

Università degli studi di Modena e Reggio Emilia

Sede di Reggio Emilia

---

**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

**Corso di Laurea Specialistica in INGEGNERIA GESTIONALE**

(Nuovo ordinamento didattico)

**VALUTAZIONE TECNICA ED ECONOMICA DEL  
PROGETTO DI RECUPERO ENERGETICO  
RELATIVO AD UNA CENTRALE DI  
COGENERAZIONE: IL CASO S.A.BA.R. S.p.A.**

**Relatore:**

**Dott. PIER PAOLO VERONI**

**Tesi di laurea di:**

**MARCO BOSELLI**

**Correlatore:**

**Dott. MIRCO MARASTONI**

---

Anno Accademico 2005 - 2006

---

---

**VALUTAZIONE TECNICA ED ECONOMICA  
DEL PROGETTO DI RECUPERO ENERGETICO  
RELATIVO AD UNA CENTRALE DI COGENERAZIONE:  
IL CASO S.A.BA.R. S.P.A.**

---

---

# INDICE

SOMMARIO	pag. 1
INTRODUZIONE	pag. 2
1. ANALISI TEORICA	pag. 4
1.1 Metodi per la valutazione degli investimenti	pag. 5
1.1.1 Valore Attuale Netto	pag. 6
1.1.2 Il tempo e la comparabilità dei flussi di cassa	pag. 7
1.1.3 Il costo opportunità del capitale e tasso di attualizzazione	pag. 8
1.1.4 Il calcolo del VAN	pag. 9
1.1.5 Indice di redditività	pag. 10
1.1.6 Tasso interno di rendimento (TIR)	pag. 11
1.1.7 Payback Period	pag. 12
1.2 La metodologia TRIZ	pag. 13
1.2.1 Mind Manager	pag. 14
1.3 Decreti legislativi relativi alla biomassa come fonte energetica	pag. 16
1.3.1 Articolo 208 del D.L. 03/04/06, n° 152 (carattere 14)	pag. 17
1.3.2 Articolo 216 del D.L. 03/04/06, n° 152	pag. 20
1.3.3 Articolo 4 dell'allegato 1 del D.L. 05/02/98, n° 22	pag. 24
1.3.4 Articolo 3 dell'allegato 2 del D.L. 05/02/98, n° 22	pag. 25
1.3.5 Articolo 4 dell'allegato 2 del D.L. 05/02/98, n° 22	pag. 26
1.3.6 Articolo 6 dell'allegato 2 del D.L. 05/02/98, n° 22	pag. 28

1.4	Produzione di energia da biomassa	pag. 30
1.4.1	Tecnologie per la produzione di energia elettrica da biomassa	pag. 30
1.4.2	La combustione della biomassa in pirolisi	pag. 34
1.4.3	Il software RET Screen International	pag. 36
1.4.4	Il software D.E.M.O.N.E.	pag. 39
1.5	Impianti a ciclo ORC	pag. 40
1.5.1	Tecnologia degli impianti a ciclo ORC	pag. 40
1.5.2	Stato dell'arte del ciclo ORC	pag. 42
1.6	Reflui da discarica	pag. 44
1.6.1	Percolato	pag. 45
1.6.2	Acque di lavaggio automezzi e di prima pioggia	pag. 47
2.	DESCRIZIONE DELL'AZIENDA E DEL PROBLEMA DA TRATTARE	pag. 48
2.1	Descrizione di S.A.Ba.R. S.p.A.	pag. 49
2.2	Descrizione del problema da trattare	pag. 52
2.3	Le possibili alternative	pag. 68
3.	IMPIANTO DI TRATTAMENTO DELLA BIOMASSA	pag. 70
3.1	Valorizzazione della biomassa da raccolta differenziata	pag. 71
3.2	Quantità di materiale verde e legnoso raccolto da S.A.BA.R.	pag. 73
3.3	Costo mancato per l'evitato smaltimento	pag. 75
3.4	Vendita del cippato essiccato in campo da S.A.BA.R.	pag. 77
3.5	Costruzione di un essiccatore per cippato legnoso	pag. 82
3.6	Costruzione di un impianto per la produzione del pellet	pag. 100

3.7	Fattori che influenzano la qualità del pellet	pag. 103
3.8	Prova di fabbricazione del pellet con il materiale di S.A.BA.R.	pag. 105
3.9	Conclusioni	pag. 108
4.	<b>IMPIANTO A CICLO ORC (22 pag)</b>	pag. 109
4.1	ORC a valle di una centrale di cogenerazione - Discarica di Casarota	pag. 110
4.2	Impianto ORC con i fumi della centrale di cogenerazione S.A.BA.R.	pag. 112
4.3	Impianto ORC con le biomasse raccolte da S.A.BA.R.	pag. 120
4.4	Impianto ORC con doppio input: calore dai fumi e dalle biomasse	pag. 124
4.5	Impianto ORC e rete di teleriscaldamento	pag. 129
4.6	Conclusioni	pag. 138
5.	<b>IMPIANTO DI TRATTAMENTO REFLUI DI DISCARICA</b>	pag. 140
5.1	Reflui presenti nella discarica di Novellara	pag. 141
5.2	Impianto evaporatore dei reflui da discarica	pag. 144
5.3	Prova effettuata sul percolato raccolto in S.A.BA.R.	pag. 149
5.4	Offerta per la costruzione dell'evaporatore	pag. 151
5.5	Costo mancato con l'impianto evaporatore	pag. 157
5.6	Offerta per la gestione dell'evaporatore	pag. 160
5.7	Ipotesi di saturazione impianti con reflui da terzi	pag. 166
5.8	Conclusioni	pag. 168
6.	<b>COSTRUZIONE DI UNA CENTRALE A BIOMASSA</b>	pag. 169
6.1	Energia da fonti rinnovabili in Italia	pag. 170
6.1.1	Produzione di energia rinnovabile in Italia	pag. 170
6.1.2	Produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile in Italia	pag. 171

6.2	Stima del PCI a disposizione con la biomassa raccolta	pag. 175
6.3	Energia termica ottenibile attraverso la combustione della biomassa	pag. 176
6.4	Progettazione di una centrale a biomassa	pag. 179
6.5	Ipotesi per una centrale a biomassa nel Comune di Novellara	pag. 182
6.6	Ipotesi per una centrale a biomassa nel Comune di Guastalla	pag. 189
6.7	Densità o massa volumica apparente del cippato	pag. 191
6.8	Emissioni della combustione della biomassa	pag. 194
6.8.1	Impatto ambientale di impianti funzionanti a biomassa	pag. 194
6.8.2	Limiti di emissioni per caldaie a biomassa	pag. 195
6.8.3	Confronto fra le emissioni di caldaie a diverso combustibile	pag. 197
6.9	Effetti degli inquinanti sulla salute umana	pag. 199
6.9.1	Monossido di carbonio (CO)	pag. 199
6.9.2	Ossidi di zolfo (SO <sub>x</sub> )	pag. 201
6.9.3	Ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> )	pag. 201
6.9.4	Polveri	pag. 202
6.9.5	Carbonio organico totale o volatile (COT o COV)	pag. 203
6.9.6	Diossina e furani	pag. 204
6.10	Conclusioni	pag. 205
	<b>CONCLUSIONI</b>	pag. 206
	<b>RINGRAZIAMENTI</b>	pag. 210
	<b>BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA</b>	pag. 212

# INDICE DELLE FIGURE E DELLE TABELLE

Figura 1 - Combustione del materiale legnoso	pag. 32
Figura 2 - Fasi per la generazione di energia termica da biomassa attraverso la combustione	pag. 33
Figura 3 - Step dell'analisi con il software RET Screen e strumenti ad integrazione	pag. 38
Figura 4 - Didascalia per i foglio elettronici di RET Screen	pag. 38
Figura 5 - Grafico T-S e schema di funzionamento del ciclo ORC	pag. 41
Figura 6 - Schema dell'impianto a ciclo ORC funzionante a biomassa proposto dalla TURBODEN S.r.l. di Brescia	pag. 43
Figura 7 - Impianto per la raccolta del percolato sul fondo della discarica	pag. 45
Figura 8 - Vasca di raccolta del percolato presso la discarica di Novellara	pag. 46
Figura 9 - Sulla sinistra s'intravede l'impianto di lavaggio degli automezzi transitati in discarica	pag. 47
Figura 10 - Localizzazione S.A.BA.R. al confine tra Novellara e Cadelbosco di Sotto	pag. 48
Figura 11 - Foto aerea della discarica di Novellara di proprietà della S.A.BA.R.	pag. 50
Figura 12 - Immagine della discarica di Novellara di proprietà della S.A.BA.R.	pag. 51
Figura 13 - Planimetria dell'attuale discarica di Novellara gestita da S.A.BA.R.	pag. 51
Figura 14 - Dati relativi alla composizione del biogas presenti in letteratura	pag. 52
Tabella 15 - Composizione del Biogas prodotto dalla discarica di proprietà della S.A.BA.R (valori medi relativi al 2005)	pag. 53
Figura 16 - Composizione del biogas nel tempo	pag. 54
Figura 17 - Quantità di rifiuti smaltiti nella discarica di Novellara	pag. 55
Figura 18 - Curva di produzione di biogas per tonnellata di rifiuto smaltito	pag. 56
Figura 19 - Fattore di conversione in CO <sub>2</sub> dei composti gassosi dettati dal Protocollo di Kyoto	pag. 56
Figura 20 - Grafico con energia elettrica prodotta e biogas recuperato in discarica	pag. 58
Figura 21 - Diagramma a blocchi dell'impianto di cogenerazione della S.A.BA.R.	pag. 59

Figura 22 - Schema dell'impianto di cogenerazione nel quale sono evidenziate con i (?) le fonti di calore da poter utilizzare	pag. 60
Figura 23 - Il risultato della cogenerazione dei motori GEJenbacher di S.A.BA.R., tolte le perdite, è energia elettrica ed energia termica	pag. 61
Figura 24 - Sequenza fotografica del sistema di produzione di energia della discarica di Novellara	pag. 62
Figura 25 - Immagine dei tre motori SINCRO 1.000 visti dall'esterno. Sulla sinistra si trovano le due torce	pag. 63
Figura 26 - Immagine dei postcombustori posizionati a valle di ogni motore SINCRO 1.000	pag. 64
Figura 27 - Forme di calore disponibili presso S.A.BA.R.	pag. 65
Figura 28 - Quantità di calore disponibili presso S.A.BA.R.	pag. 67
Figura 29 - Metodologia TRIZ attraverso l'utilizzo del software Mind Manager 6.0, adottata per la ricerca della soluzione ottimale	pag. 68
Figura 30 - Potature e legna	pag. 73
Figura 31 - Legna bianca	pag. 74
Tabella 32 - Quantità di materiale legnoso raccolto da S.A.BA.R. negli ultimi anni	pag. 74
Tabella 33 - Ricavo dovuto al costo mancato di smaltimento e trasporto del materiale legnoso	pag. 76
Tabella 34 - Ricavi e costo mancato dalla valorizzazione della biomassa essiccata in campo	pag. 78
Tabella 35 - Costi iniziali per la trasformazione e lo stoccaggio della biomassa cippata	pag. 79
Tabella 36 - Costi di gestione della filiera per essiccare il cippato in campo	pag. 79
Tabella 37 - Riassunto dei costi d'investimento iniziale, dei costi di gestione e dei ricavi per la filiera di essiccazione del cippato in campo	pag. 80
Tabella 38 - Andamento del VAN sui 10 anni per la filiera di essiccazione cippato in campo	pag. 81
Figura 39 - Andamento del VAN sui 10 anni per la filiera di essiccazione cippato in campo	pag. 81
Figura 40 - Esempio di biomassa derivante da diversi tipi di scarti vegetali, sottoforma di cippato	pag. 82
Figura 41 - Disegno e dimensioni dell'impianto essiccatore	pag. 85

Tabella 42 – Costi di urbanizzazione del terreno destinato all’impianto di essiccazione	pag. 86
Tabella 43 – Costo d’installazione di un impianto per l’essiccazione del cippato	pag. 87
Figura 44 – Immagine della cippatrice DW 2560 acquistata dalla S.A.BA.R.	pag. 89
Tabella 45 – Costi di gestione dell’impianto di essiccazione	pag. 89
Figura 46 – Layout dell’eventuale impianto di essiccazione e stoccaggio del cippato	pag. 92
Tabella 47 – Ricavi annuali generati dalla vendita del materiale essiccato a 50€/ton	pag. 95
Figura 48 – Riassunto dei costi, ricavi e utili dell’investimento dell’impianto essiccatore	pag. 96
Tabella 49 – Calcolo del ritorno economico, del VAN e del ROI sull’impianto essiccatore	pag. 96
Figura 50 – Calcolo del VAN e del PUNTO DI PAREGGIO sull’essiccatore con la vendita del cippato essiccato a 50 €/ton	pag. 97
Figura 51 – Ritorno economico dell’essiccatore con il cippato venduto a 40 €/ton	pag. 98
Figura 52 – Ritorno economico dell’essiccatore con il cippato venduto a 60 €/ton	pag. 98
Figura 53 – Immagine del pellet di prima qualità	pag. 100
Figura 54 – Impianto di pellettizzazione	pag. 102
Figura 55 – Pellets derivante dalle potature raccolte da S.A.BA.R.	pag. 105
Tabella 56 – Composizione del campione di pellet derivante dalla biomassa raccolta da S.A.BA.R.	pag. 106
Tabella 57 – Dati dell’impianto in fase di ampliamento a Terranova Bracciolini (AR)	pag. 110
Figura 58 – Schema di processo dell’impianto a ciclo ORC che verrà installato presso la discarica di CASAROTA (AR)	pag. 112
Figura 59 – Energia termica in uscita dalla centrale di cogenerazione sottoforma di fumi a 500°C	pag. 113
Tabella 60 – Riassunto ricavi generabili con un impianto a ciclo ORC da 300 kWe a valle della centrale di cogenerazione	pag. 115
Tabella 61 – Costo totale d’installazione dell’impianto a ciclo ORC da 300 kWe che genera e.e. attraverso il recupero di calore dalla centrale di cogenerazione esistente	pag. 116
Figura 62 – Costi di gestione annuali per l’impianto a ciclo ORC da 300 kWe funzionante con il calore, sottoforma di fumi, della centrale di cogenerazione	pag. 116

Figura 63 - Riassunto dell'investimento iniziale, i costi di gestione e i ricavi per l'impianto a ciclo ORC da 300 kW elettrici	pag. 118
Figura 64 - Valore Attuale Netto dell'investimento di un impianto a ciclo ORC da 300 kWe	pag. 118
Figura 65 - VAN e ROI anno per anno per l'investimento nell'impianto a ciclo ORC	pag. 119
Figura 66 - Bilancio energetico di un impianto a ciclo ORC per cogenerazione a BIOMASSA	pag. 120
Figura 67 - Grafico potere calorifico inferiore/umidità del legno	pag. 122
Tabella 68 - Calcolo dei ricavi generabili con la produzione di energia elettrica con un impianto a ciclo ORC funzionante a biomassa	pag. 123
Tabella 69 - Ricavi e costi mancati con impianto a ciclo ORC da 800 kWe e tecnologia HR che utilizza sia il calore dei fumi che quello della combustione della biomassa	pag. 125
Tabella 70 - Investimento per caldaia a biomassa, capannone per lo stoccaggio e impianto ORC da 800 kWe	pag. 126
Tabella 71 - Costi di gestione impianto completo	pag. 127
Tabella 72 - Riassunto costi d'installazione, di gestione e ricavi annuali per l'impianto ORC da 800 kWe	pag. 127
Tabella 73 - Ritorno economico e andamento del VAN per l'investimento per l'impianto ORC da 800 kWe	pag. 128
Figura 74 - Andamento del VAN e calcolo del PUNTO DI PAREGGIO per l'investimento sull'impianto a ciclo ORC da 800 kWe	pag. 128
Figura 75 - Distanza tra la zona destinata all'impianto in S.A.BA.R. e la CILA	pag. 130
Figura 76 - Distanza fra S.A.BA.R. e la più vicina zona industriale	pag. 131
Figura 77 - Distanza tra la S.A.BA.R. e la zona di ampliamento residenziale	pag. 132
Tabella 78 - Ricavi e costo mancato per un impianto a ciclo ORC da 700 kWe	pag. 133
Tabella 79 - Ricavo dalla vendita di calore alle utenze	pag. 134
Tabella 80 - Investimento per caldaia a biomassa, capannone per lo stoccaggio, impianto ORC da 800 kWe e rete di teleriscaldamento	pag. 135
Tabella 81 - Costi di gestione impianto completo	pag. 136
Tabella 82 - Riassunto costi d'installazione, di gestione e ricavi annuali	pag. 136
Tabella 83 - Ritorno economico e andamento del VAN per l'investimento	pag. 137

Figura 84	- Andamento del VAN e calcolo del PUNTO DI PAREGGIO per l'investimento	pag. 137
Tabella 85	- Produzione di percolato confrontato con le quantità di rifiuti smaltiti in discarica e percolato inviato a depurazione	pag. 141
Figura 86	- Curve di produzione degli inquinanti nel percolato negli anni	pag. 142
Tabella 87	- Dati relativi all'analisi della concentrazione di percolato nella vasca	pag. 142
Tabella 88	- Quantità di acque di prima pioggia e di lavaggio automezzi smaltiti	pag. 143
Figura 89	- Schema dell'impianto di trattamento reflui	pag. 145
Figura 90	- Evaporatore ECO 30.000 VS WW ad effetto multiplo ad acqua calda	pag. 146
Figura 91	- Schema evaporatore VS WW multistadio	pag. 147
Figura 92	- Ubicazione dell'eventuale impianto di trattamento dei reflui da discarica	pag. 148
Tabella 93	- Valori relativi alle analisi del percolato nelle diverse fasi del trattamento	pag. 150
Figura 94	- Immagine dell'impianto evaporatore ECO VS WW completo di torre evaporativa	pag. 152
Tabella 95	- Calcolo ore necessarie per la riduzione dei reflui della S.A.BA.R.	pag. 153
Tabella 96	- Preventivo per l'installazione dell'impianto per la riduzione di reflui da discarica	pag. 154
Tabella 97	- Costi di gestione dell'impianto di riduzione del percolato	pag. 154
Tabella 98	- Costi mancati con l'installazione dell'impianto di trattamento delle acque e del percolato	pag. 158
Tabella 99	- Riassunto dei costi di investimento e gestione dell'impianto e i ricavi	pag. 158
Tabella 100	- Ammontare del VAN e del ROI per i primi 10 anni	pag. 159
Tabella 101	- Grafico che riporta l'andamento del VAN per i primi 10 anni	pag. 159
Tabella 102	- Costi per la gestione dell'impianto di trattamento dei reflui da parte della ditta costruttrice	pag. 162
Tabella 103	- Riassunto costi, ricavi e utili generati dall'installazione dell'impianto di riduzione dei reflui gestito dalla ditta costruttrice	pag. 164
Tabella 104	- Calcolo del VAN su 8 anni per l'impianto evaporatore gestito dalla ditta costruttrice	pag. 164

