreranno in funzione entro il 31 dicembre del 2012, al fine di tutelarne gli investimenti in via di completamento, continueranno a ricevere CV mentre, a partire dal 2013, i nuovi impianti riceveranno una tariffa fissa relativamente all'energia prodotta, sulla base di criteri generali che dovranno assicurare un'equa remunerazione dei costi di investimento e di esercizio. La durata dell'incentivo sarà, inoltre, pari alla vita media utile della specifica tecnologia dell'impianto. L'incentivo dovrà essere costante per tutto il periodo di incentivazione e dovrà essere assegnato tramite contratti di diritto privato con il GSE:

- l'entità dell'incentivo, per gli impianti al di sotto di una certa soglia, che sarà diversa da fonte a fonte e comunque non superiore ai 5 MW elettrici, sarà differenziato per le diverse tecnologie e sarà pari a quello in vigore nel momento in cui l'impianto entrerà in funzione;
- per gli impianti di taglia superiore alla soglia di cui al punto precedente, l'incentivo verrà determinato attraverso delle aste al ribasso, ciascuna relativa ad un contingente di potenza da installare per ciascuna fonte o tecnologia, organizzate dal GSE.

Il Decreto prevede inoltre, per i produttori e importatori da fonti convenzionali, che la percentuale di quota di obbligo di energia prodotta da fonti rinnovabili (art. 11, commi 1 e 2 del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79) da immettere in rete, pari al 7,55% per il 2012, si riduca linearmente a partire dal 2013 fino ad azzerarsi per l'anno 2015.

Il Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 6 luglio 2012 recante "Incentivi per energia da fonti rinnovabili elettriche non fotovoltaiche" (DM FER elettriche), che ha dato attuazione all'articolo 24 del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28, ha successivamente previsto:

- relativamente agli impianti incentivati attraverso il riconoscimento dei CV, per il periodo successivo al 2015, la conversione in incentivo del diritto ai CV secondo specifiche modalità definite dal GSE e pubblicate sul proprio sito internet;

1. INTRODUZIONE

- in ciascuno degli anni dal 2013 al 2016, l'offerta da parte del GSE ai soggetti sottoposti all'obbligo di cui all'articolo 11 del decreto legislativo n. 79 del 1999, dei CV ritirati ai sensi del medesimo decreto 6 luglio 2012, a un prezzo pari a quello di ritiro e che le operazioni relative a tale compravendita si svolgono mediante il Mercato dei Certificati Verdi gestito dal GME.

I CV relativi a produzioni antecedenti al 2013 vengono rilasciati a consuntivo o a compensazione nel caso si siano ottenuti CV a preventivo. I produttori che hanno richiesto l'emissione di Certificati Verdi a preventivo sono sempre tenuti, successivamente, a compensare l'emissione e a inviare copia della dichiarazione annuale di consumo presentata all'Agenzia delle Dogane, attestante l'effettiva produzione di energia elettrica realizzata nell'anno cui si riferiscono i Certificati Verdi, così come definito nella "Procedura applicativa per l'emissione, la gestione e il ritiro dei certificati verdi". Il DM 6 luglio 2012 ha inoltre previsto che, a partire dal 2013, l'emissione dei Certificati Verdi avvenga a partire dalle misure trasmesse mensilmente da parte dei gestori di rete e pertanto non sono più previste le modalità di emissione dei CV a preventivo sulla base di garanzia sulla producibilità attesa o sulla base di garanzia fideiussoria.

1.5.6 DM 6 Luglio 2012: "Incentivi per energia da fonti rinnovabili elettriche non fotovoltaiche"

Con la pubblicazione nel supplemento ordinario n. 143 della Gazzetta Ufficiale n. 159, del 10/07/2012, è stato introdotto il decreto 6 luglio 2012 del Ministro dello Sviluppo Economico di "Attuazione dell'art. 24 del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28, recante incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti a fonti rinnovabili diversi dai fotovoltaici".

Le modifiche apportate al quadro d'incentivazione sono sostanziali e determinano un deciso cambiamento rispetto al sistema precedente, alla luce della necessità di un maggiore controllo sul piano di sviluppo energetico del paese e sulle spese che la collettività deve sostenere per promuovere tale sviluppo.

1.5.6.1 Inquadramento normativo e considerazioni preliminari

Il nuovo sistema di incentivazione della produzione energetica da fonti rinnovabili si inquadra in un contesto europeo definito dalla Direttiva 2009/28/CE del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, attuato in Italia con D.Lgs. 3 marzo 2011, n. 28. Oltre a ciò vanno tenuti in considerazione in particolare il decreto del Ministro dello sviluppo economico 5 settembre 2011, di definizione del nuovo regime di sostegno per la cogenerazione ad alto rendimento e il Piano d'Azione Nazionale sulle energie rinnovabili (PAN), adottato dal Governo nel giugno 2010, nel quale il predetto obiettivo del 17% è scomposto nei tre settori principali: calore, trasporti ed energia elettrica, per il quale ultimo settore è stabilito un obiettivo al 2020 del 26% del consumo da coprire tramite energia rinnovabile (circa 100 TWh/anno).

Il decreto è stato emanato sulla base di alcune considerazioni preliminari che è interessante mettere in luce:

- l'Italia è in anticipo sugli obiettivi cosiddetti "20-20-20", poiché la capacità installata a fine 2011 è in grado di assicurare una produzione di circa 94 TWh/anno, a fronte dell'obiettivo di 100 TWh/anno previsto al 2020;
- vi è necessità di dare maggiore impulso a modalità, in media, economicamente più efficienti quali i settori calore e trasporti e l'efficienza energetica;
- c'è stata una forte diminuzione del costo d'investimento negli impianti (solari in particolare), dovuta ai notevoli progressi tecnologici;
- i livelli degli incentivi negli altri paesi europei sono mediamente più bassi di quelli che l'Italia ha corrisposto negli ultimi anni;
- vi è la necessità di un rilancio dello sviluppo delle energie rinnovabili con un approccio alla crescita più virtuoso, basato sull'efficienza dei costi e sulla massimizzazione del ritorno economico e ambientale per il paese;
- a differenza di molti Paesi d'Europa che, a causa della crisi finanziaria, hanno sospeso a tempo indeterminato gli incentivi sui nuovi impianti, l'Italia intende continuare lo sviluppo delle energie rinnovabili, ma con un approccio più efficiente;

1. INTRODUZIONE

- il mix di energie rinnovabili per il futuro dovrà favorire le tecnologie più vantaggiose in termini di minor costo unitario, maggiori ricadute sulla filiera economica del Paese e minor impatto ambientale e sulle reti elettriche;
- visto l'anticipo sugli obiettivi previsti, si ritiene che il nuovo target di energia elettrica da fonte rinnovabile al 2020 possa essere pari al 32-35% dei consumi elettrici totali;
- per garantire una maggiore prevedibilità e sostenibilità degli oneri d'incentivazione, è necessario introdurre, accanto alla riduzione degli incentivi, meccanismi specifici per tenere i volumi di sviluppo sotto controllo - introduzione di aste al ribasso per impianti sopra a 5 MW (sopra a 10 MW per l'idroelettrico e sopra a 20 MW per il Incentivazione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili elettriche non fotovoltaiche geotermoelettrico) e di registri nazionali per potenze superiori a soglie minime differenziate per fonte e tecnologia;
- alla luce della crescente quantità di energia da fonti rinnovabili immessa in rete, è opportuno adottare una tariffa di tipo feed-in premium;
- per i piccoli impianti è possibile mantenere il meccanismo d'incentivazione con ritiro onnicomprensivo, al fine di semplificare l'esercizio;
- è necessario assicurare adeguata capacità di realizzazione di impianti di termovalorizzazione dei rifiuti solidi urbani;
- gli interventi di rifacimento devono essere esclusi dai meccanismi delle aste;
- è necessario differenziare la vita utile d'impianto in funzione della tipologia d'impianto;
- per ciò che riguarda il passaggio da certificati verdi a tariffa dopo il 2015, è necessario utilizzare lo stesso sistema di incentivo per gli impianti entrati in esercizio dall'1 gennaio 2013, prendendo come incentivo fisso il 78% del prezzo di riferimento dei certificati verdi, con specifica attenzione agli impianti alimentati da biomasse e agli impianti previsti dai progetti di riconversione del settore bieticolo-saccarifero;
- essendo necessario fornire una prospettiva di lungo termine al settore, gli incentivi del decreto in oggetto devono applicarsi fino al raggiungimento del tetto di spesa programmato al 2020;

1. INTRODUZIONE

- è necessario dare evidenza dei costi di sostegno alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili diverse dal fotovoltaico, in modo da incrementare la trasparenza sugli oneri indotti sulle tariffe dell'energia elettrica;
- è opportuno introdurre misure di semplificazione nelle procedure di accesso agli incentivi.

Per tali motivi, durante la primavera e l'inizio dell'estate 2012, il Parlamento Italiano ed i Ministeri competenti hanno valutato e discusso una serie di proposte di modifica dei criteri di incentivazione sopra ricordati.

In conclusione, con la seduta del 6 luglio 2012 il Ministro dello Sviluppo Economico, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, ha approvato in via definitiva il decreto 6 luglio 2012.

1.5.6.2 Novità introdotte dal D.M. 6 Luglio 2012

Le principali novità introdotte dal decreto sono:

- l'imposizione del tetto massimo del costo cumulato di tutte le tipologie di incentivo degli impianti a fonte rinnovabile, con esclusione di quelli fotovoltaici, fissato a 5,8 miliardi di euro l'anno;
- il contingentamento annuo già definito per gli anni 2013-2015;
- la riduzione degli incentivi per riassetarsi alla media europea e spostamento degli stessi dal fotovoltaico verso le tecnologie più vantaggiose;
- l'introduzione dei registri per gli impianti di potenza compresa fra un valore minimo differenziato per fonte e tecnologia e 5 MW (10 MW nel caso di fonti idroelettriche, 20 MW per fonti geotermoelettriche);
- l'introduzione delle procedure d'asta al ribasso per gli impianti con potenza superiore a 5 MW (10 MW nel caso di fonti idroelettriche, 20 MW per fonti geotermoelettriche);
- il mantenimento dell'incentivazione agli impianti solari termodinamici stabilita nel decreto del Ministro dello sviluppo economico 11 aprile 2008, con aumento degli incentivi;
- ritiro dell'energia con tariffa onnicomprensiva per impianti di potenza inferiore ad 1MW;

1. INTRODUZIONE

- erogazione dell'incentivo spettante in riferimento alla produzione netta immessa in rete per impianti di potenza superiore ad 1MW;
- differenziazione negli impianti alimentati a biomasse e biogas in funzione dell'utilizzo di prodotti, sottoprodotti o rifiuti;
- premio per cogenerazione ad alto rendimento (CHP);
- premi per impianti di potenza compresa fra 1 e 5 MW per la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra e per gli impianti alimentati da biomasse da filiera nazionale, cumulabili fra loro e con i premi CHP;
- incentivazione separata per la produzione di energia da impianti oggetto di interventi di rifacimento totale o parziale e da impianti ibridi;
- graduale passaggio, negli anni fra il 2013 ed il 2015, dal sistema di incentivazione con certificati verdi alla tariffa onnicomprensiva; introduzione di un contributo per le spese di istruttoria e di oneri di gestione;
- introduzione di premi per applicazioni e tecnologie avanzate (geotermia e biogas in regime di cogenerazione ad alto rendimento).

1.5.6.3 Incentivazione della produzione elettrica da fonte rinnovabile: quadro aggiornato

Possono accedere agli incentivi gli impianti di potenza non inferiore a 1 kW. Gli incentivi si applicano agli impianti nuovi, integralmente ricostruiti, riattivati, oggetto di intervento di potenziamento o di rifacimento che entrano in esercizio a partire dal 1° gennaio 2013.

Il presente decreto ha infatti la finalità di sostenere la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili attraverso la definizione di incentivi e modalità di accesso semplici e stabili, che promuovano l'efficacia, l'efficienza e la sostenibilità degli oneri di incentivazione in misura adeguata al perseguimento dei relativi obiettivi, stabiliti nei Piani di azione per le energie rinnovabili di cui all'articolo 3, comma 3, del decreto legislativo n. 28 del 2011.

Gli impianti con accesso diretto ai meccanismi di incentivazione sono:

- a) gli impianti eolici e alimentati dalla fonte oceanica di potenza fino a 60 kW;
- b) gli impianti idroelettrici di potenza nominale di concessione fino a 50 kW;

1. INTRODUZIONE

- c) gli impianti alimentati a biomassa, mediante prodotti o sottoprodotti di origine biologica, di potenza fino a 200 kW e gli impianti a biogas fino a 100 kW;
- d) impianti oggetto di potenziamento se l'incremento di potenze non eccede i limiti ai punti a), b) e c) a seconda delle tipologie d'impianto;
- e) gli impianti previsti dai progetti di riconversione del settore bieticolo-saccarifero;
- f) centrali geotermoelettriche a ridotto impatto ambientale, con fluidi geotermici a media ed alta entalpia finalizzati alla sperimentazione, e impianti pilota con reiniezione del fluido geotermico nelle stesse formazioni di provenienza, e comunque con emissioni nulle, con potenza nominale installata non superiore a 5 MW;
- g) impianti oggetto di rifacimento aventi potenza complessiva non eccedente i limiti ai punti a), b) e c) a seconda delle tipologie d'impianto;
- h) gli impianti realizzati con procedure ad evidenza pubblica da Amministrazioni pubbliche, aventi potenza fino al doppio del livello massimo indicato alle lettere a), b) e c).

1.5.6.4 Determinazione degli incentivi per impianti nuovi

Gli incentivi sono riconosciuti sulla produzione di energia elettrica netta immessa in rete dall'impianto. L'energia elettrica autoconsumata non ha accesso agli incentivi. Gli incentivi, vengono erogati sulla base della Tabella 1.10, e in base alla potenza dell'impianto sono previsti due distinti meccanismi incentivanti:

- una tariffa incentivante omnicomprensiva (T_o) per gli impianti di potenza fino a 1 MW, determinata dalla somma tra una tariffa incentivante base – il cui valore è individuato per ciascuna fonte, tipologia di impianto e classe di potenza nell'Allegato 1 del Decreto - e l'ammontare di eventuali premi (es. riduzione emissioni).

$$T_o = T_b + P_r$$

dove:

T_b è la tariffa incentivante base ricavata per ciascuna fonte e tipologia di impianto;

P_r è l'ammontare totale degli eventuali premi a cui ha diritto l'impianto.

1. INTRODUZIONE

L'energia immessa in rete dagli impianti che accedono alla tariffa onnicomprensiva risulta nella disponibilità del GSE e non del produttore.

- un incentivo (I) per gli impianti di potenza superiore a 1 MW e per quelli di potenza fino a 1 MW che non optano per la tariffa onnicomprensiva, calcolato come differenza tra la tariffa incentivante base – a cui vanno sommati eventuali premi a cui ha diritto l'impianto - e il prezzo zonale orario dell'energia (riferito alla zona in cui è immessa in rete l'energia elettrica prodotta dall'impianto).

$$I = T_b + P_r - P_z$$

dove:

T_b è la tariffa incentivante base ricavata per ciascuna fonte e tipologia di impianto dalla Tabella 1.10, ridotta secondo quanto previsto all'articolo 7, comma 1, nonché, qualora l'impianto abbia partecipato con esito positivo a una procedura d'asta, ridotta della percentuale aggiudicata nella medesima procedura;

P_r è l'ammontare totale degli eventuali premi a cui ha diritto l'impianto;

P_z è il prezzo zonale orario, della zona in cui è immessa in rete l'energia elettrica prodotta dall'impianto ed è assunto pari a zero se negativo.

L'energia prodotta dagli impianti che accedono all'incentivo (I) resta nella disponibilità del produttore.

Il Decreto stabilisce che il costo indicativo cumulato di tutte le tipologie di incentivo riconosciute agli impianti a fonte rinnovabile, diversi dai fotovoltaici, non può superare complessivamente il valore di 5,8 miliardi di euro annui. Nella seguente tabella è indicato, per ciascuna fonte, tipologia di impianto e classe di potenza, il valore delle tariffe incentivanti base (T_b) di riferimento per gli impianti che entrano in esercizio nel 2013. Nella stessa tabella sono individuate le vite medie utili convenzionali degli impianti, cui corrisponde il relativo periodo di incentivazione. Le tariffe si riducono del 2% all'anno a partire dal 2014, fatte salve le eccezioni previste nel caso di mancato raggiungimento dell'80% della potenza del contingente annuo previsto per i registri e per le aste. Il valore della tariffa incentivante base spettante è quello vigente alla data di entrata in esercizio dell'impianto. La tariffa onnicomprensiva o l'incentivo,

1. INTRODUZIONE

calcolati dal valore della tariffa incentivante base, saranno erogati dal GSE a partire dalla data di entrata in esercizio commerciale.

Tab.1.10 Vita utile convenzionale, tariffe incentivanti base e incentivi per i nuovi impianti a bioenergie.

Fonte rinnovabile	Tipologia	Potenza	Vita utile degli impianti	Tariffa incentivante base Tb
		kW	anni	€/MWh
Eolica	On-shore	1<P≤20	20	291
		20<P≤200	20	268
		200<P≤1000	20	149
		1000<P≤5000	20	135
		P>5000	20	127
	Off-shore	1<P≤5000	25	176
		P>5000	25	165
Idraulica	ad acqua fluente (compresi gli impianti in acquedotto)	1<P≤20	20	257
		20<P≤500	20	219
		500<P≤1000	20	155
		1000<P≤10000	25	129
		P>10000	30	119
	a bacino o a serbatoio	1<P≤10000	25	101
		P>10000	30	96
Oceanica (comprese maree e moto ondoso)	1<P≤5000	15	300	
	P>5000	20	194	
Geotermica	1<P≤1000	20	135	
	1000<P≤20000	25	99	
	P>20000	25	85	
Gas di scarica	1<P≤1000	20	99	
	1000<P≤5000	20	94	
	P>5000	20	90	
Gas residuati dai processi di depurazione	1<P≤1000	20	111	
	1000<P≤5000	20	88	
	P>5000	20	85	
Biogas	a) prodotti di origine biologica	1<P≤300	20	180
		300<P≤600	20	160
		600<P≤1000	20	140
		1000<P≤5000	20	104
		P>5000	20	91
	b) sottoprodotti di origine biologica di	1<P≤300	20	236
		300<P≤600	20	206
		600<P≤1000	20	178
		1000<P≤5000	20	125

1. INTRODUZIONE

	cui alla Tabella 1 –A; d) rifiuti non provenienti da raccolta differenziata diversi da quelli di cui alla lettera c)	P>5000	20	101	
	c) rifiuti per i quali la frazione biodegradabile è determinata forfettariamente e con le modalità di cui all'Allegato 2	1<P≤1000	20	216	
		1000<P≤5000	20	109	
		P>5000	20	85	
Biomasse	a) prodotti di origine biologica	1<P≤300	20	229	
		300<P≤1000	20	180	
		1000<P≤5000	20	133	
		P>5000	20	122	
	b) sottoprodotti di origine biologica di cui alla Tabella 1 –A; d) rifiuti non provenienti da raccolta differenziata diversi da quelli di cui alla lettera c)	1<P≤300	20	257	
		300<P≤1000	20	209	
		1000<P≤5000	20	161	
			P>5000	20	145
	c) rifiuti per i quali la frazione biodegradabile è determinata forfettariamente e con le modalità di cui all'Allegato 2	1<P≤5000	20	174	
			P>5000	20	125
Bioliquidi sostenibili	1<P≤5000	20	121		
		P>5000	20	110	

1. INTRODUZIONE

Come si può evincere dalla tabella sovrastante, gli impianti di piccola taglia risultano essere più incentivati, nonché l'utilizzo di sottoprodotti di origine biologica, (236 €/MWh per impianti con potenza compresa tra 1 e 300 KW). Dunque la normativa stabilisce che l'incentivo (euro per MWh generati) diminuisce all'aumentare della taglia dell'impianto e che le installazioni di potenza fino a 100 KW che impiegano prodotti di origine biologica accedono direttamente agli incentivi. In passato il sistema era molto più incentivato (circa 270 €/MWh), ma in compenso attualmente in alimentazione si può utilizzare un rifiuto, il cui corretto smaltimento da parte di chi lo produce può rappresentare un costo non indifferente; dunque chi produce biogas riceve una certa quota dal produttore del rifiuto per smaltirlo.

1.5.6.5 Modalità di accesso agli incentivi

Sono previste quattro diverse modalità di accesso agli incentivi, a seconda della fonte, della potenza dell'impianto e della categoria di intervento:

- Accesso diretto, nel caso di interventi di nuova costruzione, integrale ricostruzione, riattivazione o potenziamento con potenza non superiore ad un determinato limite (art.4 comma 3), per determinate tipologie di fonte o per specifiche casistiche;
- Iscrizione a Registri, in posizione tale da rientrare nei contingenti annui di potenza incentivabili (art.9 comma 4), nel caso di interventi di nuova costruzione, integrale ricostruzione, riattivazione o potenziamento con potenza superiore a quella massima ammessa per l'accesso diretto agli incentivi e non superiore al valore di soglia oltre il quale è prevista la partecipazione a procedure di Aste competitive al ribasso;
- Iscrizione a Registri per gli interventi di rifacimento, in posizione tale da rientrare nei relativi contingenti annui di potenza incentivabile (art.17 comma 1), nel caso di rifacimenti di impianti la cui potenza successiva all'intervento è superiore a quella massima ammessa per l'accesso diretto;
- Aggiudicazione degli incentivi partecipando a procedure competitive di Aste al ribasso, gestite dal GSE esclusivamente per via telematica, nel caso di interventi di nuova costruzione, integrale ricostruzione, riattivazione o potenziamento con

1. INTRODUZIONE

potenza superiore a un determinato valore di soglia (10 MW per gli impianti idroelettrici, 20 MW per gli impianti geotermoelettrici e 5MW per gli altri impianti a fonti rinnovabili);

In caso di interventi di potenziamento, per determinare la modalità di accesso agli incentivi, la potenza da considerare corrisponde all'incremento di potenza a seguito dell'intervento.

1.5.6.6 Conversione del diritto ai certificati verdi in incentivo

L'incentivazione mediante assegnazione dei Certificati Verdi, verrà definitivamente sostituita dall'attuale forma d'incentivo nell'anno 2015. Ciò significa che gli impianti realizzati entro il 31 dicembre 2012, che hanno maturato il diritto a fruire dei certificati verdi, usufruiranno dopo tale data di un incentivo per il residuo periodo di diritto ai certificati verdi (successivo al 2015). Tale incentivo I sulla produzione netta incentivata ai sensi della previgente normativa di riferimento, aggiuntivo ai ricavi conseguenti alla valorizzazione dell'energia, è calcolato secondo la formula

$$I = k \cdot (180 - Re) \cdot 0.78$$

dove $k = 1$ per gli impianti entrati in esercizio entro il 31 dicembre 2007, k è pari al coefficiente applicabile alla medesima produzione per gli impianti entrati in esercizio successivamente (legge n. 244 del 2007), mentre Re è il prezzo di cessione dell'energia elettrica definito dall' AEEG, registrato nell'anno precedente.

Nel caso degli impianti a cogenerazione abbinati a teleriscaldamento entrati in esercizio entro il 31 dicembre 2012 si applicano le stesse regole, ma l'incentivo I viene calcolato mediante la formula

$$I = (D - Re)$$

dove D è la somma del prezzo medio di mercato dei certificati verdi per impianti di cogenerazione abbinati a teleriscaldamento e del prezzo di cessione dell'energia registrati nell'anno 2012, mentre Re è il prezzo di cessione dell'energia elettrica definito dall'AEEG, registrato nell'anno precedente. Per la produzione di energia elettrica da impianti a biomasse, esclusi gli impianti a biogas, entrati in esercizio entro il 31 dicembre 2012, il prezzo di cessione

1. INTRODUZIONE

dell'energia elettrica Re per il calcolo dell'incentivo è fisso pari a quello registrato nell'anno 2012.

1.5.6.7 Disposizioni specifiche biomassa, biogas e bioliquidi sostenibili (Art. 8)

Per gli impianti alimentati a biomasse e a biogas, al fine di determinare la tariffa incentivante di riferimento, il GSE identifica, sulla base dell'autorizzazione alla costruzione e all'esercizio dell'impianto, da quale delle seguenti tipologie è alimentato l'impianto:

- a) prodotti di origine biologica;
- b) sottoprodotti di origine biologica di cui alla tabella seguente;
- c) rifiuti per i quali la frazione biodegradabile è determinata forfettariamente;
- d) rifiuti non provenienti da raccolta differenziata diversi dalla lettera c).

Tabella 1.11 Elenco sottoprodotti/rifiuti utilizzabili negli impianti a biomasse e biogas.

