



**Dottorato di Ricerca in Ingegneria Civile**  
*Graduate School in Civil Engineering*

Sede: Facoltà di Ingegneria - Università di Pavia - via Ferrata 1 – 27100 Pavia – Italy

Dottorato di Ricerca in Ingegneria Civile X Nuova serie (XXIV Ciclo)

**Recupero energetico da biomasse:  
aspetti tecnici e di impatto ambientale**

Tesi di Dottorato  
Ing. Veronica Cornalba

*Relatore:*  
Prof. Ing. Carlo Collivignarelli

*Controrelatore:*  
Prof. Ing. Ugo Moisello

## **Dottorato di Ricerca in Ingegneria Civile**

<b>Settore:</b>	Ingegneria
<b>Sede Amministrativa non consortile:</b>	Università degli Studi di PAVIA
<b>Durata del dottorato in anni:</b>	3
<b>Periodo formativo estero in mesi:</b>	come previsto dal regolamento del Dottorato di Ricerca
<b>Numero minimo di corsi:</b>	6

## Organizzazione del corso

Il dottorato di ricerca in Ingegneria Civile presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Pavia è stato istituito nell'anno accademico 1994/95 (X ciclo).

Il corso consente al dottorando di scegliere tra quattro curricula: Idraulico, Sanitario, Sismico e Strutturale. Egli svolge la propria attività di ricerca rispettivamente presso il Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale o quello di Meccanica Strutturale.

Durante i primi due anni sono previsti almeno sei corsi. Il Collegio dei Docenti, composto da professori dei due Dipartimenti, organizza i corsi con lo scopo di fornire allo studente di dottorato opportunità di approfondimento su alcune delle discipline di base. Corsi e seminari vengono tenuti da docenti di Università nazionali ed estere. Il Collegio dei Docenti, cui spetta la pianificazione della didattica, si è orientato ad attivare ad anni alterni corsi sui seguenti temi:

- Meccanica dei solidi e dei fluidi
- Metodi numerici per la meccanica dei solidi e dei fluidi
- Rischio strutturale e ambientale
- Metodi sperimentali per la meccanica dei solidi e dei fluidi
- Intelligenza artificiale

più corsi specifici di indirizzo.

Al termine dei corsi del primo anno il Collegio dei Docenti assegna al dottorando un tema di ricerca da sviluppare sotto forma di tesina entro la fine del secondo anno; il tema, non necessariamente legato all'argomento della tesi finale, è di norma coerente con il curriculum, scelto dal dottorando.

All'inizio del secondo anno il dottorando discute con il Coordinatore l'argomento della tesi di dottorato, la cui assegnazione definitiva viene deliberata dal Collegio dei Docenti.

Alla fine di ogni anno i dottorandi devono presentare una relazione particolareggiata (scritta e orale) sull'attività svolta. Sulla base di tale relazione il Collegio dei Docenti, "previa valutazione della assiduità e dell'operosità

dimostrata dall'iscritto", ne propone al Rettore l'esclusione dal corso o il passaggio all'anno successivo.

Il dottorando può svolgere attività di ricerca sia di tipo teorico che sperimentale, grazie ai laboratori di cui entrambi i Dipartimenti dispongono, nonché al Laboratorio Numerico di Ingegneria delle Infrastrutture.

Il "Laboratorio didattico sperimentale" del Dipartimento di Meccanica Strutturale dispone di:

- una tavola vibrante che consente di effettuare prove dinamiche su prototipi strutturali;
- opportuni sensori e un sistema di acquisizione dati per la misura della risposta strutturale;
- strumentazione per la progettazione di sistemi di controllo attivo e loro verifica sperimentale;
- strumentazione per la caratterizzazione dei materiali, attraverso prove statiche e dinamiche.

Il Laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale dispone di:

- un circuito in pressione che consente di effettuare simulazioni di moto vario;
- un tunnel idrodinamico per lo studio di problemi di cavitazione,
- canalette per lo studio delle correnti a pelo libero.

## **Recapiti**

Dipartimento di Meccanica Strutturale

Via Ferrata, 1 – 27100 Pavia – Italia

Tel. +39.0382.985450 – Fax +39.0382.528422

Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale

Via Ferrata, 1 – 27100 Pavia – Italia

Tel. +39.0382.985300 – Fax +39.0382.985589

## **Coordinatore**

CASCIATI Fabio – Professore Ordinario – ICAR/08

Dipartimento di Meccanica Strutturale

Via Ferrata, 1 – 27100 Pavia – Italia

Tel. +39.0382.985458 – Fax +39.0382.528422

E-mail: [fabio@dipmec.unipv.it](mailto:fabio@dipmec.unipv.it)

## **Collegio dei Docenti**

CASCIATI Fabio – Professore Ordinario – ICAR/08 (Coordinatore)

CIAPONI Carlo – Professore Ordinario – ICAR/02

DEL GROSSO Andrea Enrico – Professore Ordinario – ICAR/09

FARAVELLI Lucia – Professore Ordinario – ICAR/08

GALLATI Mario – Professore Ordinario – ICAR/01

GOBETTI Armando – Professore Associato – ICAR/08

MOISELLO Ugo – Professore Ordinario – ICAR/02

PAPIRI Sergio – Professore Associato – ICAR/02

SALA Roberto – Professore Associato – ING – IND/08

MARCELLINI Alberto – Dirigente di Ricerca, CNR – Milano.

## Elenco delle tesi

Battaini Marco (X Ciclo)	Sistemi strutturali controllati: progettazione e affidabilità (Novembre 1998).
Mariani Claudia (X Ciclo)	Problemi di ottimizzazione per strutture bidimensionali anisotrope (Novembre 1998).
Negri Antonella (X Ciclo)	Stima delle perdite idrologiche nei bacini di drenaggio urbani (Aprile 1999).
Pisano Aurora Angela (XI Ciclo)	Structural System Identification :Advanced Approaches and Applications (Aprile 1999).
Saltalippi Carla (XI Ciclo)	Preannuncio delle piene in tempo reale nei corsi d'acqua naturali (Aprile 1999).
Barbieri Eugenio (XI Ciclo)	Thermo fluid Dynamics and Topology: Optimization of an Active Thermal Insulation Structure (Aprile 2000).
Barbolini Massimiliano (XII Ciclo)	Dense Snow Avalanches: Computational Models, Hazard Mapping and Related Uncertainties (Aprile 2000).
Espa Paolo (XII Ciclo)	Moti atmosferici generati da forze di galleggiamento: simulazioni numeriche e studio su modello fisico (Aprile 2000).
Petrini Lorenza (XII Ciclo)	Shape Memory Alloys: Modelling the Martensitic Phase Behaviour for Structural Engineering Exploitation (Aprile 2000).