Figura 105 - Grafico che riporta l'andamento del VAN per l'impianto di evaporazione gestito dalla ditta costruttrice	pag. 165
Tabella 106 - Ricavi generati dall'impianto di trattamento reflui trattando anche reflui di terzi	pag. 167
Figura 107 - Grafico dell'andamento del VAN importando parte dei reflui dall'esterno	pag. 167
Figura 108 - Il consumo energetico italiano del 2004 per fonti primarie	pag. 170
Tabella 109 - Utilizzo a fine energetico di biomasse relative al 2004 in Italia	pag. 171
Figura 110 - Andamento della produzione lorda da fonte rinnovabile in Italia dal 1994 al 2005 in GWh	pag. 172
Figura 111 - Dati sul numero di impianti e sulla produzione efficiente lorda di energia elettrica da fonte rinnovabile	pag. 173
Figura 112 - Produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile sul totale della produzione	pag. 174
Figura 113 - Calcolo dell'energia termica disponibile con l'essiccazione della biomassa in campo	pag. 177
Figura 114 - Calcolo dell'energia termica disponibile con l'essiccazione della biomassa in un essiccatoio che utilizza il calore della centrale di cogenerazione	pag. 178
Figura 115 - Impianto per la generazione di calore funzionante a biomassa	pag. 179
Figura 116 - Copertura della richiesta di calore con caldaia a biomassa	pag. 181
Figura 117 - Rete di teleriscaldamento a partire dalla zona cimiteriale nel Comune di Novellara	pag. 183
Figura 118 - Altra rete di teleriscaldamento a partire dalla zona cimiteriale nel Comune di Novellara	pag. 184
Figura 119 - Area di ampliamento della zona Sud di Novellara	pag. 186
Tabella 120 - Utile annuale per coprire i costi di gestione e ammortamento nella nuova zona di ampliamento a Novellara	pag. 187
Tabella 121 - Utile annuale per coprire i costi di gestione e ammortamento nella nuova zona di ampliamento a Novellara con la produzione contestuale di energia elettrica e termica	pag. 188
Figura 122 - Zona ipotizzata per la costruzione di una centrale a biomassa a Guastalla	pag. 189

Tabella 123 - Calcolo dei ricavi per l'installazione di una caldaia da 1 MWt a Guastalla	pag. 190
Figura 124 - Esempio di zona dedicata allo stoccaggio del cippato sotterranea	pag. 193
Tabella 125 - Limiti di emissioni per caldaie a biomassa previste dal D.L. del 5 Aprile 2006, n° 152	pag. 196
Figura 126 - Limiti di emissioni per caldaie a biomassa da raccolta differenziata previste dal D.L. del 11 Maggio 2005, n° 133	pag. 196
Figura 127 - Emissioni della combustione del legno poste a confronto agli altri due combustibili più diffusi	pag. 198
Figura 128 - Sintomi in conseguenza della % di CO nel sangue	pag. 200
Figura 129 - Riepilogo valutazioni economiche finali degli investimenti	pag. 207

# SOMMARIO

Il progetto aziendale da me svolto presso la sede di S.A.BA.R. S.p.A. di Novellara (RE) si conclude con la stesura di questa tesi. L'obiettivo di questo elaborato è duplice: studiare dal punto di vista tecnico ed economico le possibili alternative per recuperare il calore prodotto dalla centrale di cogenerazione a biogas da discarica e valorizzare la biomassa raccolta dall'azienda nei Comuni in cui svolge il servizio di raccolta differenziata dei rifiuti urbani.

Con questi semplici input, vale a dire calore sottoforma di fumi a 500°C, calore sottoforma di acqua a 75°C e biomassa legnosa, sono state affrontate le valutazioni delle diverse alternative per il loro utilizzo, in modo da trarne vantaggio sia dal punto di vista economico che da quello ambientale per l'intera comunità.

Le valutazioni hanno riguardato principalmente la possibilità d'installare un impianto a ciclo ORC (con turbina a fluido organico) per generare energia elettrica utilizzando il calore in uscita sottoforma di fumi dalla centrale di cogenerazione. Un'altra soluzione analizzata è stata quella di utilizzare questo calore in un essiccatoio per far diminuire il tenore di umidità all'interno della biomassa raccolta e trattarla in modo che possa essere considerata a tutti gli effetti una materia prima secondaria ed essere avviata alla combustione in centrali a biomassa.

Un'altra alternativa per il recupero di calore, sottoforma però di acqua calda, è l'installazione di un impianto evaporatore per trattare i reflui prodotti dalla discarica.

Nel corso dello studio partendo dalla valutazione di queste tre principali alternative, sono sorte delle varianti a questi progetti altrettanto percorribili, che consentono di valorizzare in modo diverso le risorse a disposizione.

Ogni alternativa è stata analizzata in ogni suo aspetto, mettendone in evidenza i vantaggi e gli aspetti negativi che ognuna di esse comporta. Alla fine è stato effettuato un confronto fra i progetti tenendo ben presente l'aspetto economico, ma non trascurando gli altri.

# INTRODUZIONE

Questo elaborato tratta la valutazione tecnica ed economica di progetti atti ad utilizzare il calore prodotto dalla centrale di cogenerazione a biogas da discarica presente a Novellara (RE) di proprietà della S.A.BA.R.

Un secondo obiettivo è invece quello di riuscire a valorizzare una risorsa che attualmente è destinata allo smaltimento: la biomassa legnosa raccolta dall'azienda negli 8 Comuni in cui l'azienda svolge il servizio.

Le valutazioni hanno riguardato progetti per il recupero del calore e la valorizzazione della biomassa, anche combinando insieme le due risorse a disposizione. Il confronto fra i diversi progetti è effettuato principalmente sull'aspetto economico, utilizzando il metodo del Valore Attuale Netto e del ritorno sull'investimento (ROI). Come, però, si noterà leggendo questo elaborato, la complessità e gli svariati temi e ambiti che i progetti vanno a toccare, non possono prescindere, nella loro valutazione complessiva, dal tenere presente tutti gli altri aspetti, specialmente la tematica ambientale.

Per la valorizzazione dei due input iniziali, sono state avanzate diverse ipotesi, avvalendosi della metodologia TRIZ, utilizzata per la risoluzione di problemi innovativi dove le variabili in gioco sono diverse. Questa metodologia consiste nel costruire un grafico ad albero su un foglio di carta o elettronico, e aggiungere nella fase iniziale di brainstorming tutte le possibili soluzioni senza scartarne, a priori, nessuna. Questo metodo consente di creare più facilmente le associazioni tra le risorse a disposizione e di valutare tutte le alternative possibili senza escluderne nessuna nella fase iniziale, poiché potrebbe scaturire da informazioni o pregiudizi errati.

Le soluzioni proposte inizialmente hanno poi subito nel corso dello studio modifiche e miglioramenti, fino ad aprire nuovi scenari per l'utilizzo delle risorse.

L'elaborato riporta nel capitolo iniziale l'Analisi teorica, dove sono riportate tutte le conoscenze e le fonti utilizzate per intraprendere nel migliore dei modi l'analisi e la valutazione delle diverse alternative. Segue a questo un capitolo dove è riportata una breve descrizione dell'azienda dove è stato svolto lo stage e i dati tecnici sui quali basare lo studio per analizzare le soluzioni del problema. Al termine di questo capitolo si trovano elencate tutte le possibili alternative per affrontare lo studio scaturite nella fase iniziale di brainstorming.

Il recupero di calore della centrale di cogenerazione prevede essenzialmente la possibilità di installare tre tipi di impianti completamente diversi:

1. Installazione di un impianto essiccatore per il trattamento della biomassa legnosa raccolta dall'azienda
2. Installazione di un impianto a fluido organico (ORC) per produrre un ulteriore quantitativo di energia elettrica utilizzando i fumi della centrale di cogenerazione
3. Installazione di un impianto evaporatore per il trattamento dei reflui da discarica, ovvero il percolato e le acque di lavaggio degli automezzi e di prima pioggia.

Questi tre argomenti sono trattati in modo dettagliato all'interno dell'elaborato e per ognuno di questi è dedicato un capitolo che evidenzia anche le alternative possibili all'idea di partenza.

Al termine di questi tre capitoli, è stato inserito un capitolo che tratta della possibilità di costruire una o più centrali a biomassa nei Comuni serviti da S.A.BA.R.. In questo ampio capitolo sono trattate, oltre alle ipotesi sulle potenzialità della biomassa raccolta, anche approfondimenti su altri aspetti riguardanti la biomassa, come il tema delle fonti rinnovabili sul territorio italiano, le emissioni prodotte dalle caldaie a biomassa e gli effetti sulla salute umana. Non è stato trascurato nessun aspetto riguardante l'ipotesi di installazione di una centrale a biomassa per poter conoscere i pregi e difetti di questo materiale utilizzato come combustibile.

Lo studio si conclude solo con qualche accenno a potenziali centrali funzionanti con il cippato di legno da installare nel territorio di competenza di S.A.BA.R., poiché le valutazioni dettagliate dei progetti proseguiranno dopo la chiusura di questa tesi, se le prove di combustione del materiale di S.A.BA.R. avranno esito positivo.

Al termine di ogni capitolo è riportata una conclusione sul singolo progetto e sulle sue possibili varianti. La valutazione finale e conclusiva è riportata al termine dell'elaborato. È da sottolineare che la scelta di intraprendere uno o l'altro investimento non è ancora stata effettuata dai vertici dell'azienda poiché mancano ancora alcuni dettagli per stabilire quale alternativa sia la migliore da perseguire. Sicuramente dopo questo elaborato, però, le idee, rispetto agli investimenti da effettuare, sono molto più chiare e si hanno a disposizione le informazioni necessarie per escludere o valorizzare i diversi progetti. Con questo documento si rendono noti gli aspetti positivi e negativi che comportano le alternative valutate.

CAPITOLO

1

---

---

ANALISI

TEORICA

---

---

## 1.1 METODI PER LA VALUTAZIONE DEGLI INVESTIMENTI\*

Le imprese spesso devono assumere decisioni che richiedono rilevanti impieghi di denaro in una fase iniziale e che producono conseguenze, dagli esiti più o meno incerti, per molti anni successivi al momento nel quale la decisione viene presa.

La bassa reversibilità delle cosiddette “decisioni di lungo periodo”, nient’altro esprime se non la difficoltà a interrompere, senza dovere sostenere ingenti perdite, progetti di durata pluriennale.

La caratteristica essenziale di un investimento è che oggi un impegno di risorse monetarie prospettando di generare in un futuro il denaro inizialmente investito più un rendimento sulla somma investita adeguata alla durata e al rischio dell’operazione.

L’analisi di decisioni che comportano investimenti differenziali di lungo periodo sono denominati “**Problemi di capital budgeting**” o anche “**Problemi di analisi degli investimenti**”.

Si tratta di trovare l’elenco di investimenti che l’azienda intende realizzare, ponendoli a confronto considerando tutti i costi e i ricavi differenziali nell’arco di tempo in cui si è deciso di fare la valutazione.

Un problema di investimento consiste nello stabilire se le entrate di cassa prospettate da un progetto siano abbastanza interessanti da giustificare il rischio costituito dall’investire risorse nel progetto. Naturalmente, in una buona analisi di un progetto non esiste solo l’aspetto economico, ma sono da prendere in considerazione tutti i possibili aspetti non monetari per effettuare una valutazione obiettiva e coerente in ogni aspetto.

\* Tratto da R. Anthony, D. Hawkins, D. Macri, K. Merchant, **SISTEMI DI CONTROLLO, ANALISI ECONOMICHE PER LE DECISIONI AZIENDALI**, McGraw-Hill

\* Tratto da R. Brealey, S. Myers, S. Sandri, **PRINCIPI DI FINANZA AZIENDALE**, McGraw-Hill

\* Tratto da A. Damodaran, **VALUTAZIONE DELLE AZIENDE**, Apogeo

Una valutazione su un progetto aziendale, però, non può non prescindere dalla sua fattibilità economica. Per elaborare una valutazione economica di un progetto esistono diversi metodi, più o meno validi:

- **Valore Attuale Netto (VAN)**
- **Tasso interno di Rendimento (TIR)**
- **Payback Period (Tempo di recupero)**

Ogni metodo sopra descritto sarà affrontato nel dettaglio per giustificare la scelta del metodo che sarà utilizzato nel corso di questo elaborato per la valutazione delle alternative.

### 1.1.1 VALORE ATTUALE NETTO (VAN)

Un investimento è un impiego di risorse monetarie dal quale si attendono benefici futuri, anch'essi monetari. Gli investimenti hanno a che fare con **flussi di cassa** (esborsi e incassi). Quando i flussi di cassa producono benefici su periodi pluriennali nasce il problema di rendere comparabili flussi di cassa distribuiti su archi temporali ampi. Il principio che sta alla base della considerazione appena fatta è che: **un euro oggi vale di più di un euro domani**. Attualizzare o scontare i flussi di cassa è la tecnica attraverso la quale si ottiene una tale comparabilità. I flussi finanziari, possono in tal modo essere sommati algebricamente. Il processo di attualizzazione riconosce il valore economico del tempo, cioè l'esistenza di opportunità alternative, prive di rischio, offerte dal mercato finanziario.

L'impiego di risorse monetarie in uno specifico progetto e non in altri, comporta, infatti, la rinuncia a un ritorno e, quindi il sostenimento di un costo opportunità sulla somma investita.

Il rendimento di investimenti comparabili si chiama **costo opportunità del capitale**.

Lo scopo di questa tecnica di analisi degli investimenti è quello di giudicare l'adeguatezza del ritorno economico generato da un investimento rispetto all'impegno iniziale di risorse monetarie. La misura dell'adeguatezza è il Valore Attuale Netto dell'investimento. Se il VAN è positivo allora l'investimento vale di più di quello che costa: genera cioè valore.

Per poter applicare questo metodo è necessario stimare:

1. La **vita economica** del progetto
2. L'ammontare dell'**investimento**
3. L'ammontare dei **flussi di cassa** per ciascun anno di vita del progetto
4. Il **tasso di attualizzazione**
5. Il **valore finale** del progetto

Questo metodo di valutazione è l'unico che esprime un giudizio sulla convenienza economica considerando compiutamente tutti e tre i fattori alla base delle **valutazioni economiche**:

1. L'entità dei flussi di cassa differenziali attesi
2. La loro distribuzione temporale
3. Il valore economico del tempo

## 1.1.2 IL TEMPO E LA COMPARABILITÀ DEI FLUSSI DI CASSA

La prima scelta da effettuare per stimare il Valore Attuale di un investimento negli anni è stabilire quale sia la durata dell'investimento o la sua **vita economica**. Di norma la vita economica è quell'arco di tempo che intercorre dall'esborso iniziale e il momento nel quale l'investimento rende disponibile l'ultimo dei suoi benefici. La lunghezza di questo periodo normalmente è finita, ma può anche essere indeterminata. Quest'ultima situazione si verifica quando un investimento modifica in maniera stabile l'assetto competitivo di un'impresa rendendo permanenti gli effetti generati. Investire per esempio nello sviluppo di un nuovo mercato o acquistare un'azienda determina conseguenze stabili sul posizionamento competitivo.

L'esborso iniziale e i flussi di cassa generati da un investimento non possono essere confrontati direttamente poiché hanno momenti di manifestazione differenti. Per rendere valido il confronto è necessario tenere conto della distribuzione temporale degli esborsi e degli incassi. Flussi di cassa distribuiti su ampi orizzonti temporali hanno un valore attuale differente

per il principio che “un euro oggi vale più di un euro domani”. Un euro disponibile oggi può infatti essere impiegato in un investimento sicuro e iniziare a generare un ritorno.

La ragion d’essere di questo principio della finanza è l’esistenza, sul mercato finanziario, di investimenti sicuri, cioè privi di rischio come ad esempio i Titoli di Stato.

### 1.1.3 IL COSTO OPPORTUNITÀ DEL CAPITALE E TASSO DI ATTUALIZZAZIONE

Per rendere comparabili i flussi di cassa che hanno manifestazione in momenti diversi è necessario introdurre il concetto di costo opportunità del capitale (Opportunity Cost of Capital).

Il costo opportunità del capitale è il rendimento che si otterrebbe investendo in un progetto alternativo nel mercato dei capitali avente lo stesso livello di rischio. Questo indice, indicato con “ $r$ ”, determina il **fattore di conversione** o **coefficiente di capitalizzazione** o **tasso di attualizzazione** o **tasso di sconto** nelle valutazioni degli investimenti.

Pertanto se l’investimento è privo di rischio, il costo opportunità è pari al rendimento che hanno i Titoli Statali su base annua, i **BOT**, o su base pluriennale, i **BTP** a 5 o 30 anni. A Gennaio 2007 si può affermare che si ha un costo opportunità del capitale annuale pari a circa **3,6%** e per un pluriennale da 5 anni del **4%**, mentre per un pluriennale da 30 anni, del **4,5%**.

Questi sono i valori che saranno utilizzati nella stima del VAN degli investimenti. In particolare sarà utilizzato un tasso di **attualizzazione dei flussi di cassa** su 10 ÷ 12 anni pari al **4%**.

## 1.1.4 IL CALCOLO DEL VAN

Una volta stabiliti i valori sopra riportati è possibile procedere con il calcolo del Valore Attuale Netto che stabilirà se il progetto crea, oppure distrugge valore. Se il valore del VAN è positivo allora si può concludere che il progetto vale più del suo costo, ovvero che il progetto genera valore per chi lo porrà in atto.

Per calcolare il VAN si utilizza l'attualizzazione dei flussi di cassa attraverso il tasso di attualizzazione scelto. Il processo di attualizzazione sposta "indietro nel tempo" i flussi di cassa futuri ipotizzati, trovando il corrispondente valore attuale. Mentre se i flussi di oggi sono spostati "avanti nel tempo" si determina il loro equivalente futuro, detto "montante".

Le equivalenze sono pertanto:

✓ **Valore attuale** = Valore futuro x coefficiente di attualizzazione  $[1/(1+r)]$

✓ **Montante** = Valore attuale x coefficiente di capitalizzazione  $[1+r]$

Il VAN di un investimento si ottiene pertanto attualizzando a uno stesso momento temporale, quello iniziale o momento zero, tutti i flussi di cassa che descrivono l'investimento, nel seguente modo:

$$\text{VAN} = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+r)^i}$$

dove:

**I<sub>0</sub>** = Investimento iniziale

**FC<sub>i</sub>** = Flusso di cassa del periodo i

**r** = costo opportunità del capitale

**n** = numero di anni sui quali è calcolato il ritorno sull'investimento

Il VAN misura operativamente il valore generato da un investimento. In altre parole esso è la metrica di valutazione degli investimenti. Se il VAN è positivo, allora il progetto genera valore; se è negativo, lo distrugge e non vale la pena di intraprendere l'investimento. La regola nel confronto e nella scelta dei progetti è quella di cercare di massimizzare il valore del VAN.

Se l'andamento del valore del VAN negli anni si riporta in un grafico, è immediato trovare anche il **PUNTO DI PAREGGIO** dell'investimento, ovvero l'arco di tempo che ti consente di rientrare interamente dell'investimento iniziale.

### 1.1.5 INDICE DI REDDITIVITÀ

Oltre ai problemi che nascono quando si intende valutare economicamente un singolo progetto o scegliere tra progetti alternativi (problemi di selezione), vi sono problemi di natura diversa che nascono quando si devono porre in ordine di preferenza una molteplicità di progetti di progetti non alternativi.

In un problema di selezione la questione è quella di giudicare o no adeguata una singola proposta di investimento, magari dopo averla confrontata con un'alternativa.

Una classificazione in base a un grado di preferenza di progetti tutti accettabili, è necessaria quando i progetti selezionati richiedono complessivamente risorse superiori a quelle disponibili. Poiché l'indice di redditività ha lo stesso segno del VAN, alcune imprese utilizzano questo indice per scegliere tra progetti alternativi.