ELENCO SOTTOPRODOTTI/RIFIUTI UTILIZZABILI NEGLI IMPIANTI A BIOMASSE E BIOGAS	
<i>1. Sottoprodotti di origine animale non destinati al consumo umano - Reg. Ce 1069/2009</i>	
<i>1.1 classificati di Cat. 3 (con specifiche di utilizzo previste nel regolamento stesso e nel regolamento CE n. 142/2011):</i>	
carcasse e parti di animali macellati non destinati al consumo umano per motivi commerciali;	prodotti di origine animale o prodotti alimentari contenenti prodotti di origine animale non più destinati al consumo umano per motivi commerciali o a causa di problemi di fabbricazione o difetti che non presentano rischi per la salute pubblica o degli animali;
sottoprodotti di origine animale derivanti dalla fabbricazione di	sangue che non presenti alcun sintomo di malattie trasmissibili

1. INTRODUZIONE

prodotti destinati al consumo umano, compresi ciccioli, fanghi da centrifuga o da separatore risultanti dalla lavorazione del latte;	all'uomo o agli animali;
tessuto adiposo di animali che non presenti alcun sintomo di malattie trasmissibili all'uomo o agli animali;	rifiuti da cucina e ristorazione;
sottoprodotti di animali acquatici;	
<i>1.2 classificati di Cat. 2 (con specifiche di utilizzo previste nel regolamento stesso e nel regolamento CE n. 142/2011)</i>	
stallatico (escrementi e/o urina di animali, guano non mineralizzato, ecc.);	tubo digerente e suo contenuto;
Farine di carne e d'ossa ;	sottoprodotti di origine animale raccolti nell'ambito del trattamento delle acque reflue a norma delle misure di attuazione adottate conformemente all'articolo 27, primo comma, lettera c):
da stabilimenti o impianti che trasformano materiali di categoria 2; o da macelli diversi da quelli disciplinati dall'articolo 8, lettera e);	
<i>1.3 Tutti i sottoprodotti classificati di categoria 1 ed elencati all'articolo 8 del regolamento CE n. 1069/2009 (con specifiche di utilizzo previste nel regolamento stesso e nel regolamento CE n. 142/2011)</i>	
2. Sottoprodotti provenienti da attività agricola, di allevamento, dalla gestione del verde e da attività forestale	
effluenti zootecnici;	paglia;
pula;	stocchi;
fieni e trucioli da lettiera.	residui di campo delle aziende

1. INTRODUZIONE

	agricole;
sottoprodotti derivati dall'espianto;	sottoprodotti derivati dalla lavorazione dei prodotti forestali;
sottoprodotti derivati dalla gestione del bosco;	potature, ramaglie e residui dalla manutenzione del verde pubblico e privato.
3. Sottoprodotti provenienti da attività alimentari ed agroindustriali	
sottoprodotti della trasformazione del pomodoro (bucchette, bacche fuori misura, ecc.);	sottoprodotti della trasformazione delle olive (sanse, sanse di oliva disoleata, acque di vegetazione);
sottoprodotti della trasformazione dell'uva (vinacce, graspi, ecc.);	sottoprodotti della trasformazione della frutta (condizionamento, sbucciatura, detorsolatura, pastazzo di agrumi , spremitura di pere, mele, pesche, noccioli, gusci, ecc.);
sottoprodotti della trasformazione di ortaggi vari (condizionamento, sbucciatura, confezionamento, ecc.);	sottoprodotti della trasformazione delle barbabietole da zucchero (borlande; melasso; polpe di bietola esauste essiccate, suppressate fresche, suppressate insilate ecc.);
sottoprodotti derivati dalla lavorazione del risone (farinaccio, pula, lolla, ecc.);	sottoprodotti della lavorazione dei cereali (farinaccio, farinetta, crusca, tritello, glutine, amido, semi spezzati, ecc.);
sottoprodotti della lavorazione di frutti e semi oleosi (pannelli di germe di granturco, lino, vinacciolo, ecc.);	pannello di spremitura di alga;
sottoprodotti dell'industria della panificazione, della pasta alimentare, dell'industria dolciaria (sfridi di pasta, biscotti, altri prodotti da forno, ecc.);	sottoprodotti della torrefazione del caffè;

1. INTRODUZIONE

sottoprodotti della lavorazione della birra;	
4. Sottoprodotti provenienti da attività industriali	
sottoprodotti della lavorazione del legno per la produzione di mobili e relativi componenti.	

1.5.6.8 Premi per impianti a biogas che utilizzano tecnologie avanzate (Art. 26)

- Nel caso di impianti alimentati da biomasse di cui alle lettere a) e b), di potenza compresa fra 1 MW e 5 MW, sono previsti i seguenti premi cumulabili tra loro:
 - 10 €/MWh se l'esercizio degli impianti dà luogo a una riduzione delle emissioni di gas a effetto serra rispetto ai valori obiettivo indicati nell'art.8, comma 9 del decreto;
 - 20 €/MWh se gli impianti sono alimentati da biomasse da filiera ricomprese fra le tipologie indicate in Tabella 1-B del decreto.
- Gli impianti, anche oggetto di rifacimento, di qualsiasi potenza e alimentati da biomasse di cui alle lettere a) e b), possono accedere ad un premio di 30 €/MWh, qualora soddisfino i requisiti di emissione in atmosfera di cui all'Allegato 5 del decreto.
- Alla tariffa di riferimento per gli impianti a biomasse, biogas e bioliquidi sostenibili, operanti in cogenerazione ad alto rendimento spetta un premio così differenziato:
 - 40 €/MWh per impianti alimentati da prodotti di origine biologica o da bioliquidi sostenibili;
- Incentivazione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili elettriche non fotovoltaiche
- 40 €/MWh per impianti a biomasse alimentati da sottoprodotti di origine biologica, qualora il calore generato sia utilizzato per il teleriscaldamento;

1. INTRODUZIONE

- 10 €/MWh per gli altri impianti.

Il Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali predispone, avvalendosi di AGEA, una procedura semplificata per la verifica delle quantità di prodotto e sottoprodotto impiegate dal produttore, anche tramite l'effettuazione di controlli a campione. L'erogazione del contributo viene effettuata dal GSE per il minimo spettante, mentre gli incrementi previsti vengono corrisposti a conguaglio, a seguito di comunicazione di esito positivo dei controlli.

- Nel caso di impianti alimentati a biogas, operanti in regime ad alto rendimento che prevedano il recupero dell'azoto dalle sostanze trattate con finalità di produrre fertilizzanti, il premio per l'assetto operativo è incrementato di 30 €/MWh. L'accesso a tale premio è previsto a condizione che:

a) si abbia rimozione di almeno il 60% dell'azoto totale (comunicazione di spandimento);

b) sia verificata la conformità del fertilizzante (D. Lgs. N. 75 del 2010);

c) la produzione del fertilizzante avvenga senza apporti energetici termici da fonti non rinnovabili;

d) le vasche di stoccaggio del digestato e quelle eventuali di alimentazione dei liquami in ingresso siano dotate di copertura impermeabile;

e) il recupero dell'azoto non deve comportare emissioni in atmosfera di ammoniaca o altri composti ammoniacali.

- Per impianti alimentati a biogas, di potenza fino a 600kW, in alternativa al premio di cui sopra, è possibile accedere:

1) ad un premio di 20 €/MWh nel caso in cui l'impianto operi in assetto cogenerativo, venga realizzato (attraverso la realizzazione di fertilizzante) un recupero del 30% dell'azoto totale in ingresso e siano soddisfatte le condizioni di copertura delle vasche e di non emissione in atmosfera;

2) ad un premio di 15 €/MWh nel caso in cui venga realizzata una rimozione pari al 40% dell'azoto totale in ingresso e siano rispettate le condizioni di copertura delle vasche e di non emissione in atmosfera.

1.5.6.9 Cumulabilità

I meccanismi di incentivazione, contenuti nel Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 6 luglio 2012, non sono cumulabili con altri incentivi pubblici comunque denominati, fatte salve le disposizioni di cui all'articolo 26 del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28.

Il premio per la produzione in assetto cogenerativo ad alto rendimento, incluso il premio per la cogenerazione abbinata al teleriscaldamento, non è cumulabile con ulteriori incentivi all'efficienza energetica e alla produzione di energia termica.

1.6 Panorama impianti allestiti

1.6.1 Storia

La digestione anaerobica è un'opzione di trattamento dei rifiuti che è stata operata per diversi secoli. Nel mondo, rifiuti animali, erbacce e rifiuti agricoli sono utilizzati per produrre energia. Storicamente, il biogas è una risorsa preziosa in via di sviluppo nei paesi dell'Est, dove l'accesso all'energia è limitato e pregiato. In questi paesi, piccoli impianti di biogas producono metano dai rifiuti per il riscaldamento localizzato. Fino a 18 milioni di digestori di biogas operavano in Cina nel 2006, con un totale di biogas cinese potenziale stimato di circa 145 miliardi di m³, mentre l'India ha circa 5 milioni di piccoli impianti di biogas operanti nel 2008 (*Al Seadi et al. 2008*).

Recenti incentivi di politica energetica rinnovabile e la spinta verso la riduzione dei rifiuti e di gas serra hanno visto aumenti drammatici nella diffusione di tali tecnologie nel mondo. Di conseguenza, la produzione di biogas è cresciuta notevolmente negli ultimi anni, come mostra la figura 1.22.

C'è stato un notevole aumento dei tassi di installazione di impianti di digestione anaerobica di RSU in Europa negli ultimi anni, con più di 120 installati tra il 2001 e il 2010 (*Weiland 2005*). La crescita più significativa nel settore è stato negli Stati Uniti e in Germania, che ora sono i più grandi produttori di biogas del mondo. Insieme, questi due paesi rappresentano oltre il 50% della produzione di biogas nel 2008, come mostrato nella Figura 1.23. Nel 1985, i più grandi impianti avevano una capacità di 25.000 tonnellate / anno; le capacità attuali ora superano il valore di 500.000 tonnellate / anno (*Arsova et al. 2010*). I principali

1. INTRODUZIONE

substrati di alimentazione sono mais e frumento. La maggior parte dei nuovi impianti hanno una capacità elettrica di circa 400 - 800 kW (Abbasi et al. 2012).

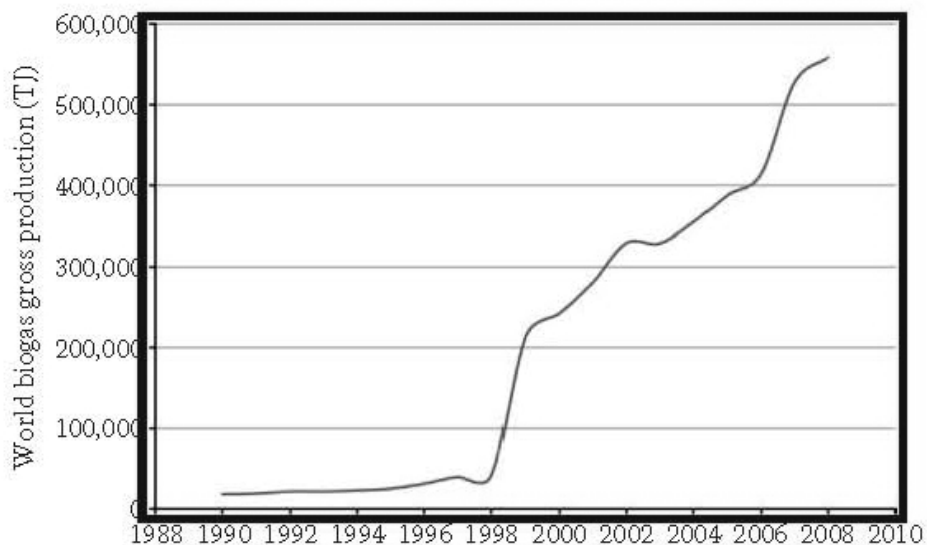


Figura 1.22 Produzione storica di biogas nel mondo. (UNDP 2012).

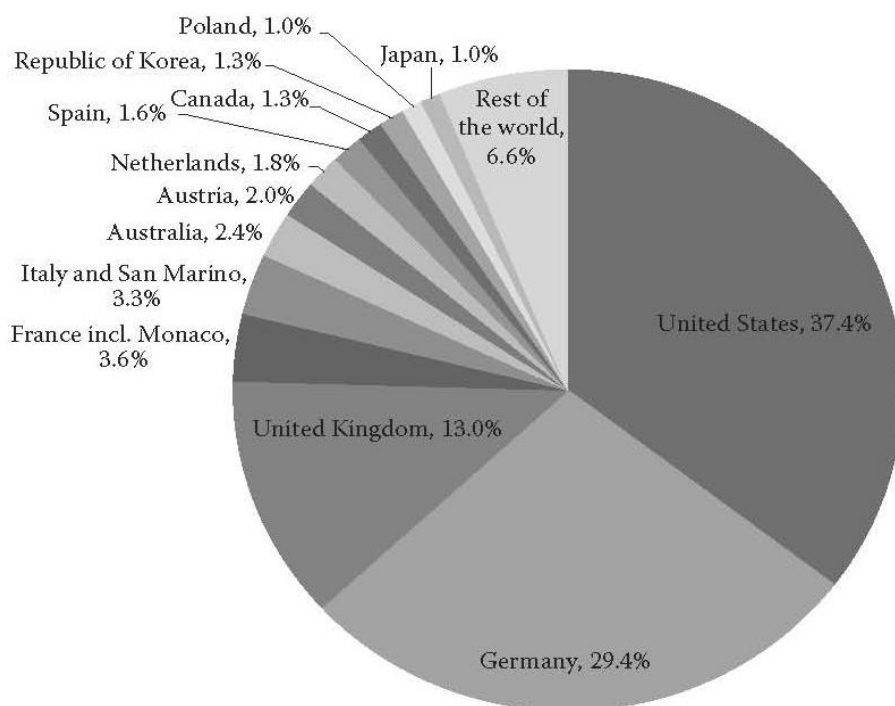


Figura 1.23 Distribuzione della produzione di biogas nel mondo, 2008. (UNDP 2012).

1.6.2 Digestione anaerobica: situazione impiantistica europea

In Europa la diffusione della digestione anaerobica è cominciata circa vent'anni fa nel settore della stabilizzazione dei fanghi da depurazione (si stimano circa 1600 digestori operativi attualmente nei paesi dell'Unione Europea), cui hanno fatto seguito negli anni '90 i primi impianti per la trasformazione di liquami zootecnici: attualmente oltre 2000 impianti sono operativi nei paesi della Comunità Europea, in particolare in Germania (oltre 1800), Austria, Italia, Danimarca e Svezia (G. Urbini, V. Torretta, P. Bini, M. Valvassori, F. Conti). 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. In Europa circa 130 impianti di digestione anaerobica trattano ciascuno più di 2500 t/anno di frazione organica di rifiuti urbani e/o residui organici industriali.

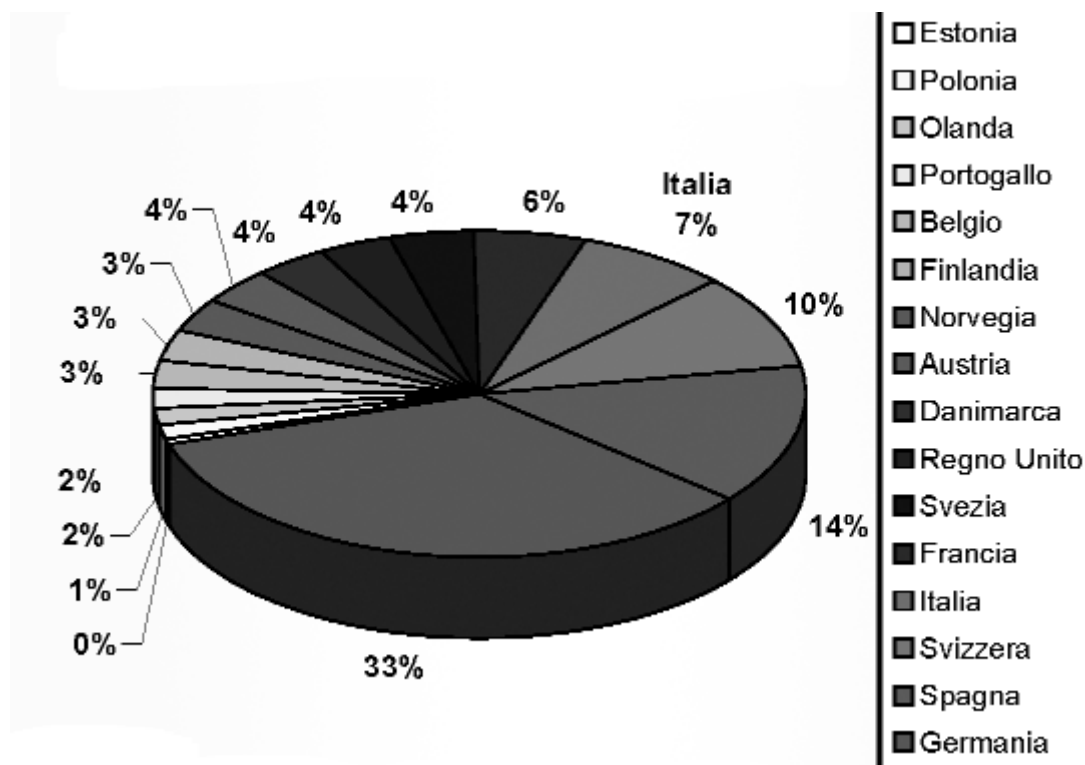


Figura 1.24 Ripartizione percentuale degli impianti Europei per Stato.

1. INTRODUZIONE

Solo di recente, però, 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. 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, con lo scopo di recuperarne materia e/o energia rispettivamente attraverso l'impiego agronomico dei digestati e alla combustione del biogas prodotto. In questo contesto assume particolare interesse il processo di digestione anaerobica.

Attualmente in Europa sono presenti:

- circa 1600 digestori operativi nella stabilizzazione dei fanghi di depurazione;
- circa 400 impianti di biogas per il trattamento delle acque reflue industriali ad alto carico organico;
- circa 450 impianti operativi nel recupero di biogas dalle discariche per rifiuti urbani;
- oltre 2500 impianti operanti su liquami zootecnici in particolare in Germania (oltre 2000), Austria, Italia, Danimarca e Svezia;
- circa 130 impianti di digestione anaerobica trattano ciascuno più di 2500 t/anno di frazione organica di rifiuti urbani e/o residui organici industriali.

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 che ha fissato un prezzo per l'energia elettrica da biogas fino a 22 centesimi di euro per ogni kWh, con significativi contributi pubblici agli investimenti, ma anche ad una buona gestione integrata rifiuto – acqua; i dati al 2004, parlano di circa 2.500 impianti esistenti con una potenza elettrica installata di oltre 400 MW. Circa il 94% degli impianti di biogas operano in codigestione, trattando assieme ai liquami zootecnici altri substrati organici, scarti dell'agroindustria, scarti domestici e della

1. INTRODUZIONE

ristorazione, soprattutto colture energetiche (mais, sorgo zuccherino, barbabietola da foraggio, patate ecc.) e residui colturali. 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. E' opportuno sottolineare, però, che gli impianti tedeschi sono tutti di piccola-media taglia (capacità di trattamento media per impianto di poco superiore a 30.000 t/a), mentre gli impianti più grandi si trovano in Francia dove la capacità di trattamento media per impianto è superiore alle 140.000 t/a. La tendenza generale fino a questo momento è stata comunque quella di realizzare impianti di piccole dimensioni e, come si può notare dal grafico sottostante, il maggior numero degli impianti tratta meno di 20.000 t/a; la causa della scarsa diffusione di impianti estremamente grandi, è probabilmente da attribuire all'eccessivo costo iniziale di investimento o alle maggiori difficoltà gestionali.

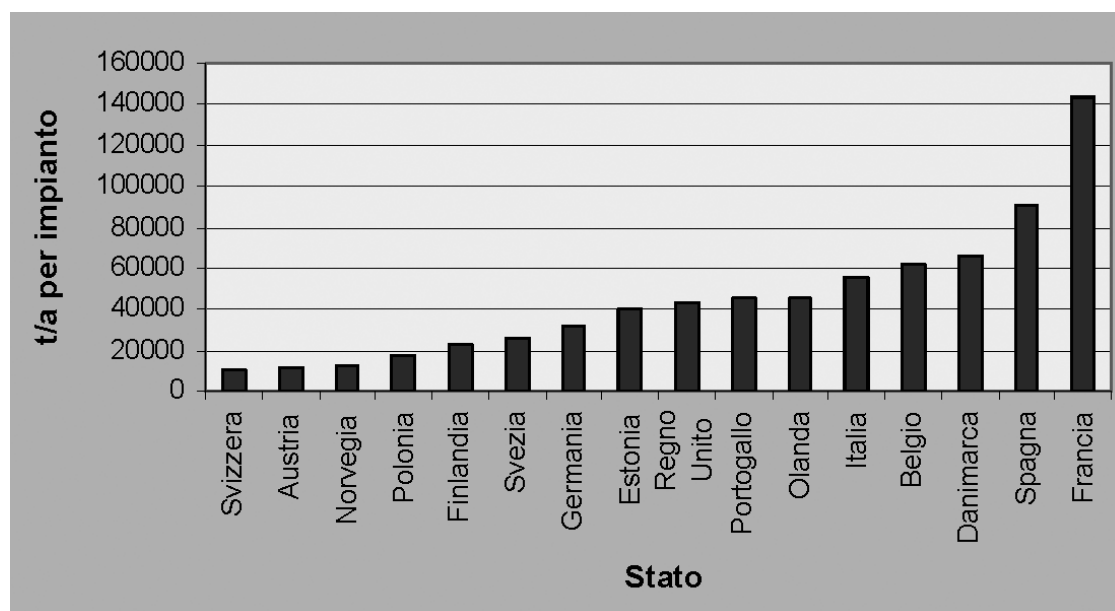


Figura 1.25 Capacità di trattamento annuo per i diversi Stati.

Anche se le rese in biogas della FORSU, paragonate alle altre matrici utilizzate, non sono particolarmente elevate, il vantaggio del suo utilizzo è rappresentato dalla facile reperibilità; in Italia nel 2006 sono state raccolte circa 2.702.500 tonnellate di FORSU e verde e, secondo una stima di APAT, nello stesso anno

1. INTRODUZIONE

solo lo 0,4 % dei rifiuti è stato trattato tramite la digestione anaerobica. Inoltre non vi è competizione commerciale per l'intercettazione della FORSU, che ad oggi rappresenta solo un costo per la collettività ed è fonte di guadagno per l'impianto che la riceve. Altre matrici, pur avendo potenziali di produzione molto elevati, sono scarsamente utilizzate a causa di alcuni problemi intrinseci, principalmente per i costi elevati o la scarsa reperibilità. Ad esempio gli scarti di macellazione e di lavorazione del pesce, oltre a richiedere onerosi pretrattamenti obbligatori, spesso risultano troppo costosi per essere sfruttati con un guadagno, soprattutto se non sono reperibili perché hanno già altri numerosi canali di utilizzo (produzione mangimi e/o concimi). Esistono però dei casi in cui queste matrici sono largamente impiegate, come in Norvegia, dove si utilizzano i numerosissimi scarti dell'industria ittica come substrato per la digestione anaerobica e addirittura si vende parte della produzione di queste matrici ad altri stati come la Danimarca; sono però realtà locali influenzate da particolari condizioni ambientali ed economiche. L'utilizzo di altre biomasse da avviare a digestione, come le materie grasse di origine vegetale (oli di palma, colza, girasole etc.) subisce la competizione dovuta alla produzione di biocarburanti da tali materie. Per il 2003 la produzione di biogas nei 15 Paesi dell'UE si stima di 3219 ktep (37 TWh); più di 1/3 è biogas da discariche di RU (*EurObserv'ER, 2004*). La biomassa di scarto prodotta annualmente nei paesi dell'Unione Europea ammonta a circa 1200 milioni di tonnellate, di cui circa il 90% è costituito da deiezioni animali e il resto da rifiuti organici urbani e industriali. Per il 2020 EurObserv'ER stima una produzione di biogas di 17987 ktep (circa 209 TWh) per i 15 paesi dell'UE.

1.6.3 Digestione anaerobica: situazione impiantistica italiana

EurObserv'ER stima per l'Italia una produzione di biogas nel 2003 di 201 ktep (circa 2,3 TWh). Oltre un terzo di questa produzione è dovuta al recupero di biogas dalle discariche per RU. Per il 2020 la stima è di 1626 ktep (circa 18,9 TWh). Il fabbisogno di EE dell'Italia nel 2003 è stato di 320,7 TWh. Le biomasse interessate sono:

- deiezioni animali : 187.000.000 t/a;
- scarti agro- industriali: 12.000.000 t/a.;

1. INTRODUZIONE

- scarti di macellazione: 2.000.000 t/a;
- fanghi di depurazione: 2-3.000.000 t/a;
- fraz.org. dei R.U.: 9.000.000 t/a;
- residui colturali: 10.000.000 t SS/a;
- colture energetiche: 230.000 ha.

Diversi impianti di biogas sono stati realizzati anche nell'agro-industria, in particolare in distillerie, zuccherifici, stabilimenti per la produzione di succhi di frutta e prodotti dolciari. Attualmente (al maggio 2011) sono operativi o in fase di costruzione 521 impianti che utilizzano matrici di origine agricola e/o agroindustriale (CRPA, 2011), con un incremento del 91% rispetto al dato censito al marzo 2010, pari a 273 impianti. In termini di potenza elettrica installata, si è passati dai precedenti 140 MW agli attuali 350 MW, con un incremento del 150%. Se a questi si sommano gli impianti che utilizzano altre matrici organiche (FORSU, fanghi) e quelli che recuperano il biogas dalle discariche dei rifiuti urbani, si arriva ad un numero complessivo di circa 700 impianti operativi o in fase di costruzione in Italia, per un totale di circa 650 MW installati.

Tabella 1.12 Quadro di sintesi del biogas in Italia (GSE 2011).

