

INDICE

<i>Premessa</i>	11
-----------------	----

CAPITOLO PRIMO
PRODUZIONE DI INTERMEDI BIOGENICI DA PIROLISI VELOCE
a cura di *Giovanna Ruoppolo*

1. Inquadramento della filiera tecnologica	15
2. Il processo di trasformazione e le sue varianti, la scalabilità, la maturità tecnologica	16
2.1 Tipologie di convertitori pirolitici	18
2.1.1 <i>Pirolizzatori a letto fluido bollente</i>	18
2.1.2 <i>Pirolizzatori a letto fluido circolante</i>	18
2.1.3 <i>Pirolizzatori a cono rotante</i>	19
2.1.4 <i>Pirolizzatori a flusso trascinato</i>	20
2.1.5 <i>Pirolizzatori a coclea riscaldata</i>	20
2.1.6 <i>Pirolizzatori a microonde</i>	20
2.1.7 <i>Pirolizzatori ablativi</i>	20
2.2 La tecnologia di riferimento	22
2.2.1 <i>Il processo-base: pirolisi non catalitica</i>	23
2.2.2 <i>Soluzioni avanzate: pirolisi frazionata o a stadi</i>	28
2.2.3 <i>Soluzioni avanzate: pirolisi catalitica</i>	32
2.2.4 <i>Soluzioni avanzate: co-pirolisi di biomassa con materiali plastici non riciclabili</i>	43
2.3 Ingegneria delle reazioni chimiche e criteri progettuali del convertitore pirolitico a letto fluidizzato	48
3. Le rese in intermedi biogenici e le caratteristiche qualitative (anche nell'ottica della valorizzazione finale)	53
3.1 Generalità sui bio-oli, caratteristiche composizionali, problematiche di compatibilità e stabilità	53
3.2 Correlazioni quantitative tra caratteristiche della biomassa e rese e proprietà dei bio-oli	54

4.	I sottoprodotti e gli effluenti	66
4.1	Il biochar	66
4.1.1	<i>Il char nelle applicazioni chimiche</i>	67
4.1.2	<i>Il char come substrato carbonioso per applicazioni elettriche</i>	69
4.2	La frazione acquosa del bio-olio	70
4.2.1	<i>Il trattamento della frazione acquosa mediante aqueous phase reforming</i>	72
5.	Le valutazioni tecnico/economiche e di compatibilità con il contesto regolatorio/normativo	72
5.1	Ricognizione dei raw feedstock avviabili alla filiera di trasformazione sotto il profilo regolatorio/normativo	72
5.2	Valutazione dei bacini ottimali di approvvigionamento	75
6.	Bibliografia	78

CAPITOLO SECONDO
 PRODUZIONE DI INTERMEDI BIOGENICI DA
 LIQUEFAZIONE IDROTERMALE
 a cura di *Alessandro Galia e Fabio Montagnaro*

1.	Inquadramento della filiera tecnologica	87
2.	Il processo di trasformazione/tipo e le sue varianti, la scalabilità, la maturità tecnologica	88
3.	Le rese in intermedi biogenici e le caratteristiche qualitative	98
3.1	Considerazioni preliminari 2.3.2. L'ANAC	98
3.2.	Effetti delle variabili operative sul processo HTL	99
3.2.1	<i>Recupero energetico e resa in bio-crude (BC)</i>	99
3.2.2	<i>Distribuzione dei prodotti di reazione</i>	105
3.2.3.	<i>Analisi elementari del bio-crude (BC)</i>	107
3.2.4	<i>Utilizzo di catalizzatori ed altre proprietà del bio-crude (BC)</i>	111
4.	I sottoprodotti e gli effluenti	113
4.1	Fase acquosa	114
4.2	Fase solida	116
4.3	Fase gassosa	117
5.	Le valutazioni tecnico/economiche e di compatibilità con il contesto regolatorio/normativo	118
6.	Bibliografia	123

CAPITOLO TERZO
 PRODUZIONE DI INTERMEDI BIOGENICI DA
 DIGESTIONE ANAEROBICA
 a cura di *Giovanni Esposito*