I sistemi di valutazione delle prestazioni manageriali sono spesso orientati al breve termine e non prendono in considerazione i modelli di valutazione degli investimenti, bensì indicatori come il reddito o il ROI. All'assoluta superiorità concettuale del VAN non corrisponde nella prassi un successo altrettanto indiscutibile nei confronti dei metodi alternativi.

Nei problemi di preferenza o di razionamento delle risorse si devono classificare due o più proposte di investimento in base a un criterio di rilevanza.

L'**indice di redditività, ROI**, cioè il rapporto fra il valore attuale delle entrate di cassa generate dal progetto e l'esborso iniziale, è un modo per effettuare questo ordinamento.

$$\text{ROI complessivo} = \frac{\text{VAN}}{I_0}$$

$$\text{ROI annuale} = \frac{\text{ROI}}{n\_anni}$$

Questo indice, che può essere indicato come il **ritorno sull'investimento**, è un ottimo indicatore per stabilire la validità dell'investimento. Il ROI può essere considerato sia nell'arco temporale dell'intero progetto, sia annualmente per poter essere meglio confrontato con le altre alternative.

È importante sottolineare che i **fattori non monetari** possono essere più rilevanti di quelli monetari nella scelta di intraprendere o no un investimento. Nessuna analisi economica può da sola determinare la scelta.

## 1.1.6 TASSO INTERNO DI RENDIMENTO

Per calcolare il VAN è necessario avere preliminarmente scelto il tasso di sconto senza il quale non sarebbe possibile attualizzare i flussi di cassa. La scelta di questo tasso è spesso problematica. Per calcolare il **tasso interno di rendimento (TIR)** non è invece necessario conoscere il costo opportunità del capitale.

Con questo metodo si determina infatti quel particolare valore del tasso di sconto che rende il VA dei flussi di cassa generati dall'investimento pari all'esborso iniziale. Si determina dunque il valore del tasso di sconto che rende il VAN del progetto uguale a zero. Questo particolare valore viene denominato **TIR**. Il vantaggio di questo metodo è che il rendimento di un progetto di investimento viene espresso sottoforma di tasso di interesse.

Confrontandolo con il reale tasso di interesse è possibile vedere se il progetto creerà valore oppure no.

$$r \quad \text{tale che risulti} \quad \text{VAN} = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+r)^i} = 0$$

Il calcolo risulta molto complesso, poiché si tratta di trovare la radice di un polinomio di grado  $n$ . Per questo motivo, anche attraverso l'utilizzo di calcolatori, si procede per tentativi.

Concettualmente, questo metodo ha dei limiti rispetto a quello del VAN. In primo luogo il TIR non ha un significato economico semplice e non rappresenta, come spesso si crede, il rendimento ottenuto sull'investimento, cioè sull'esborso iniziale.

Dato che il TIR non mostra un vero e proprio significato economico conduce quasi naturalmente alla conclusione che non è possibile porre a confronto i valori dei TIR di due investimenti diversi per valutare quale dei due sia il più conveniente. Il TIR consente al massimo di valutare la convenienza economica di un singolo investimento.

## 1.1.7 PAYBACK PERIOD

Il metodo del tempo di recupero calcola un valore che esprime quanti periodi passeranno prima di recuperare l'investimento iniziale, prima cioè che il valore cumulato delle entrate di cassa sia pari all'esborso iniziale.

Questo metodo è usato spesso come criterio rapido, ma sommario, di valutazione di proposta di investimento. Se il periodo di recupero fosse uguale o appena più breve della vita economica del progetto, la proposta sarebbe chiaramente inaccettabile.

Questo metodo è rapido ed intuitivo, ma è necessario prestare attenzione ai suoi limiti:

- ✓ Non tiene conto della durata dei progetti, pertanto non è possibile prendere la decisione sulla base di questo metodo, poiché restituisce solo l'arco di tempo di rientro della somma investita.
- ✓ Non considera i flussi di cassa che hanno manifestazione dopo il *cutoff*
- ✓ Non tiene conto del valore economico del tempo

Una variante di questo metodo è quella che tiene conto dell'attualizzazione dei flussi di cassa, ma risulta meno immediato e restituisce un valore che è in grado di fornire, in forma più completa, anche il metodo del VAN.

## 1.2 LA METODOLOGIA TRIZ\*

**TRIZ** è l'acronimo del russo, “Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch”, traducibile in italiano come “Teoria per la Soluzione dei Problemi Inventivi”. È al tempo stesso un metodo euristico ed un insieme di strumenti sviluppati in Russia a partire dal 1946 da Genrich Saulovich Altshuller (1926-1998), con l'obiettivo di catturare il processo creativo in ambito tecnico e tecnologico, codificarlo e renderlo così ripetibile e applicabile: una vera e propria teoria dell'innovazione.

*“Una soluzione tradizionale prevede un compromesso, mentre una soluzione innovativa elimina la contraddizione”*. Su questa impalcatura concettuale Altshuller e collaboratori hanno costruito nel corso degli anni un insieme di strumenti per:

1. Analizzare un sistema tecnico ed estrarne un modello
2. Applicare al modello del problema i principi risolutivi più efficaci
3. Ricercare fra i modelli di soluzione conosciuti quelli più idonei per il problema analizzato.

La ricerca **TRIZ** ha mostrato che le innovazioni più rilevanti sono emerse da situazioni in cui l'inventore è riuscito ad evitare con successo i compromessi che convenzionalmente vengono accettati come inevitabili. Al contrario è proprio dall'individuazione e dal superamento delle contraddizioni che portano all'adozione di compromessi che emergono le soluzioni più innovative ed efficaci. **IFR** sta per “Ideal Final Result” ovvero il risultato finale ideale. Caratteristica peculiare della metodologia Triz è quella di immaginare la migliore delle soluzioni possibili come punto di partenza per il processo di risoluzione del problema, e da qui muoversi all'indietro verso soluzioni sempre meno ideali ma fattibili.

La filosofia che sta alla base di **TRIZ** consiste nel non tentare di risolvere un problema specifico semplicemente cercando una soluzione specifica ma piuttosto nel seguire un percorso di astrazione del problema.

\* Tratto da Corrado Di Nicola Ciaranca, **TRIZ, TEORIA PER LA RISOLUZIONE INVENTIVA DEI PROBLEMI**, Articolo del politecnico dell'innovazione di Milano 2006

Una volta generalizzato il problema è possibile sfruttare la conoscenza strutturata a disposizione della metodologia per identificare in maniera sistematica la soluzione generica e solo in questo momento tradurre in una soluzione specifica tale soluzione astratta.

La teoria TRIZ, più di qualsiasi metodo precedente, ha posto enfasi sul massimo impiego di tutto ciò che è interno al sistema. In termini TRIZ, “risorsa” è tutto ciò che all’interno del sistema non sia impiegato al massimo delle sue potenzialità: sostanze, interazioni funzionali, energia, tempo, spazio, informazione. Nell’analizzare un problema bisogna prendere in considerazione non solo il sistema ed i suoi componenti, ma anche il suo ambiente, il suo passato ed il suo futuro.

**Dall’originale contesto di applicazione, soprattutto problemi tecnici** in ambito chimico, metallurgico, tecnologico e ovviamente meccanico, la teoria TRIZ ha allargato il suo raggio d’azione a svariati campi della tecnica. I suoi concetti cardine vengono applicati anche a **problemi di natura gestionale**, di marketing e così via.

**In questa nuova veste TRIZ viene proposto alle imprese come strumento cardine per l’innovazione sistematica**, supportato anche dallo sviluppo di software appositamente realizzati per facilitare l’applicazione della metodologia nelle fasi di analisi e di miglioramento dei sistemi tecnici. Il software utilizzato nell’ambito della tesi presentata è **Mind Manager 6.0**.

## 1.2.1 MIND MANAGER\*

Mind Manager è un software che consente di visualizzare in modo conciso le note, le informazioni e le loro associazioni. Buzan Tony ha sviluppato programmi per rendere più efficiente l’abilità del cervello di creare associazioni. L’associazione svolge un ruolo dominante in quasi ogni funzione mentale. Ogni singola parola ed idea ha numerosi collegamenti che possono essere creati con altre idee e concetti.

\* Tratto dal sito <http://www.mindjet.com/eu/>

Per fare un Mind Map, si comincia nel centro della pagina e s'inizia a creare esternamente i rami dell'albero, come il metodo per elaborare una lista organizzata. Il Mind Map può essere aumentato con l'uso delle immagini, il colore, le figure, le icone, i codici, i modelli e i collegamenti con linee. Questa grande quantità di informazioni insieme alle loro associazioni può stimolare a generare delle nuove idee ed ulteriori associazioni, che precedentemente non si erano pensate. Questi attributi rendono Mind Maps uno strumento ideale quando si utilizza la metodologia TRIZ per la soluzione dei problemi innovativi.

Mind Maps può essere applicato utilmente in diverse fasi della definizione del problema, nella soluzione dei problemi e nelle fasi di valutazione della soluzione di un problema. Principalmente si utilizza per contribuire a definire un problema: si analizzano le risorse ed i vincoli, in seguito si crea una struttura durante il "brainstorming" delle soluzioni di problema. Un'applicazione tipica vede Mind Maps registrare le idee generate nelle sessioni di "brainstorming" connesse con l'esplorazione della contraddizione. Usando i rami principali per visualizzare il concetto di idea ed il ramo più basso per mostrare l'idea ed i ramoscelli all'esecuzione di esposizione, ci si può muovere facilmente fra gli strati gerarchici differenti di un problema e le relative possibilità della soluzione. Alla conclusione di una sessione tipica, il Mind Map è già fascicolato dalla zona o dal concetto, rendendo più facile elaborare una lista, così come fornire una base comune su cui tutti i partecipanti possono ragionare. Nella definizione del problema, un Mind Map può essere utilizzato cominciando dal centro con un sistema eccellente e andando verso l'esterno nello sviluppare i concetti e scendendo di livello creando un sottosistema. Mind Maps contribuisce così a mettere a fuoco su ogni parte del sistema e permette che un problema sia analizzato alla causa della radice.

Ci sono parecchi pacchetti di programmi, ma il metodo migliore è quello che utilizza grandi fogli di carta e le penne in mano a tutti i partecipanti. In questo modo si permette che tutti contribuiscano all'idea e si accerta che nessuno ritenga che la propria idea sia andata persa o sia stata scartata. Si viene a creare una struttura organizzata delle idee. Ogni articolo sul Mind Maps può trasformarsi nel centro di nuovo Mind Maps.

## 1.3 DECRETI LEGISLATIVI RELATIVI ALLA BIOMASSA COME FONTE ENERGETICA

Sono riportati i passi rilevanti delle normative in vigore che regolano e disciplinano il trattamento della biomassa a fini energetici.

La nuova normativa vigente, che è entrata in vigore sulla gestione dei rifiuti, in sostituzione del Decreto Ronchi del 1997, n° 22, è la normativa intitolata “**NORME IN MATERIA AMBIENTALE**”, Decreto Legislativo 3 Aprile 2006, n° 152, composto da 318 articoli e rispettivi allegati.

Sono riportati ora soltanto i passi delle normative che interessano il tema trattato, ovvero:

- *Articolo 208 del D.L. 3 Aprile 2006, n° 152: Autorizzazione unica per i nuovi impianti di smaltimento e di recupero dei rifiuti*
- *Articolo 216 del D.L. 3 Aprile 2006, n° 152: Operazioni di recupero*
- *Articolo 4 del D.L. 5 Febbraio 1998: Recupero energetico*
- *Articolo 3 dell'allegato 2 del 5 Febbraio 1998: Norme tecniche per l'utilizzazione dei rifiuti non pericolosi come combustibili - Scarti vegetali*
- *Articolo 4 dell'allegato 2 del 5 Febbraio 1998: Norme tecniche per l'utilizzazione dei rifiuti non pericolosi come combustibili - Rifiuti dalla lavorazione del legno e affini non trattati*
- *Articolo 6 dell'allegato 2 del 5 Febbraio 1998: Norme tecniche per l'utilizzazione dei rifiuti non pericolosi come combustibili - Rifiuti dalla lavorazione del legno e affini trattati*

### 1.3.1 ARTICOLO 208 DEL D.L. 03/04/06, N. 152

#### (AUTORIZZAZIONE UNICA PER I NUOVI IMPIANTI DI SMALTIMENTO E DI RECUPERO DEI RIFIUTI)

1. *I soggetti che intendono realizzare e gestire nuovi impianti di smaltimento o di recupero di rifiuti, anche pericolosi, devono presentare apposita domanda alla regione competente per territorio, allegando il progetto definitivo dell'impianto e la documentazione tecnica prevista per la realizzazione del progetto stesso dalle disposizioni vigenti in materia urbanistica, di tutela ambientale, di salute di sicurezza sul lavoro e di igiene pubblica. Ove l'impianto debba essere sottoposto alla procedura di valutazione di impatto ambientale ai sensi della normativa vigente, alla domanda e' altresì allegata la comunicazione del progetto all'autorità competente ai predetti fini; i termini di cui ai commi 3 e 8 restano sospesi fino all'acquisizione della pronuncia sulla compatibilità ambientale ai sensi della parte seconda del presente decreto.*
2. *Resta ferma l'applicazione della normativa nazionale di attuazione della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento, per gli impianti rientranti nel campo di applicazione della medesima, con particolare riferimento al decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59.*
3. *Entro trenta giorni dal ricevimento della domanda di cui al comma 1, la regione individua il responsabile del procedimento e convoca apposita conferenza di servizi cui partecipano i responsabili degli uffici regionali competenti e i rappresentanti delle Autorità d'ambito e degli enti locali interessati. Alla conferenza e' invitato a partecipare, con preavviso di almeno venti giorni, anche il richiedente l'autorizzazione o un suo rappresentante al fine di acquisire documenti, informazioni e chiarimenti. La documentazione di cui al comma 1 e' inviata ai componenti della conferenza di servizi almeno venti giorni prima della data fissata per la riunione; in caso di decisione a maggioranza, la delibera di adozione deve fornire una adeguata ed analitica motivazione rispetto alle opinioni dissenzianti espresse nel corso della conferenza.*
4. *Entro novanta giorni dalla sua convocazione, la Conferenza di servizi:*

- a) *procede alla valutazione dei progetti;*
  - b) *acquisisce e valuta tutti gli elementi relativi alla compatibilità del progetto con le esigenze ambientali e territoriali;*
  - c) *acquisisce, ove previsto dalla normativa vigente, la valutazione di compatibilità ambientale;*
  - d) *trasmette le proprie conclusioni con i relativi atti alla regione.*
5. *Per l'istruttoria tecnica della domanda le regioni possono avvalersi delle Agenzie regionali per la protezione dell'ambiente.*
6. *Entro trenta giorni dal ricevimento delle conclusioni della conferenza di servizi e sulla base delle risultanze della stessa, la regione, in caso di valutazione positiva, approva il progetto e autorizza la realizzazione e la gestione dell'impianto. L'approvazione sostituisce ad ogni effetto visti, pareri, autorizzazioni e concessioni di organi regionali, provinciali e comunali, costituisce, ove occorra, variante allo strumento urbanistico e comporta la dichiarazione di pubblica utilità, urgenza ed indifferibilità dei lavori.*
7. *Nel caso in cui il progetto riguardi aree vincolate ai sensi del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, si applicano le disposizioni dell'articolo 146 di tale decreto in materia di autorizzazione.*
8. *L'istruttoria si conclude entro **centocinquanta giorni** dalla presentazione della domanda di cui al comma 1 con il rilascio dell'autorizzazione unica o con il diniego motivato della stessa.*
9. *I termini di cui al comma 8 sono interrotti, per una sola volta, da eventuali richieste istruttorie fatte dal responsabile del procedimento al soggetto interessato e ricominciano a decorrere dal ricevimento degli elementi forniti dall'interessato.*
10. *Ove l'autorità competente non provveda a concludere il procedimento di rilascio dell'autorizzazione unica entro i termini previsti al comma 8, si applica il potere sostitutivo di cui all'articolo 5 del decreto legislativo 31 marzo 1998, n. 112.*

11. *L'autorizzazione individua le condizioni e le prescrizioni necessarie per garantire l'attuazione dei principi di cui all'articolo 178 e contiene almeno i seguenti elementi:*

- a) i tipi ed i quantitativi di rifiuti da smaltire o da recuperare;*
- b) i requisiti tecnici con particolare riferimento alla compatibilità del sito, alle attrezzature utilizzate, ai tipi ed ai quantitativi massimi di rifiuti ed alla conformità dell'impianto al progetto approvato;*
- c) le precauzioni da prendere in materia di sicurezza ed igiene ambientale;*
- d) la localizzazione dell'impianto da autorizzare;*
- e) il metodo di trattamento e di recupero;*
- f) le prescrizioni per le operazioni di messa in sicurezza, chiusura dell'impianto e ripristino del sito;*
- g) le garanzie finanziarie richieste, che devono essere prestate solo al momento dell'avvio effettivo dell'esercizio dell'impianto; a tal fine, le garanzie finanziarie per la gestione della discarica, anche per la fase successiva alla sua chiusura, dovranno essere prestate conformemente a quanto disposto dall'articolo 14 del decreto legislativo 13 gennaio 2003, n. 36;*
- h) la data di scadenza dell'autorizzazione, in conformità con quanto previsto al comma 12;*
- i) i limiti di emissione in atmosfera per i processi di trattamento termico dei rifiuti, anche accompagnati da recupero energetico.*

12. *L'autorizzazione di cui al comma 1 è concessa per un periodo di **dieci anni** ed è rinnovabile. A tale fine, almeno centottanta giorni prima della scadenza dell'autorizzazione, deve essere presentata apposita domanda alla regione che decide prima della scadenza dell'autorizzazione stessa. In ogni caso l'attività può essere proseguita fino alla decisione espressa, previa estensione delle garanzie finanziarie prestate.*

13. Quando, a seguito di controlli successivi all'avviamento degli impianti, questi non risultino conformi all'autorizzazione di cui al presente articolo, ovvero non siano soddisfatte le condizioni e le prescrizioni contenute nella stessa autorizzazione, quest'ultima è sospesa, previa diffida, per un periodo massimo di dodici mesi. Decorso tale termine senza che il titolare abbia adempiuto a quanto disposto nell'atto di diffida, l'autorizzazione è revocata.

[...]

## 1.3.2 ARTICOLO 216 DEL D.L. 03/05/06, N. 152

### (OPERAZIONI DI RECUPERO)

1. A condizione che siano rispettate le norme tecniche e le prescrizioni specifiche di cui all'articolo 214, commi 1, 2 e 3, l'esercizio delle operazioni di **recupero dei rifiuti** può essere intrapreso **decorsi novanta giorni dalla comunicazione** di inizio di attività alla competente Sezione Regionale dell'Albo, di cui all'articolo 212, che ne (la notizia alla provincia territorialmente competente, entro dieci giorni dal ricevimento della comunicazione stessa. [...]