	Numero impianti (n°)			Potenza elettrica (MWe)			Energia incentivabile (GWhe)		
	Esercizio	Progetto	Totale	Esercizio	Progetto	Totale	Esercizio	Progetto	Totale
Biogas	313	181	494	209	147	356	1.338	1.025	2.363
Gas da discarica	197	18	215	274	19	293	1.585	130	1.715
Totale biogas	392	199	709	483	166	649	2.923	1.155	4.078
Totale fonti rinnovabili	2.556	1.298	3.854	14.988	8.638	23.626	27.789	29.735	57.524

Il potenziale di massimo sviluppo della produzione di biogas a livello nazionale è consistente: stime recenti (elaborazione CRPA 2009), considerati i quantitativi disponibili di biomasse e di scarti di origine agro-zootecnica utilizzabili in

1. INTRODUZIONE

codigestione con biomasse vegetali provenienti da coprodotti e sottoprodotti agricoli e da circa 200.000 ha di colture dedicate evidenziano un potenziale produttivo pari a circa 6,5 miliardi di m³ di gas metano equivalenti (circa l'8% del consumo attuale di gas naturale in Italia, pari alla attuale produzione nazionale di gas naturale). In termini di potenza elettrica potenzialmente installabile, si tratta di circa 2.700 MW.

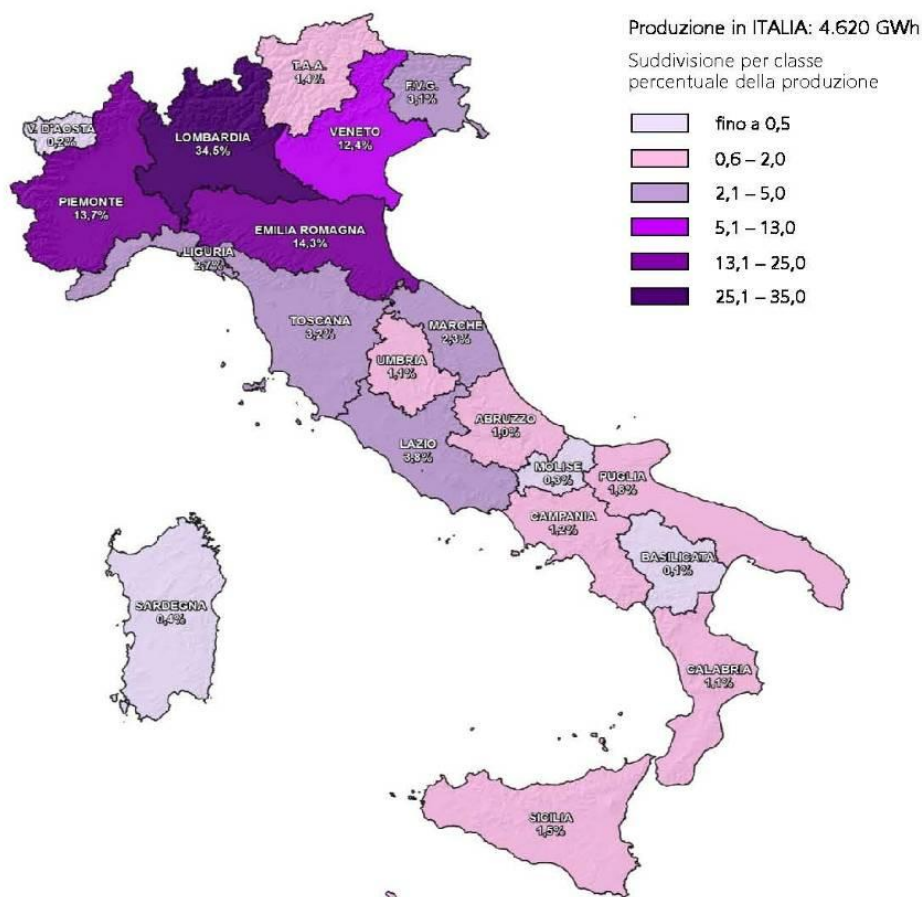


Figura 1.26 Distribuzione regionale della produzione da biogas nel 2012 (*Rapporto statistico 2012, GSE*).

Analizzando la distribuzione regionale della produzione di biogas è evidente che l'Italia settentrionale fornisce un ottimo contributo alla produzione nazionale con l'82%, in particolare leader la Lombardia con 48 strutture, seguono l'Emilia-Romagna con 30, il Veneto con 17 e il Trentino con 34. Tra le regioni centro meridionali si distinguono: il Lazio (3,8%), la Toscana (3,2%), le Marche (2,3%) e

la Puglia (1,8%). Dallo sfruttamento del biogas nel 2012 sono stati generati 4.620 GWh, circa il 35,7% in più rispetto al 2011. La differenza è attribuibile soprattutto agli impianti alimentati con prodotti derivati da attività agricole e forestali, che passano da una produzione di 1.453 GWh a 2.534 GWh.

1.6.4 Digestione anaerobica: situazione impiantistica siciliana

Gli impianti di biogas assumono una rilevanza sempre maggiore in Italia, anche se ancora sembrano rappresentare una realtà non troppo conosciuta tra gli imprenditori isolani. Infatti, gli ultimi dati diffusi non danno grande risonanza alla realtà siciliana in termini di produzione di biogas. Secondo gli ultimi dati pubblicati dal GSE, che prende in considerazione la statistica di tutti gli impianti nazionali da biomasse, la Sicilia ha prodotto nel 2008 circa 75,5 GWh da biogas, ben poca cosa rispetto la Lombardia (273,6 GWh), il Veneto (128,3 GWh) e il Piemonte (182,8 GWh). Nel complesso infatti la produzione isolana da biomasse, biogas, rifiuti solidi urbani e bioliquidi si attesta all'1,3% del totale nazionale, a distanza siderale non solo dal Settentrione (Lombardia a quota 22,9 %), ma anche dalla Calabria (13,2 %) e dalla Puglia (13,4%). Sul settore biomasse, che l'UE considera fondamentale, l'Isola è ancora molto indietro. Gli impianti a fonte rinnovabile (IAFR) autorizzati in Sicilia riguardano l'eolico, il fotovoltaico, impianti a biomasse, biogas, fotovoltaico + eolico e solare termodinamico. L'eolico, con il 51,11%, è la fonte energetica al primo posto per potenza autorizzata, seguita dal fotovoltaico con il 39,12%, mentre per quanto riguarda le altre fonti energetiche, queste sono al di sotto dell'1%, fatta eccezione per la biomassa, la cui potenza autorizzata è di poco superiore all'8%.

1. INTRODUZIONE

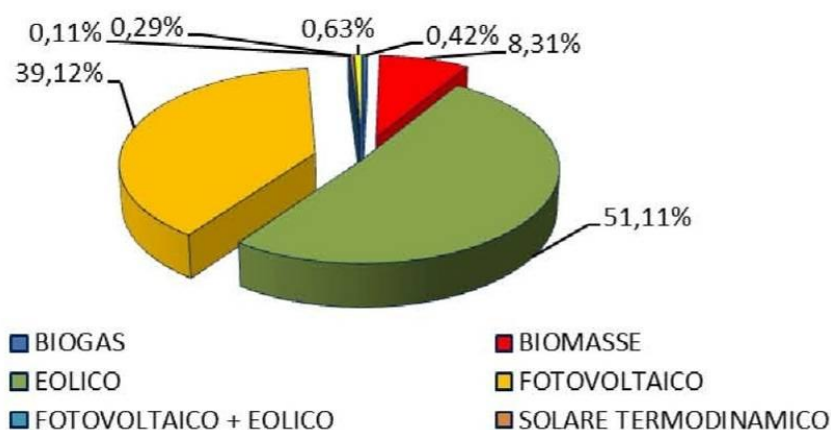


Figura 1.27 Percentuale di potenza autorizzata in Sicilia per tipologia di impianto (*Regione Siciliana – Dipartimento Energia*).

La figura seguente mostra, l'andamento della potenza autorizzata a partire dal 2005 e la potenza cumulativa per gli impianti a biogas.

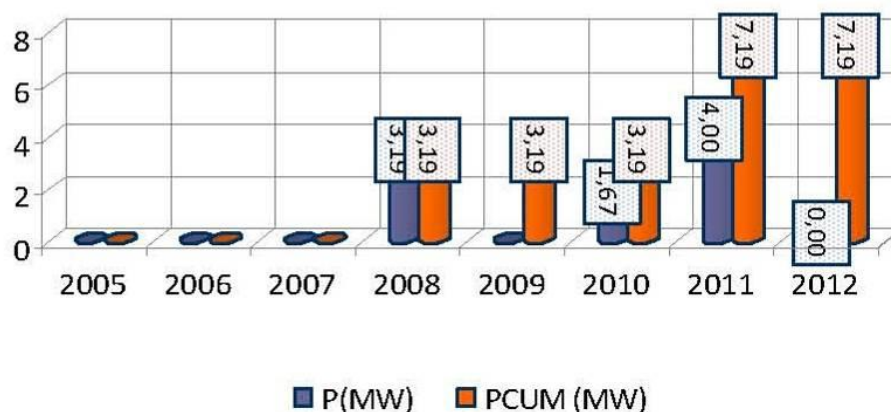


Figura 1.28 Trend impianti a biogas autorizzati in Sicilia (*Regione Siciliana – Dipartimento Energia*).

La Sicilia, ubicata al centro del Bacino del Mediterraneo, è stata da sempre il crocevia della cultura e della civiltà mediterranea. Le produzioni agro-alimentari siciliane rappresentano un insieme composito ed unico nel panorama internazionale, offrendo una variabilità significativa di specie vegetali, di produzioni animali e di alimenti. L'agricoltura del Sud Italia e siciliana, in particolare, è caratterizzata da una molteplicità di:

1. INTRODUZIONE

- imprese di medie/grandi dimensioni (seminativi ma anche colture specializzate) che mirano ai mercati nazionali ed esteri;
- imprese piccole, con costi fissi poco comprimibili, che stanno puntando alla produzione di beni ad alto valore unitario (prodotti tipici, di “nicchia”, biologico, ecc.), con caratteri distintivi, legati al territorio e con un esplicito legame alla tradizione.

Il biogas per l'impresa agricola del Sud Italia può determinare un efficiente uso del suolo agricolo, essendo in grado di utilizzare non solo biomasse vegetali, ma anche effluenti zootecnici, sottoprodotti agricoli e agroindustriali, garantendo quindi la possibilità di rendere “risorsa” quelle che sono sostanze residuali altrimenti destinate allo smaltimento. Ciò che più interessa è quindi la produzione agricola, gli allevamenti, l'industria agroalimentare (ad esempio caseifici, cantine, frantoi, impianti trasformazione agrumi, ecc.) che costituiscono anche uno strumento per riposizionare l'imprenditore agricolo. In alcune aree del Paese le procedure autorizzative per costruire e per gestire gli impianti sono complesse. Le conseguenze principali sono: costi aggiuntivi, difficoltà sulla bancabilità, tempi indefiniti, ecc.. Le cause principali sono:

- mancanza di una legislazione chiara, puntuale, unica per l'intera nazione;
- connessioni alla rete elettrica complesse e costose a causa di collegamenti insufficienti in aree rurali;
- piani energetici ambientali approvati dalle regioni: una babele che non fa bene all'economia in generale e agli imprenditori del sistema agroalimentare.

Per i prossimi anni, l'opzione delle energie rinnovabili come integrazione del reddito con un prezzo definito e potenzialmente garantito, potrebbe costituire per gli imprenditori agricoli una situazione di certezza che aveva determinato la crescita della produzione prima degli anni novanta. Bisogna, però, avere garanzie in merito all'orientamento favorevole del sistema nel suo complesso, definire le opportune garanzie contrattuali fra imprenditori agricoli ma anche con

1. INTRODUZIONE

altri partner della filiera e nel lungo periodo è auspicabile che l'innovazione tecnologica metta a disposizione soluzioni mirate anche per i territori del Sud Italia per migliorare i rendimenti nelle diverse fasi della filiera agroenergetica: produzione di biomassa, logistica e produzione di energia. E' dunque necessario definire il quadro di riferimento sul biometano per affrontare analisi economiche che diano risposte chiare e certe su:

- approvvigionamento della biomassa;
- esercizio impianto;
- produzione di energia e relativa modalità di vendita;
- gestione del digestato.

Il biometano può costituire una soluzione ad alcuni problemi per coinvolgere anche al Sud Italia le imprese agroalimentari.

2. SCOPO DELLA TESI

L'obiettivo che si pone questa tesi è la valorizzazione degli scarti della lavorazione degli agrumi, sottoprodotti particolarmente abbondanti dell'industria agrumaria. Il loro corretto smaltimento ha rappresentato da sempre un costo con problemi non indifferenti per le aziende, in particolare per la Sicilia, dato l'ingente quantitativo prodotto.

Questo lavoro si è concentrato su due aspetti fondamentali:

- studio dei possibili utilizzi del pastazzo di agrumi, che si può considerare una fonte di sostanze ad alto valore aggiunto (pectina, limonene, fibre, ecc), per l'estrazione di tali sostanze o per applicazioni in campo (compost, mangime);
- valorizzazione di tale sottoprodotto da sottoporre a digestione anaerobica per la produzione di biogas, contribuendo a generare energia elettrica e termica rinnovabile.

Il primo punto è stato descritto in dettaglio nella parte di introduzione alla tesi, riguardante il destino attuale degli scarti della lavorazione degli agrumi.

Per quanto riguarda il secondo punto, è stato analizzato un caso pratico, l'impianto di produzione di biogas alimentato a biomasse, situato in contrada Nuova Scala a Mussomeli (CL), che attualmente tratta pastazzo di agrumi, insilato di sulla, silomais, pollina e sansa di olive. Come si vedrà in seguito, dalle analisi condotte sul pastazzo di agrumi e dall'esperienza in campo, emerge che tale sottoprodotto presenta punti di forza ma anche svantaggi per il suo utilizzo nella produzione di biogas; infatti non può essere utilizzato in maniera esclusiva come input in un impianto per la produzione di biogas, ma è necessario trovare un giusto mix di matrici con caratteristiche chimico – fisiche diverse, provenienti da diverse materie prime; affinché la digestione anaerobica avvenga con la massima efficienza è necessario infatti che la razione inserita nel digestore sia scelta in modo da fornire la massima resa in

2. SCOPO DELLA TESI

biogas nel minore periodo di tempo possibile. Le produzioni di metano sul tal quale variano con differenze consistenti anche tra vari raggruppamenti di matrici; tale aspetto emerge dalle osservazioni e valutazioni sperimentali fatte con riferimento al caso studio in questione.

3. CASO STUDIO: IMPIANTO DI MUSSOMELI

3.1 Descrizione dell'impianto di Mussomeli (CL)

3.1.1 Premessa

La produzione di energia rinnovabile prodotta da un' impianto a biogas è una risposta di notevole importanza alle pressanti istanze ambientali attuali, provocate in particolar modo dal Protocollo di Kyoto del Dicembre 1997 (entrato in vigore il 16 Febbraio 2005), il quale prescrive per il periodo 2008 - 2012 una riduzione delle emissioni annue di gas serra del 5,2% rispetto ai valori registrati nel 1990. Secondo studi e ricerche del settore risulta che dall'energia prodotta da fonti tradizionali, la produzione di CO₂ è di 0,575 kg /kWh, mentre per la produzione di energia da una fonte rinnovabile (in questo caso biogas) la produzione di CO₂ risulta 0 kg/kWh. Di conseguenza, per ogni kWh prodotto da un impianto a biogas ,le emissioni di CO₂ vengono ridotte di 0,575 kg/kWh nel sistema di produzione globale. In tale contesto si sviluppa l'impianto di produzione di energia alimentato a biomasse nella provincia di Caltanissetta, in contrada Nuova Scala a Mussomeli, a circa 5 Km dal centro abitato di Marianopoli, realizzato ai sensi della Direttiva Europea 2001/77/CE riguardante "la promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità" e del D.Lgs 387/2003 (attuazione della suddetta Direttiva). L'impianto è attivo dal 31 Dicembre 2012, mentre la prima alimentazione si è avuta nel Giugno 2013.



Figura 3.1 Digestori dell'impianto di Mussomeli

La realizzazione della centrale consente di attivare una filiera agroenergetica, che coinvolge a monte coltivazioni idonee a produrre biomassa secca (mercato delle biomasse) ed a valle l'utilizzo di ingenti quantità di energia elettrica ed energia termica destinabile ad usi industriali (ad esempio serre per primizie o altri tipi di coltivazione) o ad uso civile. Tale opera presenta un duplice vantaggio: da un lato contribuisce alla produzione di energia "pulita" grazie all' utilizzo di biomasse come fonte energetica rinnovabile, dall'altro consente un sostanziale miglioramento dell'economia locale poiché permette la creazione di un' idonea filiera agroenergetica per la coltivazione e gestione della biomassa stessa, ossia il complesso delle operazioni produttive, sia tecniche che logistiche, in cui si articola il processo complessivo di gestione delle biomasse, il quale prende origine dal campo coltivato e, attraverso una serie di successivi passaggi, conduce all'ottenimento nonché all'impiego o alla vendita di energia.

3.1.2 Mercato delle biomasse in ingresso (analisi dell'offerta)

L'offerta di biomasse nel territorio oggetto di studio è costituita principalmente da:

- biomasse residuali di origine agricola;
- biomasse residuali di origine forestale;
- colture a destinazione energetica.

Le biomasse residuali di origine agricola

La disponibilità di biomassa residuale (valutata in termini di sostanza secca) derivante da una determinata specie agraria può essere espressa dalla seguente relazione:

$$D_u = P \cdot (S/P) \cdot [(1 - U/100) / p] \cdot E$$

dove:

- D_u rappresenta la disponibilità unitaria di biomassa espressa in tonnellate annue per ettaro di sostanza secca ($t_{ss} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$);
- P indica la produttività annua del prodotto principale della specie agraria in considerazione ($t \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$);

3. CASO STUDIO: IMPIANTO DI MUSSOMELI

- S/P è un indice frazionario adimensionale che esprime l'incidenza ponderale del sottoprodotto S rispetto a P;
- U indica l'umidità percentuale della biomassa;
- p esprime la periodicità con cui si procede alla raccolta del sottoprodotto medesimo;
- E è un coefficiente che esprime l'efficienza di raccolta del sottoprodotto e tiene conto delle motivazioni di ordine tecnico e logistico che non consentono una raccolta integrale del sottoprodotto.

Determinato il termine di disponibilità unitaria della biomassa residuale D_u , si può risalire alla disponibilità totale del comprensorio di riferimento semplicemente moltiplicando il suddetto valore per l'estensione complessiva della superficie investita dalla specie agraria in considerazione:

$$D_{tot} = D_u \cdot A$$

Si procede quindi a valutare il succitato parametro per le biomasse residuali agricole che, nel territorio in esame, sono costituite da residui colturali delle specie erbacee, come ad esempio paglia estrusa, sottoprodotto rappresentato dalle paglie delle colture cerealicole, in particolare il grano duro; il valore di disponibilità unitaria potenziale delle paglie è mediamente pari a circa $1,22 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ di biomassa secca impiegabile a scopo energetico. Un presumibile campo di variazione, in rapporto alle differenti condizioni ambientali di coltivazione ed a quelle relative alla meccanizzazione delle operazioni di raccolta, può essere stimato pari a $0,98-1,46 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Oltre alla disponibilità unitaria di biomassa è necessario valutare il contenuto energetico della stessa. Per fare ciò si ricorre alla stima del potere calorifico inferiore (PCI), che viene calcolato considerando l'energia sprigionata dalla combustione completa dell'unità di massa del materiale, al netto dell'energia coinvolta nel processo di evaporazione del contenuto idrico (umidità) del materiale medesimo. Nota la disponibilità unitaria di biomassa ($\text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) da residui di origine agricola ed il loro potere calorifico unitario (MWh t^{-1}), per

ciascuna tipologia di residuo agricolo è possibile risalire all'energia potenzialmente disponibile per unità di superficie ($\text{MWh ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). E' da evidenziare che l'energia potenzialmente disponibile così quantificata rappresenta un valore lordo in quanto non considera il complesso dei costi energetici relativi alle procedure di raccolta e trasporto della biomassa residuale alla bocca della centrale. Non sono presi in considerazione nemmeno i rendimenti energetici del processo di conversione della biomassa i quali dipendono significativamente dalla scelta della tecnologia dell'impianto oltre che dalla potenza dell'impianto medesimo.

Le colture a destinazione energetica

Le potenzialità energetiche connesse all'impiego del materiale agricolo residuale, così come di quello agro-industriale di scarto, costituiscono un fattore di estremo interesse che andrebbe opportunamente valorizzato. Particolarmente rilevante, a questo proposito, oltre alla disponibilità energetica che si renderebbe fruibile è la promozione di un sistema di recupero di materiali che, altrimenti, seguirebbero un percorso di smaltimento poco razionale sotto il profilo ambientale. Affinché questo sia possibile è necessario individuare le colture energetiche più adatte, quelle che meglio si confanno ai caratteri climatici, morfologici e pedologici del territorio ed alle tipologie aziendali in esso insediate, anche rispetto al modello di infrastrutturazione presente nel territorio medesimo. In particolare, le specie più idonee ad essere adottate come colture a destinazione energetica, devono presentare le seguenti caratteristiche salienti:

- un'elevata potenzialità produttiva in termini di accumulo di biomassa;
- un elevato tasso di assimilazione (organizzazione della CO_2);
- a parità di ritmo di accrescimento, le specie e/o varietà a ciclo tardivo sono più produttive rispetto a quelle più precoci in quanto svolgono un più prolungato processo di accumulo della biomassa;
- un apparato fogliare il più possibile ampio (LAI: Leaf Area Index) e duraturo (LAD: Leaf Area Duration) consente di intercettare e

3. CASO STUDIO: IMPIANTO DI MUSSOMELI

convertire in biomassa la massima quantità di energia solare incidente (PAR: Incident Photosynthetic Active Radiation);

- la specie e/o varietà dovrebbe manifestare limitate asportazioni unitarie di elementi nutritivi dunque un'elevata efficienza di utilizzazione delle risorse native di fertilità, senza richiedere significativi apporti di elementi fertilizzanti sussidiari, in particolare con riferimento all'azoto;
- nei climi sub-aridi quali quelli meridionali, ci si attende una notevole capacità di far fronte a limitate disponibilità idriche e di avvantaggiarsi proficuamente delle sole precipitazioni meteoriche o di ridotti apporti irrigui ad esclusiva finalità di supporto;
- la specie e/o varietà dovrebbe contraddistinguersi per limitate esigenze colturali, itinerari tecnici estremamente semplificati, ridotta richiesta di meccanizzazione;
- gli organi privilegiati di accumulo della biomassa dovrebbero essere rappresentati preferibilmente dagli organi epigei delle piante;
- la coltura dovrebbe essere, preferibilmente, di tipo pluriennale; in tal modo, a fronte di superiori costi di impianto in fase di avvio, si ridurrebbero però drasticamente i costi annui (economici ed energetici) conseguenti alle lavorazioni del terreno e della semina;
- dovrebbe essere possibile raccogliere la biomassa ad un basso livello di umidità poiché ciò diminuisce i costi energetici di trasporto ed essiccazione;
- la specie non dovrebbe essere suscettibile a malattie fungine o virali, come pure ad insetti patogeni; ciò esalterebbe la produttività di fatto conseguibile senza ulteriori dispendi energetici necessariamente connessi all'esecuzione di un trattamento fitosanitario;
- per gli stessi motivi indicati al punto precedente, la specie prescelta dovrebbe essere molto competitiva nei riguardi delle erbe infestanti;

3. CASO STUDIO: IMPIANTO DI MUSSOMELI

- caratteristiche qualitative specifiche connesse all'utilizzazione energetica riguardano il potere calorifico inferiore (che dovrebbe essere il più elevato possibile).

Sulla base di questi dati , le specie erbacee annuali e poliennali più promettenti, risultano essere:

- sorgo da fibra: una pianta erbacea annuale, graminacea di origine tropicale, a ciclo primaverile-estivo; è tradizionalmente impiegata per la produzione granellare e foraggera. L'ampio spettro genetico ha consentito l'individuazione di varietà a differente attitudine: sorghi da saggina, zuccherini, da granella, da foraggio, da fibra. Questi ultimi, soprattutto quelli a costituzione ibrida, sono attualmente considerati i più idonei alla destinazione energetica nell'ambito della filiera ligno-cellulosica. L'aspetto prevalente della tecnica colturale del sorgo è rappresentato dalla sua facilità di inserimento negli ordinari avvicendamenti colturali, per esempio a seguire la coltivazione del frumento in qualità di coltura da rinnovo. La produttività è estremamente variabile, in rapporto al decorso meteorologico annuale ed alle differenti condizioni agro-pedo-climatiche. In condizione di totale restituzione dei consumi idrici la produzione potenziale può conseguire anche le 35-40 t/ha di s.s.; in condizione di ridotto supporto irriguo sono normalmente garantite le 20-25 t/ha, in rapporto alle differenti aree geografiche; il PCI risulta compreso tra i 16,7 e i 16,9 MJ/kg di s.s.;
- insilato di sulla (*Hedysarum coronarium*): leguminosa appartenente alla tribù delle Hedysareae, spontanea in quasi tutti i Paesi del bacino del mediterraneo. Si semina in autunno oppure in primavera in consociazione con un cereale come il frumento. Il valore di disponibilità unitaria potenziale è mediamente pari a circa $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ di biomassa secca impiegabile a scopo energetico. Un presumibile campo di variazione, in rapporto alle differenti condizioni ambientali di coltivazione ed a quelle relative alla meccanizzazione delle operazioni

di raccolta, può essere stimato pari a 9-12 t ha⁻¹ a⁻¹; il PCI risulta pari a 4.22 MJ/kg di s.s.;

Tabella 3.1 Produzione per ettaro ed energia teoricamente ottenibile.