Podestà Stefano (XIII Ciclo)	Risposta sismica di antichi edifici religiosi: una nuova proposta per un modello di vulnerabilità.
Sturla Daniele (XIII Ciclo)	Simulazioni lagrangiane di flussi rapidamente variati nell'approssimazione di acque poco profonde.
Marazzi Francesco (XV Ciclo)	Semi -active Control of Civil Structures: Implementation Aspects (Gennaio 2003).
Nascimbene Roberto (XV Ciclo)	Sail Modelling for Maximal Speed Optimum Design (Gennaio 2003).
Giudici Massimo (XVI Ciclo)	Progettazione in regime non lineare di strutture in CAP a cavi aderenti e non aderenti (Aprile 2004).
Mutti Matteo (XVI Ciclo)	Stability Analysis of Stratified Three-phase Flows in Pipes (Febbraio 2004).
Petaccia Gabriella (XVI Ciclo)	Propagazione di onde a fronte ripido per rottura di sbarramenti in alvei naturali (Febbraio 2004).
D'Amico Tiziana (XVI Ciclo)	Ricerca e sviluppo di metodologie diagnostiche per il recupero di edifici monumentali: prove vibroacustiche sul tufo (Febbraio 2005).
Casciati Sara (XVII Ciclo)	Damage Detection and Localization in the Space of the Observed Variables (Febbraio 2005).
Barco Olga Janet (XVII Ciclo)	Modeling the Quantity and Quality of Storm Water Runoff Using SWMM (Marzo 2006).

- Boguniewicz Joanna (XVIII Ciclo) Integration of Monitoring and Modelling in the Surface Water State Evaluation Process of a Sub-Alpine Lake Watershed (Marzo 2006).
- Bornatici Laura (XVIII Ciclo) L'impiego degli algoritmi generici per la risoluzione dei problemi di progetto di reti di distribuzione idrica (Marzo 2006).
- Collivignarelli M.Cristina (XVIII Ciclo) Trattamento di rifiuti liquidi mediante processi biologici aerobici termofili e mesofili e processi avanzati di ossidazione chimica in diversa (Marzo 2006).
- Domaneschi Marco (XVIII Ciclo) Structural Control of Cable-stayed and Suspended Bridges (Febbraio 2006).
- Ráduly Botond (XVIII Ciclo) Artificial Neural Network applications in Urban Water Quality Modeling (MARzo 2006).
- Antoci Carla (XVIII Ciclo) Simulazione numerica dell'interazione fluido-struttura con la tecnica SPH (Luglio 2006).
- Cappabianca Federica (XVIII Ciclo) La valutazione del rischio valanghivo attraverso la modellazione dinamica (Luglio 2006).
- Callegari Arianna (XVIII Ciclo) Applicazione di tecnologie di monitoraggio on-line per la gestione dei processi di trattamento reflui (Luglio 2006).
- Gazzola Elisa (XVIII Ciclo) Applicazione di processi biologici anaerobici al trattamento di acque reflue e fanghi di depurazione: aspetti tecnici ed energetici (Febbraio 2007).

Maranca Federica (XVIII Ciclo)	Valutazione del ciclo di vita (LCA): confronto tra sistemi di trasporto gas via gasdotto (Febbraio 2007).
Giuliano Fabio (XIX Ciclo)	Performance Based Design and Structural Control for Cable Suspension Bridges (Febbraio 2007).
Falappi Stefano (XIX Ciclo)	Simulazioni numeriche di flussi di fluidi viscosi e materiali granulari con la tecnica SPH (Febbraio 2007).
Zanaboni Sabrina (XIX Ciclo)	Pre-trattamento di rifiuti liquidi industriali mediante ossidazione ad umido (Febbraio 2007).
Bruggi Matteo (XX Ciclo)	Topology optimization using mixed finite elements (Febbraio 2008).
Cimellaro Gian Paolo (XX Ciclo)	Passive Control of Industrial Structures for Natural Hazard Mitigation: Analytical Studies and Applications (Febbraio 2008).
Pagliardi Matteo (XX Ciclo)	Application of PIV technique to the study of subaqueous debris flows (Febbraio 2008).
Todeschini Sara (XX Ciclo)	Il controllo degli scarichi fognari in tempo di pioggia mediante vasche di prima pioggia: aspetti progettuali e gestionali (Febbraio 2008).
Abbà Alessandro (XXI Ciclo)	Recupero dei rifiuti speciali nel settore delle costruzioni: studio delle possibilità di recupero e valutazione dei meccanismi di lisciviazione (Febbraio 2009).

Hamdaoui Karim (XXI Ciclo)	Experimental Applications on Cu-based shape Memory Alloys: Retrofitting of Historical Monuments and Base Isolation (Febbraio 2009).
Messervey Thomas (XXI Ciclo)	Integration of Structural Health Monitoring into the Design, Assessment, and Management of Civil Infrastructure (Febbraio 2009).
Ubertini Filippo (XXI Ciclo)	Wind Effects on Bridges: Response, Stability and Control (Febbraio 2009).
Fuggini Clemente (XXII Ciclo)	Using satellites systems for structural monitoring: accuracy, uncertainty and reliability (Febbraio 2010).
Raboni Massimo (XXII Ciclo)	Impiego di tecniche numeriche e sperimentali per l'analisi di fenomeni multiphysics (Luglio 2010).
AlSaleh Raed (XXIII Ciclo)	Verification of wind pressure and wind induced response of a supertall structure using a long term structural health monitoring system (Febbraio 2011).
Crotti Barbara Marianna (XXIII Ciclo)	Verifiche di funzionalità e criteri di ottimizzazione degli impianti di potabilizzazione: alcuni casi di studio (Gennaio 2011).
Franchioli Luigi (XXIII Ciclo)	Analisi prestazionale dei sistemi di distribuzione idrica e calcolo della loro affidabilità (Marzo 2011).

Marzi Alessandro (XXIII Ciclo)    Impianti in materiale plastico per il trasporto dei fluidi nel settore navale (Febbraio 2011).

## INDICE

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>1</b>
--------------------------	----------

### **PARTE PRIMA ASPETTI GENERALI**

<b>1. DEFINIZIONE E CLASSIFICAZIONE DELLE BIOMASSE.....</b>	<b>7</b>
1.1 Definizione di biomassa.....	7
1.2 Classificazione delle biomasse in funzione del comparto di Provenienza.....	9
1.2.1 Comparto forestale.....	9
1.2.2 Comparto agricolo.....	13
1.2.2.1 Residui agricoli.....	14
1.2.2.2 Colture dedicate.....	16
1.2.3 Comparto zootecnico.....	23
1.2.4 Comparto industriale.....	24
1.2.5 Frazione biodegradabile dei rifiuti solidi urbani.....	27
<b>2. PROCESSI DI CONVERSIONE ENERGETICA APPLICABILI ALLE BIOMASSE.....</b>	<b>29</b>
2.1 Processi biochimici.....	30
2.1.1 Digestione anaerobica.....	31
2.1.1.1 Materiali in ingresso.....	32
2.1.1.2 Parametri di influenza.....	33
2.1.1.3 Tipologie impiantistiche.....	35
2.1.1.4 Prodotto.....	48
2.1.1.5 Utilizzo del prodotto.....	50
2.1.1.6 Recupero di biogas da discarica.....	51
2.1.2 Fermentazione alcolica.....	52

