

altri
titoli

AMBIENTE

Giuseppe Zicari

l'autore

ENERGIE RINNOVABILI DA BIOMASSE: rischi e opportunità

**Coltivazioni, allevamenti, compost, biogas e agro-carburanti:
analisi degli impatti ambientali,
delle ricadute sulla salute e della sostenibilità**

vai alla scheda
del libro



 **EPC**
EDITORE

Giuseppe Zicari

Energie rinnovabili da biomasse: rischi e opportunità

Coltivazioni, allevamenti, compost, biogas
e agro-carburanti: analisi degli impatti ambientali,
delle ricadute sulla salute e della sostenibilità

ENERGIE RINNOVABILI DA BIOMASSE: RISCHI E OPPORTUNITÀ

ISBN: 978-88-6310-720-3

Copyright © 2016 EPC S.r.l. Socio Unico

EPC S.r.l. Socio Unico - Via dell'Acqua Traversa, 187/189 - 00135 Roma

www.epc.it

Servizio clienti: 06 33245277 - Fax 06 3313212

Redazione: Tel. 06 33245264/205

Proprietà letteraria e tutti i diritti riservati alla EPC S.r.l. Socio Unico. La struttura e il contenuto del presente volume non possono essere riprodotti, neppure parzialmente, salvo espressa autorizzazione della Casa Editrice. Non ne è altresì consentita la memorizzazione su qualsiasi supporto (magnetico, magneto-ottico, ottico, fotocopie ecc.).

La Casa Editrice, pur garantendo la massima cura nella preparazione del volume, declina ogni responsabilità per possibili errori od omissioni, nonché per eventuali danni risultanti dall'uso dell'informazione ivi contenuta.



Il codice QR che si trova sul retro della copertina, consente attraverso uno smartphone di accedere direttamente alle informazioni e agli eventuali aggiornamenti di questo volume.

Le stesse informazioni sono disponibili alla pagina:

<https://www.epc.it/Prodotto/Editoria/Libri/Energie-rinnovabili-da-biomasse-rischi-e-opportunità/2319>

Ai miei genitori e ad Anastasia.

SOMMARIO

PREMESSA	15
LEGENDA	21
capitolo 1	
LA FERMENTAZIONE ANAEROBICA PER PRODURRE METANO	23
1.1. Introduzione: la fermentazione anaerobica e il biogas.....	23
1.2. Il biometano.....	27
1.3. Batteri e fermentazione anaerobica.....	30
1.4. Classificazione degli impianti per la produzione di biogas.....	31
1.5. Le matrici utilizzabili per la fermentazione anaerobica.....	33
1.6. La fermentazione anaerobica è classificata tra le energie rinnovabili.....	35
1.7. La stima della concentrazione di sostanza organica nelle matrici: solidi totali e volatili.....	37
1.8. Correlazione tra solidi volatili e biogas producibile.....	40
1.9. Correlazione tra i parametri COD, BOD e la produzione di metano.....	41
1.10. Gli impianti in base alla tipologia di alimentazione.....	44
1.11. Le fasi operative per la gestione degli impianti.....	46
1.12. I parametri per la gestione degli impianti che producono biogas.....	53
1.13. Esempi di impianti che producono biogas.....	55
1.14. Vantaggi derivanti dalla gestione delle deiezioni per la produzione di biogas.....	57
1.15. Biogas e occupazione.....	60
1.16. L'uso del digerito.....	60
1.17. La diffusione degli impianti che producono biogas.....	62

ENERGIE RINNOVABILI DA BIOMASSE: RISCHI E OPPORTUNITÀ

1.18. Adempimenti gestionali	67
1.19. Requisiti preliminari da verificare	69

capitolo 2

IL RISCHIO BIOLOGICO	77
2.1. Introduzione al rischio microbiologico	77
2.2. Fattori che influenzano la crescita dei microrganismi nel processo di fermentazione anaerobica	81
2.3. La fermentazione anaerobica dei sottoprodotti di origine animale	84
2.4. La concentrazione di microrganismi nel digerito	87
2.5. Metodi di misurazione della concentrazione batterica e loro limiti	90
2.6. La co-digestione aumenta la quantità di microrganismi distribuiti nell'ambiente	92
2.7. La sopravvivenza nel suolo di alcuni microrganismi potenzialmente patogeni	95
2.8. Compostaggio e organismi dannosi	102
2.9. I microrganismi possono contaminare i vegetali	103
2.10. Le malattie a trasmissione alimentare di natura microbica	105
2.11. La vendita di latte crudo	106
2.12. Le tossinfezioni associate al consumo di frutta e verdura cruda	107
2.13. Le buone pratiche per ridurre i rischi derivanti dallo spandimento agronomico	108
2.14. La diffusione di vegetali infestanti	109
2.15. Antibiotico-resistenza	111

capitolo 3

LA FERTILIZZAZIONE E IL RISCHIO CHIMICO	117
3.1. La disponibilità di deiezioni da diversi animali	117
3.2. Gli ossidi di azoto e l'ammoniaca	124
3.3. Deiezioni, spandimento e azoto	126
3.4. Caratteristiche fisico-chimiche del digerito	133
3.5. Azoto ed eutrofizzazione	137

3.6. Il fosforo e l'eutrofizzazione.....	139
3.7. Le zone vulnerabili dai nitrati.....	141
3.8. La sostanza organica nei digeriti e in altre matrici.....	147
3.9. Il rischio chimico.....	150
3.10. Compost, fanghi e metalli.....	157
3.11. Concimazione e metalli.....	162
3.12. Apporto di metalli al suolo da diverse fonti.....	168
3.13. I prodotti fitosanitari.....	172
3.14. Gli ormoni steroidei rilasciati nell'ambiente.....	174
3.15. Le contaminazioni ambientali.....	175
3.16. La misurazione della fitotossicità.....	177

capitolo 4

STOCCAGGIO E FERTILIZZAZIONE..... 181

4.1. Lo stoccaggio delle biomasse.....	181
4.2. Utilizzazione agronomica del digerito.....	183
4.3. La tutela delle acque.....	188
4.4. Allevamenti e suoli disponibili per lo spandimento.....	190
4.5. Esiste una disponibilità di fertilizzanti eccessiva.....	194
4.6. Soluzioni insostenibili.....	200
4.7. Soluzioni alternative per aumentare la sostenibilità.....	203

capitolo 5

BIOGAS E RIFIUTI..... 205

5.1. Le strategie di smaltimento dei rifiuti.....	205
5.2. Assimilabilità del digerito agli effluenti zootecnici.....	210
5.3. Degeriti e rifiuti.....	211
5.4. Fanghi, FORSU, rifiuti e biogas.....	215
5.5. La gestione dei rifiuti.....	219