2. Le condizioni e le norme tecniche di cui al comma 1, in relazione a ciascun tipo di attività, prevedono in particolare:

a) per i rifiuti non pericolosi:

- 1) le quantità massime impiegabili;
- 2) la provenienza, i tipi e le caratteristiche dei rifiuti utilizzabili nonché le condizioni specifiche alle quali le attività medesime sono sottoposte alla disciplina prevista dal presente articolo;
- 3) le prescrizioni necessarie per assicurare che, in relazione ai tipi o alle quantità dei rifiuti ed ai metodi di recupero, i rifiuti stessi siano recuperati senza pericolo

*per la salute dell'uomo e senza usare procedimenti o metodi che potrebbero recare pregiudizio all'ambiente;*

*[...]*

- 3. La sezione regionale dell'Albo iscrive in un apposito registro le imprese che effettuano la comunicazione di inizio di attività e, entro il termine di cui al comma 1, verifica d'ufficio la sussistenza dei presupposti e dei requisiti richiesti. A tal fine, alla comunicazione di inizio di attività, a firma del legale rappresentante dell'impresa, e' allegata una relazione dalla quale risulti:
  - a) il rispetto delle norme tecniche e delle condizioni specifiche di cui al comma 1;*
  - b) il possesso dei requisiti soggettivi richiesti per la gestione dei rifiuti;*
  - c) le attività di recupero che si intendono svolgere;*
  - d) lo stabilimento, la capacità di recupero e il ciclo di trattamento o di combustione nel quale i rifiuti stessi sono destinati ad essere recuperati, nonché l'utilizzo di eventuali impianti mobili;*
  - e) le caratteristiche merceologiche dei prodotti derivanti dai cicli di recupero.**
- 4. Qualora la competente Sezione regionale dell'Albo accerti il mancato rispetto delle norme tecniche e delle condizioni di cui al comma 1, la medesima sezione propone alla provincia di disporre, con provvedimento motivato, il divieto di inizio ovvero di prosecuzione dell'attività, salvo che l'interessato non provveda a conformare alla normativa vigente detta attività ed i suoi effetti entro il termine e secondo le prescrizioni stabiliti dall'amministrazione.*
- 5. La **comunicazione** di cui al comma 1 deve essere **rinnovata ogni cinque anni** e comunque in caso di modifica sostanziale delle operazioni di recupero.*
- 6. La procedura semplificata di cui al presente articolo sostituisce, limitatamente alle variazioni qualitative e quantitative delle emissioni determinate dai rifiuti individuati dalle norme tecniche di cui al comma 1 che già fissano i limiti di emissione in relazione alle*

*attività di recupero degli stessi, l'autorizzazione di cui all'articolo 269 in caso di modifica sostanziale dell'impianto.*

7. *Le **disposizioni semplificate** del presente articolo **non si applicano** alle attività di recupero dei rifiuti urbani, ad **eccezione**:*

*a) delle attività per il riciclaggio e per il **recupero di materia prima secondaria** e di produzione di compost di qualità dai rifiuti provenienti da raccolta differenziata;*

*b) delle attività di trattamento dei rifiuti urbani per ottenere combustibile da rifiuto effettuate nel rispetto delle norme tecniche di cui al comma 1.*

8. *Fermo restando il rispetto dei limiti di emissione in atmosfera di cui all'articolo 214, comma 4, lettera b), e dei limiti delle altre emissioni inquinanti stabilite da disposizioni vigenti e fatta salva l'osservanza degli altri vincoli a tutela dei profili sanitari e ambientali, entro sessanta giorni dalla data di entrata in vigore della parte quarta del presente decreto, il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio, di concerto con il Ministro delle attività produttive, determina modalità, condizioni e misure relative alla concessione di incentivi finanziari previsti da disposizioni legislative vigenti a favore dell'utilizzazione dei rifiuti come combustibile per produrre energia elettrica, tenuto anche conto del prevalente interesse pubblico al recupero energetico nelle centrali elettriche di rifiuti urbani sottoposti a preventive operazioni di trattamento finalizzate alla produzione di combustibile da rifiuti e nel rispetto di quanto previsto dalla direttiva 2001/77/CE del 27 settembre 2001 e dal relativo decreto legislativo di attuazione 29 dicembre 2003, n. 387.*

9. *Con apposite norme tecniche adottate ai sensi del comma 1, da pubblicare entro sessanta giorni dalla data di entrata in vigore della parte quarta del presente decreto, e' individuata una lista di rifiuti non pericolosi maggiormente utilizzati nei processi dei settori produttivi nell'osservanza dei seguenti criteri:*

*a) diffusione dell'impiego nel settore manifatturiero sulla base di dati di contabilità nazionale o di studi di settore o di programmi specifici di gestione dei rifiuti approvati ai sensi delle disposizioni di cui alla parte quarta del presente decreto;*

- b) utilizzazione coerente con le migliori tecniche disponibili senza pericolo per la salute dell'uomo e senza usare procedimenti o metodi che potrebbero recare pregiudizio all'ambiente;*
- c) impiego in impianti autorizzati.*
- 10. I rifiuti individuati ai sensi del comma 9 sono sottoposti unicamente alle disposizioni di cui agli articoli 188, comma 3, 189, 190 e 193 nonché alle relative norme sanzionatorie contenute nella parte quarta del presente decreto. Sulla base delle informazioni di cui all'articolo 189 il Catasto redige per ciascuna provincia un elenco degli impianti di cui al comma 9.*
- 11. Alle attività di cui al presente articolo si applicano integralmente le norme ordinarie per il recupero e lo smaltimento qualora i rifiuti non vengano destinati in modo effettivo ed oggettivo al recupero.*
- 12. Le condizioni e le norme tecniche relative ai rifiuti pericolosi di cui al comma 1 sono comunicate alla Commissione dell'Unione europea tre mesi prima della loro entrata in vigore.*
- 13. Le operazioni di messa in riserva dei rifiuti pericolosi individuati ai sensi del presente articolo sono sottoposte alle procedure semplificate di comunicazione di inizio di attività solo se effettuate presso l'impianto dove avvengono le operazioni di riciclaggio e di recupero previste ai punti da R1 a R9 dell'Allegato C alla parte quarta del presente decreto.*
- 14. Fatto salvo quanto previsto dal comma 13, le norme tecniche di cui ai commi 1, 2 e 3 stabiliscono le caratteristiche impiantistiche dei centri di messa in riserva di rifiuti non pericolosi non localizzati presso gli impianti dove sono effettuate le operazioni di riciclaggio e di recupero individuate ai punti da R1 a R9 dell'Allegato C alla parte quarta del presente decreto, nonché le modalità di stoccaggio e i termini massimi entro i quali i rifiuti devono essere avviati alle predette operazioni.*
- 15. Le comunicazioni già effettuate alla data di entrata in vigore della parte quarta del presente decreto ai sensi dell'articolo 33, comma 1, del decreto legislativo 5 febbraio*

1997, n. 22, e le conseguenti iscrizioni nei registri tenuti dalle Province restano valide ed efficaci fino alla scadenza di cui al comma 5 del medesimo articolo 33.

### 1.3.3 ARTICOLO 4 DELL'ALLEGATO 1 DEL D.L. 05/02/98

#### (RECUPERO ENERGETICO)

L'articolo 214 del D.L. 152 recita: *“Relativamente alle attività di recupero continuano ad applicarsi le disposizioni di cui ai decreti del Ministero dell'Ambiente 5 Febbraio 1998 e 12 Giugno 2002, n. 161”*. Sono quindi stati riportati i passi del Decreto del Ministero dell'ambiente 05/02/98 relative al recupero energetico ed alla combustione della biomassa.

1. *Le attività di recupero energetico individuate nell'allegato 2 devono garantire, al netto degli autoconsumi dell'impianto di recupero, la produzione di una quota minima di trasformazione del potere calorifico del rifiuto in **energia termica** pari al 75% su base annua oppure la produzione di una quota minima percentuale di trasformazione del potere calorifico dei rifiuti in **energia elettrica** determinata su base annua secondo la seguente **formula**:*

$$\%_{e.e.} = 16 + \frac{\text{Potenza\_elettrica\_}(espressa\_in\_MW)}{5}$$

2. *La formula di calcolo di cui al comma 1 non si applica quando la quota minima di trasformazione del potere calorifico dei rifiuti in **energia elettrica** assicurata dall'impianto di recupero è superiore al 27% su base annua.*
3. *Qualora la quota minima percentuale di trasformazione del potere calorifico dei rifiuti in energia elettrica, calcolata ai sensi del comma 1, non sia raggiunta, l'utilizzo di rifiuti*

*in schemi cogenerativi per la produzione combinata di energia elettrica e calore deve garantire una quota di trasformazione complessiva del potere calorifico del rifiuto, in energia termica ed in energia elettrica, non inferiore al 65% su base annua.*

### 1.3.4 ARTICOLO 3 DELL'ALLEGATO 2 DEL D.L. 05/02/98

#### (SCARTI VEGETALI)

##### **3. Tipologia:** *scarti vegetali*

**3.1 Provenienza:** *attività agricole, forestali e di prima lavorazione di prodotti agroalimentari, impianti di estrazione di olio di vinaccioli, industria distillatoria, industria enologica e ortofrutticola, produzione di succhi di frutta e affini, industria olearia.*

**3.2 Caratteristiche del rifiuto:** *residui colturali pagliosi (cereali, leguminose da granella piante oleaginose, ecc.); residui colturali legnosi (sarmenti di vite, residui di potature di piante da frutto, ecc.); residui da estrazione forestale; residui-colturali diversi ( stocchi e tutoli di mais, steli di sorgo, di tabacco, di girasole, di canapa, di cisto, ecc.); residui di lavorazione (pula, lolla, residui fini di trebbiatura, gusci, ecc.), sanse esauste, vinacce esauste, vinaccioli, farina di vinaccioli, residui di frutta, buccette e altri residui vegetali.*

**3.3 Attività e metodi di recupero:** *il recupero energetico del rifiuto di cui al punto 3 può essere effettuato attraverso la combustione alle seguenti condizioni:*

- *Impianti dedicati al recupero energetico di rifiuti o impianti industriali*

*Detti impianti devono essere provvisti di:*

- ↳ *Bruciatore a pilota a combustibile gassoso o liquido (non richiesto nei forni industriali)*
- ↳ *Alimentazione automatica del combustibile*
- ↳ *Regolazione automatica del rapporto aria/combustibile anche nelle fasi di avviamento (non richiesto nei forni industriali)*
- ↳ *Controllo in continuo del monossido di carbonio, dell'ossigeno e della temperatura nell'effluente gassoso (non obbligatorio per gli impianti di potenza termica nominale inferiore ad 1 MW)*

- ↪ *Negli impianti oltre i 6 MW, controllo in continuo anche degli ossidi di azoto e degli altri inquinanti di cui al suballegato 2, paragrafo 1.1, lettera a), ad esclusione del fluoruro di idrogeno.*
- ↪ *Per le emissioni devono essere rispettati i valori limite di emissioni fissati nel suballegato 2 del presente allegato e i seguenti limiti con un tenore di ossigeno nei fumi anidri dell'11% in volume:*
  - *NO<sub>x</sub> (come valore giornaliero): 200 mg/Nm<sup>3</sup>*
  - *NO<sub>x</sub> (come valore medio orario) ove non previsto il controllo in continuo: 400 mg/Nm<sup>3</sup>*
- ↪ *Per gli impianti con potenza tecnica nominale inferiore a 1 MW il limite di emissione delle **polveri** è di **50 mg/Nm<sup>3</sup>** e il limite di emissione di **CO** è di **100 mg/Nm<sup>3</sup>** come valori medi giornalieri. Per le attività stagionali di durata non superiore a 120 giorni il limite alle emissioni di **CO** è di **300 mg/Nm<sup>3</sup>***
- ↪ *Nel caso di impiego simultaneo in **impianti industriali** con combustibili autorizzati, il **calore prodotto** dal rifiuto **non deve eccedere il 60%** del calore totale prodotto dall'impianto in qualsiasi fase di funzionamento.*
- ↪ *I valori limite di emissione da applicare all'impianto devono essere calcolati come indicato nel suballegato 3 dell'allegato 2.*

### 1.3.5 ARTICOLO 4 DELL'ALLEGATO 2 DEL D.L. 05/02/98

**(RIFIUTI DELLA LAVORAZIONE DEL LEGNO E AFFINI NON TRATTATI)**

**4. Tipologia:** *Rifiuti della lavorazione del legno e affini non trattati*

**4.1 Provenienza:** *industria della carta, del sughero e del legno (I e II lavorazione, produzione pannelli di particelle, di fibra e compensati, mobili, semilavorati per il mobile, articoli per l'edilizia, pallet ed imballaggi, ecc.)*

**4.2 Caratteristiche del rifiuto:** *scarti anche in polvere a base esclusivamente di legno vergine o sughero vergine o componenti di legno vergine.*

**4.3 Attività e metodi di recupero:** *il recupero energetico del rifiuto di cui al punto 4 può essere effettuato attraverso la combustione alle seguenti condizioni:*

- *Impianti dedicati al recupero energetico di rifiuti o impianti industriali*

*Detti impianti devono essere provvisti di:*

- ↪ *Bruciatore a pilota a combustibile gassoso o liquido (non richiesto nei forni industriali)*
- ↪ *Alimentazione automatica del combustibile*
- ↪ *Regolazione automatica del rapporto aria/combustibile anche nelle fasi di avviamento (non richiesto nei forni industriali)*
- ↪ *Controllo in continuo del monossido di carbonio, dell'ossigeno e della temperatura nell'effluente gassoso (non obbligatorio per gli impianti di potenza termica nominale inferiore ad 1 MW)*
- ↪ *Negli impianti oltre i 6 MW, controllo in continuo anche degli ossidi di azoto e degli altri inquinanti di cui al suballegato 2, paragrafo 1.1, lettera a), ad esclusione del fluoruro di idrogeno.*
- ↪ *Per le emissioni devono essere rispettati i valori limite di emissioni fissati nel suballegato 2 del presente allegato e i seguenti limiti con un tenore di ossigeno nei fumi anidri dell'11% in volume:*
  - *NO<sub>x</sub> (come valore giornaliero): 200 mg/Nm<sup>3</sup>*
  - *NO<sub>x</sub> (come valore medio orario) ove non previsto il controllo in continuo: 400 mg/Nm<sup>3</sup>*
- ↪ *Per gli impianti con potenza termica nominale inferiore a 1 MW il limite di emissione delle polveri è di 50 mg/Nm<sup>3</sup> e il limite di emissione di CO è di 100 mg/Nm<sup>3</sup> come valori medi giornalieri.*
- ↪ *Nel caso di impiego simultaneo in **impianti industriali** con combustibili autorizzati, il **calore prodotto** dal rifiuto **non deve eccedere il 60%** del calore totale prodotto dall'impianto in qualsiasi fase di funzionamento.*
- ↪ *I valori **limite di emissione** da applicare all'impianto devono essere calcolati come indicato nel **suballegato 3 dell'allegato 2.***

## 1.3.6 ARTICOLO 6 DELL'ALLEGATO 2 DEL D.L. 05/02/98

### (RIFIUTI DELLA LAVORAZIONE DEL LEGNO E AFFINI TRATTATI)

**6. Tipologia:** *Rifiuti della lavorazione del legno e affini trattati*

**6.1 Provenienza:** *industria del legno (I e II lavorazione, produzione pannelli di particelle, di fibra e compensati, mobili, semilavorati per il mobile, articoli per l'edilizia, ecc.)*

**6.2 Caratteristiche del rifiuto:** *scarti e agglomerati anche in polvere a base esclusivamente legnosa e vegetale contenenti un massimo di resine fenoliche dell'1% e privi di impregnanti a base di olio di catrame o Sali CCA, aventi inoltre le seguenti caratteristiche:*

- *Un contenuto massimo di resine urea-formaldeide o melanina-formaldeide o urea-melanina-formaldeide del 20% (come massa secca/massa secca di pannello)*
- *Un contenuto massimo di resina a base di difenilmetandiisocianato dell'8% (massa secca /massa secca di pannello)*
- *Un contenuto massimo di Cloro dello 0,9% in massa*
- *Un contenuto massimo di additivi (solfato di ammonio, urea esametilentetrammina) del 10% (come massa secca/massa secca di resina)*

**6.3 Attività e metodi di recupero:** *il recupero energetico del rifiuto di cui al punto 6 può essere effettuato attraverso la combustione alle seguenti condizioni:*

- *Impianti dedicati al recupero energetico di rifiuti o impianti industriali di potenza termica nominale non inferiore a 1 MW.*

*Detti impianti devono essere provvisti di:*

- ↪ *Bruciatore a pilota a combustibile gassoso o liquido (non richiesto nei forni industriali)*
- ↪ *Alimentazione automatica del combustibile*
- ↪ *Regolazione automatica del rapporto aria/combustibile anche nelle fasi di avviamento (non richiesto nei forni industriali)*
- ↪ *Controllo in continuo del monossido di carbonio, dell'ossigeno e della temperatura nell'effluente gassoso (non obbligatorio per gli impianti di potenza termica nominale inferiore ad 1 MW)*

- ↪ Negli impianti oltre i 6 MW, controllo in continuo anche degli ossidi di azoto e degli altri inquinanti di cui al suballegato 2, paragrafo 1.1, lettera a), ad esclusione del fluoruro di idrogeno.
- ↪ Per le emissioni devono essere rispettati i valori limite di emissioni fissati nel suballegato 2 del presente allegato e i seguenti limiti con un tenore di ossigeno nei fumi anidri dell'11% in volume:
- **NO<sub>x</sub>** (come valore giornaliero): **200 mg/Nm<sup>3</sup>**
  - **NO<sub>x</sub>** (come valore medio orario) ove non previsto il controllo in continuo: **400 mg/Nm<sup>3</sup>**
  - **PCDD+PCDF**, come diossina equivalente (come valore medio di campionamento su 8 ore): **0,1 ng/Nm<sup>3</sup>**
  - **IPA, idrocarburi policiclici aromatici** (come valore medio di campionamento su 8 ore): **0,01 mg/Nm<sup>3</sup>**
  - Per altri inquinanti si applicano i **valori limite di emissione** fissati nel **suballegato 2 dell'allegato 2**
- ↪ Nel caso di impiego simultaneo in **impianti industriali** con combustibili autorizzati, il **calore prodotto** dal rifiuto non deve eccedere il **60%** del calore totale prodotto dall'impianto in qualsiasi fase di funzionamento.

## 1.4 PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSA

### 1.4.1 TECNOLOGIE PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSA\*

La possibilità di generare energia da biomassa passa attraverso diversi processi di lavorazione del materiale legnoso. Attualmente sono attivi studi su accorgimenti che consentono di aumentare il rendimento del processo di ottenimento di energia elettrica e termica dalla combustione della biomassa.

Sono tre le possibilità di trarre vantaggio dalla combustione della biomassa:

- |   |   |                      |   |                       |
|---|---|----------------------|---|-----------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ENERGIA TERMICA</li> <li>2. ENERGIA ELETTRICA</li> <li>3. REFRIGERAZIONE</li> </ol> | } | <b>COGENERAZIONE</b> | } | <b>TRIGENERAZIONE</b> |
|---|---|----------------------|---|-----------------------|

Quando sono abbinate le prime due, si tratta di **COGENERAZIONE**, mentre se si associa a queste anche la terza si tratta di **TRIGENERAZIONE**.

\* Tratto da Energia Lab, Doria, Forni, Andreatta, Puglioli, PRODUZIONE ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI - BIOMASSA, Articolo 2006

\* Tratto da G. Manfreda, GASSIFICAZIONE, Articolo 2006

\* Tratto da ENI Scuola, BIOMASSA

I materiali classificati come biomassa sono:

- ↪ Legna, potature, residui forestali
- ↪ Segatura, trucioli...
- ↪ Residui agricoli, paglia, lolla, pula, gusci, noccioli...