Specie	Biomassa secca	Potere calorifico	Energia netta
	(t/ha)	(MJ/Kg)	(GJ/ha)
Insilato di Sulla	10	4,22	42
Sorgo da fibra	12	16,8	201

3.1.3 Aspetti ambientali derivanti dall'utilizzo delle biomasse

L'uso delle biomasse in sostituzione dei tradizionali combustibili (es. gasolio, metano) comporta, come già accennato, importanti benefici ambientali come la sensibile riduzione della CO₂ immessa nell'atmosfera; in particolare gli impianti termici a biomassa, rispetto a quelli a gasolio, permettono una riduzione della CO₂; inoltre le biomasse sono praticamente esenti da zolfo (0,01-0,15 %) e da cloro (0,01-0,1%). I principali gas inquinanti nei fumi di un tipico impianto a biomassa sono i composti dell'azoto, dell'ossido di carbonio, degli idrocarburi incombusti, delle sostanze derivate dall'acido cloridrico e delle polveri, secondo le concentrazioni illustrate nella seguente tabella.

Tabella 3.2 Concentrazione dei gas inquinanti nei fumi di un tipico impianto alimentato a biomassa costituita da residui legnosi.

Sostanza	Limiti [mg/Nm³]
Polveri	<100
Anidride solforosa SO ₂	<15
Ossidi di azoto NO _x	<100
Ossido di carbonio CO	<100
Composti organici	<150
Ammoniaca	<5
Cloro-Fluoro	<6

I composti azotati sono gli NO_x che risultano nocivi per la salute dell'uomo poiché provocano un aumento dell'effetto serra e favoriscono la distruzione dell'ozono. La percentuale di azoto nei vegetali è in genere bassa (0,1-1,1%). La formazione di questi composti azotati è favorita in larga parte dall'alta temperatura di combustione in caldaia (temperatura della fiamma) che ossida l'azoto atmosferico contenuto nell'aria di combustione. Le emissioni possono variare da 25 a 140 mg/MJt (25 mg/MJt = 1,5 mg di NO_x/kg di combustibile). Gli ossidi di zolfo (SO_x) sono dovuti all'ossidazione dello zolfo totale contenuto nel combustibile (le emissioni possono variare da 0,1 a 30-40 mg/MJt). Il monossido di carbonio (CO) è dovuto ad una incompleta combustione della biomassa per insufficiente ossigeno nell'aria di combustione o per tempi brevi di permanenza in camera di combustione (la quantità di emissioni può variare da 0,1 a 3 mg/MJt in impianti ben controllati e tecnicamente validi). Gli idrocarburi incombusti sono costituiti da prodotti non completamente ossidati e la loro formazione dipende da una combustione incompleta. Anche in questo caso è necessaria una corretta

regolazione dell'aria immessa in camera di combustione per contenere queste emissioni che, in genere, sono molto contenute (1 mg ogni kg di combustibile). I composti del cloro (acido cloridrico, cloruro di ammonio, di calcio e potassio), sono presenti in piccolissima parte (circa 0,5 mg/kg); il fenomeno va in ogni caso tenuto sotto controllo. La riduzione di questi inquinanti, variabile anche in rapporto alle caratteristiche fisico chimiche della biomassa impiegata, può essere attuata attraverso una razionale progettazione e gestione degli impianti termici, dove particolare cura andrà rivolta alla regolazione della quantità di aria di combustione immessa in caldaia, al mantenimento di una giusta temperatura di combustione ed al tempo di combustione. Il particolato solido è costituito per lo più da cenere, fuliggine e inquinanti organici, formatisi, anche in questo caso, da fenomeni di combustione incompleta ed è emesso all'esterno attraverso il trascinarsi da parte dei fumi. Queste particelle di particolato, che possono assorbire sostanze più o meno nocive quali i residui della combustione, sono emesse in quantità variabili da poche decine di mg/kg di combustibile a qualche centinaio di mg/kg.

3.1.4 Potenzialità dell'impianto

Nell'impianto di biogas in oggetto vengono lavorate solo sostanze che non ricadono nella delibera sui fanghi di depurazione, non hanno bisogno di essere igienizzate e lo spandimento viene effettuato solo su aree proprie o in affitto. Le biomasse impegnate sono:

Tabella 3.3 biomasse impiegate nell'impianto.

Sostanza	Q.tà giornaliera (t)	Q.tà annua (t)	Provenienza
Insilato di sulla	12	4380	Produzione propria
Silomais	2	730	Produzione esterna
Pastazzo d'agrumi	45	16425	Produzione esterna
Pollina	16	5840	Produzione esterna
Sansa d'olive	10	3650	Produzione esterna

3.1.5 Componenti dell'impianto di biogas

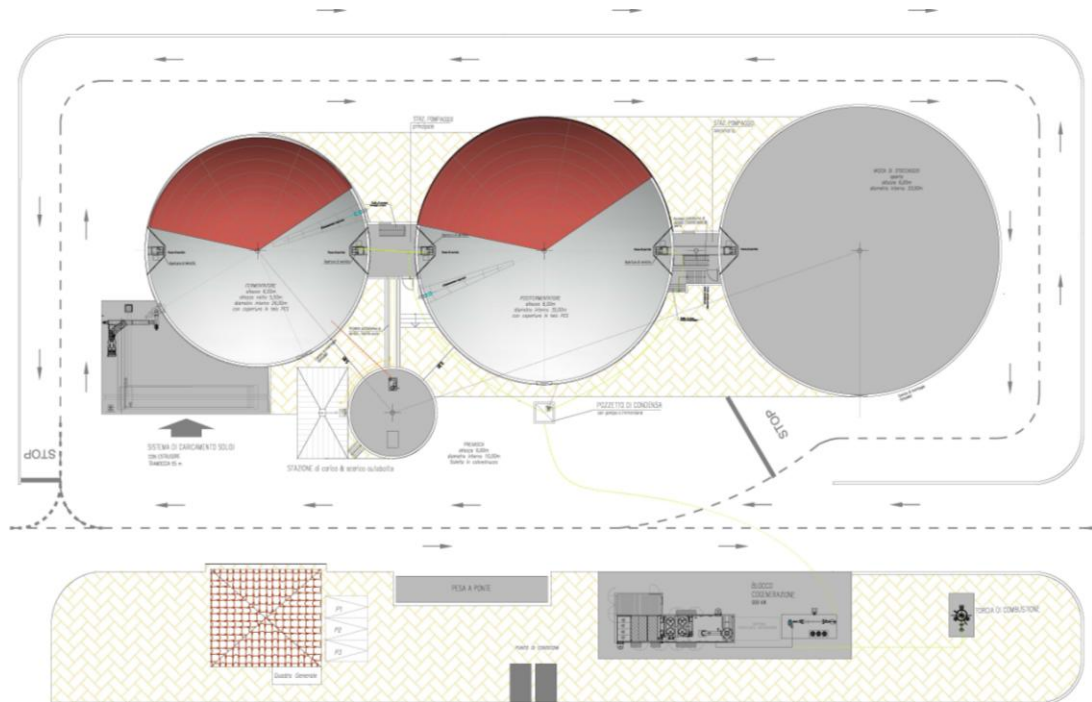


Figura 3.2 Planimetria generale dell'impianto.

L'impianto di biogas ha una potenza elettrica di 0,999 MW; esso è costituito dalle seguenti componenti:

- prevasca per la raccolta di cofermenti non palabili;
- tramoggia e rispettiva tecnologia per il caricamento di cofermenti palabili;
- estrusore per ridurre le dimensioni e aumentare l'omogenità dei cofermenti;
- sala di pompaggio;
- impianto di distribuzione dei liquidi per le vasche (nella sala di pompaggio);
- fermentatori isolati e riscaldati, con agitatori a immersione e tecnologia d'immissione di solidi;
- vasca riscaldata per lo stoccaggio del liquame, con agitatori a immersione;

3. CASO STUDIO: IMPIANTO DI MUSSOMELI

- vasca di stoccaggio finale del liquame non riscaldata con copertura a telo o aperta;
- condotta del biogas e desolforazione;
- cogeneratore e trasformatore situati in un container;
- trincea o superficie libera per lo stoccaggio dei cofermenti palabili.

3.1.5.1 Prevasca - Fossa di raccolta di cofermenti non palabili

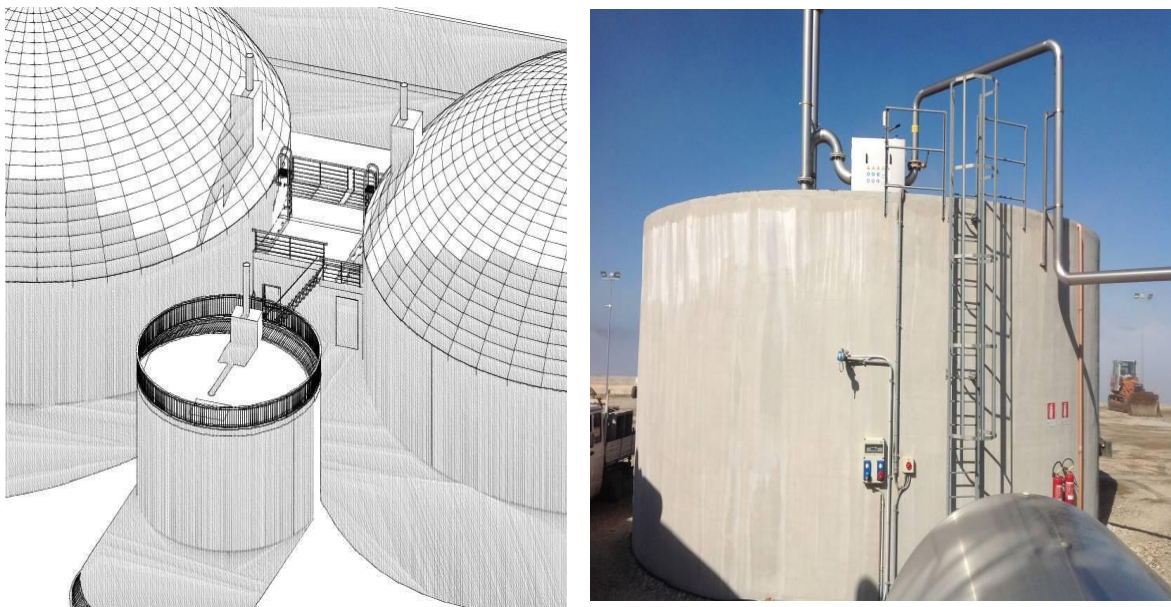


Figura 3.3 Prevasca per liquami.

La prevasca funge da collettore di transito per un probabile sfruttamento di cofermenti liquidi aggiuntivi (anche l'acqua piovana che potrebbe servire per la fermentazione). Questa vasca garantisce un afflusso costante di cofermenti liquidi che servono per lo più a mantenere una densità costante; l'impianto non è a secco, dunque c'è bisogno di tale matrice liquida. Dimensionalmente la vasca è così caratterizzata:

Tabella 3.4 Caratteristiche dimensionali della prevasca.

Prevasca	
Capienza di raccolta	471 m ³
Profondità (all'interno)	6 m
Diametro (all'interno)	10 m
Dotazione	
Agitatori a immersione	13 kW
Pompa	- - -

3.1.5.2 Distribuzione dei cofermenti non palabili

La distribuzione centrale avviene nella sala di pompaggio che è collocata al centro dell'impianto stesso e ha il compito di movimentare le biomasse tra le vasche in modo da poter garantire un'ottimale produzione di biogas, sfruttando i contenuti al meglio. Il sistema di pompaggio, suddiviso tra sistema forzato (caricamento) e sistema non forzato (deflusso), è composto dai seguenti componenti:

- 3 pompe con motore da 22 kW, montate a secco, che garantiscono l'afflusso di liquame ai contenitori e il deflusso del substrato da essi;
- condotta forzata in acciaio INOX DN 150 per il caricamento delle vasche;
- condotta non forzata in acciaio INOX DN 250 per il deflusso dalle vasche;
- distribuzione e armatura con saracinesche pneumatiche DN 150 e DN 300 per scarico e caricamento autonomo delle vasche;
- controllo e comando delle pompe.



Figura 3.4 Sistema di pompaggio.

3.1.5.3 Dosaggio, trasporto e immissione della biomassa (cofermenti palabili)

Per raggiungere il dosaggio adeguato della biomassa si utilizza una tramoggia in acciaio con eventuale coperchio (apertura automatica) sul lato superiore e munita di un nastro trasportatore a raschiamento aggregato a tre frese cilindriche . La tramoggia è collocata su delle molteplici celle di pesatura (una cella per ogni piede), le quali misurano il carico cui la tramoggia è sottoposta, di conseguenza si è così in grado di stabilire in maniera precisa le quantità per il caricamento dell'impianto. I cofermenti solidi vengono rovesciati nella tramoggia e trasportati automaticamente alla fresa cilindrica tramite i raschiatori. La fresa, alleggeriti e sminuzzati i solidi, li carica su un nastro trasportatore che li porterà fino all'imbutto (acciaio INOX) montato al lato superiore del fermentatore. L'imbutto del fermentatore è munito di una coclea che ha il compito di trasportare o meglio spingere letteralmente i cofermenti solidi all'interno.



Figura 3.5 a) Tramoggia di carico con nastro trasportatore, b) coclea.

Per evitare la fuoriuscita di gas e odori, l'imbuto e la coclea verranno posizionati fin sotto il livello del substrato. Gli apparecchi di miscelazione amalgamano il materiale appena aggiunto a quello già presente. Il caricamento avviene più volte al giorno. Le dimensioni della tramoggia sono le seguenti:

Tabella 3.5 Caratteristiche dimensionali della tramoggia.

<i>Tramoggia 65 m³</i>	
Lunghezza	16,50 m
Larghezza	2,70 m
Altezza	3,30 m
Capacità	65 m ³

3.1.5.4 Fermentatore

All'interno del fermentatore avvengono i processi di decomposizione biochimica: vari gruppi di batteri decompongono il materiale organico e producono in questo modo il biogas. I cofermenti liquidi contenuti nella prevasca vengono trasportati al fermentatore, ciò avviene con l'ausilio di una pompa tramite il sistema di distribuzione integrato nell'impianto. Dopo lo

3. CASO STUDIO: IMPIANTO DI MUSSOMELI

sfruttamento della biomassa degradata, il materiale ormai affondato sul pavimento viene trasportato nelle vasche successive tramite una tubazione forzata DN150. I tempi di ritenzione nel fermentatore e nel postfermentatore sono di 90 giorni complessivi (con pompaggi e ripompaggi). Il fermentatore è munito di tubo con sifone in acciaio INOX all'estremità interna, il quale ha il compito di impedire la fuoriuscita di gas a pompe spente. Il liquido all'interno del fermentatore è mantenuto a temperatura costante (45°C) per mezzo di serpentine che percorrono circolarmente la parete interna del fermentatore. Il PH all'interno della vasca varia nell'intervallo 7,3 – 8. Il fermentatore è in cemento armato monolitico gettato in opera come anche la platea di fondazione e la soletta calpestabile. Per integrare nel paesaggio l'impianto, la parte esterna delle vasche viene rivestita con lamiera grecata o legno, fondendo tecnologia con l'ambiente circostante.



Figura 3.6 Fermentatore con copertura in telo.

Le caratteristiche del fermentatore sono le seguenti:

Tabella 3.6 Caratteristiche dimensionali del fermentatore.

Fermentatori	1
Capacità (lorda) totale	3185 m ³
Capacità (lorda) effettiva	2870 m ³
Profondità (all'interno)	6 m
Diametro (all'interno)	26 m
Dotazione	
Agitatore idraulico a immersione	25 kW
Quantità di agitatori	2
Copertura	
Doppia membrana	1

3.1.5.5 Riscaldamento del fermentatore

Nel fermentatore la temperatura di esercizio è di 45°C, dunque i batteri operano in condizioni mesofile. Sulle pareti interne del fermentatore sono montate delle serpentine di riscaldamento (V4A-AISI304, DN 114). Queste serpentine formano tre anelli di riscaldamento all'interno del fermentatore e servono a garantire la temperatura necessaria per il processo biochimico; i batteri producono calore durante il processo biochimico, ma la temperatura deve essere mantenuta ad un certo valore, e ciò avviene grazie a tali serpentine di riscaldamento; anche una variazione di 1°C può inibire i batteri. Come fonte di energia termica si sfrutta il calore prodotto dal cogeneratore, ovvero si utilizza l'acqua calda proveniente dal motore per riscaldare il fermentatore attraverso il circuito chiuso formato dai tre anelli. Per evitare una dispersione di calore i fermentatori vengono isolati con uno strato di styrodur (8-10 cm).



Figura 3.7 Anelli di riscaldamento, fermentatore ancora aperto.

3.1.5.6 Tecnologia di miscelazione

Una buona miscelazione è indispensabile per il funzionamento del sistema, per cui sono installati degli agitatori a immersione. I miscelatori hanno il compito di evitare una sedimentazione troppo rapida e unilaterale, favoriscono il contatto tra batteri e substrato, omogeneizzano le temperature e la resa di biogas, evitando di fatto la decantazione delle frazioni più pesanti e il galleggiamento delle frazioni più leggere. I batteri metanogeni presentano la peculiarità di stare in profondità, dunque è necessario movimentare la biomassa per renderla disponibile a tutti i batteri.

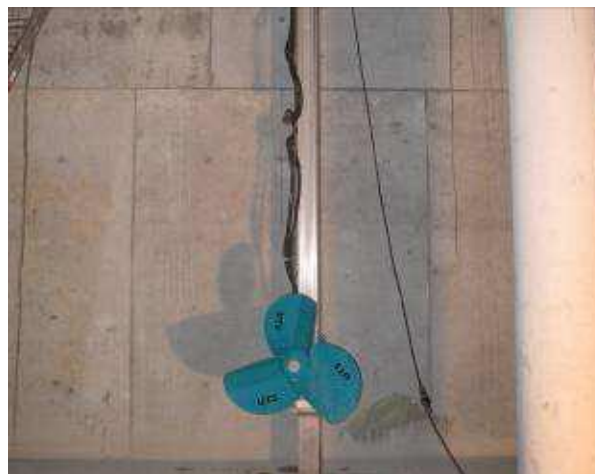


Figura 3.8 Agitatori a immersione.

Gli agitatori possono essere regolati orizzontalmente e verticalmente, ciò permette di miscelare bene il contenuto delle vasche e di conseguenza

prevenire la formazione di stratificazioni immerse o galleggianti. Le estremità superiori delle vasche sono dotate di intelaiature in acciaio INOX, sulle quali è montato un pozzo di servizio a tenuta ermetica di biogas. Il pozzo di servizio è realizzato esternamente per poter effettuare lavori di manutenzione agli agitatori senza dover svuotare il fermentatore o entrare all'interno di esso; in effetti il blocco del miscelatore è agganciato a un cavo in acciaio inossidabile, tramite il quale si può spostare verticalmente l'agitatore per poi poter eseguire la manutenzione. In aggiunta al lato del fermentatore è prevista un'intelaiatura con copertura ermetica per un eventuale agitatore laterale. Tutti gli agitatori installati sull'impianto sono certificati con la normativa ATEX.

3.1.5.7 Scarico (tubo di prelevamento)

Il materiale fermentato viene prelevato dal fermentatore e posfermentatore attraverso tubi di prelevamento installati nelle pareti (DN 300 o 250) situati nelle parti inferiori della vasca utilizzando le pompe della sala di pompaggio. Il substrato del fermentatore viene spostato nel postfermentatore per poi finire nello stoccaggio finale. Nel caso dovesse essere necessario svuotare totalmente una vasca, l'impianto può continuare a funzionare regolarmente, tenuto conto che ogni vasca è collegata singolarmente al sistema di distribuzione, di conseguenza il processo di digestione anaerobica non viene interrotto.

3.1.5.8 Postfermentatore

Dopo il periodo di sosta nel fermentatore il substrato degradato viene pompato autonomamente nel posfermentatore, che contribuisce a fermentare il materiale eventualmente non digerito. Esso, chiuso ermeticamente, allacciato alla condotta del sistema biogas è dotato di riscaldamento ad anelli per ottimizzare la produzione di biogas, viene isolato con uno strato di styrodur per evitare dispersione. Nella seguente tabella sono indicate le

dimensioni e le dotazioni della vasca di stoccaggio (postfermentatore) delle biomasse:

Tabella 3.7 Caratteristiche dimensionali del postfermentatore.

Postfermentatore	1
Capacità (lorda) totale	4241 m ³
Capacità (lorda) effettiva	3820 m ³
Profondità (interna)	6 m
Diametro (interno)	30 m
Dotazione	
Agitatore a immersione	13 KW
Quantità agitatori	2
Copertura	
Doppia membrana	1

Sia nel fermentatore che nel postfermentatore, nella parte interna superiore, vi è una rete che rappresenta un substrato per batteri aerobi, i quali hanno il compito di purificare il gas, cioè riescono ad assorbire concentrazioni di H₂S; dunque è necessario immettere aria in maniera controllata, che ovviamente non verrà a contatto con la parte anaerobica sottostante, ma si mantiene in alto; i livelli di O₂ devono mantenersi comunque al di sotto del 4% sul totale altrimenti l'impianto, in presenza di innesco, esplose.

3.1.5.9 Stoccaggio finale

Conclusosi il processo di fermentazione, il substrato viene pompato nello stoccaggio finale dove il digestato sarà depositato interamente nella vasca finale o eventualmente separato tramite un separatore meccanico per potere dividere il solido dal liquido, stoccandolo separatamente fino al momento in cui sarà prelevato per essere sparso sui campi come fertilizzante. La vasca di stoccaggio viene realizzata in cemento armato monolitico gettato in opera come del resto anche la fondazione . Dimensionalmente si ha:

Tabella 3.8 Caratteristiche dimensionali della vasca di stoccaggio.

Vasca di stoccaggio (quantità):	1
Capacità (lorda) totale	5131 m ³
Capacità (lorda) effettiva	4700 m ³
Profondità (interna)	6 m
Diametro (interno)	33 m
Dotazione	
Agitatore a immersione	13 kW
Quantità agitatori	1
Copertura vasca di stoccaggio	
aperto	

3.1.5.10 Sistema e condotta del gas

Il sistema è composto da:

- tubazioni del gas;
- apparecchiature di sicurezza;
- dispositivo per la desolforazione.

3.1.5.10.1 Percorso del biogas

Il biogas prodotto durante il processo di fermentazione è una miscela di vari gas. La concentrazione varia in relazione al tipo di fermentazione, al materiale fermentato e alla qualità del processo di fermentazione. I valori minimi e massimi di concentrazione dei diversi componenti nel biogas greggio sono elencati nella seguente tabella.

Tabella 3.9 Valori estremi di concentrazione dei diversi componenti nel biogas.

	In media
metano	50-75 %
anidride carbonica	25-50 %
vapore	3,1 %
azoto	1 %
ossigeno	0,3 %
idrogeno	< 1 %
ammoniaca	0,00006 %
acido solfidrico	0,05 %

Prima di essere trasformato in energia elettrica e termica nel cogeneratore, il biogas deve essere desolforizzato, raffreddato ed essiccato.

L'intero impianto lavora con una pressione massima di 3,5 mbar. La condotta del gas collocata in superficie è composta da tubi in acciaio INOX DN 219, mentre quella interrata è di tipo forzata PE DN 219. Tutte le vasche chiuse ermeticamente sono collegate, tramite pozzo di servizio, con una condotta di biogas. Il sistema entrata - uscita della condotta dal pozzo di servizio è regolato con apposita valvola di intercettazione tramite la quale ogni vasca può essere esclusa dal sistema. Partendo dai fermentatori il biogas prodotto prosegue verso la vasca di stoccaggio del liquame coperta e giunge in seguito al cogeneratore. La tubazione posta tra lo stoccaggio del liquame e il cogeneratore percorre in sotterranea per poi continuare fino al separatore della condensa con una pendenza circa dell'1%. L'eventuale quantitativo di biogas prodotto in surplus viene automaticamente bruciato in torcia.



Figura 3.9 Torcia.

3.1.5.10.2 *Trattamento del biogas: desolfurazione*

La desolfurazione del biogas avviene tramite l'adduzione controllata di piccole quantità d'aria ambientale ai fermentatori. L'attività dei batteri sulfurei (sulfobakter oxydans) trasformano l'acido solfidrico e l'ossigeno contenuto nell'aria in zolfo e acqua. Lo zolfo separato dal biogas in forma di uno strato giallastro viene asportato insieme al liquido fermentato. Il tutto può essere sfruttato come fertilizzante. Le componenti necessarie per il trattamento del gas (desolfurazione) sono:

- soffiante aria;
- valvola d'arresto;
- distribuzione aria;
- apparecchiatura per la misurazione della composizione del biogas;
- distribuzione con condotte PE.

La soffiante aspira aria attraverso dei filtri, la stessa sarà regolata in maniera tale da aggiungere al massimo il 4-6% d'aria in relazione al biogas. La quantità d'aria aggiunta in questo modo risulterà talmente piccola da evitare la creazione di un gas esplosivo (il biogas è esplosivo quando la miscela risulta composta da 6% - 12 % di metano e 88% -94% di aria). Una valvola

d'arresto seziona i tubi dell'aria nel caso in cui la soffiante dovesse avere un malfunzionamento.



Figura 3.10 Misuratore qualità del biogas.