ENERGIE RINNOVABILI DA BIOMASSE: RISCHI E OPPORTUNITÀ

capitolo 6

BIOGAS E COMPOSTAGGIO	225
6.1. La produzione di rifiuti	225
6.2. Introduzione al compostaggio	225
6.3. I diversi tipi di compost	229
6.4. Caratteristiche microbiologiche	233
6.5. Alcuni dati sul compostaggio	235
6.6. Le fasi del processo di compostaggio	237
6.7. La gestione degli impianti di compostaggio	243
6.8. L'autorizzazione degli impianti	250
6.9. I piccoli impianti che fermentano la frazione ligneo-cellulosica	251
6.10. Lista di controllo	252
6.11. I controlli analitici	254
6.12. L'utilizzo agronomico del compost	256
6.13. L'attività di compostaggio in Veneto	260
6.14. La regolamentazione del contenuto di metalli nel compost in Lombardia	267
6.15. Il marchio di qualità del consorzio italiano compostatori	268
6.16. Il marchio ecolabel per ammendanti e substrati di coltivazione	269
6.17. L'etichetta per il compost di qualità	273
6.18. Il compostaggio nel Regno Unito	274
6.19. Classi di rischio	275
6.20. I rischi correlati all'attività di compostaggio	283
6.21. I rischi per gli operatori	285
6.22. Compost e rischio chimico	286
6.23. Deiezioni e digeriti	288
6.24. I policlorobifenili	291
6.25. Gli idrocarburi policiclici aromatici	292
6.26. Compost e bioaccumulo	292

6.27. Il compost: fertilizzante o rifiuto?	298
6.28. Il compostaggio e la fermentazione anaerobica	301

capitolo 7

ODORI E POLVERI	303
7.1. Bioaerosol e polveri	303
7.2. Gli odori	306
7.3. Le proteste da parte della popolazione	309
7.4. La misurazione degli odori	310
7.5. L'intensità degli odori	314
7.6. Odori ed effetti sulla salute	316
7.7. La riduzione dell'emissione odorigena	321

capitolo 8

LA PREVENZIONE DI INCIDENTI, INFORTUNI E LA BIO-SICUREZZA	325
8.1. La prevenzione degli incidenti	325
8.2. La prevenzione degli infortuni	328
8.3. La prevenzione del rischio sanitario e la bio-sicurezza	329
8.4. Leptosirosi e tetano	335
8.5. La derattizzazione	336
8.6. Gli insetti	338
8.7. La gestione dei prodotti fitosanitari	339
8.8. La determinazione del livello di rischio accettabile	341

capitolo 9

I CONSUMI DI ENERGIA	345
9.1. Le unità di misura	345
9.2. L'energia	351
9.3. Energia primaria ed energia utile	353
9.4. Energia nucleare	355

ENERGIE RINNOVABILI DA BIOMASSE: RISCHI E OPPORTUNITÀ

9.5. Energia solare e biomasse	356
9.6. I pannelli a energia solare	358
9.7. Il consumo di energia generata in milioni di anni	360
9.8. Energia dalla combustione	364
9.9. Boschi e arboreti da ardere	372
9.10. Energia ottenibile dal mais	376

capitolo 10

BIOGAS DA CEREALI, DEIEZIONI E ALTRE BIOMASSE

10.1. Biomasse disponibili	379
10.2. Biogas ottenibile dai cereali e dalle deiezioni zootecniche.....	383
10.3. La composizione chimica e la produzione di biogas.....	386
10.4. Esempi di produttività degli impianti.....	393

capitolo 11

LA COLTIVAZIONE DEI CEREALI

11.1. La coltivazione di mais, sorgo e triticale	397
11.2. Attrezzature necessarie alla conduzione dell'azienda agricola.....	401
11.3. Manutenzioni, assicurazioni e interessi.....	406
11.4. L'impiego di manodopera	409
11.5. La concimazione del mais	412
11.6. Il consumo di carburanti per coltivare il mais secondo l'ENAMA	414
11.7. I consumi di gasolio, di additivo e di olio	418
11.8. Considerazioni sui consumi di carburanti	420
11.9. Rapporti tra energia investita ed energia ottenuta	422
11.10. Il bilancio energetico della coltivazione del mais	427

capitolo 12

IL BILANCIO ENERGETICO NELLA FILIERA BIOGAS

12.1. Energia investita ed energia ottenuta	433
---	-----

12.2. Il bilancio energetico della filiera biogas da cereali	435
12.3. L'efficienza energetica della produzione di biogas da cereali	442

capitolo 13

IL BILANCIO ECONOMICO DELLA FILIERA BIOGAS	447
13.1. Esempi di impianti per la produzione di biogas	447
13.2. Riflessioni sul bilancio economico della filiera zootecnica	452
13.3. Il bilancio economico ed energetico della filiera biogas da cereali	454
13.4. I costi di ripristino del sito	460
13.5. Il consumo di carburanti nella filiera biogas da cereali	461

capitolo 14

AGRO-CARBURANTI E TRASPORTI	473
14.1. L'incentivazione degli agro-carburanti	473
14.2. L'uso dei terreni per produrre agro-carburanti	478
14.3. I vettori energetici in Piemonte e la coltivazione per fornire energia ai trasporti	480
14.4. L'allevamento di suini	481
14.5. Digeriti, fertilizzazione e trasporti	482

capitolo 15

EMISSIONI E CONSUMI DI ACQUA	485
15.1. Agricoltura ed emissioni in atmosfera	485
15.2. Allevamenti ed emissioni in atmosfera	491
15.3. Le piogge acide	494
15.4. Il bilancio emissivo della produzione di biogas da cereali e da deiezioni zootecniche	495
15.5. La co-digestione aumenta l'inquinamento ambientale	508
15.6. L'impronta idrica per la costruzione delle macchine necessarie a coltivare il mais	509
15.7. L'impronta idrica della filiera biogas	510

ENERGIE RINNOVABILI DA BIOMASSE: RISCHI E OPPORTUNITÀ

capitolo 16

LA PROMOZIONE DELLA PRODUZIONE DI BIOGAS	517
16.1. Obiettivi energetici	517
16.2. Gli incentivi	518
16.3. I certificati verdi	524
16.4. I certificati bianchi	527
16.5. La richiesta di incentivi	535
16.6. Incentivi generosi	536
16.7. La riduzione degli incentivi	544
16.8. L'indice di risparmio energetico e il limite termico	552
16.9. Esempio di calcolo dell'indice di risparmio energetico e del limite termico	558
16.10. Riflessioni sull'indice di risparmio energetico e sul limite termico	561
16.11. L'uso del calore e la stima di tutti i fabbisogni energetici	562
16.12. Il consumo di suolo	565
16.13. Integrazione del reddito in agricoltura o speculazione industriale	566
16.14. La revoca delle agevolazioni	570
16.15. Criteri incentivanti diversi	572

capitolo 17

GLI ADEMPIMENTI BUROCRATICI	577
17.1. L'autorizzazione degli impianti	577
17.2. La gestione delle conferenze di servizio	580
17.3. La scansione temporale delle conferenze di servizio	582
17.4. La gestione della tempistica	583
17.5. Il silenzio-assenso	586
17.6. I soggetti interessati	587
17.7. Gli esposti e le segnalazioni alle autorità competenti	588
17.8. L'esame dei documenti	591