2.1.2.1	Materiali in ingresso.....	53
2.1.2.2	Pretrattamenti.....	53
2.1.2.3	Tipologie impiantistiche.....	56
2.1.2.4	Prodotto.....	58
2.1.2.5	Utilizzo del prodotto.....	59
2.2	Processi chimico-fisici.....	60
2.2.1	Estrazione degli oli.....	60
2.2.1.1	Materiali in ingresso.....	60
2.2.1.2	Pretrattamenti.....	61
2.2.1.3	Tipologie di processo.....	61
2.2.1.4	Prodotto.....	62
2.2.1.5	Utilizzo del prodotto.....	63
2.2.2	Sintesi del biodiesel.....	64
2.2.2.1	Materiali in ingresso.....	64
2.2.2.2	Pretrattamenti.....	65
2.2.2.3	Tipologie impiantistiche.....	66
2.2.2.4	Prodotto.....	67
2.2.2.5	Utilizzo del prodotto.....	68
2.3	Processi termochimici.....	69
2.3.1	Processi di preparazione delle biomasse.....	69
2.3.1.1	Essiccazione.....	70
2.3.1.2	Cippatura.....	72
2.3.1.3	Densificazione.....	74
2.3.2	Pirolisi.....	84
2.3.2.1	Materiali in ingresso.....	84
2.3.2.2	Tipologie impiantistiche.....	84
2.3.2.3	Prodotti.....	86
2.3.2.4	Utilizzo del prodotti.....	87
2.3.3	Gassificazione.....	88
2.3.3.1	Tipologie impiantistiche.....	88
2.3.3.2	Prodotti.....	94
2.3.3.3	Utilizzo del prodotti.....	96

2.3.4	Combustione.....	96
2.3.4.1	Materiali in ingresso.....	96
2.3.4.2	Tipologie impiantistiche.....	97
2.3.4.3	Prodotti.....	101
2.3.4.4	Utilizzo del prodotti.....	102
<b>3.</b>	<b>ASPETTI AMBIENTALI.....</b>	<b>103</b>
3.1	Identificazione degli impatti.....	105
3.2	Processo di combustione: impatto ambientale relativo al comparto aria.....	108
3.2.1	Emissioni inquinanti.....	108
3.2.2	Interventi adottabili per mitigare l'impatto.....	110
3.3	Processo di digestione anaerobica: impatto ambientale relativo al comparto suolo.....	115
3.3.1	Problematiche relative all'utilizzo del digestato.....	115
3.3.2	Interventi adottabili per mitigare l'impatto.....	117
<b>4.</b>	<b>ASPETTI ECONOMICI.....</b>	<b>121</b>
4.1	Meccanismi di incentivo e regime di esercizio commerciale dell'energia elettrica prodotta da biomasse.....	121
4.1.1	Meccanismi di incentivo.....	122
4.1.1.1	Certificati verdi.....	122
4.1.1.2	Tariffe omnicomprehensive.....	130
4.1.2	Requisiti per l'ottenimento degli incentivi ed energia incentivata.....	134
4.1.2.1	Qualifica degli impianti alimentati da fonti rinnovabili.....	134
4.1.2.2	Categorie di intervento ed energia incentivata.....	138
4.1.3	Regimi di esercizio commerciale dell'energia elettrica prodotta.....	143
4.1.3.1	Mercato elettrico e contrattazione bilaterale.....	144
4.1.3.2	Ritiro dedicato.....	145

4.1.3.3	Scambio sul posto.....	146
4.2	Altre forme di incentivo.....	149
4.3	Cumulabilità degli incentivi.....	153

## **PARTE SECONDA**

### **APPLICAZIONI**

#### **5. ESEMPI DI IMPIANTI ENERGETICI**

	<b>ALIMENTATI A BIOMASSE.....</b>	<b>157</b>
5.1	Impianti di digestione anaerobica.....	157
5.1.1	Impianti di digestione anaerobica alimentati con reflui suini.....	158
5.1.1.1	Impianto A1.....	158
5.1.1.2	Impianto A2.....	161
5.1.1.3	Impianto A3.....	163
5.1.1.4	Impianto A4.....	165
5.1.2	Impianto di digestione anaerobica alimentato con reflui bovini.....	166
5.1.2.1	Stoccaggio liquame da alimentare alla fase di digestione anaerobica.....	168
5.1.2.2	Fase di digestione anaerobica.....	168
5.1.2.3	Stoccaggio digestato.....	171
5.1.2.4	Sezione recupero energetico.....	172
5.1.3	Impianto di digestione anaerobica alimentato con reflui bovini e biomasse vegetali.....	173
5.1.3.1	Stoccaggio e preparazione miscela da alimentare alla fase di digestione anaerobica.....	174
5.1.3.2	Fase di digestione anaerobica.....	176
5.1.3.3	Trattamento e stoccaggio digestato.....	178
5.1.3.4	Linea trattamento biogas.....	180
5.1.3.5	Sezione recupero energetico.....	180
5.1.4	Impianto di digestione anaerobica alimentato	

con rumine, sangue e fanghi di depurazione.....	183
5.1.4.1 Stoccaggio e preparazione miscela da alimentare alla fase di digestione anaerobica.....	184
5.1.4.2 Fase di digestione anaerobica.....	188
5.1.4.3 Trattamento e stoccaggio digestato.....	189
5.1.4.4 Linea trattamento biogas.....	190
5.1.4.5 Sezione recupero energetico.....	191
5.1.5 Impianto di digestione anaerobica alimentato fanghi di depurazione e frazione organica dei rifiuti solidi urbani.....	194
5.1.5.1 Stoccaggio e preparazione miscela da alimentare alla fase di digestione anaerobica.....	194
5.1.5.2 Fase di digestione anaerobica.....	200
5.1.5.3 Trattamento e stoccaggio digestato.....	202
5.1.5.4 Sezione recupero energetico.....	205
5.2 Impianti di combustione.....	208
5.2.1 Impianto di combustione alimentato con lolla di riso, paglia di riso, cippato di legno e rifiuti speciali non pericolosi.....	208
5.2.1.1 Ricevimento e stoccaggio combustibili.....	209
5.2.1.2 Camera di combustione e post-combustione.....	212
5.2.1.3 Sezione recupero energetico.....	215
5.2.1.4 Linea trattamento fumi.....	218
5.2.2 Impianto di combustione alimentato con lolla di riso, rifiuti di origine vegetale e rifiuti speciali non pericolosi.....	223
5.2.2.1 Ricevimento e stoccaggio combustibili.....	224
5.2.2.2 Camera di combustione e post-combustione.....	226
5.2.2.3 Sezione recupero energetico.....	226
5.2.2.4 Linea trattamento fumi.....	230
5.2.2.5 Linea di produzione acido silicico.....	234
5.3 Impianti “diversi”.....	236

