



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA

**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica

Dipartimento di Sistemi Elettrici e Automazione

Anno accademico 2005-2006

## **ANALISI TECNICO-ECONOMICA DELLA TRASFORMAZIONE DEI RESIDUI AGRICOLI IN BIO-OLIO**

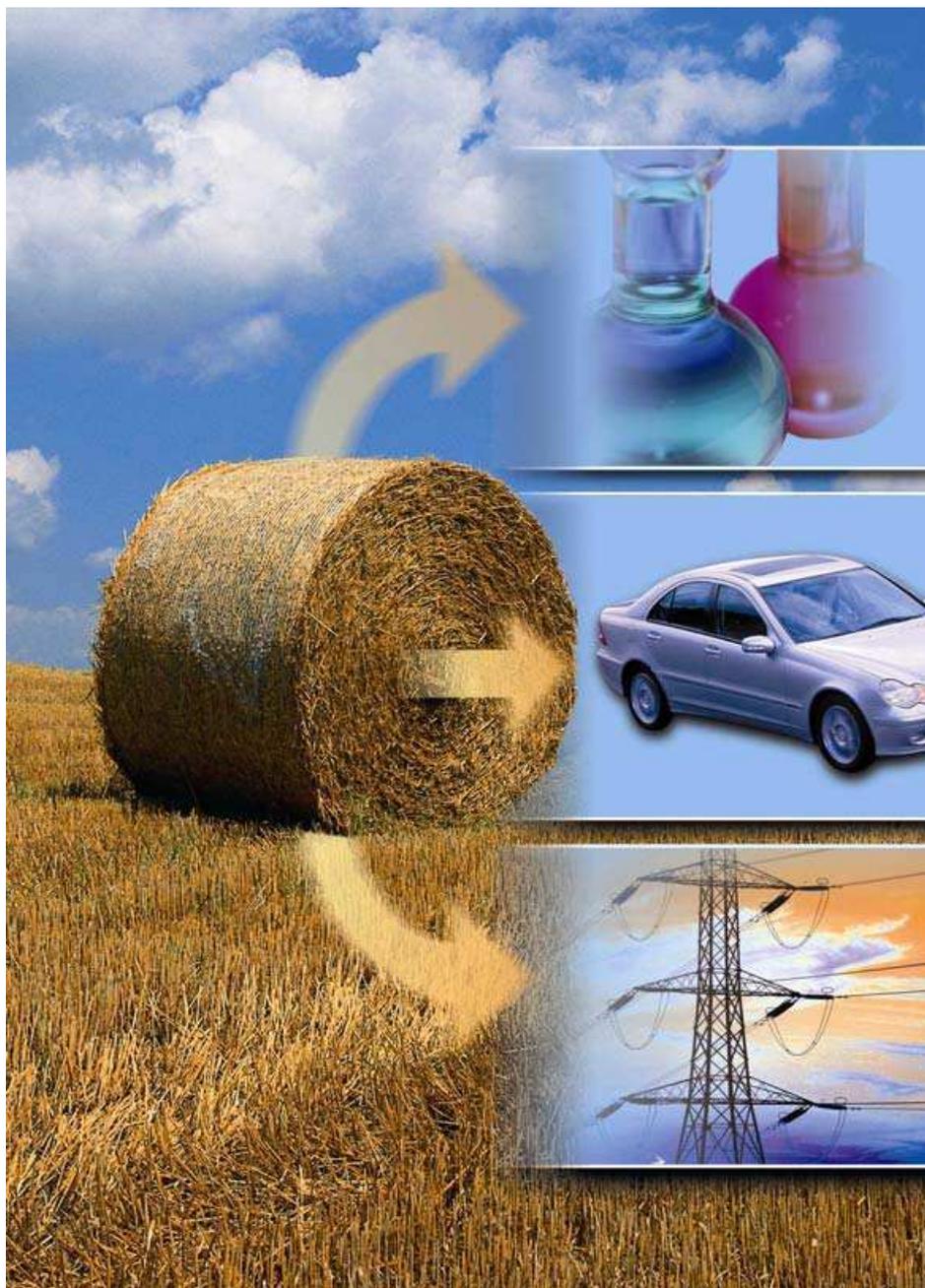
### **Relatori**

Prof. Ing. *Paolo Pelacchi*

Ing. *Franco Mazzoldi*

### **Candidato**

*Fabrizio Bassini*



**Figura 1: trasformazione della paglia**

“ The use of vegetables oils for engine fuels may seem insignificant today. But such oil may become in the course of time as important as the petroleum and coal tar products of the present time.”