La quantità d'aria aggiunta verrà dosata automaticamente grazie ad un dispositivo a controllo numerico in continuo, che rilevando i valori di CH_4 , H_2S e O_2 , registrerà il volume del flusso dell'aria immessa. L'adduzione e la distribuzione dell'aria avvengono tramite un tubo dai pozzi di servizio dei fermentatori. La soffiante aria garantisce la quantità massima non capace di creare un'atmosfera esplosiva. Con un dosaggio appropriato si può raggiungere una quota di desolforazione dell'80%, che corrisponde ad un contenuto effettivo di zolfo di 0,01% (valore prescritto dalla legge: 0,1%).

3.1.5.10.3 Raffreddamento ed essiccazione

A causa della temperatura di processo e dell'ambiente umido della produzione di biogas grezzo si ha un alto contenuto di umidità che può raggiungere valori fino a $57,6 \text{ g/m}^3$ di acqua. Attraverso il gruppo frigo il biogas viene quindi raffreddato fino a una temperatura di $7 - 8^\circ \text{C}$. Per effetto del raffreddamento l'umidità si condensa in apposito condensatore in pozzo di condensa dal quale tramite una pompa viene pompata nella vasca, dove

viene aggiunta al resto del contenuto. Tramite questo processo l'acqua contenuta nel biogas viene ridotta fino a $7,8 \text{ g/m}^3$.

3.1.5.11 Copertura ermetica a telo

Si tratta di una sistema realizzato in due membrane fissate al bordo esterno superiore della vasca. La membrana interna viene tesa da una rete orizzontale fissata su un palo collocato al centro della vasca, il quale è realizzato in acciaio zincato e rivestito da uno strato di resina. Entrambe le membrane sono sigillate ermeticamente. Tra la membrana esterna e quella interna una soffiante riempie d'aria lo spazio intermedio. Con la pressione presente all'interno la membrana esterna viene spinta verso l'alto raggiungendo le caratteristiche di una struttura rigida in grado di assorbire carichi statici come neve o vento, prodotti dalle condizioni atmosferiche. Il materiale è resistente ai raggi ultravioletti, condizioni meteorologiche forti e al substrato contenuto nelle vasche compreso biogas. La membrana interna consente in aggiunta di regolare la pressione (massimo 3,5 mbar) all'interno del telo. Per integrare bene la struttura nel paesaggio, le coperture sono realizzate in colore grigio/bianco.

3.1.5.12 Motore e generatore

Il biogas prodotto viene sfruttato nell'impianto di cogenerazione tramite un motore endotermico a ciclo otto a biogas con generatore sincrono a corrente trifase, da 999 kW, posizionato in un container insonorizzato, isolato e separato dal resto della struttura su di una platea antivibrante 10 x 15 m. L'adduzione del biogas avviene attraverso il sistema di condutture precedentemente descritto. Il cogeneratore alimentato dal biogas prodotto nel fermentatore, postfermentatore e in piccola parte dalla vasca di stoccaggio, produce energia elettrica che verrà ceduta alla rete pubblica e termica, prodotta dal motore in conseguenza della combustione, utilizzata per il riscaldamento delle vasche e per la propagazione del calore all'interno dell'impianto.

3. CASO STUDIO: IMPIANTO DI MUSSOMELI



Figura 3.11 Cogeneratore.

Le Caratteristiche del Cogeneratore sono riportate nella seguente tabella:

Tabella 3.10 Caratteristiche del cogeneratore.

Modulo	JGS 320 GS-C25
Motore	PE734C2
Potenza elettrica	999 kW
Produttore	GMb
Tipo	TCG 2020 V16
Funzionamento	4-Takt
Costruzione	V-Motor
Quantità cilindri	16
Numero giri nominale	1/min 1500
Potenza attiva nominale $\cos\phi=0,8$	Kw 988
Reattanza subtransitoria	0.15
Frequenza Hz	50
Tensione V	400
Numero giri 1/min	1500
Velocità di fuga 1/min	2250
Fattore di potenza ind.	0,8-1,0
Rendimento $\cos\phi=1,0$ %	96,7
Rendimento $\cos\phi=0,8$ %	95,8
Tipo di protezione	IP23
Classe d'isolamento	H

3.1.6 Caratteristiche dei materiali costituenti l'impianto

Per evitare problemi di corrosione i materiali impiegati sono soprattutto in acciaio INOX V2A (acciaio INOX con resistenza alla corrosione), mentre le condutture termiche sono realizzate in acciaio INOX V4A (acciaio INOX con alta resistenza alla corrosione). L'acciaio nero e gli acciai zincati (palo centrale di sostegno del telo in PES), a contatto con il biogas, sono ricoperti o da una vernice protettiva o da uno strato di resina in combinazione con vernice protettiva. Staffe per tubi, supporti, raccordi e piattaforme di servizio sono realizzati in acciaio zincato a caldo e vengono utilizzati solo all'esterno, per evitare il contatto con il biogas, alto infettatore di corrosione. Tutte le condutture di biogas collocate in superficie sono realizzate esclusivamente in acciaio INOX V2A. Quelle sotterranee invece saranno condotte in HDPE. Le tubazioni per il liquame sono condotte forzate INOX, DN 150 o PN 16 e non forzate in INOX DN 300 - 250. Le tubature dell'acqua e dell'aria che vanno al fermentatore sono realizzate rispettivamente in PE e in acciaio Sunpress. Per proteggere le vasche in calcestruzzo dal biogas, la parte superiore interna (circa 95 cm) è ricoperta da un rivestimento a base di resine epossidiche non modificate e senza solventi, altamente resistente alle reazioni chimiche.

3.1.7 Apparecchi di sicurezza

Tra produzione e utilizzo del biogas vi sono installate le seguenti apparecchiature per garantire la sicurezza dell'impianto e dell'uomo (secondo le vigenti norme di sicurezza per impianti di biogas):

- sicurezza di sovrappressione e depressione per tutte le vasche (nel pozzo di servizio);
- valvola di chiusura per la condotta di biogas tra ogni vasca, ma anche tra la vasca di stoccaggio del liquame (postfermentatore) e il cogeneratore (il comando avviene all'esterno della sala motori);
- filtro gas;

- sicurezza della sovrappressione per il controllo del manometro del cogeneratore;
- valvola magnetica per il cogeneratore;
- protezione antifiamma.

3.1.7.1 Protezione contro sovrappressione

Sul lato inferiore del pozzo di servizio di ogni vasca chiusa ermeticamente vi è installato un piccolo raccogliitore riempito d'acqua, al cui interno viene immerso un tubo con uscita all'esterno del telo. Il riempimento con acqua avviene automaticamente. In caso di eccesso di pressione (la pressione di risposta dei fermentatori è di circa 35 mm d'acqua \approx 3,5 mbar) il gas spinge l'acqua e la fa uscire da un tubicino piegato a U collocato sul lato inferiore del raccogliitore. Di conseguenza avviene una fuga controllata del biogas verso l'esterno attraverso l'apposito tubo. Le tubature di scarico sono costruite secondo le norme vigenti.

3.1.7.2 Controllore di depressione

Se la pressione scende sotto -1,5 mbar, per evitare il pericolo di aspirazione di aria dalle tubature di scarico il controllo di depressione arresta la cogenerazione.

3.1.7.3 Sensori

Oltre agli apparecchi di sicurezza già descritti, sull'impianto verranno installati una serie di sensori:

- rilevatore di altezza liquame;
- rilevatore temperatura liquame;
- rilevatore pressione biogas;
- misuratore composizione biogas;
- sensori fine corsa.

Dato che il processo di fermentazione è un processo continuo, i parametri di funzionamento dovranno rimanere costanti nel tempo. Questo permette di rilevare un cambiamento immediato di un qualsiasi parametro rilevato da uno dei sensori e individuare un potenziale malfunzionamento anche prima che lo stesso si manifesti.

3.1.8 Ciclo Produttivo

3.1.8.1 Stoccaggio delle biomasse

Le biomasse vengono stoccate in apposite trincee i cui caratteri geometrici sono di seguito descritti:

- trincea 1: 100 x 20 x 4 m
- trincea 2: 100 x 20 x 4 m



a)



b)

Figura 3.12 a) Trincea con pastazzo di agrumi, b) trincea con insilato di mais.

La capienza utile complessiva è di circa 16.000 m³. Per lo stoccaggio dei cofermenti palabili è prevista la realizzazione di superfici di stoccaggio che possono essere libere per lo stoccaggio con silage-bag in forma di trincee in calcestruzzo. Il percolato viene raccolto nella prevasca e inserito nel postfermentatore. Il materiale viene reperito già macinato, in particolare le biomasse di origine vegetale quale mais e sulla, le quali vengono trinciate in

campo già all'origine, permettendo sia la conservazione in sili per tutto l'anno (un vantaggio rispetto ad una biomassa fresca quale ad esempio il letame che può essere fermentato aerobicamente), sia una migliore attaccabilità da parte dei batteri i quali riescono a digerire più facilmente un materiale già sminuzzato e sfibrato.

3.1.9 Insilamento

3.1.9.1 Tecnica d'insilamento

Questo procedimento si basa sull'acidificazione spontanea che trasforma gli zuccheri in acido lattico che abbassa il PH a valori intorno a 4; questo valore inibisce la crescita dei germi presenti. Per il processo d'insilamento regolare si tengono conto di alcune condizioni:

- giusto tenore di acqua di vegetazione;
- presenza di zuccheri fermentescibili in quantità tale da permettere la moltiplicazione dei batteri (gli zuccheri formano il substrato per i batteri);
- controllo dell'aria presente; i batteri che attuano la fermentazione latteia sono anaerobi stretti, quindi nei silos è necessario eliminare l'aria comprimendo la massa da insilare e coprendola con dei teli; per ridurre al minimo la percentuale di interspazi e quindi compattare la biomassa e di conseguenza con ridurre al minimo ossigeno è opportuno tagliare la pianta (nel caso di biomassa di tipo fustaie) formando pezzi molto piccoli;
- terra; evitare imbrattamenti di terra perchè nella terra ci sono dei batteri (clostridi) che trasformano l'acido lattico e gli zuccheri in acido butirrico;
- rapporto zuccheri: le proteine devono essere maggiori o uguali a 1,6.

3.1.9.2 Processi fermentativi nella massa insilata

L'insilamento è un processo che avviene a temperatura ambiente. Dopo che viene trinciata la pianta si liberano enzimi cellulari che iniziano la digestione

delle sostanze organiche delle cellule vegetali, su questo substrato si inibiscono i batteri coliformi che attaccano gli zuccheri trasformandoli in acido acetico e anidride carbonica consumando ossigeno. L'acido acetico abbassa il PH dalla neutralità a un valore inferiore a 5. A partire dal terzo e quarto giorno si sviluppano i lattobacilli (dato che l'ossigeno è stato consumato) che trasformano gli zuccheri in acido lattico che abbassa il PH a valori inferiori a 4. A questo punto la massa si presenta stabile e dopo circa 40 giorni è pronta all'utilizzo. Per l'avviamento dell'impianto occorre provvedere al riempimento delle vasche con biomassa liquida ricca di batteri metanogeni. Tale operazione permette di avere, da subito, una matrice ricca di batteri che consente di avviare in maniera efficace e veloce il processo di fermentazione all'interno del fermentatore. Se questo non sarà possibile l'impianto potrà essere avviato anche usando solo acqua e biomasse.

3.1.10 Cogenerazione

Il biogas prodotto nel fermentatore, postfermentatore e in piccola parte dalla vasca di stoccaggio, viene veicolato tramite le tubazioni per la distribuzione del biogas al cogeneratore che produrrà energia elettrica, ceduta alla rete pubblica tramite collegamenti diretti ed energia termica, prodotta dal motore in conseguenza della combustione, e riutilizzata per il riscaldamento delle vasche e per la propagazione del calore all'interno dell'impianto.

3.1.11 Effetti della fermentazione sulla composizione del substrato fermentato

3.1.11.1 Descrizione generale del substrato fermentato

La composizione del substrato fermentato dipende dalla durata dello stoccaggio, dalla composizione dei cofermenti e dai parametri della fermentazione, come ad esempio la temperatura e il carico specifico del fermentatore. La diminuzione della sostanza secca e del carbonio nonché l'aumento del valore PH sono tipici del processo di degradazione biochimica. La fermentazione riduce anche la viscosità del liquame diminuendo la

sostanza secca e le sostanze viscide. Inoltre si riducono le sostanze odorose e gli acidi organici. La riduzione degli acidi organici porta a una riduzione delle emissioni odorose e ad un ridotto attacco acido delle piante. Così l'odore tipico del liquame viene in maggior parte eliminato. Il PH del liquame in uscita dall'impianto sarà circa pari a 7-8. In conseguenza alla degradazione della sostanza organica la maggior parte dell'azoto organico si trasforma in azoto ammoniacale (anorganico). Questa forma dell'azoto permette una disponibilità all'utilizzo immediata per le colture e viene facilmente trattenuto dal terreno (per la carica positiva dello ione NH_4^+) con conseguente annullamento del rischio di lisciviazione. Il rapporto di azoto organico / anorganico risulta pari a circa 3-7. Il liquame fermentato è caratterizzato da un'alta volatilizzazione dell'azoto in forma ammoniacale, ragione per cui va sparso, o interrato, tramite dispositivi di rilascio a bassa pressione e rasoterra. La quantità di altre sostanze valorizzanti come fosforo, calcio, potassio e magnesio rimane invariata. In ultimo va evidenziato che il prodotto, molto omogeneo, possiede un'alta riduzione delle infestanti e degli agenti patogeni.

3.1.11.2 Analisi del substrato fermentato

Nella seguente tabella sono riportati i valori delle analisi dell'impianto. Questi valori possono variare in funzione dell'alimentazione e dei parametri di funzionamento dell'impianto.

Tabella 3.11 Valori analisi dell'impianto.

PARAMETRI	VASCA STOCCAGGIO
PH	7,62
Sostanza secca (%)	5,02
Sostanza secca org. (%)	3,20
COD (g/kg)	53,85
N-NH ₄ (g/kg)	2,22
NH ₃ (mg/kg)	100
N totale (g/kg)	3,54

3.1.11.3 Spandimento del substrato

Il substrato prodotto è un ottimo fertilizzante che viene usato preferibilmente nella produzione agricola, su aree proprie messe a disposizione dal gestore. Per lo spandimento del prodotto finale sarebbe ideale uno spandimento a bassa pressione, raso terra o addirittura interrato in quanto l'azoto ammoniacale in esso contenuto è altamente volatile. La distribuzione può avvenire anche direttamente sulle culture, dato che il prodotto riscontra un aumento del PH.



Figura 3.13 Spandimento in campo del digestato.

3.1.12 Controllo e gestione dell'impianto

3.1.12.1 Generale

La tecnologia di comando e gestione dell'impianto consta di un PLC (Programmable Logic Controller) che comanda l'impianto autonomamente, e di un PC grazie al quale avviene la gestione da parte del gestore dell'impianto, la visualizzazione dei dati e l'impostazione dei parametri. Il sistema PLC garantisce il corretto funzionamento dell'impianto anche in caso di guasto del PC.

3.1.12.2 PLC

Il PLC o Programmable Logic Controller, computer industriale specializzato nella gestione dei processi industriali, esegue un software ed elabora i segnali digitali ed analogici provenienti da sensori e diretti agli attuatori presenti nell' impianto. Il PLC definisce la gestione degli aggregati (pompe, dispositivi di caricamento, saracinesche, ecc.) al livello manuale o automatico. La visualizzazione dei processi è garantita tramite un'interfaccia seriale, la quale permette di monitorare l'intero impianto tramite opportuni indici numerici o grafici e del parametraggio dei valori scelti come quantità di dosaggio, livelli di riempimento, intervalli di caricamento e miscelazione. La visualizzazione è suddivisa in più immagini che possono essere richiamate a seconda delle necessità. La superficie di comando è strutturata secondo criteri ergonomici.

3.1.12.3 Archiviazione e controllo

Tutti i dati potranno essere archiviati su supporto rigido. Operazione che assume notevole importanza soprattutto per i livelli di riempimento dei fermentatori, le temperature dei fermentatori, le pompe e gli agitatori, la posizione di dispositivi di serraggio, prestazione del cogeneratore, consumo proprio di energie, cessione di corrente, consumo dell'energia termica da parte del circuito di riscaldamento (a scelta), resa del biogas e come opzione il volume del liquame e la qualità del biogas. Il controllo numerico è impostato per gestire:

- il caricamento automatico e uniforme (con protocollo per controlli da parte delle autorità);
- la regolazione automatica della temperatura dei fermentatori;
- la scelta sul monitor della direzione di flusso; il sistema controlla le posizioni delle saracinesche e permette l'attivazione delle pompe solo se in posizioni corrette;
- il monitoraggio del funzionamento dei motori;

- l'emissione di un segnale d'allarme in caso di livello critico nei fermentatori; in questo caso il caricamento si arresta automaticamente.

Il sistema di controllo prevede anche la cosiddetta tele-sorveglianza. In caso di problemi all'impianto il sistema invia un segnale (SMS) al cellulare del gestore. L'impianto di biogas è connesso con la rete in modo che i tecnici della ditta fornitrice dell'impianto possono, in connessione remota, intervenire direttamente sull'impianto in caso di emergenza.

3.1.13 Anomalie di funzionamento

3.1.13.1 Difetti tecnici al cogeneratore

In caso di un guasto al cogeneratore la quantità di biogas prodotto non può essere lavorata per un certo periodo per evitare danni all'ambiente; l'impianto garantisce una potenza dei cogeneratori con riserva del 10% , un setting di funzionamento di sole 22 ore al posto di 24 oltre al bloccaggio del caricamento di sostanze fluide e solide diminuendo di fatto la produzione di biogas del 50% e azzerandola dopo alcuni giorni. Inoltre con opportuni contratti di servizio e manutenzione il tempo d'intervento per le riparazioni del cogeneratore risulta inferiore alle 24 ore. L'impianto di emissione è realizzato secondo le norme vigenti.

3.1.13.2 Disturbi tecnici alle vasche

L'intero ampliamento dell'impianto è composto da un sistema, di cui fanno parte una prevasca, un fermentatori , un postfermentatore e una vasca di stoccaggio. Ogni vasca è autonoma e in caso di anomalie la vasca che presenta l'anomalia può essere esclusa dal resto del sistema per il periodo necessario alla manutenzione. Non ci sono necessari interventi nell'interno della vasca, perchè gli unici componenti che richiedono una manutenzione sono tutti accessibili dal pozzo di servizio senza che la vasca debba essere svuotata. Gli impianti di miscelazione sono facilmente accessibili attraverso i pozzi di servizio. Le cause di anomalie possono essere ricercate tra:

- guasti degli agitatori nei fermentatori e prevasca;
- inibizione del processo di fermentazione con un substrato contaminato con degli antibiotici, disinfettanti, ecc.;
- inibizione del processo di fermentazione a causa di un caricamento non appropriato delle sostanze.

Gli impianti di miscelazione risulteranno facilmente accessibili attraverso i pozzi di servizio e potranno essere riparati o sostituiti entro 30 minuti. La possibilità di un'avaria contemporanea sui due reattori è molto bassa; una corretta azione di controllo quotidiana praticamente annulla tale possibilità. Laddove si impieghino prodotti ad alto contenuto di sabbia (ad esempio letame di pollina), è necessario svuotare il fermentatore per rimuovere eventuali deposizioni sul fondo della vasca. L'insilato di mais, triticale, sorgo e sulla non creano questi problemi. Le serpentine del riscaldamento delle vasche sono realizzate in acciaio ad alta resistenza alla corrosione INOX V4A (CrNiMo18/8/2). Inoltre le tubazioni ad elevato spessore (2 mm) garantiranno la protezione contro l'abrasione. Tutti gli interventi che richiedono un'apertura o un svuotamento di una vasca verranno eseguiti esclusivamente da personale addestrato con apposite apparecchiature di sicurezza, ad esempio maschera a gas, segnalatore di gas portatile (H_2S , CH_4 , CO_2).

3.1.13.3 Rottura del telo

Una eventuale vasca col telo rotto verrà esclusa dal sistema gas, chiudendo le saracinesche presenti su ogni entrata/uscita di ciascuna vasca. L'alimentazione della vasca con le biomasse viene fermata. Prima di effettuare qualsiasi intervento di manutenzione la vasca deve essere completamente libera dal gas. Per garantire questo, i pozzi di servizio devono rimanere aperti per un minimo di due giorni. Per garantire la sicurezza del personale di manutenzione si deve operare con un rilevatore di gas che segnala concentrazione di gas troppo elevata per eseguire i lavori di riparazione.

3.1.13.4 Rottura degli agitatori

Il sistema di miscelazione è un sistema ridondante. La prevasca, il fermentatore, postfermentatore e la vasca di stoccaggio sono muniti di uno (solo prevasca) o due (altre vasche) agitatori per vasca. In caso di guasto gli apparecchi di miscelazione sono facilmente accessibili attraverso i pozzi di servizio e potranno essere riparati o sostituiti entro 30 minuti.

3.1.13.5 Rottura delle condotte elettriche degli agitatori

La rottura delle condotte elettriche è un fenomeno molto raro e di facile rimedio data l'agevole accessibilità.

3.1.13.6 Rottura della desolfurazione

Una valvola d'arresto chiude i tubi dell'aria nel caso in cui la soffiante dovesse avere un malfunzionamento.

3.1.13.7 Rottura di una pompa del liquame

Il sistema di pompaggio del liquame è un sistema ridondante, composto da un sistema di 2 pompe di circolazione, a funzionamento alterno o combinato, per il caricamento del fermentatore, post fermentatore, vasca di stoccaggio e una separatamente per la prevasca. Nel caso di guasto di una delle due pompe il sistema continua ad essere funzionante grazie al sezionamento tramite saracinesche della pompa in guasto. Una corretta sorveglianza e manutenzione riduce il numero di eventi di fermo pompa.

3.1.14 Sorveglianza del processo - Controllo della qualità del gas

Il gestore, come anticipato, può controllare la qualità del gas grazie a un'apposita apparecchiatura che misura le seguenti componenti: CH₄, H₂S, e O₂. La misurazione e il controllo su ogni componente avviene con monitoraggio continuo. Il controllo in continuo risulta necessario, data la viabilità della composizione e quindi della qualità del biogas. L'istituzione di

un protocollo di servizio permette di raccogliere informazioni e di trarre conclusioni su eventuali cambiamenti nella stabilità del processo. I controlli e lavori di manutenzione eseguiti vengono confermati con una firma nel diario dell'impianto. Vengono inoltre tenuti e custoditi i giornali dei lavori d'azionamento e di manutenzione (riempimento del serbatoio dell'olio con data, quantità, livello, riciclaggio olio lubrificante esausto ecc.). Per il campionamento sono previsti dei punti d'estrazione, installati su ogni vasca, dove verranno prelevati i campioni che poi verranno analizzati da un istituto autonomo. Il periodo di avviamento previsto è di circa 6 mesi. Durante questo periodo l'impianto viene controllato attraverso la supervisione di un esperto del processo.

3.1.15 Sicurezza sul lavoro

L'impianto e le sue componenti sono certificati secondo la normativa 94/9/CE, meglio conosciuta con l'acronimo ATEX ("Atmosphere explosible").

L'impianto è dotato di:

- estintori (piano antincendio);
- protezione dell'udito (nella sala motori);
- segnali di pericolo (uscita d'emergenza, divieto di fumo, ecc. secondo le normative di sicurezza per impianti di biogas).

3.1.16 Norme relative alla tutela dell'ambiente e della salute

3.1.16.1 Tutela delle acque dall'inquinamento

L'impianto proposto ha una produzione limitata di scarichi liquidi. Le caratteristiche chimico-fisiche degli scarichi finali dovranno rispettare gli obiettivi di qualità previsti per i corpi idrici e devono, in ogni caso, rispettare i valori limite previsti nell'Allegato 5 alla parte terza del D.Lgs 152/2006 (Testo Unico Ambientale). I criteri di progettazione di ogni parte dell'impianto di termoutilizzazione sono inoltre improntati al massimo contenimento dei consumi di acqua.

3.1.16.2 Emissioni e contromisure

L'impianto è progettato, realizzato e gestito in modo da soddisfare pienamente i limiti di emissione fissati nella parte quinta del D.Lgs 152/2006 (Testo Unico Ambientale). La tipologia di conversione prevista (digestione anaerobica) è tale che l'unica fase di combustione riguardi il biogas prodotto; per tale motivo, ai sensi dell'art. 269 comma 14 del D.Lgs 152/2006 l'impianto in oggetto (impianto di combustione alimentato a biogas, di cui all'Allegato X alla parte quinta del suddetto decreto legislativo, di potenza termica nominale complessiva inferiore o uguale a 3 MW), non è sottoposto ad autorizzazione per le emissioni in atmosfera. Le uniche emissioni che avvengono sono quelle dello scarico dei gas prodotti dalla combustione del biogas nel cogeneratore; in particolare i composti chimici inquinanti rilasciati in atmosfera dall'impianto, per la combustione di biogas all'interno del motore, sono sostanzialmente gli ossidi di azoto (NOx) e il monossido di carbonio (CO). Sono trascurabili le emissioni in atmosfera di ossidi di zolfo (SOx), particolato e polveri sottili grazie al sistema di abbattimento dell'idrogeno solforato.

3.1.16.3 Emissione di calore

Il calore a bassa temperatura, non più riutilizzabile in alcun processo produttivo, viene rilasciato in atmosfera. L'unica fonte emissiva rilevante è il camino del motore posto ad una altezza di 6 m da terra.

3.1.16.4 Biogas

Il biogas viene utilizzato per la combustione nel cogeneratore. In caso di avaria del motore si arresta il caricamento dell'impianto con nuovo substrato. In questo modo la produzione di biogas viene ridotta del 50% entro 12 ore. Il gestore opera direttamente o indirettamente gli interventi di manutenzione entro le 24 ore. A riparazione terminata si può tornare a regime normale.