I metodi per ottenere energia della biomassa sono principalmente quattro:

- ⇒ **COFIRING:** si usa biomassa per ottimizzare le caldaie a carbone. La **biomassa** è miscelata al **carbone** fino al **20%**. Si osserva così una riduzione nelle emissioni di anidride solforosa e carbonica.
  
- ⇒ **PIROLISI:** **degradazione** termica di sostanze organiche in totale **assenza di ossigeno** a temperature comprese tra **400 e 800°C**. Si ottiene carbone vegetale (**CHAR**, combustibile), olio pirolitico (per motori a combustione interna) e gas ricco di idrocarburi (alimentazione pirolisi). A seconda soprattutto della rapidità del processo é possibile spostare il risultato della reazione verso le frazioni più leggere (liquidi e gas; pirolisi veloce) o pesanti (char e liquidi: pirolisi lenta).
  
- ⇒ **GASSIFICAZIONE:** **ossidazione incompleta** di combustibili solidi o liquidi per ottenere gas utili come combustibili o come materia prima ( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ , gasogeno). Il processo avviene a temperature intorno ai **1.000°C**. I gas da gassificazione possono muovere turbine per la produzione di energia elettrica, anche se il potere calorifico inferiore non è molto elevato (**4.000 ÷ 14.000 kJ/Nm<sup>3</sup>**). La gassificazione non produce ceneri o scorie,

ma per possibili impurità del gas potrebbe emettere metalli pesanti, polveri e catrami.

⇒ **COMBUSTIONE:** reazione di un combustibile con un comburente (ossigeno) che libera **energia termica**. Le caldaie sono alimentate a cippato o a pellet. Esistono tre tecnologie per ottenere energia dalla combustione:

- Combustore a griglia
- Caldaia a letto fluido circolante
- Caldaia a letto fluido bollente



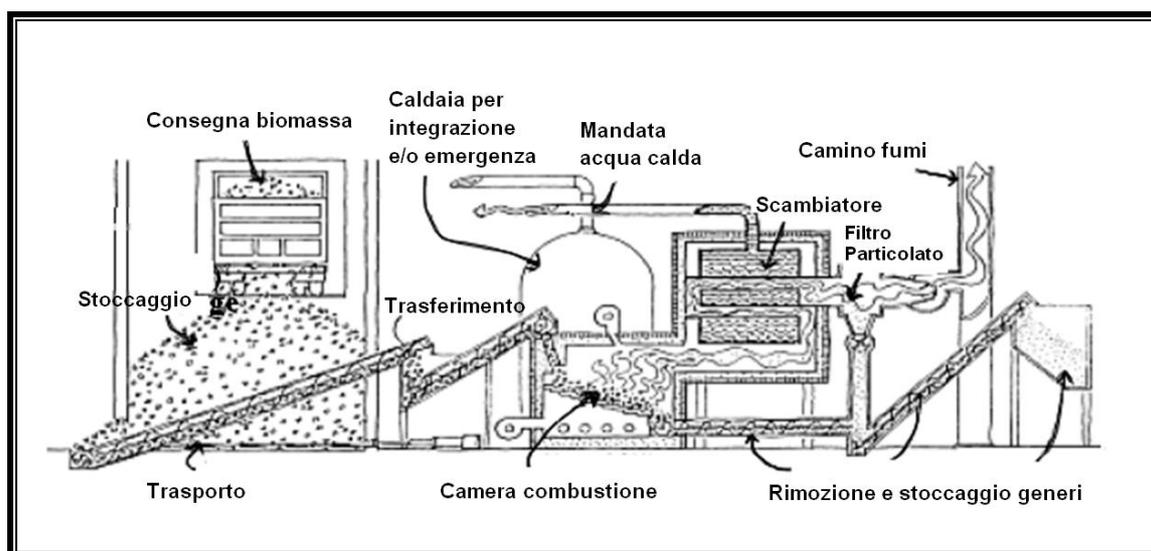
*Figura 1 - Combustione del materiale legnoso*

Nella produzione di energia termica da biomassa, l'apporto di gran lunga più importante proviene dall'utilizzo della **legna da ardere** nelle **abitazioni** (oltre 46.000 TJ nel 2003 [Fonte ITABIA]) e nelle **industrie** (quasi 40.000 TJ), mentre si stima una produzione con impianti a **cogenerazione** di quasi 13.000 TJ; più limitata la produzione di calore da impianti di **teleriscaldamento** (circa 1.200 TJ).

Nel settore industriale sono presenti numerosi impianti di combustione diretta delle biomassa di tipo agro-forestale o agro-industriale, dei RSU differenziati o dei rifiuti industriali. Tali applicazioni consentono la produzione di calore utilizzato per il ciclo produttivo o di cogenerazione.

L'impianto per la produzione di **ENERGIA TERMICA**\* da combustione della biomassa è costituito dalle sezioni:

- ✓ **Silos di stoccaggio delle biomasse**, che può avere dimensioni tali da garantire la fornitura del combustibile per alcuni giorni o per periodi molto più lunghi (anche alcuni mesi) nel caso si trattino biomasse a carattere stagionale;
- ✓ Eventuale **impianto di pretrattamento** consistente nella **riduzione della pezzatura** e dell'**umidità** della biomassa;
- ✓ **Linea di alimentazione** dotata degli opportuni controlli di flusso;
- ✓ **Combustore**;
- ✓ **Sistema di recupero energetico**, mediante sistemi a tubi di fumo o a tubi di acqua;
- ✓ **Elettrofiltro** per bloccare le emissioni di polveri sottili.



*Figura 2 - Fasi per la generazione di energia termica da biomassa attraverso la combustione*

\* Tratto da Ret Screen International, ANALISI PROGETTI DI RISCALDAMENTO A BIOMASSA, Articolo e presentazione al programma di Ret Screen sulla valutazione degli impianti a biomassa

## 1.4.2 LA COMBUSTIONE DELLA BIOMASSA IN PIROLISI\*

Il processo più innovativo e promettente per ottenere **energia elettrica** e/o **termica** da biomassa sia per quanto riguarda l'**efficienza** che per quanto riguarda l'**impatto ambientale**, ad oggi, è la cosiddetta combustione in “**PIROLISI**”.

Il processo di gassificazione e combustione del legno avviene essenzialmente in tre stadi, funzione della temperatura del processo:

1. Essiccazione
2. Gassificazione/Pirolisi
3. Combustione

### 1. ESSICCAZIONE

L'acqua contenuta nel legno inizia a evaporare già a temperature inferiori ai 100°C. Essendo l'evaporazione un processo che usa l'energia rilasciata dal processo di combustione, abbassa la temperatura in camera di combustione, rallentando il processo di combustione. Nelle caldaie a pezzi di legna, ad esempio, è stato rilevato che il processo di combustione non può essere mantenuto se il legno ha un contenuto idrico (w%) superiore al 60%. Infatti, il legno “fresco” richiede un tale quantitativo di energia per far evaporare l'acqua in esso contenuta che porta la temperatura della camera di combustione al di sotto del livello minimo richiesto per sostenere la combustione.

Perciò, il **contenuto idrico del legno** è uno dei parametri qualitativi più importanti dei combustibili legnosi. Oltre alla combustione, il contenuto idrico del legno influenza la temperatura adiabatica della combustione e il volume dei gas prodotti per unità di energia. Il legno umido ha bisogno di un maggiore periodo di permanenza durante il processo di essiccazione, prima delle due fasi successive di pirolisi/gassificazione e combustione, questo significa che è necessaria una camera di combustione più grande.

\* Tratto da W. Francescano (AIEL), **TECNOLOGIE PER LA CONVERSIONE ENERGETICA DEL LEGNO**, articolo 2006

Quindi la conoscenza del contenuto idrico del legno combustibile in ingresso al focolare è fondamentale per una corretta regolazione dei sistemi di aria forzata che agiscono nella camera di combustione e per una corretta progettazione dei volumi e della geometria della caldaia che assicuri un sufficiente periodo di permanenza dei gas nella calda camera di combustione per una loro completa combustione.

## **2. DEGRADAZIONE TERMICA (PIROLISI/GASSIFICAZIONE)**

Dopo il processo di essiccazione, a partire da una temperatura di **200°C circa**, il legno è sottoposto ad una fase di degradazione termica che porta all'evaporazione della sua componente volatile.

Questa componente rappresenta in termini ponderali oltre il **75% del legno**, perciò si può dire che la sua combustione significa principalmente la combustione dei gas che lo compongono. La velocità di evaporazione dei gas aumenta con l'aumentare della temperatura. I primi componenti del legno ad essere degradati sono le emicellulose e successivamente la cellulosa. I legni duri (faggio, robinia) contengono più emicellulose rispetto ai legni teneri (abeti) quindi la perdita di peso che avviene durante la fase di decomposizione del legno dei primi è più precoce e accentuata rispetto ai secondi.

A **400°C**, la maggior parte delle sostanze volatili sono state liberate e il processo evaporativo decresce rapidamente. Tuttavia, una certa perdita di peso del legno si ha ancora tra i 400 e i 500°C dovuto alla degradazione della lignina, la quale si decompone durante tutto il processo di evaporazione ma la maggior parte della sua degradazione avviene alle più alte temperature

## **3. COMBUSTIONE**

Consiste nella completa ossidazione dei gas, una fase che inizia tra i **500** e i **600°C** e si protrae fino ai **1000°C** circa. Nel range 800-900°C il carbone solido è combusto e con lui anche il catrame.

La mancanza di adeguate condizioni causa la combustione incompleta del legno e quindi aumentano le emissioni nocive. La combustione incompleta è causata principalmente dalle seguenti condizioni negative:

- ✓ Inadeguata mescolanza tra aria e combustibile nella camera di combustione,
- ✓ Una carenza complessiva di ossigeno disponibile
- ✓ Temperatura di combustione troppo bassa
- ✓ Tempi di permanenza troppo corti

La **regola delle 3 T** sintetizza le tre variabili da controllare in ambiente di combustione: **Tempo, Temperatura e Turbolenza.**

### 1.4.3 IL SOFTWARE RET SCREEN® INTERNATIONAL\*

Il centro di supporto decisionale internazionale per le energie pulite, **RET Screen®**, istituito dal Governo Canadese, cerca di migliorare la capacità di progettisti, responsabili delle decisioni ed industrie, nell'implementazione di progetti con energie rinnovabili e di risparmio energetico. Tale obiettivo viene perseguito attraverso:

- ✓ Lo sviluppo di software decisionale (Software RETScreen®) per ridurre i costi di studi di prefattibilità;
- ✓ Divulgazione informativa al fine di aiutare gli operatori nelle loro decisioni;
- ✓ Formazione degli operatori per una migliore analisi di fattibilità tecnico-economica dei progetti.

\* Tratto da Ret Screen International, ANALISI PROGETTI CON ENERGIE PULITE - SOFTWARE RET SCREEN® INTERNATIONAL, Presentazione al programma di Ret Screen

Il software RET Screen® International per l'analisi di progetti con energie pulite è uno strumento unico sviluppato grazie al contributo di numerosi esperti istituzionali, industriali ed accademici. Il software, fornito gratuitamente, può essere utilizzato in tutto il mondo per valutare la produzione ed il risparmio di energia, i costi gestionali, la riduzione delle emissioni, gli aspetti finanziari ed i rischi di vari tipi di tecnologie efficienti e rinnovabili (RET). Il software comprende anche database prodotti, costi e dati climatici, nonché un dettagliato manuale utente. Altri strumenti comprendono: casi studio basati su corsi di formazione accademici; testo d'ingegneria elettronico e il sito internet. Tutti questi strumenti sono disponibili gratuitamente in inglese e francese.

RETScreen® International è gestito e finanziato da Natural Resources Canada (NRCan), CANMET Energy Technology Centre - Varennes (CETC-Varennes).

Il software RET Screen® è un file excel in cui sono state impostate più pagine di calcolo per effettuare tutte le valutazioni nell'utilizzo delle fonti rinnovabili. I passaggi da seguire per elaborare un'analisi completa delle potenzialità del sistema di produzione di energia, sono principalmente sei:

1. Parametri e condizione del sito
2. Modello energetico
3. Analisi dei costi
4. Analisi delle emissioni
5. Analisi finanziaria
6. Analisi di rischio

Per la compilazione di questi fogli di calcolo il personale di RET Screen® ha messo a disposizione diversi strumenti per facilitare e migliorare l'inserimento dei dati corretti come un database su dati tecnici e climatici per le diverse aree del mondo, un manuale consultabile on line, un manuale d'ingegneria, un'attenta analisi di mercato e dei possibili fornitori, mappe e alcuni casi di studio da loro affrontati. Nella figura sottostante sono riportati i passaggi per l'analisi di progetto con questo software e gli strumenti messi a disposizione dall'istituto delle Risorse Naturali Canadese.

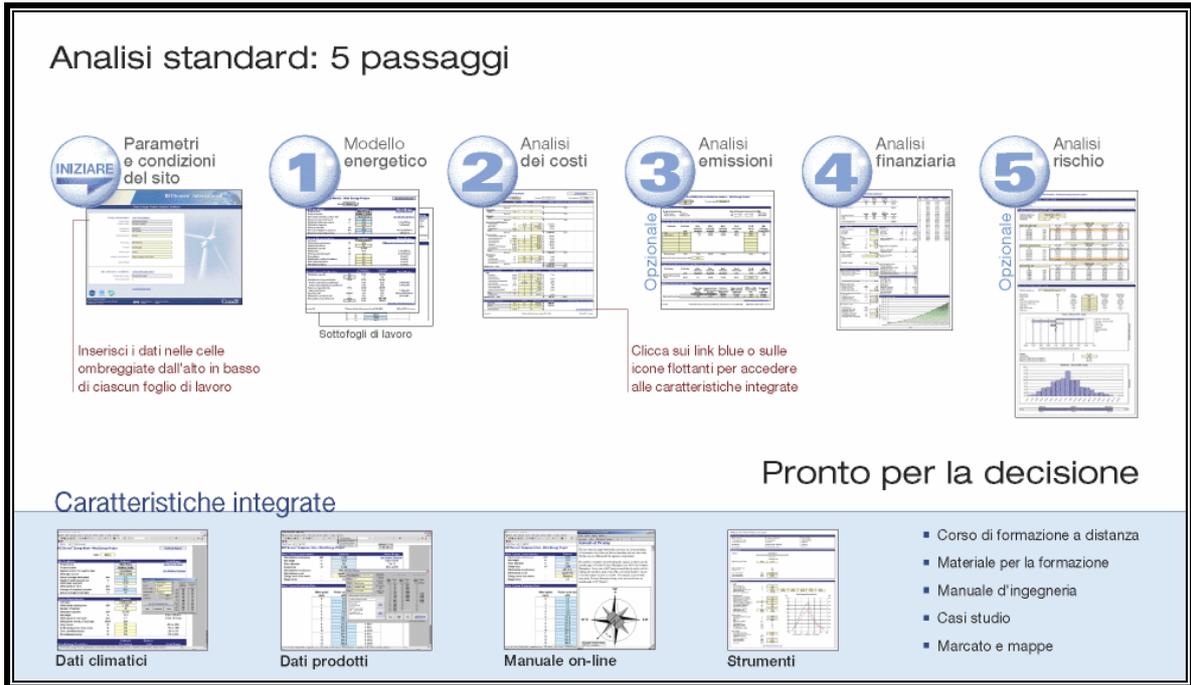


Figura 3 - Step dell'analisi con il software RET Screen e strumenti ad integrazione

All'interno di ogni foglio di calcolo si trovano celle di diverso colore che mostrano se il dato è un input o un output, facilitando la comprensione dell'utente.

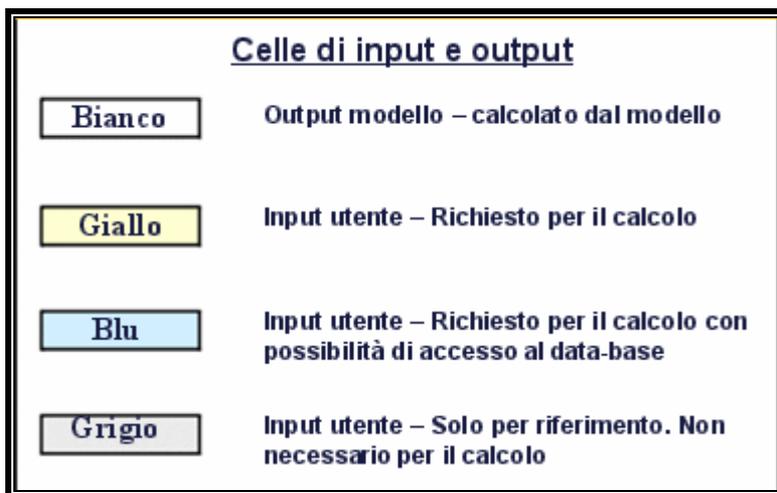


Figura 4 - Didascalia per i foglio elettronici di RET Screen

## 1.4.4 IL SOFTWARE D.E.M.O.N.E.\*

Questo software è stato prodotto nell'ambito del progetto **PROBIO** della regione Piemonte, "*Sviluppo di distretti energetici basati sull'impiego della biomassa*". Il software fornisce, dopo aver immesso i dati necessari, una stima del costo unitario di produzione del calore erogato da un impianto a cippato. Il costo è fornito in €/kWt (costo medio attualizzato) sulla base di considerazioni inerenti i principali componenti della filiera energia. In particolare è suddiviso in 7 campi, dove inserendo i dati restituisce il valore finale del costo unitario per kWt. I passaggi riguardano:

- **UTENZA:** come stimare la potenza da installare e la quantità di energia da erogare annualmente
- **COSTO IMPIANTO:** come stimare il costo dell'investimento
- **COMBUSTIBILE:** prevedere il tipo di combustibile e stimare il fabbisogno annuo di cippato
- **DISPONIBILITÀ:** come stimare la disponibilità potenziale di cippato in un certo territorio
- **COSTO COMBUSTIBILE:** come stimare il costo del combustibile
- **COSTO GESTIONE:** come stimare i costi di gestione
- **ONERI FINANZIARI:** come stimare gli oneri finanziari

Inserendo tutti i dati che il software richiede, tenendo presenti i costi di investimento, i costi del combustibile, i costi di gestione e gli oneri finanziari, alla fine il programma restituisce il costo a kWt che è possibile confrontare direttamente con quello degli altri combustibili.

\* Sviluppo software: Margherita Quaglia (Co.R.In.Te.A.), Gian Luigi Vottero (EcoData)

\* Programmazione software: Gian Luigi Vottero (EcoData)

## 1.5 IMPIANTI A CICLO ORC

### 1.5.1 TECNOLOGIA DEGLI IMPIANTI A CICLO ORC\*

Il ciclo organico di Rankine (ORC) è simile al ciclo di una turbina a vapore convenzionale, tranne per il liquido che guida la turbina, che è un liquido organico di elevato peso molecolare. I fluidi operanti selezionati consentono di sfruttare efficientemente le fonti di calore di temperatura insufficiente per una turbina a vapore, per produrre l'elettricità in una vasta gamma delle uscite di alimentazione (da pochi kW di energia elettrica di fino a qualche MW per unità). Si descrive il principio di funzionamento che sta alla base degli impianti a ciclo ORC. Gli elementi impiantistici utilizzati per generare energia elettrica attraverso il sistema ORC, sono:

- a. uno **scambiatore** (boiler) che porta allo stato di vapore saturo un fluido organico;
- b. una **turbina** che trasforma il salto di pressione in energia meccanica da trasferire ad un generatore elettrico;
- c. un **condensatore** sotto vuoto alimentato con acqua proveniente da una torre evaporativa che riporta il fluido allo stato di liquido;
- d. una **pompa** a portata variabile che reintroduce il liquido nel boiler.