**Rudolph Diesel , 1912**

*Dedicato a tutti quelli che hanno sempre creduto in me.*

# INDICE

<b>INDICE</b>	<b>3</b>
<b>INDICE FIGURE</b>	<b>5</b>
<b>INDICE TABELLE</b>	<b>8</b>
<b>INDICE TABELLE</b>	<b>8</b>
<b>PREMESSA</b>	<b>9</b>
<b>PREMESSA</b>	<b>9</b>
<b>1 SCENARIO ENERGETICO E AMBIENTALE MONDIALE</b>	<b>10</b>
○ <b>1.1 SCENARIO ENERGETICO MONDIALE</b>	<b>10</b>
○ <b>1.2 SCENARIO AMBIENTALE MONDIALE</b>	<b>15</b>
○ <b>1.3 SCENARIO ITALIANO</b>	<b>19</b>
<b>2 FONTE RINNOVABILE: BIOMASSA</b>	<b>21</b>
○ <b>2.1 VANTAGGI E SVANTAGGI DELL'USO DELLA BIOMASSA</b>	<b>25</b>
○ <b>2.2 CONVERSIONI ENERGETICHE BIOMASSA</b>	<b>27</b>
2.2.1 PROCESSI BIOCHIMICI	28
2.2.2 PROCESSI MECCANICO-CHIMICI-FISICI	30
2.2.3 PROCESSI TERMOCHIMICI	31
<b>2.2.3.1 COMBUSTIONE DIRETTA e CO-FIRING</b>	<b>31</b>
<b>2.2.3.2 GASSIFICAZIONE</b>	<b>32</b>
<b>2.2.3.3 PIROLISI</b>	<b>33</b>
<b>3 DISPONIBILITÀ BIOMASSA IN ITALIA</b>	<b>48</b>
○ <b>3.1 DISPONIBILITÀ BIOMASSA IN TOSCANA</b>	<b>48</b>
3.2 DISPONIBILITÀ BIOMASSA NELLA VAL DI CECINA	50
<b>4 TECNOLOGIA UTILIZZATA PER LA TRASFORMAZIONE DELLA BIOMASSA</b>	<b>52</b>
<b>5 ANALISI DEL COSTO DI PIROLISI</b>	<b>55</b>
○ <b>5.1 COSTO DI TRASPORTO BIOMASSA</b>	<b>57</b>
○ <b>5.2 COSTO INVESTIMENTO</b>	<b>59</b>
○ <b>5.3 COSTO AMMORTAMENTO</b>	<b>61</b>
○ <b>5.4 ALTRI COSTI</b>	<b>62</b>
○ <b>5.5 COSTO MANUTENZIONE</b>	<b>62</b>
○ <b>5.6 COSTO ENERGIA ELETTRICA RICHIESTA</b>	<b>63</b>
○ <b>5.7 COSTO DEL LAVORO</b>	<b>65</b>
○ <b>5.8 TRASPORTO BIO-OLIO</b>	<b>66</b>
○ <b>5.8 SCELTA NUMERO PIROLIZZATORI</b>	<b>68</b>
<b>6 PREZZO DI VENDITA DEL BIO-OLIO</b>	<b>71</b>
○ <b>6.1 COSTO ACQUISTO DELLA BIOMASSA</b>	<b>71</b>

○ 6.2 PREZZO DI VENDITA DEL BIO-OLIO NEI PRIMI 8 ANNI _____	72
○ 6.3 PREZZO DI VENDITA DEL BIO-OLIO DOPO 8 ANNI _____	73
<b>7 ANALISI DEL COSTO DI PIROLISI</b> _____	<b>74</b>
<b>8 DESCRIZIONE DEL FENOMENO FISICO</b> _____	<b>78</b>
○ 8.1 MODELLAZIONE DE SISTEMA _____	79
○ 8.2 LAVORO E ANALISI SUL SISTEMA _____	83
○ 8.3 SIMULAZIONE _____	86
<b>9 PREZZO DI VENDITA DEL BIO-OLIO CON AUTOMAZIONE</b> _____	<b>96</b>
○ 9.1 ANALISI ECONOMICA DELL' IMPIANTO TERMOELETTTRICO _____	97
○ 9.1.1 ANALISI ECONOMICA PRIMI 8 ANNI _____	100
○ 9.1.2 ANALISI ECONOMICA TRA 8 E 12 ANNI _____	102
○ 9.1.3 ANALISI ECONOMICA DOPO 12 ANNI _____	104
<b>10 ANALISI DEI RISULTATI</b> _____	<b>106</b>
<b>APPENDICE</b> _____	<b>110</b>
○ A) I NUMERI DELL' ENERGIA _____	110
○ B) CERTIFICATI VERDI _____	111
○ C) SIMULAZIONE _____	112
C1) LINPROG MATLAB _____	112
C2) FUNZIONI E SOTTOSISTEMI UTILIZZATI NEL PROGETTO ANALOGICO _____	113
C3) FUNZIONI E SOTTOSISTEMI UTILIZZATI NEL PROGETTO DIGITALE _____	124
<b>BIBLIOGRAFIA</b> _____	<b>127</b>
○ SITI WEB _____	129