17.9. Adozione di provvedimenti negativi	591
17.10. Gli accordi tra enti	593
17.11. Le misure di compensazione	595
17.12. Percorsi burocratici semplificati	597
17.13. Norme volontarie e altre semplificazioni pericolose	600
17.14. La valutazione di impatto ambientale	603
17.15. Alcune considerazioni sulla gestione delle autorizzazioni	604
17.16. Il costo di alcuni adempimenti burocratici	610
17.17. Esempi di motivazioni negative	613
17.18. Agevolazioni pericolose	614
17.19. Il costo invisibile della politica	617
17.20. Biogas e insalubrità	619

capitolo 18

CONCLUSIONI	625
18.1. I vantaggi della fermentazione anaerobica	625
18.2. I fattori che riducono o annullano i vantaggi	626
18.3. Conclusione	630
 BIBLIOGRAFIA	 633
 INDICE ANALITICO	 669

PREMESSA

La Terra ha una superficie di circa 510 milioni di chilometri quadrati (510 miliardi di ettari) e dei 130 milioni di chilometri quadrati utilizzabili circa l'11% è occupato da coltivazioni, il 32% è occupato da pascoli e il 9% è urbanizzato. Il 21% non può essere occupato da coltivazioni, pascoli o foreste in quanto il suolo non è fertile a sufficienza o il clima è troppo freddo⁽¹⁾. Quindi sono coltivati almeno 1,4-1,6 miliardi di ettari di cui almeno il 20% (0,3 miliardi di ettari) sono terre poco adatte all'agricoltura⁽²⁾.

Si può stimare che vi siano 11,4-11,6 miliardi di ettari biologicamente produttivi disponibili sul Pianeta distribuiti fra terre emerse e mari; dividendo questo numero per il numero di persone viventi, circa 7 miliardi, si ha una media di 1,6-1,7 ettari di superficie bio-produttiva per persona⁽³⁾. Quindi la bio-capacità (impronta ecologica) che la Terra è in grado di sopportare è inferiore a 1,8 ha per abitante⁽⁴⁾. In realtà la distribuzione dell'impronta ecologica nel Pianeta non è omogenea, in quanto alcuni Paesi consumano molte più risorse *pro capite*: si possono superare gli 8 ha a persona nelle aree del Mondo economicamente più ricche. In Italia l'impronta ecologica è stimata essere pari a 4,5 ha *pro capite* all'anno e in Europa 4,7 ha *pro capite* all'anno⁽⁵⁾. Ma la bio-capacità disponibile in Italia è inferiore a 1 ha *pro capite*, quindi generiamo consumo di suolo in altri Stati⁽⁶⁾.

I cambiamenti più rilevanti sono stati generati con l'inizio dell'era industriale, che convenzionalmente viene stabilito nel 1750, in cui si è affermata la tecnologia. A quell'epoca nel Pianeta probabilmente erano destinati all'agricoltura e all'allevamento meno di 9 milioni di km², un'estensione inferiore all'attuale superficie agricola italiana. Nel 2011 il 38% delle terre emerse libere da ghiacci è stato destinato alla

1. Pimentel D. and Pimentel M., 2003b.

2. Ciccarese D., 2012.

3. Worldwatch Institute, 2013.

4. Armaroli N. e Balzani V., 2011.

5. Armaroli N. e Balzani V., 2011; WWF, 2012.

6. Segrè A. e Vittuari M., 2013.

ENERGIE RINNOVABILI DA BIOMASSE: RISCHI E OPPORTUNITÀ

coltivazione e agli allevamenti, pari a circa 5 miliardi di ettari (50 milioni di km²). Per avere un riferimento l'Europa, che occupa il 2% delle terre emerse, si estende complessivamente per circa 10,4 milioni di km².

Durante i 7.800 anni prima dell'era industriale le emissioni (in equivalenti di anidride carbonica) da parte degli ecosistemi terrestri in atmosfera sono state stimate in 320 Gt (Giga tonnellate o miliardi di tonnellate), corrispondenti a circa 0,04 Gt di carbonio all'anno. Con l'avvento dell'era industriale sono stati emessi dagli ecosistemi terrestri 160 Gt, pari a 0,8 Gt di carbonio all'anno (stimate nell'arco di 200 anni). Quindi le trasformazioni del suolo hanno aumentato le emissioni da parte degli ecosistemi terrestri da 0,04 Gt/anno a 0,8 Gt/anno, cioè 20 volte di più⁽⁷⁾.

Tra il 1850 e il 1998 le emissioni prodotte solo dai combustibili fossili sono state (270 ± 30 Gt), circa il doppio di quelle derivanti dagli ecosistemi terrestri (136 ± 55 Gt). Le 136 Gt di emissioni in equivalenti di anidride carbonica dagli ecosistemi terrestri includono 78 ± 12 Gt emesse dai suoli. Secondo questa stima, dall'era industriale, le emissioni generate dal degrado dei suoli e dai combustibili fossili sono state superiori a quelle prodotte dagli ecosistemi terrestri nei 7.800 anni precedenti⁽⁸⁾.

È ormai scientificamente provato che petrolio, gas e carbone si sono venuti a creare in specifiche condizioni geologiche e che queste non si ripetono con tanta facilità, soprattutto non in tempi compatibili con gli attuali ritmi di prelievo. Per tutte le risorse non rinnovabili è evidente come si raggiunga un picco, dopo di che la produzione inizia inesorabilmente a diminuire. Pertanto bisogna prepararsi al cambiamento in modo da evitare che sia repentino e quindi catastrofico⁽⁹⁾. Comunque, se si proveranno a bruciare tutti i combustibili fossili disponibili, il Pianeta diventerà sicuramente molto più inospitale e invivibile prima del loro esaurimento.

Il settore energetico ha un ruolo determinante nello sviluppo economico sostenibile di un Paese, sia per quanto riguarda la disponibilità delle fonti, sia per l'impatto sull'ambiente. L'Italia si caratterizza per la forte dipendenza dai mercati energetici esteri e per la consistente quota di energia elettrica prodotta da fonte termoelettrica (cioè dai combustibili fossili). In Italia si importa il 94% del petrolio e il 90% del gas consumato⁽¹⁰⁾. La strategia europea delineata nel Pacchetto clima-energia "20-20-20" prefigura uno scenario energetico europeo di riduzione delle emissioni di anidride carbonica, l'aumento del ricorso alle energie rinnovabili e la maggior efficienza energetica. Nell'ambito della strategia europea per la promozione di una crescita economica sostenibile lo sviluppo delle fonti rinnovabili rappresenta un obiettivo prioritario per tutti gli Stati. Secondo quanto stabilito dalla normativa (Direttiva 2009/28/CE), nel 2020, l'Italia dovrà coprire il 17% dei consumi finali di energia mediante fonti rinnovabili, circa 6 punti percentuali in più rispetto alla quota rilevata nel 2011