Si riporta in figura il diagramma Temperatura - Entropia del fluido organico e lo schema di funzionamento di un impianto a ciclo ORC.

\* Tratto da A. Duvia, M. Gaia, COGENERAZIONE A BIOMASSA MEDIANTE TURBOGENERATORI ORC: TECNOLOGIA, ESPERIENZE PRATICHE ED ECONOMIA, Documento presentato al convegno dell'11 Novembre 2004 dal titolo "Energia prodotta dagli scarti del legno"

\* Tratto da R. Bini, A. Duvia, A. Schwarz, M. Gaia, P. Bertuzzi, W. Righini, OPERATIONAL RESULTS OF THE FIRST BIOMASS CHP PLANT IN ITALY BASED ON AN ORGANIC RANKINE CYRCLE TURBOGENERATOR AND OVERVIEW OF A NUMBER OF PLANTS IN OPERATION IN EUROPE SINCE 1998, articolo 2005

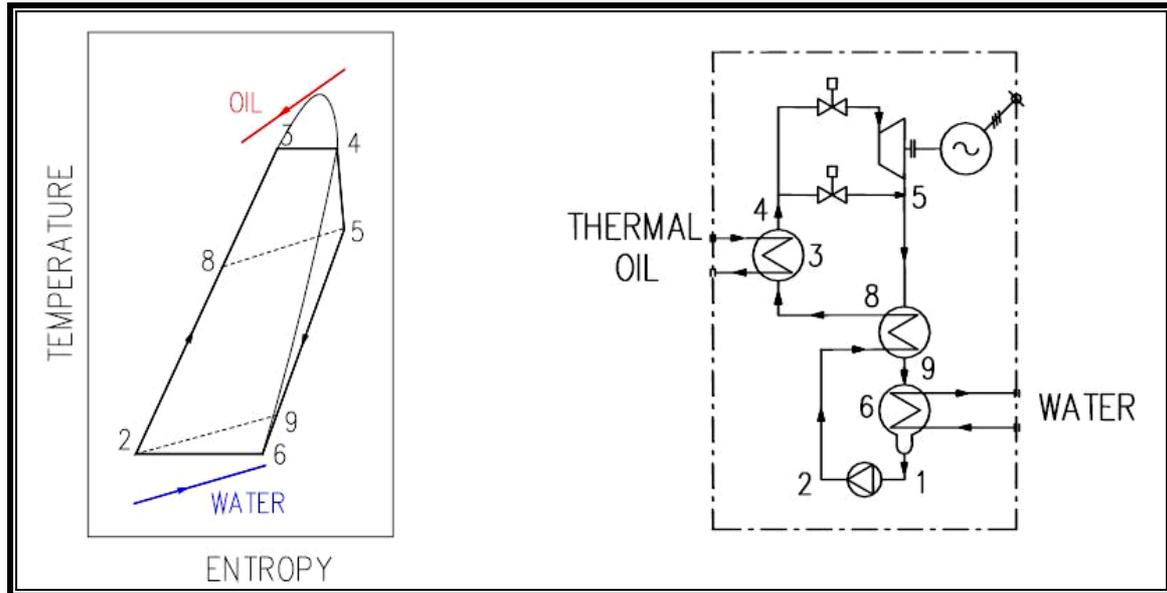


Figura 5 - Grafico T-S e schema di funzionamento del ciclo ORC

L'elemento chiave è il **turbogeneratore ORC** che permette la generazione di elettricità con un rendimento di circa il 18% ed avere una grande affidabilità a partire dall'**olio diatermico** alla temperatura relativamente bassa di **300°C**. L'impianto si basa su un ciclo chiuso di **Rankine**, realizzato adottando come fluido di lavoro un adatto fluido organico. Il ciclo segue le seguenti fasi, riportate anche nella figura soprastante:

- Una **sorgente di calore**, che nel caso di S.A.BA.R., sono i fumi a 500°C, scalda l'olio diatermico attraverso uno **scambiatore**.
- Il **turbogeneratore** sfrutta l'olio diatermico caldo per preriscaldare e vaporizzare un opportuno fluido di lavoro nell'**evaporatore** (8→3→4).
- Il vapore del fluido organico muove la **turbina** (4→5), che è accoppiata direttamente al **generatore elettrico** attraverso un giunto elastico.
- Il vapore scaricato scorre attraverso il **rigeneratore** (5→9), dove riscalda il fluido organico (2→8).
- Il vapore è poi condensato nel **condensatore** (raffreddato dal passaggio dell'acqua) (9→6→1).
- Il fluido organico è poi pompato (1→2) al **rigeneratore** e di seguito **all'evaporatore**, completando così la sequenza di operazioni nel circuito chiuso.

I maggiori **vantaggi** insiti negli impianti a ciclo ORC sono:

- ✓ Consente di utilizzare fonti di calore a T non sufficienti per turbine a vapore per generare energia elettrica
- ✓ Alta efficienza del ciclo (18% elettrico, 79% termico, 3% di perdite)
- ✓ Alta efficienza della turbina (85%)
- ✓ Lunga vita degli impianti
- ✓ Nessun operatore richiesto
- ✓ Procedure di start-stop semplici e rapide
- ✓ Richiesta minima di manutenzione
- ✓ Nessuna erosione alle palette della turbina perché non vi è umidità
- ✓ Funzionamento a bassa temperatura (olio al max a 300°C) e pressione (9 bar)
- ✓ Elevatissima affidabilità (98%)
- ✓ Funzionamento silenzioso
- ✓ Funzionamento a carico parziale fino al 10% con alta efficienza
- ✓ Richiesta personale di 3÷5 h/sett

### 1.5.2 STATO DELL'ARTE DEGLI IMPIANTI A CICLO ORC\*

Questa tecnologia utilizza diverse tipologie di fonti di calore (biomassa, geotermia, celle solari, recupero di calore), trasformandole in energia elettrica ed energia termica sottoforma di acqua calda. Oltre a produrre energia elettrica che è destinata ad entrare nella rete nazionale, si associa quasi sempre un rete di teleriscaldamento, ove possibile ed economicamente conveniente, o un essiccatore per biomassa.

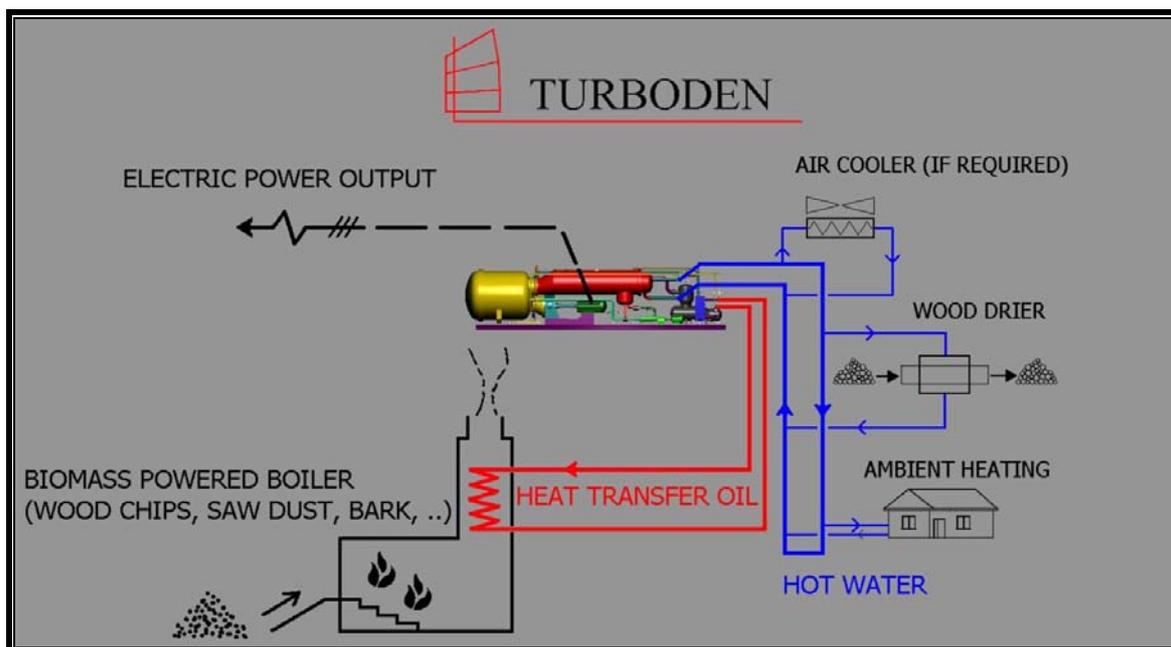
Il ciclo ORC, di per sé, non è una scoperta recente, ma è conosciuto da parecchi anni. I problemi di corrosioni, di stabilità del fluido organico utilizzato e l'alto costo dell'investimento non ne hanno permesso lo sviluppo. Ora la tecnologia si è evoluta e sono presenti sul mercato impianti abbastanza semplici da gestire che non richiedono costi d'investimento troppo elevati.

\* Tratto dai siti [www.turboden.it](http://www.turboden.it) e [www.icqholdingspa.com](http://www.icqholdingspa.com)

Infatti gli impianti di questo genere, lavorando a temperature e pressioni non molto elevate, non richiedono il presidio di personale patentato. Attualmente in Italia esistono poche installazioni di impianti di una certa capacità a ciclo ORC (Tirano, Schluderns, Nocera Inferiore, Dobbiaco) e sono associate a combustioni di biomassa o di RSU (quello di Nocera Inferiore). In Europa questa tecnologia è utilizzata soprattutto in Germania e in Austria ed è associata alla biomassa.

I motivi per cui lo sviluppo è concentrato principalmente in questi paesi sono noti: sono paesi che hanno a disposizione elevati quantitativi di materiale legnoso da destinare alla combustione ed hanno sostegni economici statali molto incentivanti.

Attualmente le società che forniscono impianti di questo tipo in maniera strutturata, a livello mondiale, sono due: la **ORMAT SYSTEMS Ltd**, azienda Americana-Israeliana che ha un accordo per la fornitura in Italia con l'italiana **ICQ Energetica** e la **TURBODEN S.r.l.** di Brescia.



*Figura 6 - Schema dell'impianto a ciclo ORC funzionante a biomassa proposto dalla TURBODEN S.r.l. di Brescia*

Il ciclo ORC abbinato ai fumi da discarica in Italia è ancora poco conosciuto, ma dal momento che poco importa, per questo tipo d'impianti, quale sia la fonte di calore (basta

soltanto che abbia determinate caratteristiche energetiche e una determinata temperatura), è possibile pensare di potere sfruttare il calore in fuoruscita dai fumi della centrale di cogenerazione per generare altra energia elettrica. Il rendimento non è elevatissimo, perché si attesta intorno al **18%**, ma è sempre meglio che disperdere tutto il calore direttamente in atmosfera. Si tratta di vedere se economicamente è possibile ritornare in tempi brevi dell'investimento per l'impianto.

Il primi impianti ORC (tutti da **350 kW** della **ORMAT**) in Italia, che sfrutteranno il calore in uscita dai cogeneratori alimentati dal biogas da discarica, sorgeranno a Ravenna, Imola, Cesena, Bologna e presso la discarica di **Casarota**, sita nel Comune di Terranova Bracciolini (**AREZZO**). Per quest'ultima installazione sono riportati in seguito i dettagli tecnici, dato che l'impianto di cogenerazione assomiglia molto a quello installato presso la discarica di **S.A.B.A.R.**

Gli impianti sono tutti in fase di realizzazione, ma si presume che entro la fine del 2007, tutti gli impianti appena citati saranno funzionanti.

## **1.6 REFLUI DA DISCARICA\***

In ogni discarica che raccoglie **RSU** si ha la produzione di **reflui da discarica**, che per legge devono essere raccolti e smaltiti in appositi depuratori. I reflui hanno principalmente due forme differenti:

- **PERCOLATO**
- **ACQUE DI LAVAGGIO AUTOMEZZI E ACQUE DI PRIMA PIOGGIA**

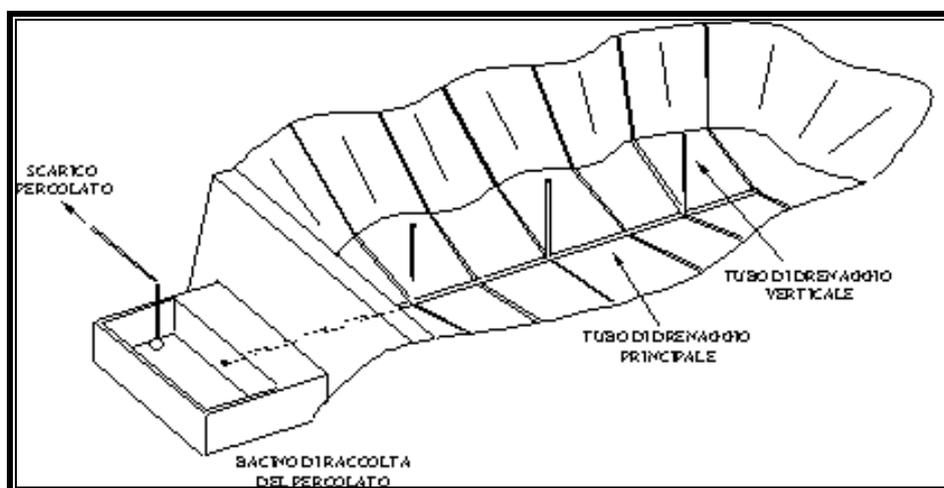
Anche se le composizioni di questi reflui sono molto differenti, entrambe contengono o possono contenere possibili inquinanti. Pertanto è necessario inviarli a centri attrezzati per il loro smaltimento.

\* Tratto da S.A.Ba.R. S.p.A., DICHIARAZIONE AMBIENTALE - EMAS e AGGIORNAMENTI

## 1.6.1 PERCOLATO

Il **percolato** è quel liquido viscoso di colore nero, derivante dalla **decomposizione del materiale** abbancato in discarica e dal **dilavamento dei rifiuti**.

Il percolato prodotto dal materiale abbancato in discarica, è raccolto grazie ad un letto di materiale inerte sul fondo della discarica. Lo strato ghiaioso è attraversato dal percolato che è raccolto sul fondo della discarica e attraverso apposite tubazioni e pompe viene trasferito nelle vasche di stoccaggio.



*Figura 7 - Impianto per la raccolta del percolato sul fondo della discarica*

Nella discarica di Novellara il percolato raccolto è stoccato in **due vasche** della capacità complessiva di **4.500 m<sup>3</sup>**. Parte di questo refluo è rigettandolo sui bacini. Questo accorgimento ha favorito la riduzione dei m<sup>3</sup> di percolato inviati ai depuratori e consente inoltre di rendere più umido il rifiuto abbancato in discarica, facendo diminuire il rischio d'incendio all'interno della discarica.



*Figura 8 - Vasca di raccolta del percolato presso la discarica di Novellara (S.A.B.A.R.)*

Data la pericolosità degli elementi che contiene, il refluo è smaltito come rifiuto pericoloso presso un impianto di depurazione adeguato.

Il percolato si forma nella seconda delle tre fasi di decomposizione dei rifiuti stoccati in discarica. Le **tre fasi di degradazione** del rifiuto sono:

1. Inizialmente grazie all'ossigeno presente negli interstizi si ha una **decomposizione di tipo aerobico** in cui le sostanze organiche iniziano a degradarsi con progressiva formazione di anidride carbonica.
2. A causa della riduzione della concentrazione dell'ossigeno inizia la seconda fase. Si ha una decomposizione di tipo anaerobio da parte di batteri aerobi facoltativi con grande produzione di sostanze organiche degradate. L'**acqua di percolazione** rimuove le sostanze organiche e solubili dal rifiuto con formazione appunto del **percolato**.

- Segue la terza ed ultima fase in cui batteri metanogeni trasformano le sostanze organiche degradate principalmente in **metano** ed **anidride carbonica** con formazione del cosiddetto **biogas**.

## 1.6.2 ACQUE DI LAVAGGIO AUTOMEZZI E DI PRIMA PIOGGIA

L'altro refluvo prodotto dalla discarica che deve essere smaltito presso appositi depuratori sono le **acque di lavaggio automezzi e di prima pioggia**. Si tratta di acque raccolte attraverso tubazioni che raccolgono l'acqua piovana caduta sulle superfici adiacenti alla discarica e dove sono stoccati i materiali raccolti in maniera differenziata come gomme, plastica, legna e potature, ecc.

L'acqua piovana che cade su queste superfici potrebbe contenere elementi inquinanti derivanti dai rifiuti sopra stoccati, quindi è necessario raccoglierle ed inviarle a depuratori.

Stesso discorso è fatto per le acque utilizzate per il lavaggio degli automezzi. In ogni discarica è presente una vasca di lavaggio per i mezzi che sono transitati sul corpo della discarica.

Queste acque sono fatte confluire in una vasca di raccolta e dato che queste acque possono essere contaminate, per legge, devono essere inviate ad impianti di depurazione.



*Figura 9 - Sulla sinistra s'intravede l'impianto di lavaggio degli automezzi transitati in discarica*

**CAPITOLO**

**2**

---

---

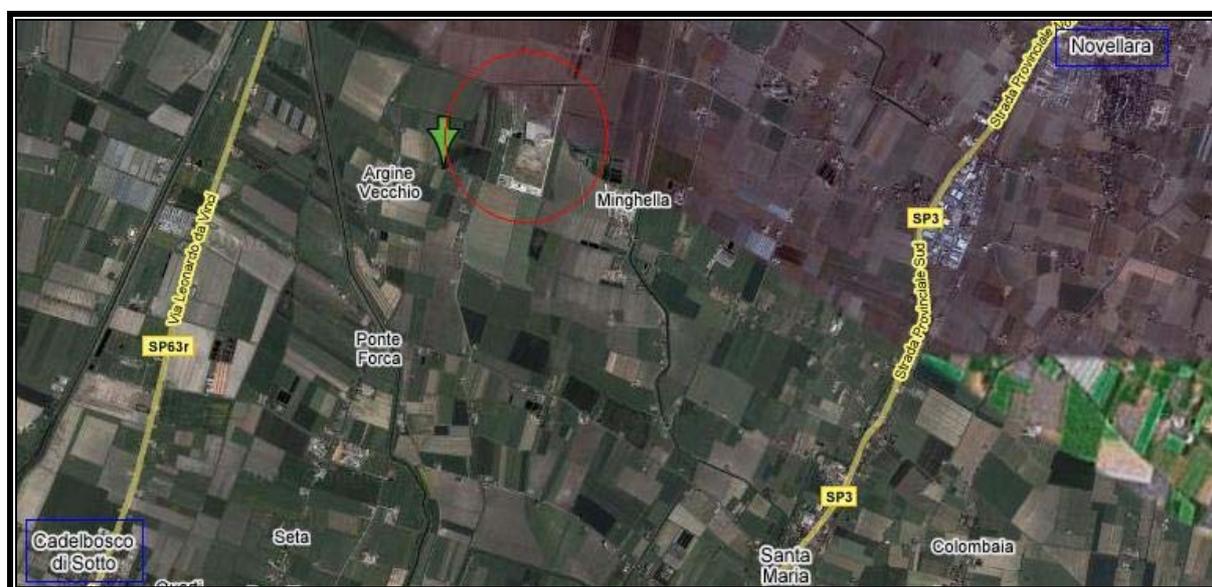
**DESCRIZIONE DELL'AZIENDA  
E DEL PROBLEMA DA TRATTARE**

---

---

## 2.1 DESCRIZIONE DI S.A.BA.R. S.P.A

**S.A.BA.R. S.p.A. (Servizi Ambientali BAssa Reggiana)** è una società nata per volontà di otto Comuni della Provincia di Reggio Emilia (**Boretto, Brescello, Gualtieri, Guastalla, Luzzara, Novellara, Poggio, Reggiolo**) per gestire la raccolta, il trasporto e la gestione di rifiuti urbani, rifiuti speciali assimilati agli urbani e urbani pericolosi ai fini dello stoccaggio, recupero e smaltimento in discarica.