5.3.1	Impianto di cogenerazione alimentato con olio animale e vegetale.....	236
5.3.1.1	Sezione di colatura.....	237
5.3.1.2	Sezione recupero energetico.....	245
5.3.1.3	Linea trattamento fumi.....	255

**PARTE TERZA**  
**PIANIFICAZIONE TERRITORIALE**

**6. CENSIMENTO DEGLI IMPIANTI ENERGETICI ALIMENTATI A BIOMASSA IN ALCUNE PROVINCE DELLA LOMBARDIA..... 259**

6.1	Censimento degli impianti energetici alimentati a biomassa in Provincia di Pavia.....	262
6.1.1	Processi di conversione energetica applicati.....	263
6.1.2	Biomassa in ingresso.....	264
6.1.3	Ubicazione.....	264
6.1.4	Stato dell'iter autorizzativo.....	266
6.1.5	Potenza termica in ingresso.....	267
6.1.6	Potenza elettrica e termica recuperate.....	268
6.2	Censimento degli impianti energetici alimentati a biomassa in Provincia di Cremona.....	270
6.2.1	Processi di conversione energetica applicati.....	270
6.2.2	Biomassa in ingresso.....	271
6.2.3	Ubicazione.....	272
6.2.4	Stato dell'iter autorizzativo.....	273
6.2.5	Potenza elettrica e termica recuperate.....	274
6.3	Censimento degli impianti energetici alimentati a biomassa in Provincia di Mantova.....	275
6.3.1	Processi di conversione energetica applicati.....	275
6.3.2	Biomassa in ingresso.....	276

6.3.3 Ubicazione.....	277
6.3.4 Stato dell'iter autorizzativo.....	279
6.3.5 Potenza termica in ingresso.....	280
6.3.6 Potenza elettrica e termica recuperate.....	281
6.4 Censimento degli impianti energetici alimentati a biomassa in Provincia di Brescia.....	283
6.4.1 Processi di conversione energetica applicati.....	283
6.4.2 Biomassa in ingresso.....	284
6.4.3 Ubicazione.....	285
6.4.4 Stato dell'iter autorizzativo.....	287
6.4.5 Potenza termica in ingresso.....	288
6.4.6 Potenza elettrica e termica recuperate.....	289
6.5 Censimento degli impianti energetici alimentati a biomassa in Provincia di Milano.....	291
6.5.1 Processi di conversione energetica applicati.....	291
6.5.2 Biomassa in ingresso.....	292
6.5.3 Ubicazione.....	292
6.5.4 Stato dell'iter autorizzativo.....	294
6.5.5 Potenza elettrica e termica recuperate.....	295
6.6 Censimento degli impianti energetici alimentati a biomassa in Provincia di Monza e Brianza.....	296
6.6.1 Processi di conversione energetica applicati.....	296
6.6.2 Biomassa in ingresso.....	297
6.6.3 Ubicazione.....	298
6.6.4 Stato dell'iter autorizzativo.....	299
6.6.5 Potenza termica in ingresso.....	299
6.6.6 Potenza elettrica e termica recuperate.....	300
6.7 Censimento degli impianti energetici alimentati a biomassa in Provincia di Sondrio.....	300
6.7.1 Processi di conversione energetica applicati.....	300
6.7.2 Biomassa in ingresso.....	301
6.7.3 Ubicazione.....	302

6.7.4 Stato dell'iter autorizzativo.....	303
6.7.5 Potenza elettrica e termica recuperate.....	304
6.8 Censimento degli impianti energetici alimentati a biomassa in Provincia di Como	305
6.8.1 Processi di conversione energetica applicati.....	305
6.8.2 Ubicazione.....	306
6.8.3 Stato dell'iter autorizzativo.....	307
6.8.4 Potenza elettrica e termica recuperate.....	308
6.9 Considerazioni riassuntive sugli impianti energetici alimentati a biomassa nelle Province studiate.....	310

<b>7. STATO DI QUALITA' DELL'ARIA IN ALCUNE PROVINCE DELLA LOMBARDIA.....</b>	<b>317</b>
7.1 Inquadramento sulle problematiche della qualità dell'aria.....	318
7.1.1 Classificazione del territorio.....	319
7.1.2 Rete di monitoraggio .....	320
7.1.3 Limiti di concentrazione degli inquinanti.....	323
7.2 Stato di qualità dell'aria in Provincia di Pavia.....	325
7.2.1 Classificazione del territorio.....	325
7.2.2 Dati di qualità dell'aria rilevati dalla rete di monitoraggio ARPA nel 2009.....	329
7.2.2.1 Livelli di anidride solforosa (SO <sub>2</sub> ).....	331
7.2.2.2 Livelli di ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> ).....	332
7.2.2.3 Livelli di particolato sottile (PM <sub>10</sub> ).....	333
7.2.2.4 Livelli di ozono (O <sub>3</sub> ).....	335
7.2.3 Campagne ARPA di misura con mezzi mobili.....	337
7.3 Stato di qualità dell'aria in Provincia di Cremona.....	338
7.3.1 Classificazione del territorio.....	338
7.3.2 Dati di qualità dell'aria rilevati dalla rete di monitoraggio ARPA nel 2009.....	340
7.3.2.1 Livelli di anidride solforosa (SO <sub>2</sub> ).....	341
7.3.2.2 Livelli di ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> ).....	342

7.3.2.3	Livelli di particolato sottile (PM <sub>10</sub> ).....	343
7.3.2.4	Livelli di ozono (O <sub>3</sub> ).....	345
7.3.3	Campagne ARPA di misura con mezzi mobili.....	346
7.4	Stato di qualità dell'aria in Provincia di Mantova.....	347
7.4.1	Classificazione del territorio.....	347
7.4.2	Dati di qualità dell'aria rilevati dalla rete di monitoraggio ARPA nel 2009.....	348
7.4.2.1	Livelli di anidride solforosa (SO <sub>2</sub> ).....	350
7.4.2.2	Livelli di ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> ).....	351
7.4.2.3	Livelli di particolato sottile (PM <sub>10</sub> ).....	354
7.4.2.4	Livelli di ozono (O <sub>3</sub> ).....	355
7.4.3	Campagne ARPA di misura con mezzi mobili.....	356
7.5	Stato di qualità dell'aria in Provincia di Brescia.....	357
7.5.1	Classificazione del territorio.....	357
7.5.2	Dati di qualità dell'aria rilevati dalla rete di monitoraggio ARPA nel 2009.....	358
7.5.2.1	Livelli di anidride solforosa (SO <sub>2</sub> ).....	360
7.5.2.2	Livelli di ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> ).....	361
7.5.2.3	Livelli di particolato sottile (PM <sub>10</sub> ).....	363
7.5.2.4	Livelli di ozono (O <sub>3</sub> ).....	365
7.5.3	Campagne ARPA di misura con mezzi mobili.....	366
7.6	Stato di qualità dell'aria in Provincia di Milano e Monza e Brianza.....	367
7.6.1	Classificazione del territorio.....	367
7.6.2	Dati di qualità dell'aria rilevati dalla rete di monitoraggio ARPA nel 2009.....	370
7.6.2.1	Livelli di anidride solforosa (SO <sub>2</sub> ).....	373
7.6.2.2	Livelli di ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> ).....	374
7.6.2.3	Livelli di particolato sottile (PM <sub>10</sub> ).....	378
7.6.2.4	Livelli di ozono (O <sub>3</sub> ).....	380
7.6.3	Campagne ARPA di misura con mezzi mobili.....	382
7.7	Stato di qualità dell'aria in Provincia di Lecco.....	383