7. Lal R., 2004.

8. Lal R., 2004.

9. Zicari G., 2015.

10. Armaroli N. e Balzani V., 2011.

(11,5%). Ai fini del calcolo del raggiungimento dell'obiettivo nazionale di consumo di energia da fonti rinnovabili, la direttiva distingue tre settori: elettricità, trasporti, riscaldamento e raffreddamento. L'obiettivo è anche quello di ridurre, entro il 2020, del 20% il livello tendenziale di consumo totale di energia primaria. La Produzione Primaria è la quantità di materia organica, base della vita sul nostro Pianeta, prodotta dagli organismi fotosintetici come le piante, le alghe e alcuni microrganismi (nel 2008 la produzione primaria di energia era pari a circa 492 EJ)⁽¹¹⁾. La quantità di carbonio fissato nella fotosintesi, diminuita della quantità di carbonio riemessa nella respirazione, costituisce la Produzione Primaria Netta. L'intensità di appropriazione di questa quantità da parte dell'uomo costituisce una misura della pressione dell'uomo sul resto della natura. Purtroppo gli attuali livelli di appropriazione da parte dell'uomo non è compatibile con la salvaguardia degli equilibri necessari alla sopravvivenza anche della nostra specie.

È stato anche programmato un aumento dell'efficienza dell'uso dell'energia pari al 20%: bisogna cercare di fare più cose con la stessa quantità di energia. L'obiettivo di risparmio dei consumi energetici dell'Europa del 20% rispetto alle proiezioni per il 2020, così come stimato dalla Commissione nel Libro Verde sull'efficienza energetica "*Fare di più con meno*" del giugno 2005, risulta ancora oggi molto ambizioso.

A livello planetario è stimato che le energie rinnovabili, nel 2008, hanno fornito il 12,9% di tutta l'energia primaria (12,9% di 492 EJ)⁽¹²⁾. La frazione di energie rinnovabili più importante è rappresentata dalla combustione delle biomasse (10,2%) utilizzate prevalentemente per cucinare e riscaldare, soprattutto nei Paesi in via di sviluppo. Al secondo posto per importanza vi è l'energia idroelettrica che ha rappresentato circa il 2,3% delle energie rinnovabili. Sempre nel 2008 le energie rinnovabili hanno fornito circa il 19% di tutta l'energia elettrica mondiale (per il 16% era prodotta da centrali idroelettriche).

Viviamo in un sistema finito in cui tutte le risorse sono limitate, come il suolo e le energie non rinnovabili. Ma anche le energie rinnovabili, come quelle da biomasse (es.: legna da ardere) o l'energia solare devono essere adeguate a un sistema che ha dei limiti enormi. Le biomasse sottraggono suolo e risorse alla produzione alimentare, e i pannelli solari richiedono materiali che sono disponibili in quantità finite e occupano anche il suolo agricolo. Pertanto si prospettano scelte importanti che potranno essere effettuate ragionevolmente solo se verranno considerati anche aspetti oggi sottovalutati, come quelli etici e ambientali. I consumi di suolo, di acqua, di energie e di risorse non rinnovabili devono essere valutati attentamente e preventivamente, prima di decidere dove investire finanziamenti pubblici che sono destinati a diventare più rari e preziosi. Se si attuano le dovute analisi (es.: sulla filiera) in alcuni casi è possibile scoprire che le energie rinnovabili nella realtà non sono poi così rinnovabili, in quanto come per alcune produzioni alimentari l'energia investita può risultare supe-

11. SRREN, 2012.

12. SRREN, 2012.

ENERGIE RINNOVABILI DA BIOMASSE: RISCHI E OPPORTUNITÀ

riore a quella ottenuta. Ogni metodologia di produzione di energia implica la generazione di impatti ambientali diversi, che nel caso delle energie rinnovabili si sperano siano minori. Anche i vantaggi ambientali che sono attesi dalle energie rinnovabili, come la riduzione delle emissioni in atmosfera (es.: gas clima-alteranti), in alcuni casi sono annullati da scelte sconsiderate. Si rischia di sprecare risorse perché alcune tipologie di scelte non sono effettuate con la dovuta scientificità e indipendenza da interessi economici, spesso anzi in evidente conflitto di interessi.

La specie umana non ha mai registrato un cambiamento così rapido. Però, un grande ostacolo al cambiamento è costituito dai vincoli strutturali, derivanti dalla biochimica e dalla fisiologia, che sono gli stessi di 200.000 anni fa: l'adattamento genetico, culturale e sociale sono molto più lenti rispetto ai ritmi dell'innovazione tecnologica. Il cervello è lo stesso dei nostri antenati primitivi, quindi è impreparato ai cambiamenti indotti da esso stesso. Migliorare la cultura sulle tematiche ambientali può contribuire a dare un valore a ciò che oggi è insufficientemente considerato: la salute dell'ecosistema Terra. Molti cambiamenti che possono generare anche un miglioramento del sistema energetico possono costare meno di quanto si creda, basta conoscerli. Uno degli obiettivi che si spera di poter contribuire a raggiungere con la divulgazione dei contenuti di questo libro è quello di migliorare la conoscenza, e favorire scelte più democratiche e più lungimiranti.

Il presente libro costituisce una sintesi dell'attività professionale svolta per oltre cinque anni nel settore delle energie rinnovabili e presenta un'analisi critica sulla sostenibilità di alcune tipologie di energie classificate come "rinnovabili". Il testo alterna la trattazione di argomenti molto tecnici a commenti e analisi più generali, su temi come quelli dell'energia, della produzione di agro-carburanti, della gestione dei rifiuti, dell'inquinamento e della tutela ambientale. Vengono esaminati dettagliatamente i seguenti temi:

- La produzione di energie rinnovabili: legna da ardere (pellet), solare, eolico, agro-metano (biogas).
- La produzione alimentare e le agro-energie.
- L'analisi del bilancio di materia, energetico, economico, emissivo e dell'impronta idrica della filiera biogas da cereali e da deiezioni zootecniche.
- Il recupero di materia e quello energetico dai rifiuti: biogas, compostaggio⁽¹³⁾ e incenerimento.
- Gli agro-carburanti: bio-metano, bio-etanolo e bio-diesel.
- L'analisi comparata dei vantaggi e degli svantaggi generati dalla produzione di diverse forme di energia classificata come rinnovabile.

13. Nel testo è riportata e commentata la "Linea guida sui rischi sanitari derivanti dall'attività di compostaggio" approvata dalla Regione Piemonte (Direzione Sanità), frutto del progetto Sperimentazione di Modelli di Impatto Salute-Ambiente.

- La bio-sicurezza, e la prevenzione di incidenti e infortuni.
- La gestione delle autorizzazioni degli impianti che producono energie rinnovabili.
- L'analisi delle diverse forme di incentivazioni delle energie rinnovabili.
- La normativa di riferimento sulle energie rinnovabili.

Alcuni capitoli includono analisi in parte già presentate in lavori pubblicati dal sottoscritto (es.: articoli su riviste scientifiche), scaricabili dal sito: <https://sites.google.com/site/zicari73/home>.