1.	La digestione anaerobica delle biomasse: inquadramento della filiera tecnologica	129
2.	Il processo di trasformazione/tipo e le sue varianti, la scalabilità, la maturità tecnologica	131
2.1	Generalità sul processo di digestione anaerobica	131
2.1.1	<i>Fasi del processo di digestione anaerobica</i>	131
2.1.2	<i>Incidenza dei parametri operativi sul processo</i>	132
2.1.3	<i>Pretrattamenti</i>	136
2.1.4	<i>Scelta delle condizioni ottimali di processo: i test di biometanazione</i>	137
2.2	La co-digestione anaerobica	138
2.2.1	<i>Matrici organiche da attività agroalimentari</i>	139
2.2.2	<i>Frazione organica dei rifiuti solidi urbani</i>	139
2.2.3	<i>I fanghi di depurazione di origine urbana e industriale</i>	140
2.2.4	<i>La co-digestione tra FORSU e fanghi di depurazione</i>	140
2.2.5	<i>Determinazione dell'effetto sinergico</i>	141
2.3	Tecnologie per la digestione anaerobica	142
2.3.1	<i>Criteri di classificazione dei processi di digestione anaerobica</i>	142
2.3.2	<i>Schemi di processo per la digestione anaerobica</i>	144
2.3.3	<i>Sistemi combinati con digestione anaerobica e compostaggio</i>	146
2.4	BAT (Best Available Techniques)	148
2.5	Soluzioni impiantistiche per la digestione anaerobica dei fanghi di depurazione	149
2.5.1	<i>La digestione anaerobica di reflui ad elevato carico organico</i>	150
2.5.2	<i>Processi innovativi per la digestione anaerobica dei fanghi di depurazione</i>	152
2.5.3	<i>Pre-trattamenti meccanici</i>	155
2.5.4	<i>Pre-trattamenti biologici</i>	155
2.5.5	<i>Pre-trattamento termico dei fanghi</i>	155
2.6	Interventi di post-trattamento del digestato	156
2.7	Modalità di utilizzazione energetica del biogas	156
2.7.1	<i>Upgrading del biogas</i>	158
3.	Le rese e le caratteristiche qualitative di intermedi biogenici e bioprodotto finali	158
3.1.	Correlazioni quantitative tra caratteristiche della biomassa e rese di biogas e biometano da digestione anaerobica	159
3.2.	Gli intermedi biogenici da dark fermentation	161
3.2.1	<i>Produzione di bioidrogeno</i>	164
3.2.2	<i>Produzione di acidi grassi volatili</i>	166
3.2.3	<i>Fotofermentazione di VFA per la produzione di bioidrogeno</i>	167

3.3. I processi anaerobici nel contesto delle bioraffinerie multiprodotto	168
3.3.1. <i>Produzione di biopolimeri: i poliidrossialcanoati</i>	168
3.3.2. <i>Produzione di proteine microbiche</i>	169
3.3.3 <i>Esempio di possibili flussi di energia e di valore nell'ambito delle bioraffinerie anaerobiche</i>	171
4. I sottoprodotti e gli effluenti	173
4.1. Il digestato anaerobico: da residuo a risorsa	173
4.1.1. <i>Trattamento e recupero di nutrienti da digestato</i>	176
4.1.2. <i>La valorizzazione dei nutrienti in bioprodotto ad elevato valore</i>	178
4.2. Dal biogas al biometano: cattura e recupero di carbonio e altri gas	179
5. Le valutazioni tecnico/economiche e di compatibilità con il contesto regolatorio/normativo	180
5.1 Recupero da sottoprodotti, rifiuti e EoW	180
5.2 Recupero da FORSU	181
5.3 Recupero da fanghi di depurazione	183
5.4 Recupero da biomasse	184
5.5 Il recupero energetico da biogas e biometano	185
5.6 Il destino del digestato	186
5.7 Valutazioni economiche	187
6. Bibliografia	187

CAPITOLO QUARTO

PRODUZIONE DI INTERMEDI BIOGENICI DA DESTRUZIONE/IDROLISI DI BIOMASSE LIGNOCELLULOSICHE

a cura di *Maria Elena Russo e Marco Barbanera*

1. Inquadramento della filiera tecnologica	195
2. Il processo di saccarificazione delle biomasse lignocellulosiche, le sue varianti, la scalabilità, la maturità tecnologica	197
2.1 Processi di pretrattamento di biomasse residuali	198
2.1.1 <i>Pretrattamenti fisici</i>	199
2.1.2 <i>Pretrattamenti chimici</i>	202
2.1.3 <i>Pretrattamenti chimico-fisici</i>	204
2.1.4 <i>Pretrattamenti biologici</i>	206
2.1.5 <i>Pretrattamenti combinati</i>	206
2.2 Il processo di idrolisi enzimatica	207
2.2.1 <i>Approfondimento sul processo eterogeneo di idrolisi enzimatica delle biomasse lignocellulosiche</i>	209
2.2.2 <i>L'idrolisi enzimatica dei biofeedstock: considerazioni sul processo e le tecnologie</i>	212
3. Le rese in intermedi biogenici e le caratteristiche qualitative dell'idrolizzato	214
3.1 Panoramica sulle rese in zuccheri	216

4. I sottoprodotti del processo di saccarificazione delle biomasse lignocellulosiche	221
5. Valutazioni tecnico/economiche e di compatibilità con il contesto regolatorio/normativo	227
5.1 Valutazioni tecnico-economiche	228
5.1.1 <i>Aspetti impiantistici</i>	229
5.1.2 <i>Catena di approvvigionamento e mercato</i>	232
5.1.3 <i>Fattibilità economica</i>	232
5.2 Politiche Europee e tema dell'End of Waste	234
5.3 Tendenze e conclusioni	234
6. Bibliografia	235