7.7.1	Classificazione del territorio.....	383
7.7.2	Dati di qualità dell'aria rilevati dalla rete di monitoraggio ARPA nel 2009.....	385
7.7.2.1	Livelli di anidride solforosa (SO <sub>2</sub> ).....	386
7.7.2.2	Livelli di ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> ).....	387
7.7.2.3	Livelli di particolato sottile (PM <sub>10</sub> ).....	388
7.7.2.4	Livelli di ozono (O <sub>3</sub> ).....	390
7.7.3	Campagne ARPA di misura con mezzi mobili.....	392
7.8	Stato di qualità dell'aria in Provincia di Sondrio.....	393
7.8.1	Classificazione del territorio.....	393
7.8.2	Dati di qualità dell'aria rilevati dalla rete di monitoraggio ARPA nel 2009.....	394
7.8.2.1	Livelli di anidride solforosa (SO <sub>2</sub> ).....	396
7.8.2.2	Livelli di ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> ).....	396
7.8.2.3	Livelli di particolato sottile (PM <sub>10</sub> ).....	398
7.8.2.4	Livelli di ozono (O <sub>3</sub> ).....	399
7.8.3	Campagne ARPA di misura con mezzi mobili.....	399
7.9	Stato di qualità dell'aria in Provincia di Como.....	400
7.9.1	Classificazione del territorio.....	400
7.9.2	Dati di qualità dell'aria rilevati dalla rete di monitoraggio ARPA nel 2009.....	401
7.9.2.1	Livelli di anidride solforosa (SO <sub>2</sub> ).....	402
7.9.2.2	Livelli di ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> ).....	403
7.9.2.3	Livelli di particolato sottile (PM <sub>10</sub> ).....	404
7.9.2.4	Livelli di ozono (O <sub>3</sub> ).....	405
7.9.3	Campagne ARPA di misura con mezzi mobili.....	406
7.10	Considerazioni riassuntive sullo stato di qualità dell'aria nelle Province studiate.....	407

## **8. PIANIFICAZIONE TERRITORIALE DEL RECUPERO ENERGETICO DA BIOMASSE..... 411**

- 8.1 Definizione di una procedura di valutazione dei progetti

in merito all’impatto sull’atmosfera.....	412
8.1.1 Definizione dello stato di qualità dell’aria nella zona interessata dall’insediamento proposto.....	414
8.1.2 Simulazione delle ricadute del nuovo impianto in esame.....	417
8.1.2.1 Scelta del modello da impiegare.....	417
8.1.2.2 Modalità di svolgimento delle simulazioni.....	418
8.1.2.3 Dati meteorologici di input.....	418
8.1.2.4 Sintesi e modalità di presentazione delle simulazioni.....	419
8.1.2.5 Analisi dei casi di possibile sovrapposizione degli effetti con altre emissioni esistenti o in programma.....	420
8.1.3 Valutazione degli effetti mitigativi proposti: la “compensazione ambientale”.....	420
8.1.4 Altri aspetti da considerare.....	422
8.2 Definizione di una procedura di valutazione dei progetti in merito agli altri impatti.....	423
8.2.1 Comparto acque.....	423
8.2.2 Residui solidi.....	425
8.2.3 Rumore.....	426
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>427</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>431</b>



## Introduzione

L'interesse verso le fonti energetiche rinnovabili è cresciuto considerevolmente negli ultimi anni per effetto di numerosi fattori tra i quali rientrano:

- la continua crescita dei consumi di energia (in Italia si è assistito ad un incremento dell'11,3% dei consumi di energia primaria negli anni 1997-2007) (Ministero dello sviluppo economico, 2007) (ENEA, 2000);
- la forte dipendenza dalle fonti fossili (in Italia più dell'80% dei consumi di energia nel 2007 sono stati soddisfatti mediante l'impiego di carbone, gas naturale e petrolio) (Ministero dello sviluppo economico, 2007);
- la mancata sicurezza dell'approvvigionamento energetico dovuto alla localizzazione delle riserve di gas e petrolio in un numero ristretto di Paesi, spesso politicamente instabili;
- l'incerta durata delle riserve di petrolio e di gas naturale;
- l'instabilità dei prezzi dell'energia dovuta alle frequenti variazioni dei prezzi delle fonti fossili (BP, 2009);
- la crescita delle emissioni dei gas ad effetto serra in atmosfera (in Italia si è assistito ad un aumento di circa il 10 % negli anni 1990 - 2006) e la conseguente modifica del clima, che ha portato diversi Stati, tra cui l'Italia, a sottoscrivere il ben noto Protocollo di Kyoto (APAT, 2008);
- la posizione dell'Unione Europea che si è prefissa di conseguire il raggiungimento di un obiettivo di utilizzo del 20 % per la quota complessiva di energia da fonti rinnovabili, ecc.

In quest'ottica le biomasse rappresentano una valida alternativa di diversificazione delle fonti di approvvigionamento e riduzione delle emissioni alteranti il clima.

La politica di incentivazione introdotta dal D.lgs. 387/2003, volta a promuovere un maggior contributo delle fonti energetiche rinnovabili alla produzione di energia elettrica attraverso i ben noti certificati verdi, ha moltiplicato le iniziative che, attraverso la conversione energetica delle biomasse, mirano a conseguire i benefici economici derivanti dall'incentivazione stessa.

Il fatto che siano impianti alimentati con fonti definite rinnovabili non esime il Proponente e l'Organo Amministrativo preposto al rilascio delle autorizzazioni a valutare in modo adeguato la sostenibilità ambientale di questi impianti. Le interazioni di questi impianti con l'ambiente sono molteplici (prelievo acque, scarico acque reflue, smaltimento residui solidi, rumore, ecc.), ma il comparto ambientale più critico, soprattutto per gli impianti dotati di un processo di conversione termochimica, meno diffusi ma caratterizzati da potenze maggiori, è sicuramente l'atmosfera. Tale comparto richiede, quindi, sia uno studio appropriato sugli aspetti progettuali relativi alla centrale stessa (caratteristiche tecniche degli impianti, modalità di controllo e trattamento emissioni, ecc.) sia una valutazione globale del contesto all'interno del quale opererà l'impianto (stato della qualità dell'aria, chimismo atmosferico, ecc.).

A tal proposito, in questo lavoro, si cerca di individuare una metodologia di analisi dei progetti presentati all'Amministrazione Pubblica atta a valutare la compatibilità di questi con l'ambiente, in particolare con la qualità dell'aria.