Compatibilmente con i temi trattati e col livello di approfondimento desiderato, si è cercato di utilizzare una modalità di presentazione che risulti facilmente comprensibile. Per cercare di aumentare l'interesse e rendere più concreto l'approfondimento vengono presentati contesti e situazioni reali, esaminati durante l'attività professionale svolta in Italia e, in particolare, in Piemonte.

Il testo proposto si sofferma poi anche su altri temi, quali:

- I bilanci energetici (rapporto tra energia investita ed energia ottenuta), emissivi (gas-clima alteranti e altri inquinanti), idrici (impronta idrica) della coltivazione di diversi tipi di colture utilizzate per produrre agro-carburanti in Italia.
- I rischi biologici (bio-sicurezza) e chimici derivanti dal recupero di materia (es.: fertilizzazione e riciclo) e di energia dalle biomasse (es.: biogas): coltivazioni (es.: cereali), allevamenti e rifiuti (compostaggio).
- I rischi per i lavoratori (prevenzione infortuni) e per la popolazione residente (rumore, polveri e odori) in prossimità dei centri per il recupero di materia e di energia (centri di trattamento rifiuti e di produzione del biogas).
- Le normative regionali che hanno promosso e regolamentato la produzione di energie rinnovabili.
- I bilanci economici di diverse tipologie di filiere per la produzione di agro-carburanti.
- La stima dei consumi di risorse non rinnovabili per la produzione delle energie rinnovabili.

Nel presente libro sono discussi diversi temi ambientali e presentati innumerevoli dati, supportati oltre che dall'esperienza lavorativa anche da più di 600 riferimenti bibliografici (spesso sintetizzati in Tabelle). Le eventuali imprecisioni nel riportare i molteplici dati estrapolati dalla letteratura tecnico-scientifica e dalle esperienze professionali potranno essere segnalate all'Autore, che, grato, provvederà all'aggiornamento nelle stampe successive. Intanto l'Autore chiede anticipatamente scusa per eventuali omissioni o errori, avvertendo che in alcune parti vengono presentati dati o stime non perfettamente concordanti tra di loro, in quanto frutto di metodi di ricerca e indagine differenti che, per correttezza scientifica, sono comunque riportati in modo da poter facilitare confronti e riflessioni più oggettivi.

ENERGIE RINNOVABILI DA BIOMASSE: RISCHI E OPPORTUNITÀ

Si ringraziano le numerose persone e le Istituzioni con cui l'Autore ha lavorato durante lo svolgimento della libera professione di biologo, come il Servizio Sanitario del Piemonte e, in particolare, il Dipartimento di Prevenzione dell'ASL di Asti, e la Facoltà di Biologia dell'Università del Piemonte Orientale, che hanno contribuito a fornire stimoli utilissimi a motivare nuove curiosità.

Infine si sofferma l'attenzione sul fatto che l'Autore, nel presente libro, sintetizza alcune conclusioni frutto di anni di studio e di lavoro sostenuti dalla curiosità di provare a rispondere alla seguente domanda: le energie da biomasse sono veramente rinnovabili e sostenibili?

capitolo 1

LA FERMENTAZIONE ANAEROBICA PER PRODURRE METANO

1.1. Introduzione: la fermentazione anaerobica e il biogas

Si consumano grandi quantità di energia elettrica, in gran parte prodotta con i combustibili fossili. ⁽¹⁾ Il consumo di energia elettrica nei Paesi europei (Ue27) è stato, nel 2011, pari a 5.501 kWh per abitante. In Italia in media sono stati consumati 4.970 kWh per abitante.

Una delle tecnologie utilizzabili per produrre energia elettrica e termica da fonti rinnovabili è rappresentata dalla produzione del combustibile gassoso metano, attraverso la fermentazione anaerobica da biomasse quali: le deiezioni zootecniche, i sottoprodotti dell'industria alimentare (es.: di scarti della trasformazione di ortaggi, come i pomodori), la frazione solida dei rifiuti urbani e i fanghi derivati dalla depurazione delle acque reflue urbane (le acque della rete fognaria).

Si riporta la definizione di impianto che produce biogas formulata nella normativa (D.M. del 6/7/2012): *"L'impianto biogas è l'insieme del sistema di stoccaggio/vasche idrolisi delle biomasse, delle apparecchiature di trasferimento ai digestori del substrato, dei digestori e gasometri, delle tubazioni di convogliamento del gas, dei sistemi di pompaggio, condizionamento e trattamento del gas, di tutti i gruppi di generazione (gruppi motore-alternatore) e del sistema di trattamento dei fumi"*.

Da oltre 20 anni, in Italia, gli impianti di depurazione delle acque reflue e le discariche utilizzano il metano prodotto dalla fermentazione anaerobica per scopi energetici. Per produrre metano si possono utilizzare efficacemente anche rifiuti che oggi sono utilizzati come fertilizzanti, dopo essere stati processati in impianti di compostaggio dove avviene la fermentazione aerobica, cioè in presenza di ossigeno.

Nel 2005 la fermentazione anaerobica ha prodotto una quantità di biogas pari a 5 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio, per il 64% derivante dalle discariche e dai

1. Zicari G., 2015.

ENERGIE RINNOVABILI DA BIOMASSE: RISCHI E OPPORTUNITÀ

fanghi residuati dalla depurazione delle acque reflue ⁽²⁾.

La fermentazione anaerobica produce il biogas che contiene metano in concentrazione variabile, insieme all'anidride carbonica e ad altri gas. La combustione del metano, che costituisce la frazione più abbondante nel biogas, permette di produrre energia elettrica e termica. La combustione avviene a temperature superiori a 850°C. Il biogas ha una densità di 1,2 kg/m³, un contenuto energetico di circa 6-6,5 kWh/m³e, quindi, 1 m³ corrisponde a 0,6 L di petrolio (ha, quindi, un potere calorifico notevole).

La fermentazione avviene a opera dei microrganismi che sono contenuti nel tubo digerente degli animali come i bovini e i suini, e che producono il metano in condizioni anaerobiche, cioè in assenza di ossigeno (l'ossigeno costituisce normalmente almeno il 20% dell'aria che respiriamo, l'azoto il 78% e l'anidride carbonica lo 0,04%). Per questo motivo la fermentazione è anche chiamata digestione anaerobica (concentrazioni di ossigeno di 0,1 mg/L possono già generare un effetto inibente ⁽³⁾).

È possibile considerare il fermentatore un contenitore di un substrato liquido in cui sono allevati microrganismi che, come tutti gli esseri viventi, per vivere e riprodursi, necessitano di condizioni ottimali specifiche. Il vantaggio ottenuto da questo tipo di "allevamento" è che, se si rispettano alcune condizioni, i microrganismi producono metano e riducono la quantità di sostanza organica, quindi si riduce il carico potenzialmente inquinante delle matrici che fermentano.

La digestione anaerobica, semplificando molto, viene attuata in grandi contenitori chiusi dove il materiale è solitamente mantenuto in condizioni costanti di temperatura, mescolamento e concentrazione dei solidi nella miscela liquida e in assenza di aria.