## INDICE FIGURE

Figura 1: trasformazione della paglia .....	2
Figura 2: quote del PIL mondiale(1997)      Figura 3: quote del PIL mondiale(2010).....	10
Figura 4: previsione del PIL mondiale nel 2020 .....	11
Figura 5: crescita della popolazione mondiale e del consumo d'energia .....	11
Figura 6: previsione della richiesta d'energia (espressa in Mtoe) che avverrà nel mondo .....	12
Figura 7: andamento delle diverse fonti nel periodo 2000- 2050 [34] [EJ=10 <sup>18</sup> J] .....	14
Figura 8: concentrazione dell'anidride carbonica rilevate nelle stazioni di Mauna Loa e Siple.....	15
Figura 9: emissioni di CO <sub>2</sub> per combustibile .....	17
Figura 10: impegni di riduzione delle emissioni dai vari paesi dell' UE [29] ....	18
Figura 11: L'energia in Italia per fonti .....	19
Figura 12,: riassunto delle varie dipendenze energetiche dei vari paesi dell'EU .....	20
Figura 13: andamento della dipendenza energetica dell'Italia nel tempo .....	20
Figura 14: fotosintesi.....	21
Figura 15: composizione della biomassa.....	21
Figura 16: schema sintetico dei vari tipi di biomassa .....	22
Figura 17: foto di alcuni tipi di biomassa .....	22
Figura 18: produzione annua di alcune colture energetiche.....	23
Figura 19: potere calorifico inferiore e composizione di alcuni combustibili organici .....	23
Figura 20: confronto di costo di alcuni combustibili.....	24
Figura 21: conversioni energetiche biomassa.....	27
Figura 22: andamento della produzione di energia elettrica da biogas con cogenerazione (1995-2003)[31].....	29
Figura 23: andamento della produzione di energia elettrica da biogas solo EE (1995-2003) [31].....	29
Figura 24: confronto tra produzione di etanolo e biodiesel nel mondo [28] ....	30
Figura 25: composizione del syngas [31] .....	32
Figura 26: contenuto dei vari composti della pirolisi al variare della temperatura [26] .....	34
Figura 27: il Bio-olio .....	35
Figura 28: Usi e prodotti della pirolisi.....	35
Figura 29: confronto tra biomassa e olio da esso prodotto.....	37
Figura 30: composizione del bio-olio.....	38
Figura 31: Inorganic Compositions of the Chars and Bio-Oils Made from Various Biomass Feeds at NREL with Char Removal by Cyclones or Filtration [13]	39
Figura 32: Aging of Bio-Oils at 35°C to 37°C (cP = mPas) [13] .....	40
Figura 33 Effect of Measurement Temperature on Apparent aging of poplar Hot-Gas Filtered Bio-Oil (Diebold and Czernik 1997) [13] .....	41
Figura 34: Viscosity and Molecular Weight after Aging of a Bio-Oil Made from Oak (data from Czernik et al. 1994) (Molecular weight by GPC with UV detector)[13] .....	41



Tabella 9: costo del bio-olio nei due periodi .....	96
Figura 81: punto di pareggio primi 8 anni.....	101
Tabella 12: valutazione del conto economico di un impianto termoelettrico (8-12anni) .....	102
Figura 82: punto di pareggio tra 8-12 anni .....	103
Figura 83: punto di pareggio dopo 8 anni.....	105
Tabella 15: analisi pirolizzatore da 5,27 MWth .....	106
Tabella 16: sviluppo futuro atteso .....	108
Tabella 17: valutazione futura del C.E. di un impianto termoelettrico.....	109

## *INDICE TABELLE*

Tabella 1: destinazione degli ettari totali .....	51
Tabella 2: destinazione degli ettari seminativi.....	51
Tabella 3: dati di progetto del pirolizzatore.....	56
Tabella 4: dati costo del lavoro .....	65
Tabella 5: valutazione economica di primo periodo.....	72
Tabella 6: valutazione economica di secondo periodo .....	73
Tabella 7: dati di progetto del pirolizzatore da 5,27 e 1,05 MWth .....	74
Tabella 8: analisi del costo di pirolisi (pirolizzatore da 5,27 e 1,05 MWth).....	74
Tabella 9: costo del bio-olio nei due periodi .....	96
Tabella 10: dati termoelettrico .....	97
Tabella 11: valutazione conto economico termoelettrico primi 8 anni.....	100
Tabella 12: valutazione del conto economico di un impianto termoelettrico (8- 12anni) .....	102
Tabella 13: valutazione conto economico termoelettrico dopo 12 anni .....	104
Tabella 14: Dati finali .....	106
Tabella 15: analisi pirolizzatore da 5,27 MWth .....	106
Tabella 16: sviluppo futuro atteso .....	108
Tabella 17: valutazione futura del C.E. di un impianto termoelettrico.....	109