3.1.16.5 Odore

Le componenti dell'impianto, come già anticipato, sono a tenuta ermetica di gas. Pertanto si può escludere l'emissione di odori. Le uniche emissioni che avvengono sono quelle dello scarico dei gas prodotti dalla combustione del biogas nel cogeneratore. I gas di scarico emessi sono praticamente inodori e i valori rientrano nei limiti previsti dalla normativa.

3.1.16.6 Tutela acustica e dalle vibrazioni

La realizzazione dell'impianto, nel suo complesso ed in ogni sua parte, è stata sviluppata con specifico riguardo al contenimento entro i limiti di accettabilità (secondo quanto stabilito dalle norme e dalle autorità competenti) della rumorosità e delle vibrazioni, sia all'interno delle aree di lavoro che nei confronti degli insediamenti adiacenti. A tal fine il rispetto dei limiti di rumore è in generale assicurato mediante il contenimento del rumore emesso dalle sorgenti. Più precisamente l'emissione sonora alla fonte di qualsiasi apparecchio, misurata a 1 m ed a impianto in funzionamento industriale, deve essere inferiore ai 75 dB. Nessun operatore durante il normale svolgimento del proprio turno di lavoro deve risultare esposto ad un livello sonoro equivalente superiore ai 75 dB. Per quanto concerne la composizione spettrale, i livelli sonori nelle diverse bande d'ottava non superano la curva N.R. 70 della raccomandazione ISO 1996. Eventuali sorgenti di rumore a carattere impulsivo sono accuratamente insonorizzate. Nella sala controllo il livello sonoro globale non supera il limite di 50 dB, misurato in livello sonoro equivalente. Cautelativamente gli elementi rumorosi dell'impianto (agitatori, pompe, compressori, cogeneratore) sono collocati in spazi chiusi. In particolare il cogeneratore è posizionato in una container con apposito isolamento per renderlo insonorizzato. Il livello di pressione acustica a una distanza di 10 m è inferiore a 65 dB. Inoltre è circondato da altri edifici e strutture. Di conseguenza i valori di rumorosità si minimizzano ulteriormente ed è quindi possibile escludere anche l'inquinamento acustico.

Passando alle vibrazioni trasmesse agli operatori nelle posizioni da essi occupate durante

lo svolgimento del lavoro e alle vibrazioni immesse negli insediamenti circostanti l'impianto, i livelli massimi di accelerazione ai quali potranno risultare esposti, non superano i limiti indicati nei testi di legge vigenti (Fonte: *Az.Agricola Nuova Scala S.r.l.*).

3.1.17 Riferimenti normativi

3.1.17.1 Decreto Ministeriale 12-07-1990

Il Decreto Ministeriale 12-07-1990 detta le "Linee guida per il contenimento delle emissioni inquinanti". Per i motori fissi a combustione interna i valori di emissione si riferiscono ad un tenore di ossigeno nell'effluente gassoso del 5%, le polveri di emissione non devono essere superiori a 130 mg/m³, il monossido di carbonio non deve essere superiore a 650 mg/m³ e gli ossidi di azoto in emissione non devono superare i 500 mg/m.

3.1.17.2 Decreto Legislativo 29 dicembre 2003, n. 387

Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'energia elettrica.

- Art. 1, comma 1: finalizzato a "promuovere un maggior contributo delle fonti energetiche rinnovabili ...".
- Art. 12, comma 1: "le opere per la realizzazione degli impianti alimentati a fonti rinnovabili, nonché le opere connesse e le infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio degli stessi impianti, autorizzate ai sensi del comma 3, sono di pubblica utilità ed indifferibili e urgenti".

3.1.17.3 Decreto legislativo del 03 aprile 2006, n. 152

- Art.267, comma 4: "al fine di consentire il raggiungimento degli obiettivi derivanti dal Protocollo di Kyoto e di favorire comunque la

riduzione delle emissioni in atmosfera di sostanze inquinanti, la normativa di cui alla parte quinta del presente decreto intende determinare l'attuazione di tutte le più opportune azioni volte a promuovere l'impiego dell'energia elettrica prodotta da impianti di produzione alimentati da fonti rinnovabili ai sensi della normativa comunitaria e nazionale vigente e, in particolare, della direttiva 2001/77/CE e del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387, determinandone il dispacciamento prioritario”.

- Art. 269, comma 14: “non sono sottoposti ad autorizzazione i seguenti impianti: e) impianti di combustione alimentati a biogas di cui all'Allegato X alla parte quinta del presente decreto, di potenza termica nominale complessiva inferiore o uguale a 3 MW; f) gruppi elettrogeni di cogenerazione alimentati a metano o a GPL, di potenza termica nominale inferiore a 3 MW”.
- Allegato IX, della parte quinta, sezione III, comma 1: valori limite per gli impianti che utilizzano biogas: “per gli impianti che utilizzano biogas di cui all'allegato X devono rispettare i valori limite di emissione, espressi in mg/Nm³ e riferiti ad un'ora di funzionamento dell'impianto nelle condizioni di esercizio più gravose, esclusi i periodi di avviamento, arresto e guasti. I valori limite sono riferiti al volume di effluente gassoso secco rapportato alle condizioni normali”.
- Allegato X, della parte quinta, Parte I, sezione 1: “negli impianti disciplinati dal titolo I è consentito l'utilizzo dei seguenti combustibili: r) biogas individuato nella parte II, sezione 6, alle condizioni ivi previste”.
- Allegato X, della parte quinta, Parte II, sezione 6: “provenienza: il biogas deve provenire dalla fermentazione anaerobica metanogenica di sostanze organiche non costituite da rifiuti. In particolare non deve essere prodotto da discariche, fanghi, liquami (di fognatura) e altri rifiuti a matrice organica. Il biogas derivante dai rifiuti può essere utilizzato con le modalità e alle condizioni previste dalla normativa sui rifiuti”.

4. ELABORAZIONE DATI

4.1 Premessa

Per dimensionare e gestire correttamente un impianto per la produzione di biogas è necessario tenere conto del potenziale metanigeno delle biomasse utilizzate. Occorre considerare, infatti, che solo una quota delle biomasse impiegate, cioè i solidi volatili degradabili, viene convertita in biogas. La quota non convertita costituisce il cosiddetto digestato, che deve poi essere stoccato e possibilmente utilizzato agronomicamente, come già descritto in precedenza. La filiera di biogas, di fatto, è praticamente l'unica filiera bioenergetica in cui un residuo del processo produttivo è fortemente vincolante in termini gestionali, normativi ed economici. La quantità di digestato, la volumetria dei bacini di stoccaggio, il quantitativo di azoto da gestire e, in definitiva, i suoi costi di gestione dipendono dalle caratteristiche di reattività delle biomasse scelte. A parità di metano prodotto, le quantità di digestato e/o di azoto da gestire possono andare da 1 a 10-20 volte, passando da impianti alimentati a colture energetiche ad impianti alimentati ad affluenti zootecnici. Conoscendo, inoltre, le quantità di biomasse disponibili in azienda o reperibili sul mercato e il relativo potenziale metanigeno è possibile definire sia il corretto dimensionamento delle volumetrie dell'impianto di biogas che i costi di approvvigionamento, prima voce di spesa nella costruzione di un impianto di digestione anaerobica quando si usano biomasse dedicate. La valutazione del potenziale è, inoltre, particolarmente importante quando si considera di introdurre nella dieta dell'impianto sottoprodotti di origine agroindustriale, che, per definizione, hanno una composizione chimica molto variabile, oltre che da fornitore a fornitore, anche nel tempo. Esistono diversi sistemi di determinazione del potenziale metanigeno: analisi chimica, potenziale metanigeno con metodo statico (o in batch) e dinamico.

4.2 Il potenziale metanigeno

La digestione anaerobica è una filiera bioenergetica che permette di sfruttare indistintamente e con elevata efficienza biomasse vegetali o animali, di scarto o dedicate, umide e secche, producendo un biocombustibile nobile (biogas/biometano), ottimale per la conversione in energia elettrica o termica. Affinché gli impianti di digestione anaerobica possano funzionare con buona efficienza e redditività è però cruciale che, sia in fase di progettazione che di gestione, siano analizzate le biomasse che si intendono utilizzare.

Le biomasse in quanto tali sono costituite da tre macro componenti (figura 3.14): acqua, solidi volatili e ceneri.

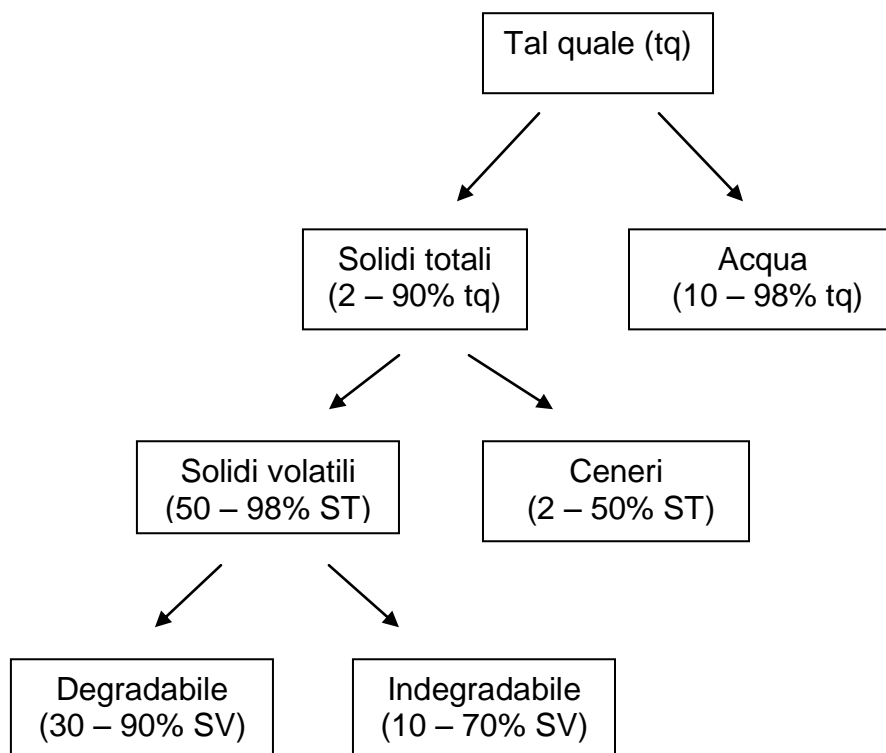


Figura 4.1 Composizione delle matrici organiche per digestione anaerobica (ST = solidi totali o sostanza secca; SV = solidi volatili o sostanza organica).

Solamente i solidi volatili (o sostanza organica) possono essere trasformati in biogas, con rese che dipendono a loro volta dal tipo di molecole che li costituiscono: una quota della sostanza organica, definita per questo

“recalcitrante”, infatti, è resistente agli attacchi della microflora batterica anaerobica. L'elemento di base che maggiormente influenza qualunque tipo di analisi, e dal quale gli studi di fattibilità per la realizzazione di un impianto di digestione anaerobica devono partire, è rappresentato dalla conoscenza del “Potenziale Metanigeno Massimo” o BMP (dall'inglese Biochemical Methane Potential). Questo parametro esprime la quantità di biogas/metano massimo potenzialmente ottenibile dalla degradazione di una biomassa, ed è espresso come Nm^3/KgSV , ovvero normal metri cubi di biogas per Kg di solidi volatili. Accanto al volume di biogas producibile, è importante che l'analisi riporti anche la percentuale di metano presente nel biogas, in quanto è questo il combustibile utile per la conversione energetica.

4.3 Il corretto dimensionamento di un impianto di biogas

Il potenziale produttivo di metano delle biomasse è un elemento fondamentale per definire le quantità di prodotto necessarie al corretto funzionamento dell'impianto, i costi di approvvigionamento, il dimensionamento dei digestori e delle vasche di stoccaggio. Oltre alle rese di produzione, i test sul potenziale metanigeno possono fornire altre informazioni molto importanti: la velocità di degradazione, ad esempio, è utile per stabilire il tempo di ritenzione idraulica, inibizioni, caratteristiche del digestato e modifiche della composizione chimica. Composti facilmente degradabili, come gli scarti della lavorazione della frutta, la glicerina, o i liquami suinicoli necessitano di una dimensione del digestore molto più piccola di quanto non sia necessario per impianti che utilizzano biomasse con velocità di degradazione bassa quali sono i prodotti ricchi di frazioni fibrose come gli insilati di cereali, la paglia o i liquami bovini.

La valutazione di una biomassa può essere fatta attraverso diversi approcci:

- analisi del BMP statico;
- analisi del potenziale metanigeno con metodo dinamico;
- analisi chimiche.

Tutti hanno un grado di attendibilità che varia in base all'accuratezza del campionamento della biomassa sottoposta ad analisi e alla metodologia analitica. In ultima istanza, comunque, l'effettiva produzione di biogas da un substrato dipende dal consorzio batterico che è presente nel digestore anaerobico che utilizza tale biomassa.

4.3.1 Potenziale metanigeno con metodo statico

L'analisi del BMP statico (analisi in batch o in discontinuo) viene condotta in laboratorio cercando di simulare in un ambiente controllato quanto avviene in un digestore anaerobico. La biomassa da valutare viene dapprima analizzata e poi miscelata ad un inoculo "affamato", cioè un substrato organico predigerito e proveniente da un impianto che possibilmente stia già utilizzando la biomassa da valutare, e ad una soluzione di Sali (per tamponare la produzione di acidi e fornire i micronutrienti essenziali al corretto sviluppo del consorzio batterico). La predigestione dell'inoculo avviene senza aggiungere nessun nutriente, a $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ per una durata di circa 7 giorni. La miscela viene posta in un piccolo digestore, tipicamente una bottiglia da 1.000 – 1.500 ml la cui forma dipende dalla tipologia di prodotto da analizzare, e posizionata in un ambiente termostato in cui viene mantenuta costante la temperatura di processo. Accanto al digestore utilizzato per la conduzione del test in batch occorre prevedere la conduzione di un test con il solo inoculo, in modo da poter sottrarre alla produzione di biogas della miscela l'effetto di produzione residua dell'inoculo stesso. Il processo si innesca rapidamente, grazie alla presenza della flora microbica presente nell'inoculo, e la produzione di biogas inizia sin dai primi giorni del test. La curva di produzione cumulativa di biogas presenta, normalmente, una prima parte di crescita intensa per poi ridurre la velocità di produzione, in una seconda fase, sino a tendere nell'ultima parte ad un asintoto orizzontale, che rappresenta il valore massimo di produzione. La misura viene fatta in

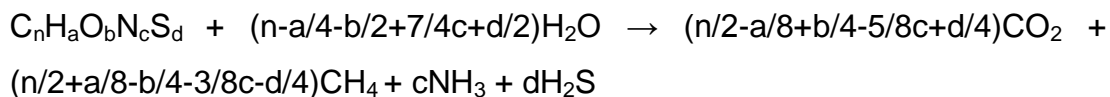
continuo e la curva cumulata della produzione fornisce anche importanti informazioni in merito alla velocità di degradazione.

4.3.2 Potenziale metanigeno con metodo dinamico

Il test dinamico consente di ottenere risultati diversi rispetto al test statico. La metodologia che utilizza minidigestori da laboratorio alimentati in continuo è quella che maggiormente permette di valutare le rese effettivamente ottenibili in impianti in scala reale. Questa metodologia prevede di realizzare piccoli digestori di volume indicativi di 10-50 litri, miscelati e riscaldati, che possono essere caricati e scaricati con elevata frequenza (giornaliera o anche maggiore). La conduzione del test dinamico permette di mettere a punto e/o verificare: i principali dati di base del progetto di un impianto di biogas (tempo di ritenzione idraulico, tempo di ritenzione dei solidi, carico organico volumetrico, temperatura di processo), le caratteristiche e la qualità del biogas prodotto e del digestato, l'ottimizzazione delle modalità di carico del substrato, le strategie di gestione e controllo, l'avviamento, i fattori di stress/inibizione, la scelta del tipo di reattori, l'effetto di pretrattamenti fisici, chimici, microbiologici sui substrati, le sinergie e gli antagonismi dei consorzi batterici al variare delle miscele, l'effetto che modifiche improvvise delle condizioni di esercizio (temperatura, carico, miscelazione, ecc) possono avere sulla microbiologia. Ovviamente la possibilità di scaricare ogni giorno parte del digestato permette di controllare numerose condizioni di processo, come l'equilibrio fra acidità e alcalinità, la composizione acidica e i relativi rapporti fra i diversi acidi volatili, la composizione chimica e la presenza di eventuali fattori inibenti (ammoniaca, idrogeno solforato, micronutrienti, metalli pesanti, ecc). Sia per il test statico che per il test dinamico il sistema deve essere particolarmente accurato a causa delle ridotte portate in gioco, bisogna prevedere analisi frequenti della composizione della miscela gassosa e una scelta mirata dell'inoculo. Analizzando e pesando tutti i componenti delle biomasse caricate e scaricate, è possibile, infine, elaborare un bilancio di massa dei diversi composti e verificarne la degradabilità.

4.3.3 Potenziale metanigeno con analisi chimiche

La sostanza organica può essere suddivisa nei seguenti macroelementi: lipidi, proteine, carboidrati, lignina. E' anche possibile fare una ulteriore caratterizzazione in base ai seguenti parametri: carbonio (C), azoto (N), zolfo (S), fosforo (P), magnesio (Mg), potassio (K). Sulla base di questi parametri è possibile dare un primo giudizio sulla fermentescibilità di un substrato, sui fattori di inibizione e sulla resa in biogas. Il volume di biogas ottenibile da una biomassa dipende, in definitiva, dalla composizione elementare di ogni molecola, ovvero dalle moli di carbonio, ossigeno, idrogeno, azoto e zolfo presenti. Sin dal 1933 è nota una relazione chimica che lega la composizione elementare alla produzione di biogas (*Symons e Buswell, 1933*).



Tale relazione non è però perfettamente applicabile, se non con tempi di degradazione molto lunghi. La sua utilizzazione deve quindi essere ponderata e adattata considerando le componenti che sono notoriamente indegradabili nei tempi tecnici applicabili agli impianti di digestione anaerobica, principalmente: lignina, frazione di cellulosa ed emicellulosa impregnate dalle molecole di lignina e composti carboniosi inorganici. In definitiva, il calcolo del più probabile massimo potenziale di conversione in metano elaborato con questa metodologia tiene conto della composizione elementare della matrice (massimo potenziale produttivo stechiometrico), di una stima relativa alla degradabilità della principale componente delle matrici organiche (frazioni fibrose, composte da emicellulose, cellulose e lignine) e della presenza di carbonio inorganico; tuttavia non tiene conto di altri fattori che possono incidere sull'effettiva capacità della flora microbica presente nel digestore di degradare la matrice organica nel suo complesso, che potrebbero ridurre ulteriormente l'efficienza calcolata. I più importanti di questi sono:

4. ELABORAZIONE DATI

- pezzatura delle particelle organiche: tanto più viene ridotta la pezzatura tanto maggiore è l'efficienza di conversione biologica e minore il tempo di ritenzione idraulica necessario;
- tempo di ritenzione idraulica: all'aumentare del tempo di ritenzione aumenta l'efficienza di degradazione;
- temperatura di processo: costanza di temperatura e regimi termofili garantiscono le migliori performances;
- presenza di fattori inibenti: rapporto acidità/alcalinità, ammoniaca, idrogeno, antibiotici ad elevate concentrazioni, microelementi in bassa concentrazione;
- non corretto rapporto fra gli elementi nutritivi: il rapporto tra carbonio e azoto (C:N) e quello tra carbonio e zolfo (C:S) nel substrato permettono ad esempio di stabilire se la presenza di ammoniaca o di acido solfidrico nel processo di produzione del biogas può rappresentare una possibile inibizione sulla resa;
- presenza di macromolecole molto complesse e/o recalcitranti.

Per una valutazione di massima del valore economico e del volume di digestato producibile potrebbe essere sufficiente anche solamente l'approccio con l'analisi chimica.

4.4 Analisi chimiche delle matrici in input all'impianto

Di seguito sono riportati i risultati relativi alle analisi chimiche condotte sulle matrici alimentate nell'impianto in questione. La stima del potenziale di biogas è calcolata sulla base di analisi chimiche condotte su prove di fermentazione in vitro su matrici della stessa tipologia.

4.4.1 Pastazzo di agrumi

Tabella 4.1 Risultati delle principali analisi chimiche condotte sul pastazzo di agrumi.

Mg	P	S	K	Ca
%ST	%ST	%ST	%ST	%ST
0,26	0,17	0,15	0,95	1,60

Tabella 4.2 Composizione e resa potenziale in biogas del pastazzo di agrumi.

ST	CENERI	RESA POTENZIALE BIOGAS	METANO
%	%ST	(Nm ³ /t.T.Q.)	%
19,46	4,54	87,6	48

Da tali analisi, facendo la differenza tra i solidi totali e le ceneri, è possibile calcolare la quantità di solidi volatili, che rappresentano, in prima approssimazione, la frazione organica della sostanza secca, cioè il materiale organico che viene degradato e da cui ho una certa produzione di biogas. Le ceneri rappresentano il 4,54% dei ST, dunque il quantitativo di solidi volatili è pari al 95,46% dei ST, cioè 18,57%. Circa l'80% del campione tal quale è costituito da acqua, che non produce metano. La tabella indica che il biogas prodotto è pari a 87,6 Nm³/t.T.Q., quindi tale valore sta ad indicare la produzione di biogas per ogni tonnellata di pastazzo tal quale, considerando anche l'80% di acqua, che non va a metano; eliminando l'acqua il dato cresce in quanto dovrà essere normalizzato per un peso più piccolo. Il metano prodotto è pari al 48% del biogas uscente, corrispondente a 42,04 Nm³/t, un valore basso, considerando che i valori minimi e massimi di

concentrazione del metano nel biogas prodotto da tale impianto sono 50 – 75% in media.

Considerando che la quantità giornaliera di pastazzo immessa in input all'impianto è pari a 45 t, il biogas potenzialmente prodotto in un giorno dal solo pastazzo di agrumi è pari a 3942 Nm³, di cui circa 1892 Nm³ è metano.

4.4.2 Silomais

Il silomais è l'alimento zootecnico che si ottiene dalla trinciatura della pianta intera di mais nel momento in cui la spiga è allo stadio di maturazione cerosa. La trinciatura si esegue direttamente in campo tramite un cantiere composto da una falciatrinciacaricatrice affiancata da rimorchi trainati da trattori o da camion. La massa così raccolta, viene trasportata all'interno di un silos-trincea, dove viene distribuita in strati orizzontali e compressa tramite pala o trattore e quindi sigillata con uno o più strati di film plastico che viene appesantito con materiali diversi, come mattonelle, pneumatici, sabbia (pratica di insilamento). L'insilamento ha come obiettivo di conservare grandi quantità di massa allo stato umido attraverso i processi di fermentazione-acidificazione in ambiente anaerobico ottenuto grazie all'eliminazione dell'aria tramite lo schiacciamento della massa con il trattore o pala e il successivo sigillamento descritti in precedenza. Di seguito sono riportate le analisi chimiche condotte su un campione di silomais.

Tabella 4.3 Risultati delle principali analisi chimiche condotte sul silomais.

Mg	P	S	K	Ca
%ST	%ST	%ST	%ST	%ST
0,29	0,26	0,17	1,99	0,89

Tabella 4.4 Composizione e resa potenziale in biogas del silomais.

ST	CENERI	RESA POTENZIALE BIOGAS	METANO
%	%ST	(Nm ³ / tT.Q.)	%
25,92	6,47	300	54

Anche dalle analisi sul silomais, facendo la differenza tra i solidi totali e le ceneri, è possibile calcolare la quantità di solidi volatili, cioè la frazione organica della sostanza secca. Le ceneri rappresentano il 6,47% dei ST, dunque il quantitativo di solidi volatili è pari al 93,53% dei ST, cioè 24,24%. La tabella indica che il biogas prodotto è pari a 300 Nm³/ tT.Q., quindi tale valore sta ad indicare la produzione di biogas per ogni tonnellata di silomais tal quale. Il metano prodotto è pari al 54% del biogas uscente, corrispondente a 162 Nm³/t, un valore rientrante nei limiti di concentrazione del metano nel biogas prodotto da tale impianto (50 – 75% in media).

Considerando che la quantità giornaliera di silomais immessa in input all'impianto è pari a 2 t, il biogas potenzialmente prodotto in un giorno dal solo silomais è pari a 600 Nm³, di cui 324 Nm³ è metano.

4.4.3 Pollina

La pollina è un concime organico ottenuto dal riciclaggio per trattamento industriale delle deiezioni degli allevamenti avicoli. Di seguito sono riportate le analisi chimiche condotte su un campione di pollina.

Tabella 4.5 Risultati delle principali analisi chimiche condotte sulla pollina.

Mg	P	S	K	Ca
Kg/t TQ	Kg/t TQ	Kg/t TQ	Kg/t TQ	Kg/t TQ
5,95	15,21	17,77	8,70	32,93

Tabella 4.6 Composizione e resa potenziale in biogas della pollina.