La digestione anaerobica è un processo di fermentazione operato dai microrganismi presenti nelle deiezioni zootecniche attraverso un ciclo di durata solitamente inferiore a un mese. Il biogas prodotto dalla fermentazione anaerobica è composto da:

- 50-65% di metano (la percentuale crescerà se aumenteranno alcune sostanze organiche come i lipidi);
- 35-45% di anidride carbonica;
- 1-10% di vapore acqueo (aumenta all'aumentare della temperatura);
- 0-5% di azoto;
- 0-2% di ossigeno;
- 0-1% di idrogeno;
- 0-1% di idrogeno solforato (es.: 0,19% di acido solfidrico, equivalente a circa 1.930 mg/L nel biogas da deiezioni bovine ⁽⁴⁾); la quantità di idrogeno solforato

2. Vismara R. et al., 2011.

3. Deublein D. and Steinhauser A., 2008.

4. Kurt R., 2007.

LA FERMENTAZIONE ANAEROBICA PER PRODURRE METANO

nel biogas potrà variare tra 100 e 3.000 ppm/m³ (fino ad anche 30.000 ppm/m³ se deriva da prodotti agricoli ⁽⁵⁾); il motore nel quale avverrà la combustione ne dovrebbe ricevere meno di 250 ppm/m³ per ridurre gli effetti corrosivi, per cui l'idrogeno solforato deve essere ridotto prima dell'entrata nel motore stesso ⁽⁶⁾; nelle emissioni in atmosfera il contenuto di composti solforati, espressi come acido solfidrico (H₂S), dovrà essere inferiore al limite prescritto dalla norma (D.Lgs. 152/06);

- 0,1% ossido di carbonio ⁽⁷⁾;
- altri gas in bassissime concentrazioni come i mercaptani (fino a 30 ppm/m³ nel biogas originato da prodotti agricoli), l'ammoniaca (fino a 2,5 ppm/m³ nel biogas originato da prodotti agricoli, o lo 0,0015%, equivalente a circa 15 mg/L nel biogas da deiezioni bovine ⁽⁸⁾), siloxani (derivano dai rifiuti come i detergenti e i prodotti cosmetici; possono essere ritrovati fino a 5 ppm/m³ nel biogas originato da fanghi di depurazione e liquami di discarica), benzene, toluene e xylene (fino a 5 ppm/m³ nel biogas originato da liquami di depurazione e discarica ⁽⁹⁾). Nel biogas vi saranno anche polveri (di dimensione anche maggiore a 5µm).

La composizione del biogas è simile a quella del gas naturale. Il gas naturale è composto principalmente da metano e in minore quantità da altri gas come etano, propano, azoto, elio, anidride carbonica, solfuro di idrogeno (H₂S), mercurio e vapore acqueo ⁽¹⁰⁾. La normativa fornisce la seguente definizione (D.M. del 19 febbraio 2007): *"Per gas naturale si intende una miscela di idrocarburi, composta principalmente da metano e in misura minore da etano, propano e idrocarburi superiori. Può contenere anche alcuni gas inerti, tra cui l'azoto e l'anidride carbonica"*. Per fare un confronto, il gas naturale del Mare del Nord contiene metano (87%), anidride carbonica (1,2%), azoto (0,3%), idrogeno solforato (1,5 ppm), mentre nel biogas da discarica le percentuali possono essere: metano (45%), anidride carbonica (40%), azoto (15%), ammoniaca (5%), ossigeno (1%), idrogeno solforato (<100 ppm), cloro totale (20-200 mg/m³).

Il biogas da fermentazione anaerobica di residui agricoli e liquami da allevamento è solitamente privo di alcune componenti che invece sono caratteristiche della digestione anaerobica di altri substrati, come i rifiuti, i fanghi civili e/o industriali (il biogas può contenere idrocarburi alogenati e non, e silossani).

Il biogas per essere immesso nella rete di distribuzione del metano (viene spesso definito bio-metano) deve avere una composizione che è regolamentata. Per

5. Deublein D. and Steinhauser A., 2008.

6. Weiland P., 2010.

7. ENAMA, 2011; AlthesysB, 2012.

8. Kurt R., 2007.

9. Deublein D. and Steinhauser A., 2008.

10. Lloyd A. C. and Cackette T. A., 2001.

ENERGIE RINNOVABILI DA BIOMASSE: RISCHI E OPPORTUNITÀ

esempio, la concentrazione di anidride carbonica deve essere ridotta (solitamente a concentrazioni inferiori al 3%) insieme a quella dell'idrogeno solforato (deve essere inferiore a 4,6 ppm); questi sono alcuni requisiti richiesti per il gas naturale dalla rete gestita dallo Snam. Dal biogas, con appositi procedimenti, possono essere eliminati i gas diversi dal metano in modo da arrivare a concentrazioni di metano superiori al 90%. Quindi, il biogas ottenuto da fermentazione di deiezioni zootecniche o da discarica deve essere depurato prima di poter diventare bio-metano, utilizzabile per i trasporti o il riscaldamento domestico.

Si può ipotizzare di dover utilizzare 67 g di bio-metano per far percorrere 1 km a un'auto, mentre servirebbero altrimenti 61 g di gasolio o 60 g di benzina ⁽¹¹⁾.

In conclusione, tramite la fermentazione anaerobica, l'energia chimica presente nelle biomasse viene resa disponibile sotto forma di gas combustibile a base di metano.

La fermentazione anaerobica di deiezioni zootecniche genera diversi vantaggi, quali:

- Risparmio di combustibili fossili che sono rimpiazzati dal metano.
- Produzione di un digerito che può essere utilizzato in sostituzione dei fertilizzanti chimici, similmente alle deiezioni zootecniche. In Piemonte, nel 2007, sono stati distribuiti 3.502.290 q di fertilizzanti di sintesi, di cui almeno 1.286.285 q erano fertilizzanti semplici a base di azoto, 353.785 q erano fertilizzanti semplici a base di potassio e 29.389 q erano fertilizzanti semplici fosfatici. 1.145.862 q erano fertilizzanti terziari (a base di azoto, fosforo e potassio) e 681.992 q composti binari (contenenti azoto) ⁽¹²⁾. Almeno la frazione azotata dei concimi chimici potrebbe essere sostituita dai digeriti ottenuti dalla fermentazione anaerobica.
- La fermentazione intestinale degli animali d'allevamento (soprattutto bovini) libera almeno 86 milioni di tonnellate all'anno di metano ⁽¹³⁾. Il metano liberato dai ruminanti è un indicatore di perdita di produttività, poiché rappresenta una diminuzione della quantità di carbonio utilizzato dagli animali. Secondo i climatologi una vacca espelle 600 litri di metano al giorno ⁽¹⁴⁾. Si stima che la fermentazione anaerobica di deiezioni bovine, finalizzata alla produzione di biogas ed energia, consenta una riduzione dell'emissione di metano nell'atmosfera, pari a circa 1-3 tonnellate/anno (in equivalenti di anidride carbonica) per ogni mucca da latte ⁽¹⁵⁾. Si stima che le emissioni di gas clima-alteranti, prodotte in Europa, dalla sola filiera agro-alimentare, ammontino mediamente a oltre due tonnellate, in equivalenti di anidride

11. Vismara R. et al., 2011.

12. AA.VV., rapporto stato ambiente 2011.

13. FAO, 2006.

14. Friedman T. L., 2009.

15. Kurt R., 2007.

carbonica, *pro capite* all'anno ⁽¹⁶⁾.