Il presente elaborato è stato suddiviso in tre parti:

- I. prima parte (capp. 1, 2, 3, 4): viene fornita una panoramica dei materiali che rientrano nella definizione di biomassa presente nella normativa, delle tecnologie ad esse applicabili al fine di produrre energia, degli aspetti ambientali legati al loro sfruttamento energetico, in particolare legati ai processi di combustione e digestione anaerobica, maggiormente diffusi, ed, infine, si riportano i principali strumenti di incentivo, che hanno favorito il diffondersi di questi impianti;

- II. parte seconda (cap. 5): vengono riportati alcuni esempi di impianti energetici alimentati a biomassa;
- III. parte terza (capp. 6, 7, 8): viene riportato il censimento degli impianti energetici alimentati a biomassa in alcune Province della Regione Lombardia e successivamente viene posta l'attenzione sull'interazione di questi impianti col comparto atmosfera: viene riportato lo stato della qualità dell'aria nelle Province oggetto di studio al fine di caratterizzare il contesto in cui questi impianti si inseriscono e vengono delineate le linee guida da seguire per l'inserimento di questi impianti sul territorio.

## Conclusioni

La presente tesi di dottorato ha riguardato lo studio del recupero energetico da biomasse, con particolare riguardo agli aspetti tecnici ed ambientali.

L'interesse verso queste fonti energetiche è cresciuto a seguito della posizione dell'Unione Europea che si è prefissa di conseguire il raggiungimento di un obiettivo di utilizzo del 20 % per la quota complessiva di energia da fonti rinnovabili, al fine di ottenere entro il 2020 la riduzione richiesta per le emissioni di gas a effetto serra.

La definizione di biomassa fornita dalla normativa italiana (*“la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, gli sfalci e le potature provenienti dal verde pubblico e privato, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani”*) racchiude una gran quantità di materiali di natura estremamente eterogenea.

I processi ad esse applicabili al fine di produrre energia risultano quindi molteplici: processi termochimici (combustione, gassificazione, pirolisi), biochimici (fermentazione alcolica, digestione anaerobica) e fisico-chimici (estrazione/rigenerazione oli). I processi ad oggi maggiormente diffusi sono quelli di digestione anaerobica e combustione.

La politica di incentivazione introdotta dal D.lgs. 387/2003, volta a promuovere un maggior contributo delle fonti energetiche rinnovabili alla produzione di energia elettrica attraverso i ben noti certificati verdi, ha moltiplicato le iniziative che, attraverso la conversione energetica delle

biomasse, mirano a conseguire i benefici economici derivanti dall'incentivazione stessa. Il censimento effettuato in sette Province della Lombardia ne è una dimostrazione, ha portato alla luce ben 341 impianti energetici alimentati a biomassa, autorizzati e in via di autorizzazione.

Il fatto che siano impianti alimentati con fonti definite rinnovabili non esime il Proponente e l'Organo Amministrativo preposto al rilascio delle autorizzazioni a valutare in modo adeguato la sostenibilità ambientale di questi impianti. Le interazioni di questi con l'ambiente, infatti, sono molteplici (prelievo acque, scarico acque reflue, smaltimento residui solidi, rumore, ecc.), ma il comparto ambientale più critico, soprattutto per gli impianti dotati di un processo di conversione termochimica, meno diffusi ma caratterizzati da potenze maggiori, è sicuramente l'atmosfera. Tale comparto richiede, quindi, sia uno studio appropriato sugli aspetti progettuali relativi alla centrale stessa (caratteristiche tecniche degli impianti, modalità di controllo e trattamento emissioni, ecc.) sia una valutazione globale del contesto all'interno del quale opererà l'impianto (stato della qualità dell'aria, chimismo atmosferico, ecc.).

A tal proposito è stata proposta una metodologia di analisi dei progetti presentati all'Amministrazione pubblica atta a valutare la compatibilità di questi con l'ambiente, in particolare con la qualità dell'aria.

Il riferimento principale in materia di qualità dell'aria ambiente è costituito dal D.lgs. 155/2010, che attua la direttiva 2008/50/CE ed ha sostituito i precedenti Decreti legislativi 351/1999 e 60/2002, in materia di obiettivi strategici di valutazione e salvaguardia della qualità dell'aria e di definizione dei livelli di soglia degli inquinanti. Poiché queste soglie sono, di fatto, superate in alcune aree del Paese (in primo luogo proprio nella pianura padana, come dimostrato nel capitolo 7) è previsto che le Regioni interessate mettano in atto piani di risanamento e salvaguardia.

Sotto questo profilo assume particolare rilievo l'art. 271 del D.lgs. 128/2010, che detta tra l'altro prescrizioni per gli impianti e le attività, il quale stabilisce che:

*“I piani e i programmi di qualità dell'aria previsti dalla normativa vigente possono stabilire appositi valori limite di emissione e prescrizioni più restrittivi*

*di quelli contenuti negli Allegati I, II e III e V alla parte quinta del presente decreto, anche inerenti le condizioni di costruzione o di esercizio, purché ciò sia necessario al perseguimento ed al rispetto dei valori e degli obiettivi di qualità dell'aria”*

A livello amministrativo ne consegue necessariamente che, ove un impianto determini o contribuisca a determinare un superamento dei valori di qualità dell'aria previsti dalla legge, non potrà essere autorizzato. L'Istruttoria amministrativa dovrà quindi verificare attentamente questa condizione e il proponente, nella progettazione dell'impianto allegata alla domanda di autorizzazione, dovrà dare adeguata dimostrazione del rispetto della condizione stessa.

È comunque sottinteso che, ai sensi dell' art. 273 del D.lgs. 152/2006 relativo ai grandi impianti di combustione come modificato dall'articolo 3, comma 7, D.lgs. n. 128 del 2010, va rispettato quanto stabilisce l'Allegato II alla parte quinta del decreto stesso in relazione ai valori limite di emissione, inclusi quelli degli impianti multicom bustibili, alle modalità di monitoraggio e di controllo delle emissioni, ai criteri per la verifica della conformità ai valori limite e alle ipotesi di anomalo funzionamento o di guasto degli impianti. In particolare, ai grandi impianti di combustione nuovi si applicano i valori limite di emissione di cui alla parte II, sezioni da 1 a 5, lettera B, e sezione 6 dell'Allegato II alla parte quinta del decreto.

Per gli impianti con potenza termica nominale inferiore a 50 MW si applica quanto previsto nella parte III dell'allegato I alla parte quinta del decreto stesso.