*Figura 10 - Localizzazione S.A.BA.R. al confine tra Novellara e Cadelbosco di Sotto*

Oltre a questa attività, che è la principale, l'azienda gestisce anche i servizi cimiteriali, quelli di pulizia stradale e sgombero neve.

La discarica di Novellara è una discarica di prima categoria per rifiuti non pericolosi, progettata e realizzata impiegando le tecnologie più evolute. L'attività di smaltimento di rifiuti in discarica è iniziata nel Marzo 1983 e la gestione dell'impianto, fino al Settembre del 1994, è stata sotto la responsabilità del Comune di Novellara. A partire da quella data la gestione della discarica e della raccolta dei rifiuti è stata affidata alla S.A.BA.R., che ha provveduto anche a potenziare i servizi di raccolta differenziata.



*Figura 11 - Foto aerea della discarica di Novellara di proprietà della S.A.B.A.R.*

La discarica controllata dalla S.A.B.A.R. è geograficamente collocata nella bassa pianura di Reggio Emilia, nel comune di Novellara (Loc. Casaletto), a Nord-Est di Reggio Emilia. E' inserita in una zona di uso prevalentemente agricolo, occupa attualmente circa **500.000 m<sup>2</sup>** ed è in grado, complessivamente, di recepire circa **2,5 milioni di m<sup>3</sup> di rifiuti**. Nel corso del 2006 la società ha acquistato un altro lotto di terreno adiacente all'attuale discarica nel Comune di Cadelbosco. Questo lotto è destinato ad accogliere l'installazione di impianti per poter utilizzare il calore prodotto dalla centrale di cogenerazione e lo stoccaggio di sabbia, terra e materiali inerti prelevati ed utilizzati per la costruzione dei nuovi bacini per il contenimento dei rifiuti.



Figura 12 - Immagine della discarica di Novellara di proprietà della S.A.BA.R. S.p.A.

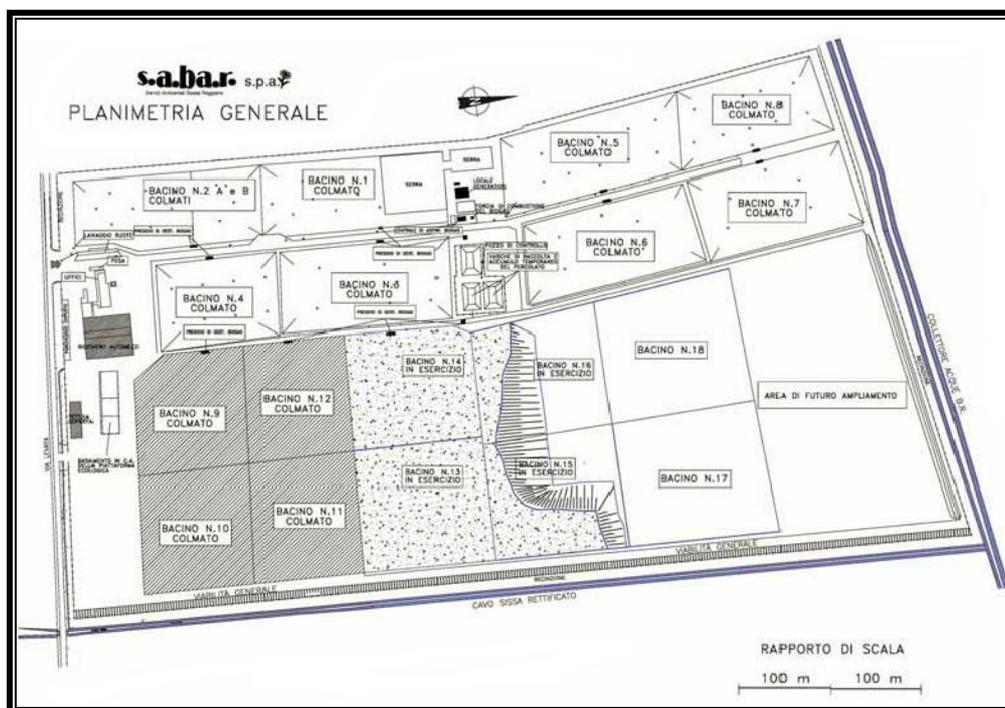
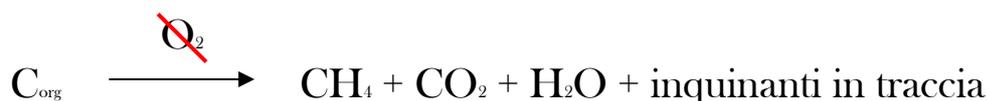


Figura 13 - Planimetria dell'attuale discarica di Novellara gestita da S.A.BA.R.

## 2.2 DESCRIZIONE DEL PROBLEMA DA TRATTARE

Dai rifiuti stoccati in discarica, in seguito ai processi di fermentazione anaerobica che si sviluppano all'interno, si ha la produzione di **biogas**. La composizione e il volume prodotto del biogas dipende dalla qualità, dalla quantità e dalle caratteristiche del rifiuto abbancato in discarica. Sulla base di valutazioni teoriche e di dati sperimentali, di norma, una **tonnellata** di **RSU** tal quale, produce da **150 a 250 m<sup>3</sup>** di **biogas** su un arco di tempo che va dai 5 ai 30 anni.

La trasformazione chimica dei rifiuti avviene del seguente modo:



Essendo il biogas in gran parte metano, può essere utilizzato come combustibile per produrre energia. È necessario però prima di avviare il biogas alla combustione, depurarlo dal vapore acqueo e dal contenuto di zolfo. Per fare ciò, il biogas captato passa attraverso dei condensatori che lo fanno condensare in acqua e privano il biogas dell'umidità presente. La composizione del biogas così ottenuto risulta essere la seguente:

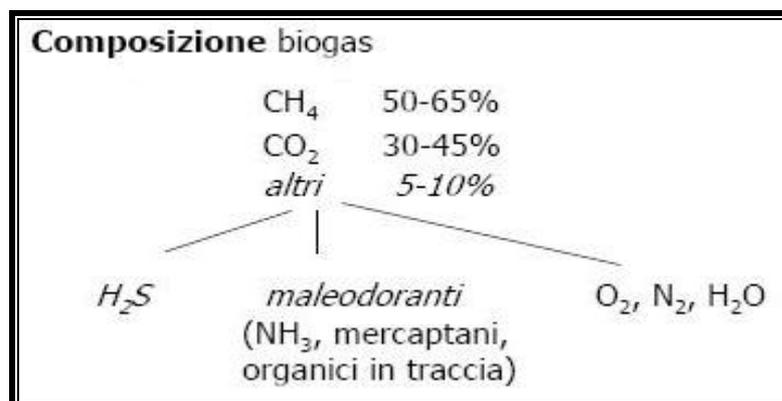


Figura 14 - Dati relativi alla composizione del biogas presenti in letteratura \*

\* Tratto da un documento del Politecnico di Milano, COMPOSIZIONE DEL BIOGAS DA DISCARICA.

Quelli riportati sopra sono gli intervalli sulla percentuale di composizione dei diversi elementi presenti nel biogas. Ora invece sono riportati i valori reali sulla composizione media del biogas prodotto nella discarica di Novellara. Sono i dati medi relativi al 2005.

Composizione del Biogas	
Parametri	Composizione %
Metano (CH <sub>4</sub> )	57,7%
Anidride Carbonica (CO <sub>2</sub> )	39,4%
Ossigeno (O <sub>2</sub> )	0,3%
Altri inquinanti	2,8%

*Tabella 15 - Composizione del Biogas prodotto dalla discarica di proprietà della S.A.B.A.R (valori medi relativi al 2005)*

Questi valori di composizione del biogas sono soggetti a leggeri cambiamenti durante tutto l'anno, poiché la sua composizione dipende da diversi fattori, in particolare dalle caratteristiche del rifiuto stoccato in discarica.

La **concentrazione** del **metano**, che è il valore più importante poiché da questo dipende la quantità di energia producibile, varia in base al numero di anni in cui il rifiuto è stato abbancato. Nella prima fase, la produzione di metano è quasi nulla, poi da 2 anni in poi comincia a crescere assestandosi ad un valore limite che dopo i 10 anni comincia a calare.

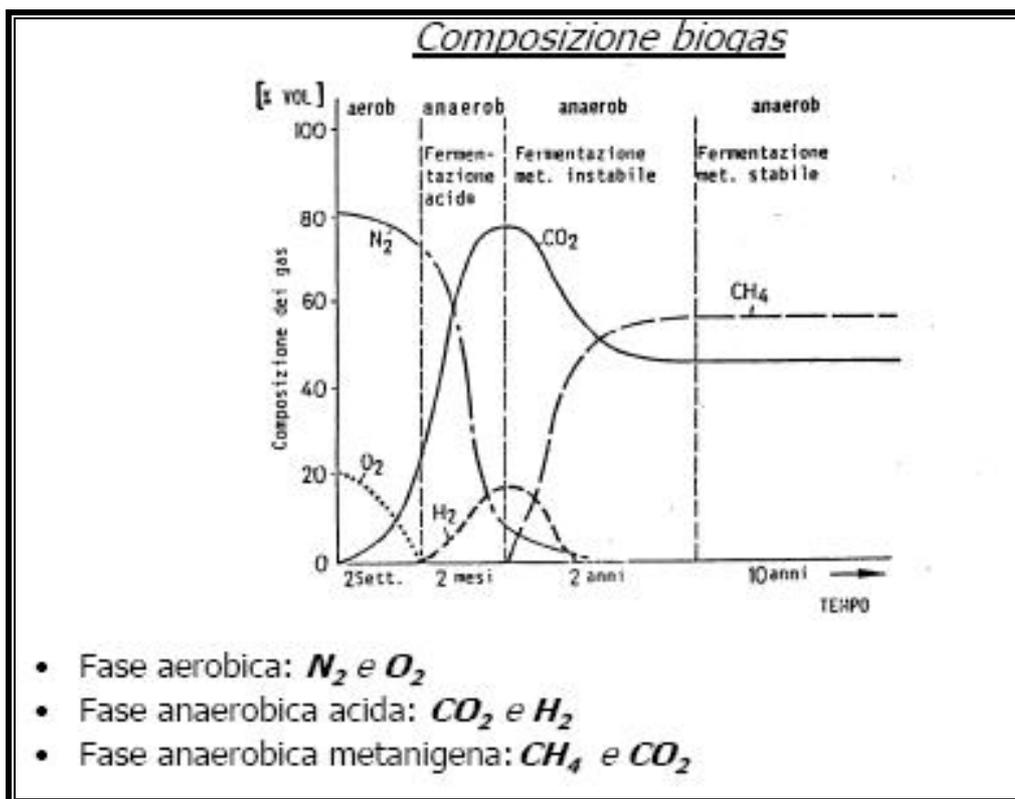


Figura 16 - Composizione del biogas nel tempo [Dati Politecnico di Milano]

Ipotizzando un quantitativo medio di metano nel biogas attorno al 50%, il **Potere Calorifico Inferiore (PCI)** della combustione del **biogas** si attesta intorno a valori di  $4.000 \div 5.000 \text{ kcal/m}^3$  ( $\approx 16,74 \div 20,93 \text{ MJ/m}^3$ )

La discarica di Novellara continua a ricevere rifiuti, ma l'attività di smaltimento rifiuti in tale discarica è cominciata nel Marzo 1983, quindi ci sono rifiuti che sono stati messi a dimora da più di 20 anni e che ormai generano un quantitativo minimo di biogas. La concentrazione di metano nel biogas, che sarà utilizzata nei calcoli che seguiranno, è assunta pari al 50% per semplicità di calcolo, ma è un dato che non si discosta molto da quello reale.

In figura sono riportati i quantitativi di rifiuti abbancati in discarica dal 1983. L'aumento consistente dei rifiuti smaltiti negli ultimi anni nella discarica di Novellara è dovuto ad accordi presi dal consiglio di amministrazione, che consentono di smaltire rifiuti provenienti da altri Comuni, esterni agli 8 Comuni in cui la società svolge il servizio di raccolta e smaltimento rifiuti. Il quantitativo medio annuo di tonnellate smaltite si dovrebbe assestare attorno le **180.000 ton/anno**. In questo modo l'attuale area destinata a ricevere rifiuti può garantire di riceverne sino al 2015.

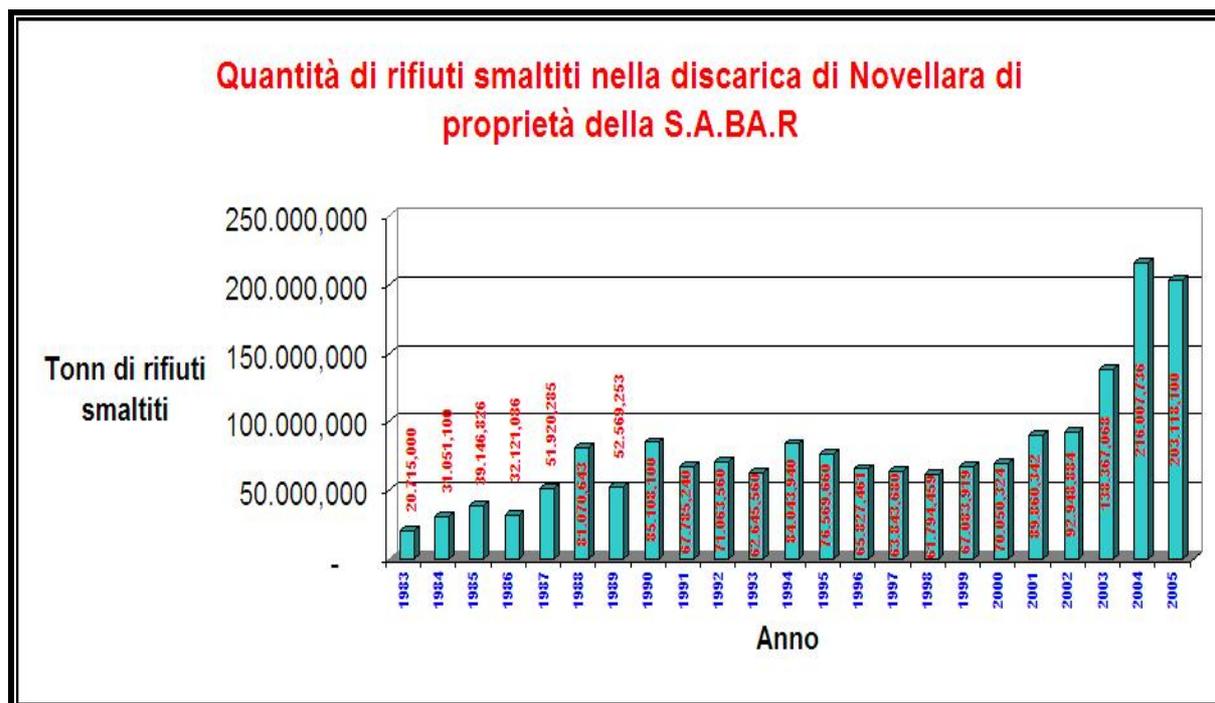


Figura 17 - Quantità di rifiuti smaltiti nella discarica di Novellara

Dal rifiuto abbancato in discarica, come detto precedentemente, una volta isolato, si ha una fermentazione anaerobica che fa in modo che si generi il biogas. La composizione del biogas è molto variabile nei primi mesi dalla copertura, dopodiché tende ad assestarsi ed essere composto principalmente da metano e anidride carbonica. Il metano all'interno del biogas comincia a generarsi dopo 2 mesi, ha un picco intorno ai 5 anni, poi decresce nel tempo. La produzione di biogas si esaurisce completamente dopo i 30 anni. La **produzione** media di **biogas** si attesta tra i valori **2,5 ÷ 7,5 m<sup>3</sup>/ton l'anno**; questo intervallo è molto ampio perché a variare della composizione del rifiuto è diversa la quantità di biogas prodotta. Più è presente la **frazione organica** nel rifiuto, maggiore è la quantità di biogas prodotta.

La figura sottostante mostra la quantità di biogas prodotta negli anni grazie alla fermentazione anaerobica che avviene nel corpo della discarica. Si può notare che dopo i 20 anni il quantitativo di biogas prodotto cominciano a diventare trascurabili.

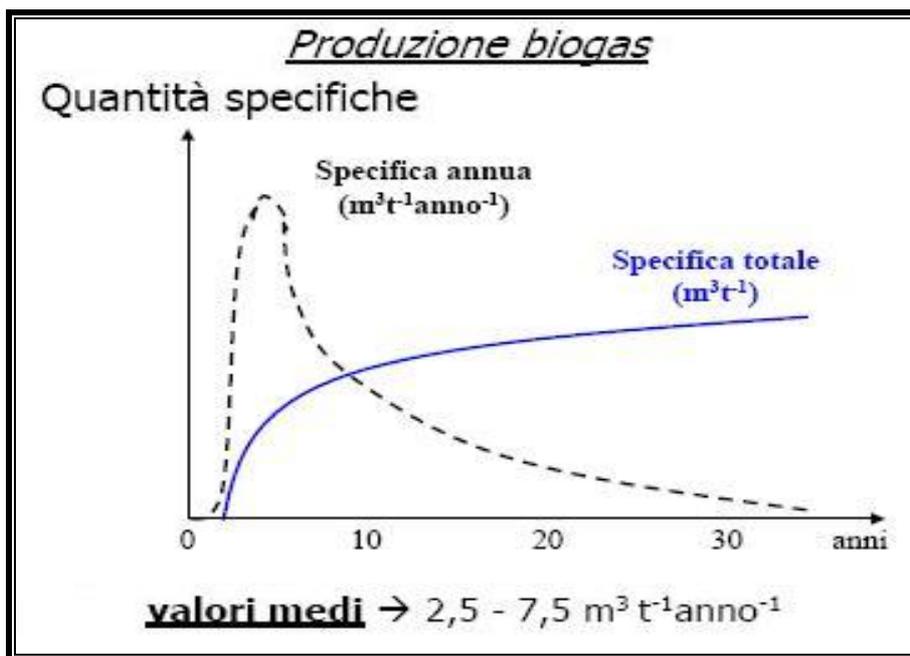


Figura 18 - Curva di produzione di biogas per tonnellata di rifiuto smaltito [Dati Politecnico di Milano]

Il biogas generato non può essere, per legge, immesso in atmosfera senza aver subito prima un processo di combustione, poiché l'influenza sull'effetto serra del gas metano è di 20 volte maggiore rispetto a quella dell'anidride carbonica.