Purtroppo la maggior parte degli impianti esistenti in Italia attua la co-digestione; significa che insieme alle deiezioni zootecniche vengono mescolati vegetali coltivati appositamente, quali il mais, il sorgo e il triticale. Quindi, la produzione cerealicola come il mais destinata principalmente all'alimentazione animale e secondariamente all'alimentazione umana, viene data in pasto ai microrganismi che provengono dal tubo digerente di bovini o suini e che, vivendo in condizioni di anossia, riescono a produrre metano. L'utilizzo della co-digestione di deiezioni zootecniche e colture dedicate (es.: mais) riduce o, in alcuni contesti, annulla i vantaggi ambientali ed energetici attesi dagli impianti che producono biogas. Si ricorda che la maggior parte delle calorie ingerite dalla specie umana deriva dai cereali, la cui produzione mondiale ammonta a circa 1.700 milioni di tonnellate ogni anno.

1.2. Il biometano

Il biogas, se viene depurato e cioè privato di altri gas (come l'anidride carbonica che può costituirne fino al 50%) e dell'umidità, può generare il bio-metano, che può essere utilizzato come carburante dalle autovetture ⁽¹⁷⁾. La produzione di bio-metano è un processo che costa e richiede energia: anidride carbonica e altri gas come l'acido solfidrico possono essere rimossi con procedimenti chimici che richiedono macchine, reagenti, controllo delle temperature e della pressione, che può essere portata fino a 20-30 bar; infine si producono rifiuti.

Il bio-metano ottenuto per poter essere stoccato deve essere compresso (anche oltre 250 bar e per ottenere questa compressione necessitano almeno 0,4 kWh/m³) e, se viene immesso nella rete di distribuzione del gas naturale, deve essere odorizzato ⁽¹⁸⁾. Questa procedura è costosa, per cui viene attuata in grandi impianti. La quantità di energia necessaria solo per ridurre la concentrazione di alcuni gas come l'acido solfidrico, l'acqua e l'anidride carbonica può essere superiore al 30% di quella contenuta nel biogas "pulito" ottenuto alla fine del processo ⁽¹⁹⁾. Quindi, questa strada attualmente non è competitiva con la produzione di elettricità nel punto di produzione del biogas, e la sua immissione immediata nella rete elettrica. In complesso l'auto-consumo di energia per la produzione di bio-metano aumenta, rispetto a un impianto che attua la co-generazione (cioè che produce elettricità e calore), e non si produce calore. Però si ha il vantaggio di poter evitare la costruzione del motore che attua la co-generazione (cioè produce elettricità e calore dalla combustione del metano) o si può installarne uno più piccolo.

16. Segrè A. e Vittuari M., 2013.

17. Starr K. et al., 2012.

18. Vismara R. et al., 2011.

19. Deublein D. and Steinhauser A., 2008.

ENERGIE RINNOVABILI DA BIOMASSE: RISCHI E OPPORTUNITÀ

Esistono diverse indicazioni internazionali sulla composizione minima che dovrebbe essere assicurata nel gas per poter essere definito bio-metano e poter essere immesso nella rete che distribuisce il metano in tutte le case. La composizione di riferimento per il bio-metano potrebbe essere la seguente (il potere calorifico inferiore è di circa 8.500 kcal/m³)⁽²⁰⁾:

- metano: 95-98% (in Germania il contenuto minimo di metano deve essere superiore al 95%;⁽²¹⁾);
- azoto: 0,5-3%;
- anidride carbonica: 0,5-0,8%;
- idrogeno: 0,1%;
- ammoniaca, ossido di carbonio, acqua, idrogeno solforato: tracce.

Attualmente non esiste un riferimento normativo unico sulle caratteristiche che dovrebbe avere il bio-metano per autotrazione, in termini di concentrazione dei diversi componenti, come: metano, anidride carbonica, acqua, ossigeno, idrogeno, composti dello zolfo. In futuro potrebbe essere definito anche il contenuto energetico minimo, da garantire per unità di peso.

La norma ISO 15403-1 del 2006 (*Natural gas for use as a compressed fuel for vehicles - Part 1: designation of the quality*) propone alcune concentrazioni di riferimento per il bio-metano che deve essere utilizzato per autotrazione: metano, CH₄ > 96%; ossigeno, O₂ < 3%; anidride carbonica, CO₂ < 3%; acido solfidrico, H₂S ≤ 5 mg/m³; acqua, H₂O ≤ 0,03 mg/m³.

In Svezia il bio-metano per autotrazione deve avere la seguente composizione: CH₄ > 97%; azoto totale (escluso N₂) < 20 mg/m³; H₂S < 23 mg/m³; H₂O ≤ 32 mg/m³; (CO₂ + O₂ + N₂) < 4%; O₂ < 1%.

Come già detto, il biogas da fermentazione anaerobica di residui agricoli e liquami da allevamento è di norma privo di composti prodotti dalla digestione anaerobica di altri substrati, come i rifiuti, i fanghi civili e/o industriali. In attesa della definizione europea e italiana delle regole tecniche specifiche, il legislatore ha contemplato l'opportunità di prevedere limitazioni all'immissione del bio-metano nelle reti e la possibilità, per i gestori delle reti, di imporre condizioni per il monitoraggio dell'immissione dello stesso, al fine di escludere la possibilità di presenza di componenti dannosi come il monossido di carbonio e i silossani (classe di composti chimici nella cui struttura si ripete il gruppo funzionale R₂SiO, dove R è un idrogeno o un gruppo alchilico o arilico; il nome "silossano" deriva dalla combinazione di silicio, ossigeno e alcano). La normativa (D.M. del 5/12/2013) al fine di tutelare la salute e l'ottimale funzionamento degli autoveicoli a metano, a causa della presenza nel bio-metano di componenti dannosi quali il monossido di carbonio e i silossani, ha disposto che

20. ENAMA, 2011.

21. Weiland P, 2010.

LA FERMENTAZIONE ANAEROBICA PER PRODURRE METANO

le immissioni di bio-metano nelle reti del gas naturale siano consentite al solo bio-metano ottenuto da biogas derivante da digestione anaerobica di prodotti biologici (piante come il sorgo) e sottoprodotti (come le deiezioni animali, la paglia di frumento e gli stocchi di mais, come definiti dal D.M. del 6/7/2012). La depurazione del biogas finalizzata a ottenere bio-metano è un altro costo da aggiungere al processo di produzione; un impianto di depurazione può costare più di un motore che fa cogenerazione: oltre un milione di euro. Inoltre il bio-metano deve essere compresso e additivato di composti odorigeni (es.: tetraidrotiofene). La Germania è uno dei Paesi europei che ha investito di più in impianti di depurazione del biogas (erano presenti almeno 84 impianti nel 2012, su 230 censiti in Europa) e in Svezia il bio-metano è largamente utilizzato per le autovetture (nel 2012 erano presenti almeno 47 impianti di depurazione del biogas). La normativa (D.M. del 19/2/2007) riporta alcune indicazioni sulla composizione che dovrebbe avere il gas naturale per poter essere immesso in rete. Si riportano alcune indicazioni nella Tab. 1.1.