Vanno comunque rispettati eventuali limiti più severi ove previsti nell'A.I.A. Riassumendo, la procedura di valutazione dei progetti proposta individua:

- le modalità di acquisizione dei dati di concentrazione degli inquinanti a terra al fine di definire il livello attuale di qualità dell'aria nel sito in esame e in particolare sancire la sua eventuale criticità rispetto alle soglie di accettabilità previste dalla legge;
- le modalità con cui effettuare la simulazione, mediante l'impiego di un modello matematico, delle ricadute ovvero la stima dei livelli di

concentrazione che deriveranno dalla entrata in funzione del nuovo impianto,

- le modalità di presentazione dei dati ottenuti,
- la necessità di valutare l'eventuale sovrapposizione di effetti con quelli di altre emissioni,
- la necessità di attuare un'opportuna compensazione ambientale operando delle mitigazioni (ad esempio cogenerazione).

## Bibliografia

AA.VV. (2007). “I biocarburanti: le filiere produttive, le tecnologie, i vantaggi ambientali e le prospettive di diffusione”. Consorzio per l’AREA di ricerca scientifica e tecnologica di Trieste AREA Science Park, giugno.

Annachhatre A.P. (1996): “Anaerobic treatment of industrial wastewater”, *Resources, Conservation and Recycling* , n.16, 161-166.

APAT (2008). “Italian greenhouse gas inventory 1990-2006 – National Inventory Report 2008”.

ARPA Lombardia (2009a). “Rapporto sulla qualità della Provincia di Brescia: Anno 2009”.

ARPA Lombardia (2009b). “Rapporto sulla qualità dell’aria della Provincia di Como: Anno 2009”.

ARPA Lombardia (2009c). “Rapporto sulla qualità dell’aria della Provincia di Cremona: Anno 2009”.

ARPA Lombardia (2009d). “Rapporto sulla qualità dell’aria di Lecco e Provincia: Anno 2009”.

- ARPA Lombardia (2009e). “Rapporto sulla qualità dell’aria di Mantova e Provincia: Anno 2009”.
- ARPA Lombardia (2009f). “Rapporto sulla qualità dell’aria delle Province di Milano e di Monza e Brianza: Anno 2009”.
- ARPA Lombardia (2009g). “Rapporto sulla qualità dell’aria di Pavia e Provincia: Anno 2009”.
- ARPA Lombardia (2009h). “Rapporto sulla qualità dell’aria della Provincia di Sondrio: Anno 2009”.
- ARSIA (2004). “Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm”. Quaderno Arsia 6/2004, IBSN 88-8295-063-8.
- Bartolazzi A. (2006). “Le energie rinnovabili”. Ed. Hoepli, ISBN 978-88-203-3587-8.
- Bocci E., Caffarelli A., Villarini M., D’Amato A. (2011). “Sistemi a biomasse: progettazione e valutazione economica. Impianti di generazione di calore e di elettricità”. Ed. Maggioli, giugno.
- BP (2009). “BP Statistical Review of World Energy – June 2009”. Giugno.
- Braccio G. (ENEA) (2004). “Metodi e tecnologie per la conversione energetica delle biomasse. Esperienza ENEA.”. Seminario “Biomasse a fini energetici”, Bologna, 23 novembre.
- Candolo G. (2005). “Biomasse vegetali: i possibili processi di conversione energetica”. Agronomica 4/2005, pagine 31-38.

- Capponi S., Barbanti L. (2010). "Utilizzo agronomico del digestato normative regionali a confronto". Terra e Vita, n. 25.
- Castrillon L., Vazquez I., Maranon E., Sastre H. (2002): "Anaerobic thermophilic treatment of cattle manure in UASB reactors", Waste Management & Research no. 20, 350-356.
- Cerullo S., Pellegrini A. (2002). "Stima della quantità di residui legnosi prodotti in Italia". Programma Nazionale Combustibili Probio – CTI, Regione Lombardia.
- CISM (2008). "Smaltimento dei rifiuti solidi urbani: Stato attuale – Tecnologie - Gestione". ISBN 978-8885137-24-0.
- Collivignarelli M.C., Cornalba V., Manco I. (2009). "Biomasse: Come convertire in energia scarti del riso e cippato di legno". Tecnologie e Soluzioni - Ambiente e Sicurezza, Il Sole 24 Ore, Ed. Milano, n. 1, Febbraio-Marzo, pp. 21-30.
- D'Apote L. e Migliardi D. (C.E.T.A. - Centro di Ecologia Teorica ed Applicata di Gorizia) (2010). "Valorizzazione energetica del biogas". Progetto biomasse - ENAMA (Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola), Settembre.
- Decisione 17 ottobre 2001, 2001/752/CE "Decisione della Commissione che modifica gli allegati della decisione 97/101/CE del Consiglio che instaura uno scambio reciproco di informazioni e di dati provenienti dalle reti e dalle singole stazioni di misurazione dell'inquinamento atmosferico negli Stati membri".
- Decreto Legislativo 16 marzo 1999, n. 79 "Attuazione della Direttiva 96/92/CE recante norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica".

Decreto Legislativo 4 agosto 1999, n. 351 “Attuazione della direttiva 96/62/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell’aria ambiente”.

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’elettricità”.

Decreto Legislativo 21 maggio 2004, n. 183 “Attuazione della direttiva 2002/3/CE relativa all’ozono nell’aria”

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 “Norme in materia ambientale”.

Decreto Legislativo 29 giugno 2010, n. 128 “Modifiche ed integrazioni al decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale, a norma dell’articolo 12 della legge 18 giugno 2009, n. 69”.

Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155 “Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell’aria ambiente e per un’aria più pulita in Europa”.

Decreto Legislativo 3 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 2003/30/CE”.

Decreto Ministeriale 2 aprile 2002, n. 60 “Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell’aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell’aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio”.

Decreto Ministeriale 20 luglio 2004 “Nuova individuazione degli obiettivi quantitativi per l’incremento dell’efficienza energetica negli usi finali di energia, ai sensi dell’art. 9, comma 1, del D.Lgs. 16 marzo 1999, n. 79”.

Decreto Ministeriale 21 dicembre 2007 “Revisione e aggiornamento dei decreti 20 luglio 2004, concernenti l’incremento dell’efficienza energetica degli usi finali di energia, il risparmio energetico e lo sviluppo delle fonti rinnovabili”.

Decreto Ministeriale 18 dicembre 2008 “Incentivazione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, ai sensi dell’articolo 2, comma 150, della legge 24 dicembre 2007, n. 244”.

Decreto del Presidente della Repubblica 24 maggio 1988, n. 203 “Attuazione delle direttive CEE numeri 80/779, 82/884, 84/360 e 85/203 concernenti norme in materia di qualità dell’aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali, ai sensi dell’art. 15 della L. 16 aprile 1987, n. 183”.

Deliberazione Giunta Regionale 19 ottobre 2001, n. 7/6501 “Zonizzazione del territorio regionale per il conseguimento degli obiettivi di qualità dell’aria ambiente, ottimizzazione e razionalizzazione della rete di monitoraggio, relativamente al controllo dell’inquinamento da PM<sub>10</sub>, fissazione dei limiti di emissione degli impianti di produzione energia e piano d’azione per il contenimento e la prevenzione degli episodi acuti di inquinamento atmosferico. Revoca delle dd.g.r. 11 gennaio 1991, n. 4780, 9 novembre 1993, n. 43079, 5 novembre 1991, n. 14606 e 21 febbraio 1995, n. 64263 e sostituzione dell’allegato alla d.g.r. 11 ottobre 2000, n. 1529”.