ST	CENERI	RESA POTENZIALE BIOGAS	METANO
%	%ST	(Nm ³ / tT.Q.)	%
23,52	28,17	84,47	63

Anche dalle analisi sulla pollina, facendo la differenza tra i solidi totali e le ceneri, è possibile calcolare la quantità di solidi volatili, cioè la frazione organica della sostanza secca. Le ceneri rappresentano il 28,17% dei ST, dunque il quantitativo di solidi volatili è pari al 71,83% dei ST, cioè 16,89%. Il biogas prodotto è pari a 84,47 Nm³/ tT.Q., quindi tale valore sta ad indicare la produzione di biogas per ogni tonnellata di pollina tal quale. Il metano prodotto è pari al 63% del biogas uscente, corrispondente a 53,21Nm³/t, un valore ottimale, considerando che i valori minimi e massimi di concentrazione del metano nel biogas prodotto da tale impianto sono 50 – 75% in media. Considerando che la quantità giornaliera di pollina immessa in input all'impianto è pari a 16 t, il biogas potenzialmente prodotto in un giorno dalla sola pollina è pari a 1351,52 Nm³, di cui circa 852 Nm³ è metano.

4.4.4 Sansa di oliva

La sansa di olive è un sottoprodotto del processo di estrazione dell'olio d'oliva composto dalle buccette, dai residui della polpa e dai frammenti di nocciolino. Di seguito sono riportati i risultati delle analisi chimiche condotte sulla sansa di olive.

Tabella 4.7 Composizione e resa potenziale in biogas della sansa di olive.

ST	CENERI	RESA POTENZIALE BIOGAS	METANO
%	%ST	(Nm ³ / tT.Q.)	%
45	11	112	52

Da tali analisi, facendo la differenza tra i solidi totali e le ceneri, è possibile calcolare la quantità di solidi volatili, cioè la frazione organica della sostanza secca. Le ceneri rappresentano l'11% dei ST, dunque il quantitativo di solidi volatili è pari all'89% dei ST, cioè 40,05%. Il biogas prodotto è pari a 112 Nm³/t.T.Q. Il metano prodotto è pari al 52% del biogas uscente, corrispondente a 58,24 Nm³/t, un valore rientrante nei limiti di concentrazione del metano nel biogas prodotto da tale impianto (50 – 75% in media).

Considerando che la quantità giornaliera di sansa di oliva immessa in input all'impianto è pari a 10 t, il biogas potenzialmente prodotto in un giorno dalla sola sansa di oliva è pari a 1120 Nm³, di cui 583 Nm³ è metano.

4.4.5 Insilato di sulla

La sulla è una pianta foraggera che cresce spontanea in quasi tutti i Paesi del bacino del mediterraneo; la specie viene utilizzata per la produzione di insilato. Di seguito sono riportate le analisi chimiche condotte sull'insilato di sulla.

Tabella 4.8 Composizione e resa potenziale in biogas della sulla.

ST	CENERI	RESA POTENZIALE BIOGAS	METANO
%	%ST	(Nm ³ / tT.Q.)	%
35	10	220,24	52

Anche dalle analisi sull'insilato di sulla, facendo la differenza tra i solidi totali e le ceneri, è possibile calcolare la quantità di solidi volatili, cioè la frazione organica della sostanza secca. Le ceneri rappresentano il 10% dei ST, dunque il quantitativo di solidi volatili è pari al 90% dei ST, cioè 31,5%. Il biogas prodotto è pari a 220,24 Nm³/t.T.Q. Il metano prodotto è pari al 52% del biogas uscente, corrispondente a 114,52 Nm³/t, un valore rientrante nei

limiti di concentrazione del metano nel biogas prodotto da tale impianto (50 – 75% in media).

Considerando che la quantità giornaliera di insilato di sulla immessa in input all'impianto è pari a 12 t, il biogas potenzialmente prodotto in un giorno dal solo insilato di sulla è pari a 2642,88 Nm³, di cui circa 1375 Nm³ è metano.

4.4.6 Digestato

Il digestato prodotto giornalmente è pari al 75% in peso dell'input, cioè circa 63 t al giorno; il materiale che giornalmente viene digerito è quindi pari circa a 20 t. La composizione del substrato fermentato dipende dalla durata dello stoccaggio, dalla composizione dei cofermenti e dai parametri della fermentazione, come ad esempio la temperatura e il carico specifico del fermentatore. La diminuzione della sostanza secca e del carbonio nonché l'aumento del valore del PH sono tipici del processo di degradazione biochimica. La sostanza secca dei cofermenti in entrata all'impianto viene ridotta di circa l'80%, perché i composti del carbonio vengono trasformati in CO₂ e CH₄. La percentuale della sostanza secca e della sostanza secca organica si riduce fino all'ottenimento di un prodotto con un contenuto di circa il 5% di sostanza secca. La fermentazione riduce anche la viscosità del liquame diminuendo la sostanza secca e le sostanze viscite. Inoltre si riducono le sostanze odorose e gli acidi organici.

Tabella 4.9 Composizione del digestato finale.

<i>PH</i>	<i>ST</i> %	<i>SV</i> %	<i>COD</i> g/kg
7,62	5,02	3,20	53,85

4.5 Bilancio di massa

Se il controllo di processo è la base per il corretto funzionamento del digestore, il bilancio di massa fornisce lo strumento per verificare la reale efficacia del processo condotto e stabilire con certezza che la razione è stata valorizzata al massimo delle sue potenzialità. I bilanci di massa vengono redatti considerando le quantità reali di sostanza tal quale, di sostanza secca, di solidi volatili o di carico organico (COD), alimentati nel digestore e in uscita da esso. Un bilancio di massa che consideri oltre ai flussi reali di massa nel digestore anche il biogas prodotto dalla razione alimentata e la relativa produzione di energia elettrica, permette la corretta stima di quanto il processo riesce a essere efficiente.

Dunque la produzione potenziale di biogas di una matrice organica è la base per valutare correttamente l'opportunità di utilizzare una biomassa nella formulazione di una miscela di alimentazione di un digestore anaerobico. La tabella successiva riassume i dati relativi alle analisi chimiche e alle rese potenziali di biogas e di metano al giorno prodotti per ciascuna matrice immessa giornalmente in input all'impianto, dunque considerando i singoli quantitativi giornalieri alimentati.

Tabella 4.10 Resa giornaliera in biogas e metano prodotto giornalmente dalle singole matrici.

	ST %	SV %	Ceneri %ST	t/giorno	Resa biogas al giorno Nm³	Metano Nm³
Pastazzo	19,46	18,57	4,54	45	3.942	1.892
Silomais	25,92	24,24	6,47	2	600	324
Pollina	23,52	16,89	28,17	16	1.351,52	852
Sansa di olive	45	40,05	11	10	1120	583
Insilato di sulla	35	31,5	10	12	2.642,88	1.375

4. ELABORAZIONE DATI

Sommando i contributi delle varie matrici in ingresso, il mix in alimentazione all'impianto consente di produrre **9.656,4 Nm³** di biogas al giorno, di cui **5.026 Nm³** è metano. Per quanto riguarda la percentuale dei solidi totali e dei solidi volatili, rapportando i singoli valori di ciascuna matrice ai quantitativi giornalieri in alimentazione e sommandoli, risulta che il mix in input è costituito da 21,72 t di ST e da 19,31 t di SV. L'impianto ha una potenza di 999 KW; la seguente tabella, considerando la quantità giornaliera di metano prodotto da ciascuna matrice, in quanto è questo il combustibile utile per la conversione energetica, mostra che il bilancio globale è soddisfatto, in quanto la potenza elettrica risultante è pressoché 999 KW.

Tabella 4.11 Potenza termica immessa e potenza elettrica generata da ciascuna matrice.

	Q.tà giornaliera CH₄ Nm³	Potere calorifero KWh/ Nm³	Potenza termica immessa KW	Potenza elettrica KW
Pastazzo	1.892	10	789	316
Silomais	324	10	135	54
Pollina	852	10	355	142
Sansa di olive	583	10	243	97
Insilato di sulla	1.375	10	573	229
Potenza elettrica ≈ 999 KW				

essendo:

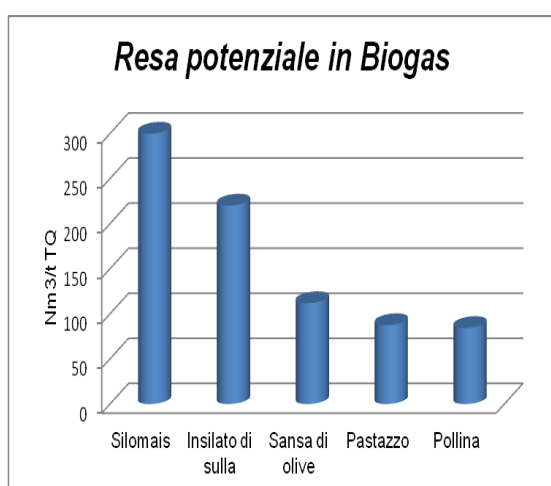
- il potere calorifero del metano 10 kWh/Nm³;
- il rendimento elettrico pari al 40%.

4.6 Osservazioni progettuali

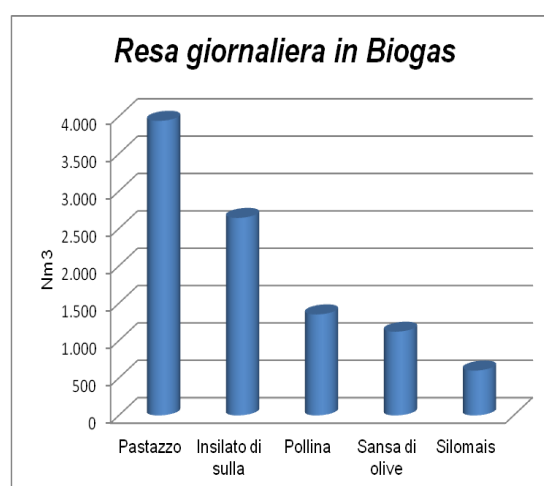
Tenendo conto dei valori riportati nella seguente tabella, sono state fatte diverse osservazioni progettuali.

Tabella 4.12 Valori riassuntivi di resa potenziale e giornaliera in biogas e quantitativi di metano relativi a ciascuna matrice.

	Resa potenziale biogas (Nm³/t TQ)	t/giorno	Resa biogas al giorno Nm³	Metano %	Metano Nm³
Pastazzo	87,6	45	3.942	48	1.892
Silomais	300	2	600	54	324
Pollina	84,47	16	1.351,52	63	852
Sansa di olive	112	10	1120	52	583
Insilato di sulla	220,24	12	2.642,88	52	1.375



a)



b)

Figura 4.2 a) Resa potenziale in biogas, b) resa giornaliera in biogas di ciascuna matrice.

4. ELABORAZIONE DATI

Analizzando le rese potenziali in biogas delle singole matrici in input all'impianto, è evidente che le biomasse dalle quali si può ottenere il maggior quantitativo di biogas sono il silomais e l'insilato di sulla, mentre il pastazzo di agrumi e la pollina, presentano delle rese potenziali in biogas inferiori.

Il vantaggio del pastazzo è costituito dalla mancanza di lignina, una delle componenti indegradabili nei tempi tecnici applicabili agli impianti di digestione anaerobica, e dalla presenza di mono e disaccaridi, composti principalmente da glucosio, fruttosio e saccarosio (6 - 8%) e polisaccaridi (pectina, proto pectina, cellulosa ed emicellulosa) pari a circa 1,5 - 3%, la maggior parte dei quali sono zuccheri facilmente digeribili. Di contro, la composizione chimica del pastazzo di agrumi mostra come esso sia costituito da una percentuale di 0,5 - 1,5% di acidi organici (citrico, malico, isocitrico), che rendono il PH molto acido, pari a 3 - 4; questo rappresenta una limitazione importante nel processo di digestione anaerobica, per la rapida acidificazione e per la diminuzione del PH nel reattore, che possono inibire l'attività batterica. Infatti, delle fasi principali del processo di digestione anaerobica, la fase metanigena è la più lenta e, di conseguenza, condiziona l'intera trasformazione; è assolutamente necessario mantenere un equilibrio tra la quantità di acido acetico prodotta (durante la fase acidogena) e quella metabolizzata e trasformata in metano (fase metanigena); un allontanamento da questo equilibrio verso l'accumulo di acido acetico determinerebbe un'eccessiva acidificazione del substrato, una tossicità per i batteri metanigeni ed un rallentamento del processo che, addirittura, potrebbe arrivare all'arresto. Dunque è necessaria una gestione oculata dei carichi e un monitoraggio attento del processo biologico per evitare fenomeni di inibizione (acidosi). Inoltre, anche la presenza di D-limonene nella buccia e le acque reflue ostacolano il processo di digestione anaerobica, nonché la produzione di grandi quantità di VFAS, che inibiscono l'attività dei batteri metanigeni. Si può aggiungere del bicarbonato come effetto tampone per ridurre l'acidità, ma ciò inciderebbe anche sulla produzione finale di metano. L'ulteriore problema principale di questa biomassa potrebbe essere la sua

disponibilità stagionale, ma nel caso in esame si dispone di una trincea 100 x 20 x 4 metri che raccoglie solo pastazzo, la cui quantità garantisce l'immissione giornaliera prevista di 45 t al giorno. La disponibilità di pastazzo di agrumi è molto elevata nel territorio, il che permette di costituire la matrice quantitativamente più elevata immessa giornalmente nell'impianto (45 t). Per tale motivo, considerando il mix giornaliero in alimentazione, il pastazzo rappresenta la matrice con maggiore resa di potenziale in biogas rispetto alle altre biomasse che giornalmente vengono immesse in quantità nettamente inferiori, nonostante riesca a produrre un biogas con percentuale di metano più bassa (48%) rispetto ai valori minimi e massimi di concentrazione del metano nel biogas prodotto da tale impianto (50 – 75%).

Il silomais presenta la resa potenziale in biogas più elevata tra tutte le matrici, nonché una buona percentuale di metano rientrante nei limiti minimi e massimi, ma ne viene immessa una quantità giornaliera irrisoria rispetto al resto (2 t), per cui contribuisce in minima parte alla produzione finale di biogas.

La pollina, così come il pastazzo, presenta una resa potenziale in biogas molto bassa rispetto alle altre matrici, ma viene immessa giornalmente in quantità significative (16 t); inoltre il biogas prodotto contiene la maggiore percentuale di metano (63%) rispetto alle altre biomasse: più è alta tale percentuale, meno biogas occorre per produrre energia. Il tutto consente alla pollina di contribuire in buona parte alla produzione finale di biogas.

La sansa di olive presenta una buona resa potenziale in biogas, viene giornalmente immessa nell'impianto in quantità modeste (10 t) e il biogas che produce contiene una buona percentuale di metano; dunque contribuisce in buona parte alla produzione finale di biogas.

L'insilato di sulla, dopo il silomais, presenta un'ottima resa potenziale in biogas, viene giornalmente immesso nell'impianto in quantità modeste (12 t) e il biogas che produce contiene una buona percentuale di metano; è la seconda biomassa, dopo il pastazzo di agrumi, che in tale impianto contribuisce in ottima parte alla produzione finale di biogas.

5. RISULTATI

5.1 Valutazioni sperimentali

5.1.1 Analisi di fattibilità economica

Due sono gli aspetti importanti nella scelta delle matrici organiche da utilizzarsi in un digestore: il costo della matrice e la produttività della matrice in termini di biogas prodotto per unità di peso. Il primo dato è soggetto alle regole del mercato, il secondo aspetto può essere affrontato con vari metodi per stimare il biogas producibile, come già descritto in precedenza. Ad esempio, come già visto, attraverso analisi chimiche è stato possibile conoscere le caratteristiche chimiche e i valori di produttività potenziale di biogas delle cinque matrici organiche eterogenee in input all'impianto. La conoscenza del dato di produzione potenziale di biogas della biomassa e del suo contenuto di sostanza secca, unitamente alla conoscenza del costo della matrice organica, permette di calcolare un parametro importante per la definizione della razione del digestore, cioè il costo unitario del biogas producibile (euro/Nm³ di biogas producibile). Tale parametro rappresenta il costo che deve essere sostenuto per produrre l'unità di volume di biogas (Nm³) dall'unità di peso della biomassa (t). Il calcolo di tale parametro va effettuato dividendo il costo di un'unità in peso di biomassa (euro/t) per la produzione potenziale di biogas rapportata alla stessa unità in peso del substrato (Nm³/t.T.Q.). Ad esempio i liquami da allevamento zootecnico, anche se generalmente disponibili a prezzo "zero", hanno una produttività di biogas estremamente bassa, che suggerisce la necessità di codigestione con altre biomasse più produttive. In tal senso gli scarti dell'industria agroalimentare hanno una produttività confrontabile o talvolta superiore a quella delle colture energetiche, così come la frazione organica dei rifiuti, ma a costi decisamente inferiori. È evidente, quindi, che la definizione del costo unitario del biogas producibile diviene l'elemento principale per la formulazione della razione e che la scelta delle matrici da impiegare nella razione dipenderà dalla convenienza economica del loro mix e dalla loro

5. RISULTATI

disponibilità sul territorio. Nella seguente tabella si riportano i 5 esempi di razione ottenute con le diverse matrici in input all'impianto e i relativi valori di costo unitario del biogas producibile. I valori relativi al costo di un'unità in peso di ciascuna biomassa (euro/t) sono stati forniti dal Direttore Operativo dell'impianto in questione.

Tabella 4.13 Costo di un'unità in peso di ciascuna biomassa e costo unitario di biogas producibile delle singole matrici.

	ST %	Resa potenziale biogas (Nm³/t TQ)	Costo euro/t	Costo unitario biogas producibile (euro/Nm³ biogas)
Pastazzo	19,46	87,6	10	0,11
Silomais	25,92	300	50	0,16
Pollina	23,52	84,47	8	0,09
Sansa di olive	45	112	20	0,17
Insilato di sulla	35	220,24	35	0,16

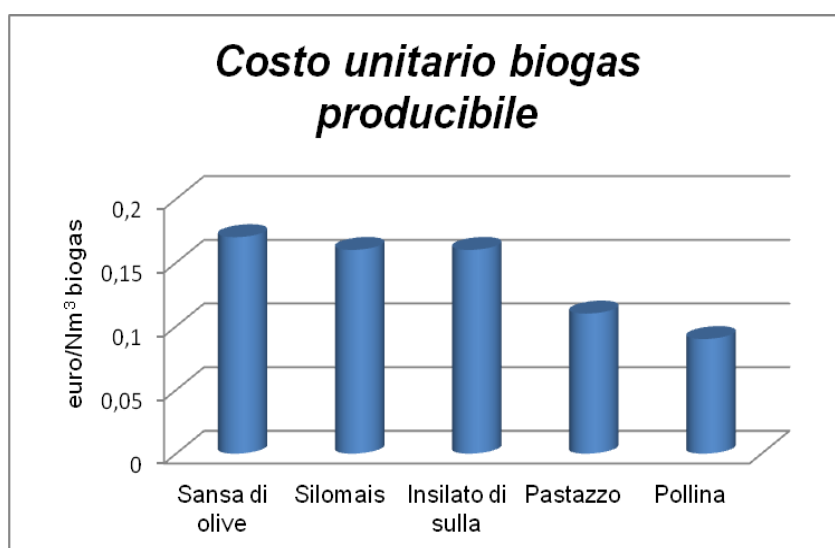


Figura 4.3 Costo unitario di biogas producibile delle singole matrici.

5. RISULTATI

Considerando il costo per ogni tonnellata delle singole matrici in alimentazione e la loro specifica resa potenziale in biogas, si può evincere che il maggior costo unitario del biogas producibile (euro/Nm³ di biogas producibile), cioè il costo che deve essere sostenuto per produrre l'unità di volume di biogas (Nm³) dall'unità di peso della biomassa (t) è attribuito alla sansa di olive, mentre il minor costo è legato alla pollina. Il costo da sostenere per produrre l'unità di volume di biogas dall'unità di peso di pastazzo di agrumi è invece medio rispetto alle altre matrici.

Se invece si considerano i quantitativi giornalieri immessi in input all'impianto, si hanno i seguenti risultati:

Tabella 4.14 Costo giornaliero delle singole biomasse immesse nell'impianto.

	<i>t/giorno</i>	<i>Resa biogas al giorno (Nm³)</i>	<i>Costo euro</i>	<i>Costo unitario biogas producibile (euro/Nm³ biogas)</i>
Pastazzo	45	3.942	450	0,11
Silomais	2	600	100	0,16
Pollina	16	1.351,52	128	0,09
Sansa di olive	10	1120	200	0,17
Insilato di sulla	12	2.642,88	420	0,16

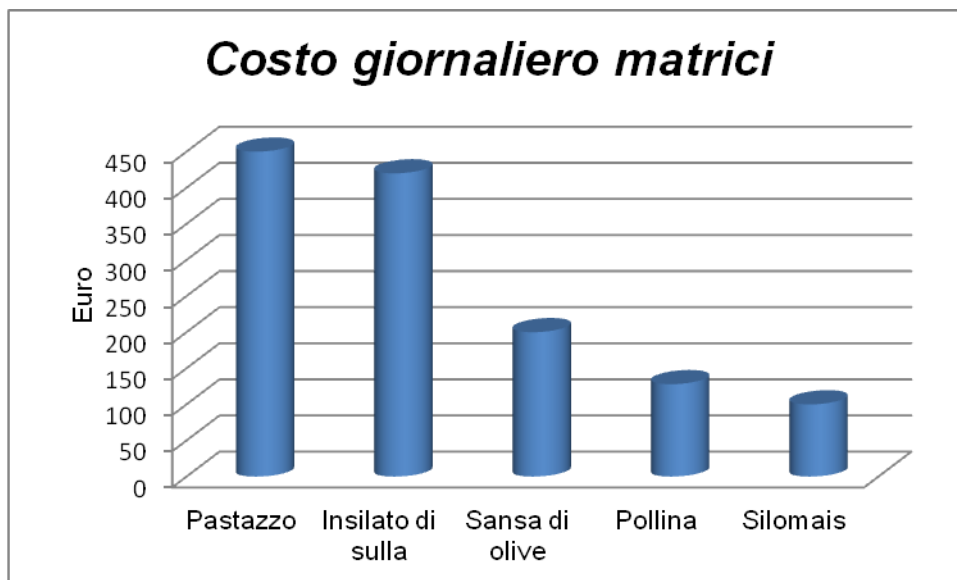


Figura 4.4 Costo giornaliero delle singole biomasse immesse nell'impianto.

Naturalmente rapportando i vari valori ai quantitativi giornalieri il costo unitario di biogas producibile rimane lo stesso; dalla tabella si può vedere che la biomassa che incide maggiormente sul costo giornaliero è sicuramente il pastazzo, in quanto è la matrice quantitativamente più elevata immessa giornalmente nell'impianto (45 t), anche se una delle più economiche. Dopo il pastazzo la matrice più costosa risulta essere l'insilato di sulla, in quanto presenta un costo abbastanza elevato, per di più rapportato a un quantitativo immesso giornalmente non indifferente. La pollina è la matrice più economica, ma la quantità immessa giornalmente è abbastanza elevata, per cui tale primato è assegnato al silomais, in quanto i valori sono rapportati alle sole 2 t al giorno immesse.

Infine è importante sottolineare che bisogna considerare anche i costi legati al trasporto delle matrici dai siti produttivi all'impianto, dato che la maggior parte delle biomasse sono a produzione esterna; tali costi incidono circa il 50%.

5.1.2 Produzione di biogas da solo pastazzo di agrumi

Come già visto in precedenza, il mix di materie prime in input all'impianto consente di produrre un quantitativo di biogas che permette di soddisfare il bilancio globale, in modo tale che la potenza elettrica risultante sia pressoché 999 KW. Se si volesse utilizzare in alimentazione soltanto pastazzo di agrumi, sarebbero necessari quantitativi giornalieri immessi molto elevati per avere la stessa produzione di biogas ed energia elettrica. In particolare, affinché si raggiunga la potenza massima dell'impianto (999 KW), è necessario che il metano prodotto dal biogas uscente sia **massimo pari a 5950 Nm³** al giorno. Considerando la resa potenziale in biogas del pastazzo, esso riesce a produrre, come già detto, 42,04 Nm³ di metano per ogni tonnellata; dunque per raggiungere i 5950 Nm³ occorrerebbero giornalmente circa 142 t di pastazzo. L'impianto in questione col mix di alimentazione produce 9.656,4 Nm³ di biogas al giorno, di cui 5.026 Nm³ è metano. Per avere lo stesso quantitativo di metano utilizzando solo pastazzo occorrerebbero giornalmente circa 120 t di pastazzo. Entrambe le soluzioni risultano comunque inconvenienti, innanzitutto per gli ingenti quantitativi giornalieri necessari che potrebbero non essere disponibili territorialmente e che comunque necessiterebbero di un impianto di dimensioni maggiori, circa 3 volte più grande, dunque costi più elevati; inoltre anche per le caratteristiche intrinseche di tale biomassa, che, come già descritto in precedenza, presenta innumerevoli svantaggi; un impianto in cui giornalmente si immetterebbero esclusivamente 142 t di pastazzo presenterebbe un ingente quantitativo di acidi e quindi un PH molto basso, provocando acidosi e inibizione dei batteri, rendendo impossibile il processo di digestione anaerobica; quest'ultimo, come visto in precedenza, si svolge attraverso una catena metabolica che, partendo da composti carboniosi complessi, conduce a intermedi metabolici più semplici, fino alla produzione di acidi grassi volatili (fase acidogena), poi ridotti a metano nella fase metanigena. La reazione di metanazione è la reazione più lenta e condiziona l'intera velocità del processo. Se si mantiene l'equilibrio tra la quantità di

acido acetico prodotta nella fase acidogena e la quantità metabolizzata a metano si parla di condizioni metanigene stabili. Diversamente, l'accumulo di acido acetico non ancora metabolizzato a metano determina un rallentamento dei processi, tossicità per i batteri metanigeni, acidificazione del mezzo e, in certe condizioni, anche blocco del digestore e della produzione di biogas. Immettendo in input solo pastazzo sarebbe necessario quindi additivare chimicamente l'alimentazione, ma in tal caso non si parlerebbe più di "biogas", ma di "chimic-gas". Concludendo, il pastazzo di agrumi può essere utilizzato semplicemente come additivo o come un componente di un certo mix di matrici diverse, come di fatto avviene nell'impianto in questione. Generalmente le criticità legate all'utilizzo del solo pastazzo sono la disponibilità limitata nel tempo (da giugno a dicembre) e la difficoltà di conservazione causata dall'elevato contenuto di acqua e dalla rapida fermentescibilità del prodotto, mentre i punti di forza sono l'ottima idoneità alla digestione anaerobica, la disponibilità abbondante nei territori di produzione come la Sicilia e il basso costo unitario di biogas producibile della stessa materia prima; una matrice che dà origine ad una buona resa in biogas e che al contempo è anche economica risulta essere vantaggiosa e prioritaria rispetto ad altre.