Il bio-metano può essere stoccato e trasportato nella rete già esistente per il metano (in Italia la capacità di accumulo del metano nel 2012 superava i 14 miliardi di metri cubi e si disponeva di oltre 30.000 km di rete di distribuzione).

Si può ricordare anche che l'Italia è uno dei Paesi europei che ha il maggior numero di auto a metano: nel 2009, in Italia circolavano circa 580.000 veicoli alimentati dal metano (il maggior numero in Europa in quell'anno)⁽²²⁾; erano almeno 800.000 nel 2012. Vi sono anche almeno 3.000 veicoli pesanti e 900 stazioni di rifornimento che hanno erogato quasi 900 milioni di metri cubi di metano.

In Italia il metano estratto da giacimenti nazionali, circa 8 Gm³ nel 2009 (è estratto, per esempio, dal Mare Adriatico), non copriva neanche il 15% del fabbisogno nazionale. Dal 1994 al 2009 la disponibilità di metano da giacimenti nazionali (presenti nella terraferma e in mare) è diminuita di oltre il 50%.

Tab. 1.1 – Parametri indicatori di qualità del gas naturale (D.M. del 19/02/2007)

Componente	Valore di accettabilità
Ossigeno (% mol)	≤ 0,6
Anidride carbonica (% mol)	≤ 3
Solfuro di idrogeno (mg/m ³)	≤ 6,6
Zolfo da mercaptani (mg/m ³)	≤ 15,5
Zolfo totale (mg/m ³)	≤ 150
Potere calorifico inferiore (MJ/m ³)	34,95-45,28
Densità relativa	0,5548-0,8

22. Vismara R. et al., 2011.

INDICE ANALITICO

1, 2, 3, 6, 7, 8 — Esaclorodibenzodiossina	295	Acero	
1, 2, 3, 7, 8, 9 — Esaclorodibenzodiossina	295	PCI	374
1, 2, 3, 7, 8 — Pentaclorodibenzodiossina ..	295	Acetaldeide	494
1,2— Dibromoetano nei rifiuti	299	OCR e TLV	317
1, 4 — Diossano nei rifiuti	299	odore	308, 311
2, 2'— Dicloro N— metildietilamina		Acetobacteri	31
nei rifiuti	299	Acetone, odore	311
2, 3, 7, 8— Tetraclorodibenzofurano	295	Acidi	201
2, 3, 7, 8— Tetraclorodibenzo-p-diossina ...	295	Acidificazione	137
2, 4, 6— Triclorofenolo nei rifiuti	299	coltivazione del mais	505
3, 3'— Diclorobenzidina nei rifiuti	299	concimazione	486, 504
4-etilfenolo		ecosistemi	125, 200, 485, 491
odore	311	mais, grano e soia in Canada	490
4-metil fenolo		oceani	495
odore	311	precipitazioni	495
17 β -estradiolo		Acidi grassi volatili	135
ormoni negli allevamenti	175	odore	308
		Acidità delle acque marine di superficie ...	495
		Acidi volatili	54
		Acido 2-metil butanoico	
		odore	311
		Acido 3-metil butanoico	
		odore	311
		Acido acetico	494
		odore	308, 311
		Acido butanoico	494
		odore	308
		Acido butirrico	494
		compostaggio	316
		OCR	317
		odori	308
		Acido cloridrico	
		acidificazione	495
		Acido esanoico	
		OCR	317
		odore	312
		Acido fluoridrico	
		acidificazione	495
		Acido metil propanoico	
		odore	312

A

Abbeverare gli animali	515
Abete	
PCI	374
Abitante Equivalente	
bovini, COD	148
definizione	42
Abitazioni	
compostaggio	247, 251
concimazione	186
impianto biogas	443
odori	307, 320
riscaldamento con agro-carburanti	476
Acacia spp.	544
Acciaio	407
biogas	444
coltivazione mais	420
energia consumata	443
impronta idrica	511, 513
Acenaphthene nel compost	296

ENERGIE RINNOVABILI DA BIOMASSE: RISCHI E OPPORTUNITÀ

Acido Nalidixico	114	Acque di prima pioggia da piazzali di transito compost	249
Acido pentanoico odore	312	Acquedotti in Piemonte	197
Acido propanoico odore	312	Acque meteoriche gestione	332
Acido propionico	494	Acque potabili azoto	514
odore	308	metalli	514
Acido solfidrico	27, 48, 49, 329	nitriti	142
acidificazione	495	Acque potabili e compostaggio ..	137, 189, 248
compostaggio	247	Acque reflue apporto di metalli con i fanghi	167
limite emissivo biofiltro	323	scarichi in Provincia di Torino	197
odore	312, 321	Acque reflue depurate irrigazione	88
odore di uova marcie	308	Acque reflue di cantina BOD e COD	148
Acido solforico	51, 623	Acque reflue domestiche	514
Acido urico uccelli	128	Acque residue dal lavaggio degli automezzi	189
Acido valerianico odore	312	Acque sotterranee nitriti	138
Acqua blu	509	Acque superficiali digerito	465
Acqua blu per la produzione e l'uso del gasolio	512	fosforo	140
Acqua che viene bevuta quotidianamente mucca da latte	117	scarichi fognari	197
Acqua e anidride carbonica	525	Acque superficiali e profonde antibiotici	113
Acqua grigia	509	Acquicoltura	61
metalli	514	Acquisto del letame bovino costi	448
Acqua necessaria alla coltivazione del mais ..	512	Acquisto del liquame suino	448
Acqua nella filiera biogas	512	Acquisto del mais costi	448
Acqua per la gestione delle stalle	512	Acquisto del sorgo costi	448
Acqua per la produzione di pesticidi	512	Acquisto del triticale costi	448
Acqua per ogni kWh di elettricità impronta idrica	513, 514	Acquisto semi di mais	411
Acqua potabile (malattie microbiche)	81	Acrilonitrile nei rifiuti	298
Acqua prodotta durante l'attività di compostaggio	248, 285	Acroleina odore	312
Acqua pulita	509	Actinomiceti nell'aria	305
Acqua utilizzata per diluire la biomassa da fermentare	513	AdBlue additivo	419
Acqua verde	510	Addestramento prevenzione incidenti	327
Acqua virtuale impronta idrica	511, 537	Additivi e azoto	129
Acque	454		
contaminazione da azoto	109, 130, 142		
costruzione impianto biogas	444		
evaporazione acqua digerito	573		
irrigazione	515		
prevenzione contaminazione	188		
Acque di prima pioggia	190		