Deliberazione Giunta Regionale 2 agosto 2007, n. 8/5290 “Suddivisione del territorio regionale in zone e agglomerati per l’attuazione delle misure finalizzate al conseguimento degli obiettivi di qualità dell’aria ambiente e ottimizzazione della rete di monitoraggio dell’inquinamento atmosferico (l.r.

24/2006, artt. 2, comma 2 e 30, comma 2). Revoca degli allegati A), B) e D) alla d.g.r. n. 6501/01 e della d.g.r. 11485/02”.

Direttiva 96/62/CE del Consiglio del 27 settembre 1996 in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente

Direttiva 2002/3/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 12 febbraio 2002 relativa all'ozono nell'aria

Direttiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 21 maggio 2008 relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa.

Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.

Direttiva 2010/75/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 24 novembre 2010 relativa alle emissioni industriali (prevenzione e riduzione dell'inquinamento).

ENEA (2000). “Rapporto Energia e Ambiente 2000 - L'analisi”. Novembre.

ENEA (2008). “Energia dalle biomasse: tecnologie e prospettive”. ISBN 88-8286-171-6.

Fabrizi Claudio (Crapa spa, Reggio Emilia) (2010). “Energia da biomasse. Come migliorare la gestione ambientale del digestato”. Agricoltura, maggio.

Fiorese G. (2007). “Biomasse per l'energia: aspetti ecologici, energetici ed economici”. Tesi di dottorato di ricerca in ecologia, correlatori: Prof. Giulio

- De Leo, Prof. Marino Gatto, Prof. Giorgio Guariso, Università degli Studi di Parma.
- GAL Prealpi e Dolomiti (2007). “Linee guida per lo sviluppo di un modello di utilizzo del cippato forestale a fini energetici”.
- Gazzola E. (2007). “Applicazione di processi biologici anaerobici al trattamento di acque reflue e fanghi di depurazione: aspetti tecnici ed energetici”, Tesi di dottorato, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Pavia.
- Gelleti R., Jodice R., Mauro G., Migliardi D., Picco D., Pin M., Tomasinsig E., Tommasoni L., Chinese D., Monaco B., Nardin G., Simeoni P. (2006). “Energia dalle biomasse: le tecnologie, i vantaggi per i processi produttivi, i valori economici e ambientali”. Consorzio per l’AREA di ricerca scientifica e tecnologica di Trieste AREA Science Park, aprile.
- Gestore Servizi Energetici (GSE), (2008). “Le biomasse e i rifiuti. Dati statistici al 31 dicembre 2008”. Disponibile on line: <http://www.gse.it>.
- Gestore Servizi Energetici (GSE) (2010). “Guida agli incentivi per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili”. Disponibile on line: <http://www.gse.it>.
- Giraldi D., Cavalaglio G., Massoli S., Servili S. (2007). “Progetto biomasse: energia rinnovabile per le aziende agricole derivante da reflui zootecnici (ERAARZ)”. 7° Congresso Nazionale Ciriaf, Perugia, marzo.
- Groppi F. (2009). “Energia elettrica da fonti rinnovabili: come produrre energia a “chilometri zero” in modo pulito e sostenibile”. Ed. Delfino, ISBN 978-88-89518-77-9.

- 
- ISPRA (2010). “Rischi ambientali connessi all’uso di biomassa per produzione diretta di energia: valutazioni tecniche ed economiche”. Rapporti 105/2009, ISBN 978-88-448-0419-0.
- Kassam Z.A., Yerushalmi L., Guiot S.R. (2003): “A market study on the anaerobic wastewater treatment systems”, *Water, Air, and Soil Pollution* no.143,179-192.
- Legge 24 dicembre 2007, n. 244 “Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (Legge Finanziaria 2008)”.
- Legge 23 luglio 2009, n. 99 “Disposizioni per lo sviluppo e l’internazionalizzazione delle imprese, nonché in materia di energia”.
- Liu Y., Xu H.L., Show K.Y., Tay J.H. (2002): “Anaerobic granulation technology for wastewater treatment”, *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, no.18, 99-113.
- Liu Y., Xu H.L., Yang S.F., Tay J.H. (2003): “Mechanisms and models for anaerobic granulation in upflow anaerobic sludge blanket reactor”, *Water Research* vol.37, 661-673.
- Lombardi M., Rubini L., Vivoli F. P. (ISES Italia) (1998). “Energia dalle biomasse: le tecnologie e le applicazioni”.
- Mazzotta G. (A.A. 2009-2010). “Tecnologie per il recupero di energia da biomasse: aspetti ambientali”, Tesi di laurea, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Pavia.
- Ministero dello Sviluppo Economico, Direzione generale dell’energia e delle risorse minerarie, Osservatorio statistico energetico (2007). “Bilancio Energetico Nazionale 2007”.

- Passino R. (1995): Manuale di conduzione degli impianti di depurazione delle acque. Bologna, Zanichelli/ESAC
- Picco D. (2007). Analisi conoscitiva. In “BIOCOLT - Colture energetiche per il disinquinamento della laguna di Venezia”.
- Regolamento (CE) n. 1069/2009 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 21 ottobre 2009 recante norme sanitarie relative ai sottoprodotti di origine animale e ai prodotti derivati non destinati al consumo umano e che abroga il regolamento (CE) n. 1774/2002 (regolamento sui sottoprodotti di origine animale).
- Rossi L. (2011). “Energia da sottoprodotti, cosa cambia con la nuova legge”. L’Informatore Agrario, n. 16, pagine 25-27.
- Tabacchi G., De Natale F., Di Cosmo L., Floris A., Gagliano C., Gasparini P., Genchi L., Scrinzi G., Tosi V. (MiPAF - Corpo Forestale dello Stato - Ispettorato Generale, CRA-ISAF, Trento) (2007). “Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC), 2007 - Le stime di superficie 2005 - Prima parte”. Disponibile on line: <http://www.infc.it>
- Urbini G., Conti F. (2002). “Ingegneria Sanitaria-Ambientale. Raccolta di dispense. Parte II: rifiuti”. Ed. Cusl.
- Viganò C. (2010). “Le bioenergie”. Atti del convegno “Corso SPES, I edizione 2010 - Corso base per l’utilizzo delle fonti rinnovabili di energia nei Paesi in Via di Sviluppo”, Milano, 19 gennaio
- Wang L., Weller C.L., Jones D.D., Hanna M.A. (2008). “Contemporary issues in thermal gasification of biomass and its application to electricity and fuel production”. Biomass and Bioenergy, 32, pagine 573-581.

Zucchi F. (A.A. 2009-2010). “Recupero energetico da rifiuti e sottoprodotti di macellazione all’interno di uno stabilimento agroalimentare”, Tesi di laurea, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Pavia - Fondazione Università di Mantova.