5.1.3 Produzione di biogas da solo silomais

Considerando che il silomais è la biomassa che presenta la resa potenziale in biogas più elevata tra tutte le matrici in ingresso, nonché una buona percentuale di metano rientrante nei limiti minimi e massimi, si potrebbe pensare di utilizzare in alimentazione soltanto tale matrice. Affinché si raggiunga la potenza massima dell'impianto (999 KW), è necessario che il metano prodotto dal biogas uscente sia **massimo pari a 5950 Nm³** al giorno. Considerando la resa potenziale in biogas del silomais, esso riesce a produrre, come già detto, 162 Nm³ di metano per ogni tonnellata; dunque per raggiungere i 5950 Nm³ occorrerebbero giornalmente circa 37 t di silomais. L'impianto in questione col mix di alimentazione produce 9.656,4 Nm³ di

biogas al giorno, di cui 5.026 Nm³ è metano. Per avere lo stesso quantitativo di metano utilizzando solo silomais occorrerebbero giornalmente circa 31 t di silomais. Entrambe le soluzioni potrebbero risultare vantaggiose rispetto all'impianto operante col mix di materie prime diverse; infatti attualmente nell'impianto in questione vengono alimentate giornalmente matrici diverse per un totale di 85 t di carico con sostanza secca varia, mentre la soluzione di un impianto operante con solo silomais necessiterebbe di un carico giornaliero di circa 35 t con sostanza secca pari a 25,92%; dunque per arrivare a 999 KW e quindi produrre lo stesso quantitativo di energia elettrica occorrerebbe un volume delle vasche inferiore, dunque un impianto circa 2 volte più piccolo, e di conseguenza minori costi di produzione e di esercizio e maggiori incentivi (gli impianti di piccola taglia sono più incentivati), il che rende tale soluzione molto vantaggiosa. Di contro, lo svantaggio consiste negli ingenti quantitativi giornalieri necessari che potrebbero non essere disponibili territorialmente; tale aspetto può risultare veritiero se si considera che il silomais in input all'impianto è attualmente pari a 2 t, molto poco rispetto a 35 t. Inoltre il silomais presenta un costo unitario di biogas producibile abbastanza elevato, ed è la materia prima più costosa tra quelle analizzate. Infine, realisticamente, bisogna tener conto che paradossalmente un impianto di biogas non può funzionare solo a silomais, in quanto sarebbe necessario additivare chimicamente quei macro e micro elementi necessari al sistema per poter funzionare, il che comporterebbe costi aggiuntivi; più matrici ho in ingresso e meglio è, in quanto è giusto immettere una "dieta" varia ed equilibrata per avere buone rese finali. Generalmente le criticità legate all'utilizzo del solo silomais sono la sua disponibilità limitata nel tempo (da settembre a ottobre) e nello spazio, e la necessità di insilamento per la conservazione, mentre i punti di forza sono l'ottima idoneità alla digestione anaerobica e la disponibilità nei territori di produzione.

5.2 Discussioni

La migliore produzione di biogas è tale quando la matrice è caratterizzata da alta degradabilità, basso tenore d'umidità, basso contenuto in lignina e cellulosa, alto contenuto proteico/amidaceo/grasso, basso contenuto in metalli pesanti, alta percentuale di solidi volatili. I parametri chimici indispensabili per valutare una biomassa e formulare una razione equilibrata e produttiva sono: il contenuto di solidi totali, il contenuto di solidi volatili e carbonio, il contenuto di azoto e il rapporto C/N (carbonio/azoto), il contenuto di fosforo e potassio, la produttività potenziale di biogas. Dunque la resa in biogas, e quindi in metano, dipende dalle caratteristiche della biomassa e, in particolare, dalla quantità delle componenti organiche di base (grassi, proteine e carboidrati). Per le più comuni matrici utilizzabili in processi di digestione anaerobica la potenzialità di produzione di CH₄, a parità di tecnologia utilizzata, dipenderà quindi da:

- percentuale di sostanza secca presente nelle matrici tal quali;
- percentuale di solidi volatili presenti nella sostanza secca, potenzialmente trasformabile in biogas;
- contenuto di azoto, fondamentale per il corretto svolgimento dei processi biologici; un contenuto di azoto insufficiente rispetto al carbonio rallenta il tasso di crescita microbica e tutte le reazioni di trasformazione del substrato in biogas;
- la richiesta di fosforo e potassio, più limitata rispetto a quella di azoto (il range ottimale C/P è indicato tra 120 e 150);
- il rapporto C/K (carbonio/potassio), invece indicato tra 45 e 100;
- resa in biogas caratteristica della specifica sostanza organica;
- percentuale di metano presente nel biogas.

Questi due ultimi aspetti sono, ovviamente, direttamente connessi alla componente organica di base di cui sopra. Ulteriori aspetti rilevanti che devono essere valutati durante la scelta delle matrici da introdurre in processi di digestione anaerobica sono la struttura fisica, il contenuto di sostanze inibenti, la facilità di utilizzo del digestato, fattori di successo e limiti allo

sviluppo. Generalmente le colture energetiche hanno contenuti di solidi volatili superiori al 90% della sostanza secca totale, mentre materiali predigeriti, quali ad esempio i liquami zootecnici maturati e i fanghi di depurazione, hanno un contenuto variabile tra il 60 e il 70%. Il carbonio rappresenta una parte di tutta la sostanza organica presente (approssimativamente il 50%).

In termini generali il rendimento in biogas e quindi energetico del processo è molto variabile e dipende dall'insieme dei fattori sopra citati. Normalmente durante la digestione anaerobica si ottiene una riduzione di almeno il 45-50% dei solidi volatili della matrice organica. Le produzioni di metano sul tal quale variano con differenze consistenti anche tra i vari raggruppamenti di matrici. In generale la produzione di biogas risulta ottimizzata se vengono alimentate più matrici in codigestione; tale aspetto è evidente anche se si considerano i dati presenti in Tabella 4.11, relativi alla potenza elettrica generata da ciascuna matrice; infatti, se si utilizzassero tanti piccoli digestori alimentati da ciascuna tipologia di biomassa si otterrebbe una potenza elettrica complessiva molto inferiore rispetto a quella ottenuta dalla codigestione di biomasse diverse, che invece consente di raggiungere più o meno (a seconda della variabilità stagionale e qualitativa delle biomasse) il valore di 999 KW previsto dalla finalità dell'impianto. Il pastazzo di agrumi, così come le altre singole matrici, viene pertanto meglio utilizzato come co-matrice, come già dimostrato in precedenza. La codigestione di matrici diverse è dunque un beneficio per la produzione finale di biogas; ciò è ancora più importante se si considera che i dati relativi a ciascuna matrice utilizzati finora sono stati ottenuti in condizioni batch, cioè in maniera discontinua e per un lungo periodo di tempo, tale da consentire la completa digestione del materiale organico e l'ottenimento del massimo quantitativo di biogas producibile; l'impianto oggetto di studio, invece, ha un funzionamento in continuo e la digestione avviene in un periodo di tempo più breve, per cui si ottiene un quantitativo finale di biogas inferiore rispetto ai valori sopra elaborati, dovuto all'incompleta digestione di tutto il materiale organico.

5. RISULTATI

Dunque anche in questo senso la codigestione rappresenta un beneficio per l'ottimizzazione della produzione finale di biogas. Infine, occorre sottolineare che il potenziale metanigeno delle biomasse non è l'unico aspetto da prendere in considerazione nell'organizzazione di un processo di digestione anaerobica, ma bisogna attenzionare ad esempio anche aspetti economici legati al costo delle matrici, al loro trasporto, alla conservazione e opportuni trattamenti e alla disponibilità territoriale e stagionale. Ad esempio, da dati di letteratura si osserva che i liquami, sebbene abbiano una capacità metanigena (sul tal quale) inferiore da tre a cinque volte rispetto a quella delle altre matrici, rappresentano di gran lunga il materiale generalmente più utilizzato in processi di digestione anaerobica. In definitiva è necessario dapprima ottimizzare l'alimentazione degli impianti di biogas, dopodiché, una volta preparata la miscela, occorre che il processo di digestione anaerobica avvenga in maniera ottimale operando un continuo e attento controllo.

6. CONCLUSIONI

La sostenibilità nella produzione e utilizzo del biogas consiste nella riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra, riduzione dell'inquinamento, recupero dei residui derivanti dalla digestione anaerobica della materia organica di cui la matrice è costituita e suo utilizzo come fertilizzante, riducendo così l'utilizzo di concimi minerali con conseguente riduzione dell'inquinamento delle acque. Pertanto, la produzione di biogas attraverso l'utilizzo delle matrici comporta la valorizzazione e il riciclo di quegli scarti che altrimenti costituirebbero un rifiuto. La filiera di produzione del biogas è oramai abbastanza consolidata perché ad essa si possono ascrivere diversi benefici nel trattamento a fini bioenergetici delle matrici organiche. I principali benefici sono:

- benefici rispetto al trattamento dei reflui:
 - processo naturale di trattamento dei rifiuti;
 - richiede minori trattamenti rispetto al compostaggio;
 - consente una riduzione di volume e di peso rispetto allo spandimento dei reflui in agricoltura;
- benefici energetici:
 - processo con produzione netta di energia;
 - genera un combustibile rinnovabile di alta qualità;
 - il biogas può essere destinato a diversi utilizzi e applicazioni;
- benefici ambientali:
 - significativa riduzione di gas serra;
 - significativa riduzione delle emissioni maleodoranti;
 - produce un digestato sanificato e ricco di nutrienti;
 - massimizzazione dei benefici del riciclo;
- benefici economici:
 - presenta un ciclo di vita più efficiente sui costi rispetto ad altre opzioni bioenergetiche.

6. CONCLUSIONI

Affinché la digestione anaerobica avvenga con la massima efficienza è necessario che la razione inserita nel digestore sia scelta in modo da fornire la massima resa in biogas nel minore periodo di tempo possibile. Una matrice che dà origine ad una resa elevata di biogas e che al contempo è anche economica risulta essere vantaggiosa e prioritaria rispetto ad altre. Una delle matrici ideali, che permette di produrre un'ottima quantità di biogas, a prezzi abbastanza ridotti, è lo scarto organico dell'agroindustria; in tal modo questo tipo di materiale non costituisce più un rifiuto come altrimenti sarebbe, comportando l'abbattimento del costo di smaltimento e il suo riciclaggio, ossia rinnovabilità della risorsa. Il pastazzo di agrumi, che attualmente viene utilizzato come fertilizzante in agricoltura, mangime per animali, additivo per alimentazione umana, compost o come fonte di sostanze ad alto valore aggiunto, rappresenta anche un componente nella produzione di biogas; tale utilizzo costituisce un'ulteriore soluzione in grado di assorbire l'ingente quantitativo prodotto in Sicilia. Ulteriori stimoli allo sviluppo della digestione anaerobica potrebbero derivare da alcuni interventi in ambito normativo, e applicando modifiche tecnico-organizzative. Tra le prime si potrebbe segnalare:

- procedure più semplificate, più chiare e praticabili per l'allacciamento alla rete nazionale e in generale sugli aspetti autorizzativi;
- favorire l'utilizzo per l'autotrazione del metano purificato al 95-98% e la sua immissione nella rete di distribuzione del gas naturale;
- consentire, dal punto di vista autorizzativo, un più agevole uso sia di alcuni sottoprodotti in codigestione con reflui zootecnici che del digestato finale che ne deriva;
- una più costante e chiara politica nazionale di incentivazione (come il caso della Germania);
- una più omogenea azione amministrativa e procedurale tra le regioni.

Da un punto di vista più tecnico-organizzativo sarebbe opportuno perseguire un'integrazione del processo di digestione anaerobica con il processo di

6. CONCLUSIONI

compostaggio. Le ragioni di tale integrazione fanno capo a diversi aspetti, tra cui si segnalano:

- la possibilità di usare digestato assieme ad altre matrici organiche selezionate in impianti di compostaggio di tipo comprensoriale/consortile per una migliore valorizzazione delle stesse;
- maggiore efficienza nell'utilizzo dell'azoto nel passaggio dal digestato (concime), che presenta un azoto molto disponibile, al compost che è un ammendante con le riconosciute proprietà sulla reintegrazione della fertilità dei suoli.

Tale integrazione di processi anaerobico/aerobico si potrebbe alimentare con la costruzione di nuovi impianti integrati. E' necessario promuovere un modello di filiera biomassa-energia sostenibile, che valorizzi le risorse locali e i sottoprodotti dell'agricoltura. Il biogas per l'impresa agricola del Sud Italia può determinare un efficiente uso del suolo agricolo, essendo in grado di utilizzare non solo biomasse vegetali, ma anche effluenti zootecnici, sottoprodotti agricoli e agroindustriali, garantendo quindi la possibilità di rendere "risorsa" quelle che sono sostanze residuali altrimenti destinate allo smaltimento. Ciò che più interessa è quindi la produzione agricola, gli allevamenti, l'industria agroalimentare, che costituiscono anche uno strumento per riposizionare l'imprenditore agricolo, e perché si affermi, anche e soprattutto in una regione come la Sicilia, un modello di produzione di biogas basato sui piccoli impianti aziendali e interaziendali, come il caso studio dell'impianto di Mussomeli; tale opera presenta un duplice vantaggio: da un lato contribuisce alla produzione di energia "pulita" grazie all'utilizzo di biomasse come fonte energetica rinnovabile, dall'altro consente un sostanziale miglioramento dell'economia locale poiché permette la creazione di un' idonea filiera agroenergetica per la coltivazione e gestione della biomassa stessa. In tal modo avvia un processo virtuoso di recupero degli scarti, come il pastazzo, che, oltre a generare un ritorno economico, contribuisce a generare energia elettrica e termica rinnovabile. Le produzioni

6. CONCLUSIONI

agro-alimentari siciliane rappresentano un insieme composito ed unico nel panorama nazionale ed internazionale; è per questo che occorre incrementare il numero di impianti facendo affidamento ad una più costante e chiara politica nazionale di incentivazione; in tal modo l'agricoltura può essere in grado di offrire un importante contributo alla distribuzione di energia prodotta da fonti rinnovabili e allo smaltimento dei rifiuti organici.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare il Prof. Lorenzo Bertin, relatore di questa Tesi, per la costante disponibilità e cortesia dimostratemi durante la stesura.

Un ringraziamento sentito va a Giuseppe Valenza, Direttore Operativo dell'impianto Nuova Scala di Mussomeli, per la sua gentile collaborazione che ha reso accessibili le informazioni necessarie per il completamento della presente Tesi di Laurea.

Bibliografia

- Abbasi T., S. M. Tauseef e S. A. Abbasi, *Biogas Energy*. SpringerLink ebooks—Engineering, New York (2012).
- Al Seadi T., D. Rutz, H. Prassl, M. Köttner, T. Finsterwalder, S. Volk and R. Janssen, *Biogas Handbook*, Ed. T. A. Seadi. University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9–10, DK-6700 Esbjerg, Denmark (2008).
- Amon, T., B. Amon, V. Kryvoruchko, A. Machmaller, K. Hopfner-Sixt, V. Bodiroza, R. Hrbek, J. Friedel, E. Patsch, H. Wagenristl, M. Schreiner and W. Zollitsch, *Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations*. *Bioresource Technology* 98 (2007) 3204–3212.
- AOAC (2000). *AOAC official method 962.09. Fiber (crude) in animal feed and pet food*. In W. Horwitz (ed.), *Official Methods of Analysis of AOAC International*, section 4.6.01, Gaithersburg, MD: AOAC International.
- APAT, Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, *Digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti solidi*, Manuali e linee guida 13/2005.
- Appels L. et al., *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 4295–4301 (2011).
- Arsova, L., N. J. Themelis and K. Chandran, *Anaerobic digestion of food waste: Current status, problems and an alternative product*, M.S. Degree in Earth Resources Engineering, New York (2010).
- Az. Agricola Nuova Scala S.r.l.
- Bampidis e Robinson (2006). *Citrus by-products as ruminant feeds: a review*. *Anim. Feed Sci. Technol.* 128.

- Borroto, B., Larrauri, J.A., and Cribeiro, A. (1995). *Influencia del tamaño de partículas sobre la capacidad de retención de agua de la fibra obtenida a partir de cítricos y piña*. *Alimentaria* 3: 89–90.
- Bouallagui, H., Touhami, Y., Cheikh, R. B., and Hamdi, M. (2005). *Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes*. *Process Biochem* 40: 989–995.
- Cho, S., DeVries, J., and Prosky, L., (1997). *Dietary Fiber Analysis and Applications*. Gaithersburg, MD: AOAC International.
- Choi, I.S., Kim, J., Wi, S.G., Kim, K.H., and Bae, H. (2013). *Bioethanol production from mandarin (Citrus unshiu) peel waste using popping pretreatment*. *Applied Energy* 102: 204–210.
- CRPA, *Centro Ricerche Produzioni Animali* (2009, 2011).
- D'Amico Mario, Galvano Fabio, Inglese Paolo, Nicolosi Elisabetta, Pasciuta Giuseppe, Scuderi Alessandro, Spezziga Salvatore et al, *Gli agrumi*, ART Servizi Editoriali S.r.l. (2012).
- D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387, “Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell’energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell’elettricità”.
- D.Lgs. 03 aprile 2006, n. 152, “Norme in materia ambientale”.
- D.Lgs. 03 dicembre 2010, n. 205, “Disposizioni di attuazione della direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive” Art.10.
- D.Lgs. 03 marzo 2011 n. 28, “Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2002/30/CE.
- Decreto 21 maggio 2014, “Reimpiego scarti agrumi”.
- Direttiva 94/9/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 marzo 1994, concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati a

- essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva (ATEX Atmosphere explosible).
- DM 6 luglio 2012, “Incentivi per energia da fonti rinnovabili elettriche non fotovoltaiche”.
 - DM 12 luglio 1990, “Linee guida per il contenimento delle emissioni degli impianti industriali e la fissazione dei valori minimi di emissione”.
 - EPI, *Earth Policy Institute*.
 - EurObserv'ER, 2004.
 - Figuerola, F., Hurtado, M.L., Estevez, A.M., Chiffelle, I., and Asenjo, F. (2005). *Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment*. Food Chemistry 91: 395–401.
 - Gibney, M.J. (2000). *Nutrition and diet for healthy lifestyles in Europe*. In: B.V. McCleary, L. Prosky (eds), *Advanced Dietary Fibre Technology*, pp. 3–11. Oxford: Blackwell Publishig.
 - Gohl (1978). *Citrus by-products for animals feed* in Ruminant Nutrition, Food Agric. Org., Roma.
 - GSE, *Gestore dei Servizi Energetici*, rapporto statistico (2011, 2012).
 - Gujer e Zehnder (1983), *Conversion processes in anaerobic digestion*. *Wat. Sci. Tech.*, 15, 127 – 167.
 - ISMEA, Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare.
 - ISTAT, Istituto nazionale di statistica.
 - Johnston, R.B. (2002). *Confidential report on existing pectin plant*. *Report on pectin peel*. FMC (Australia).
 - Kaparaju P, Rintala J, Oikari A. *Agricultural potential of anaerobically digested industrial orange waste with and without aerobic post e treatment*. *Environ Technol* (2012); 33 (1 e 3): 85 e 94.
 - Kaparaju PLN, Rintala JA. *Thermophilic anaerobic digestion of industrial orange waste*. *Environ Technol* (2006); 27: 623 e 33.
 - Macias-Coral, M., Z. Samani, A. Hanson, G. Smith, P. Funk, H. Yu and J. Longworth, *Anaerobic digestion of municipal solid waste and*

- the effect of co-digestion with dairy cow manure*. Bioresource Technology 99 (2008) 8288–8293.
- Martin MA, Siles JA, Chica AF, Martin A. *Biomethanization of orange peel waste*. Bioresour Technol (2010); 101: 8993 - 9.
 - Martinez Pascual e Fernandez Carmona, *Citrus pulp in diets for fattening lambs*, (1980).
 - Martinez e Andreu A, Munoz R, Sanchotello M, Burguet MC. *Methane production from orange peel pressing liquid: a kinetic study*. Environ Technol (1992); 13: 785 - 90.
 - Mizuki E, Akao T, Saruwatari T. *Inhibitory effect of citrus unshiu peel on anaerobic digestion*. Biol Wastes (1990); 33 (3): 161 - 8.
 - Mongeau, R., Brassard, R., Deeks, J.R., Laffey, P.J., Nguyen, L., and Brooks, S.P.J. (2001). *Comparison of dietary fiber contents of selected baby foods from two major brands in Canada using three methods*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 49(8): 3782–3786.
 - Murphy J. D., R. Braun, P. Weiland and A. Wellinger, *Biogas from crop digestion*. IEA Bioenergy, (2011), <http://groengas.nl/wp-content/uploads/2013/07/2011-09-00-Biogas-from-Crop-Digestion.pdf> (accessed 6 March 2014).
 - Nguyen H. *Biogas production from solvent pretreated orange peel*. Thesis for Master of Science, Chalmers University of Technology (2012).
 - OCSE (2010), *Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico*.
 - Ostrem, K., K. Milltath and N. Themelis, *Combining Anaerobic Digestion and Waste-to-Energy*. ASME, Georgia (2004), pp. 265–271.
 - Ostrem, K. and N. J. Themelis, *Greening Waste: Anaerobic Digestion for Treating the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*. Columbia University, New York (2004), p. 59.
 - Perlack, R.D., Wright, L.L., Turhollow, A.F., Graham, R.L., Stokes, B.J., and Erbach, D.C. (2005). *Biomass as feedstock for a bioenergy*

- and bioproducts industry: The technical feasibility of a billion-ton annual supply.* U.S. Department of Agriculture. DOE/GO-102005-2135, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee (http://feedstockreview.ornl.gov/pdf/billion_ton_vision.pdf). (accessed November 7, 2012).
- Protocollo di Kyoto, Dicembre 1997.
 - Ragazzoni A., *Biogas: come ottenere reddito dall'agricoltura*, Edizione L'informatore agrario, Verona (2010).
 - Safley, L.M., Westerman, P.W. (1990). *Psychrophilic anaerobic digestion of animal manure: proposed design methodology*. Biological Wastes 34, 133 – 148.
 - Schanbacher, F. *Anaerobic Digestion: Overview & Opportunities*. Ohio State University, Wooster, OH (2009).
 - Srilatha HR, Nand K, Babu KS, Madhukara K. *Fungal pretreatment of orange processing waste by solid-state fermentation for improved production of methane*. Process Biochem (1995); 30 (4): 327 - 31.
 - Symons, G.E., e Buswell, A.M., *Jour. Amer. Chem Soc.* 55: 2028 – 2036 (1933).
 - Tambone, F., B. Scaglia, G. D'Imporzano, A. Schievano, V. Orzi, S. Salati and F. Adani, *Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost*. Chemosphere 81 (2010) 577–583.
 - The Copenhagen Pectin Factory (1998). Pectin. Industrial oriented booklets.
 - Transformación de aditivos (1998). *Métodos de Análisis de Pectinas*. Company documentation. Restricted.
 - UNDP (United Nations Development Program), *Human Development Report*, New York: United Nations (2012).
 - Urbini G., Torretta V., Bini P., Valvassori M., Conti F., *Digestione anaerobica: situazione impiantistica italiana ed europea*, <http://ambiente.aceapinerolese.it/ALLEGATI/RS6-2008.pdf> .

BIBLIOGRAFIA

- Vacante Vincenzo et al, *Citrus Trattato di agrumicoltura*, Il sole 24 ore ed. Edagricole (2009).
- Veeken, B. A. and Hamelers B. (1999). *Effect of temperature on hydrolysis rate of selected biowise components*. Bioresour Technol 69: 249–254.
- Veeken, B. A., Kalyuzhnyi, S., Scharff, H., and Hamelers, B. (2000). *Effect of pH and VFA on hydrolysis of organic solid waste*. J Environ Eng 126: 1076–1081.
- Weiland, P. *Results and Bottle Necks of Energy Crop Digestion Plants-Required Process Technology Innovations*, Workshop: Energy Crops and Biogas, Ed. Federal Agricultural Research Centre (FAL). Utrecht, The Netherlands (2005).
- Weiland, P. *Biogas production: Current state and perspectives*. Applied Microbiology and Biotechnology 85 (2010) 849–860.
- Wellinger, A. (2007) *Anaerobic Digestion: Making Energy and Solving Modern Waste Problems*. AD-NETT Report 2000, 195 pp. <http://www.adnett.org> (accessed July 2008).