**Le emissioni regolamentate dal Protocollo di Kyoto**

	<b>GWP*</b>
<b>Anidride carbonica (CO<sub>2</sub>)</b>	<b>1</b>
<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	<b>21</b>
<b>Protossido di azoto (N<sub>2</sub>O)</b>	<b>310</b>
<b>Perfluorocarburi (PFCs)</b>	<b>6500-8700**</b>
<b>Idrofluorocarburi (HFCs)</b>	<b>140-11700**</b>
<b>Esfluoruro di zolfo (SF<sub>6</sub>)</b>	<b>23900</b>

\*GWP= *Global Warming Potential*: è il fattore di conversione in CO<sub>2</sub> equivalenti (in un orizzonte di 100 anni)

\*\*legato al tipo di composto

Figura 19 - Fattore di conversione in CO<sub>2</sub> dei composti gassosi dettati dal Protocollo di Kyoto

Dato che il processo di combustione del biogas genera energia, piuttosto che bruciarlo in una torcia, per quanto riguarda la discarica di Novellara, si è optato per la costruzione di **centrale di cogenerazione** costituita da **tre gruppi** della potenza di **1.064 kW elettrici** nominali (per motivi di sicurezza la potenza si mantiene intorno ai 1.000 kWe).

Nella discarica di S.A.BA.R. attualmente la produzione di biogas si attesta intorno ai **1.620 m<sup>3</sup>/h**. Considerando la % media dei rilevamenti del 2005 del **57,7%** di **metano** e una produzione di energia elettrica con un **rendimento** del **38%**, è possibile generare più di **3 MW** ogni ora. Infatti:

$$\begin{aligned} P &= \dot{m}_{CH_4} \cdot PCI_{CH_4} \cdot \mu_{el} = \\ &= (1.620 \cdot 57,7\%) m^3 / h \cdot 9,47 kW \cdot 38\% = \\ &= 3,36 MWe \end{aligned}$$

Quando il biogas prodotto, però, supera la quantità massima utilizzabile per far funzionare a pieno carico i tre gruppi o quando un gruppo è fermo per manutenzione, viene bruciato attraverso le **due torce**, per diminuire gli effetti inquinanti.

Attualmente l'energia elettrica prodotta dai tre cogeneratori è immessa nella **rete ENEL** attraverso due linee costruite appositamente: una da **1 MW** e una da **1,5 MW**. Il funzionamento di tutti e tre i cogeneratori contemporaneamente consente di produrre **3 MW** elettrici. Per questo motivo S.A.BA.R. S.p.A. ha avanzato da tempo la richiesta di poter costruire una nuova linea da **8 MW** all'ENEL per garantire la possibilità di immettere in rete tutta l'energia da essi prodotta. Entro la fine del 2008 tale linea sarà funzionante.

Si riportano nella figura sottostante i dati relativi al **biogas** prodotto sulla quantità di rifiuti abbancati nella discarica di Novellara. È da sottolineare che nonostante i disagi subiti per la costruzione ed attivazione della nuova centrale che ha sostituito quella esistente, S.A.BA.R. è riuscita a mantenere un rapporto di conversione pressoché costante tra i m<sup>3</sup> di biogas e i kWe di energia prodotta.

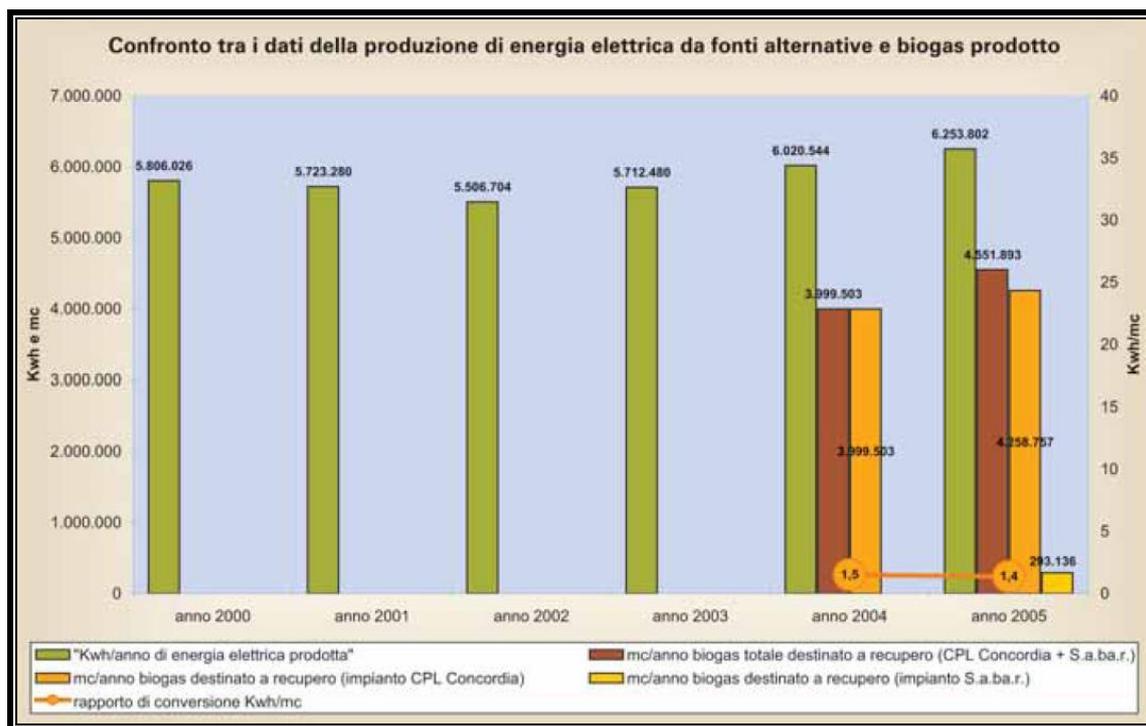


Figura 20 - Grafico con energia elettrica prodotta e biogas recuperato in discarica

Il grafico distingue il biogas prodotto da impianti di proprietà della S.A.BA.R. e di proprietà di CPL, poiché il precedente impianto era di proprietà del CPL di Concordia, società che gestisce la centrale di cogenerazione. Il nuovo impianto con i 3 moduli da 1 MW è invece di proprietà della S.A.BA.R..

Attualmente si raggiunge la capacità di circa **13.350.000 m<sup>3</sup>/anno di biogas** ( $\approx$ **6.675.000 m<sup>3</sup>/anno di metano**), equivalenti a 10.680 t/anno con una produzione teorica dei 3 gruppi da 1 MWe e 1 da 500 kWe (non è ancora stato installato poiché è necessaria prima la costruzione della nuova linea elettrica), di **energia elettrica di 22.695.000 kWh/anno** (rapporto di conversione **kWe/m<sup>3</sup>** di **1,7** stimato presumendo un quantitativo del 50% di metano presente nel biogas avviato a recupero). Tale produzione di energia elettrica è capace di soddisfare il fabbisogno di circa 8.000 famiglie.

Dall'impianto di cogenerazione non si ottiene solo energia elettrica, ma dal raffreddamento dei cilindri dei motori si ottiene energia termica, utilizzata in parte per riscaldare **5.000 m<sup>2</sup>** di serre destinate alla produzione di basilico. L'**energia termica** totale che si presume recuperare è pari a **23.100.000 kWh/anno**.

Il rendimento complessivo dell'impianto così concepito è già abbastanza elevato e utilizza una risorsa che altrimenti andrebbe dissipata, ma ci sono ancora margini di miglioramento, soprattutto per quanto riguarda l'utilizzo del calore generato. Infatti attualmente è utilizzato solamente parte del calore generato sottoforma di acqua calda di un generatore, per riscaldare, nei mesi con temperature più rigide, le serre. Nelle giornate invernali, quando si hanno giornate con temperature molto rigide, il sistema di riscaldamento delle serre si serve anche di parte del calore dei fumi in uscita del primo cogeneratore.

Tutto il calore prodotto dagli altri due cogeneratori e in parte quello del primo sono inutilizzati.

Al fine di illustrare meglio il funzionamento dell'impianto di cogenerazione appena descritto, è riportato uno schema che mostra gli elementi in gioco per generare energia elettrica e termica.

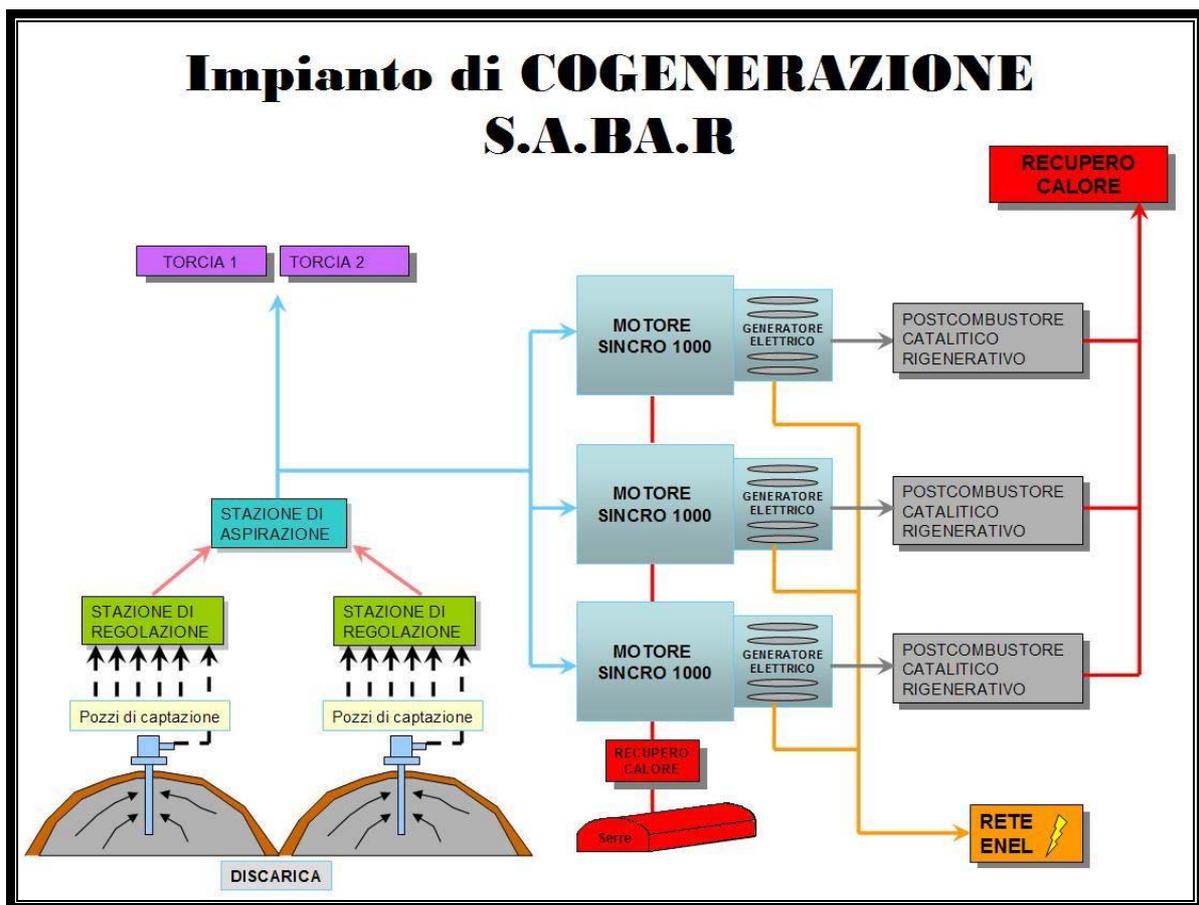


Figura 21 - Diagramma a blocchi dell'impianto di cogenerazione della S.A.B.A.R. S.p.A.

Dato che l'oggetto della tesi è quello di trovare il modo migliore per sfruttare il calore in uscita dai cogeneratori, è necessario esplicitare meglio il funzionamento dell'impianto di cogenerazione. Per questo motivo, lo schema sottostante, riporta nel dettaglio quali sono le uscite di calore dai cogeneratori, che si trovano sottoforma di:

- Acqua calda a 75°C
- Fumi di scarico a 500°C

Nella figura riportata sotto sono indicati, attraverso i punti interrogativi, i punti in cui è generato calore e non è sfruttato.

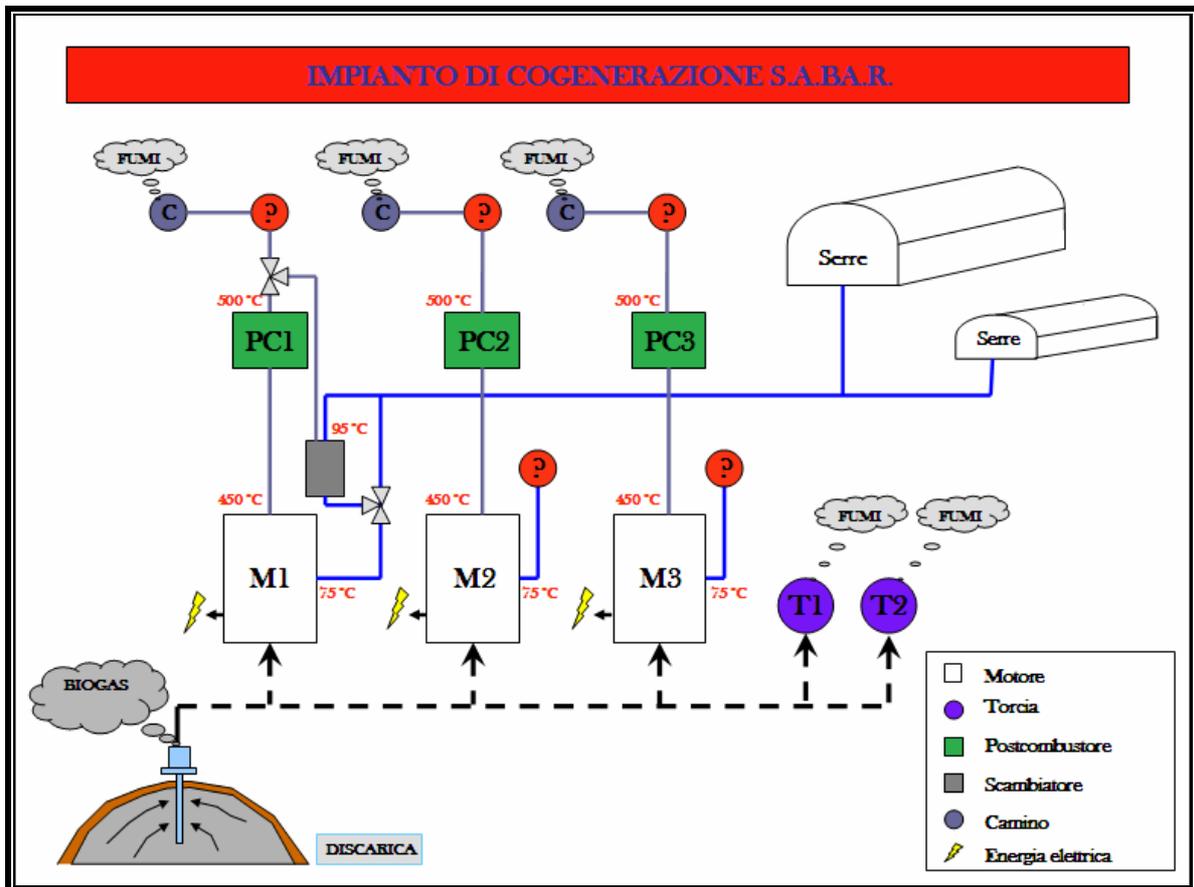
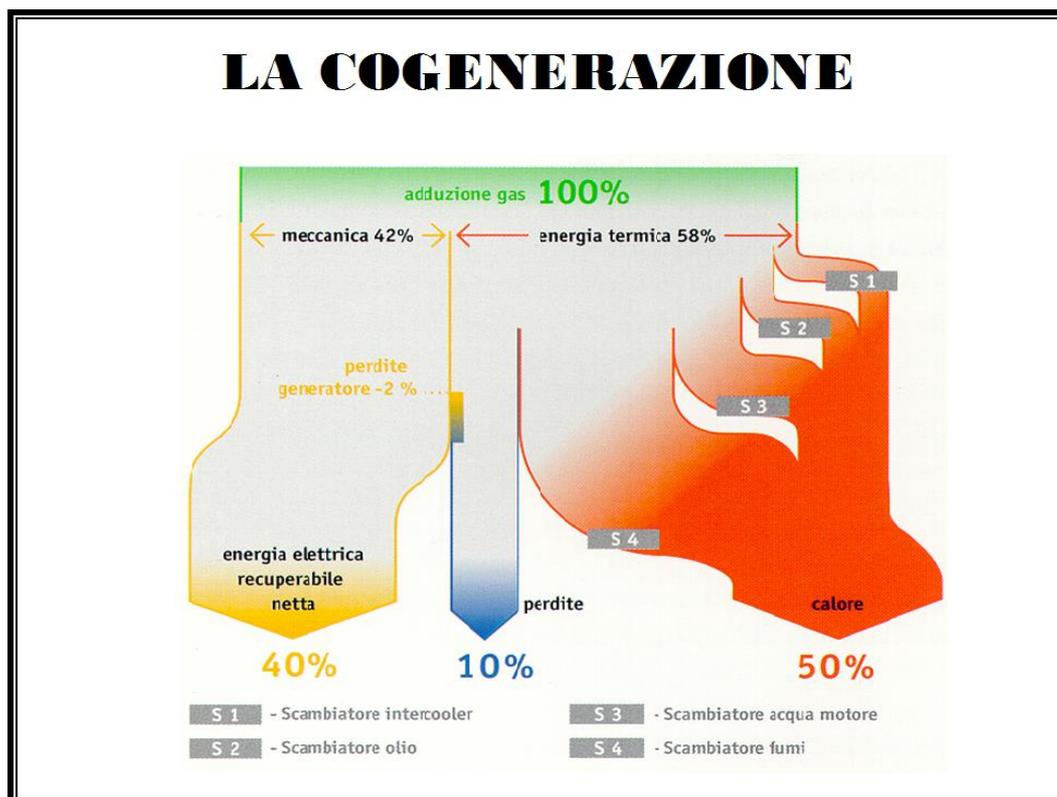


Figura 22 - Schema dell'impianto di cogenerazione nel quale sono evidenziate con i (?) le fonti di calore da poter utilizzare

Come si evince dalla figura, il biogas è captato da apposite stazioni di aspirazione, per mantenere un livello di pressione idoneo all'interno della discarica ed è utilizzato per la produzione combinata di energia elettrica e termica. Un cogeneratore consuma **33 m<sup>3</sup> di metano** per produrre **100 kW elettrici** e circa **130 kW termici** (rapporto teorico tra il kW<sub>e</sub> e il kW<sub>t</sub> è di 1,3). In termini percentuali, la cogenerazione sfrutta il biogas generando:



*Figura 23 - Il risultato della cogenerazione dei motori GEJenbacher di S.A.BA.R., tolte le perdite, è energia elettrica ed energia termica*

Riassumendo con una sequenza di immagini, dalla fermentazione dei rifiuti si genera energia elettrica capace di soddisfare il fabbisogno elettrico di 8.000 famiglie ed energia termica che in parte è utilizzata per riscaldare serre. La restante parte è oggetto dello studio di questa tesi.



Figura 24 - Sequenza fotografica del sistema di produzione di energia della discarica di Novellara

1. Basamento della discarica
2. Conferimento del rifiuto
3. Copertura della discarica dentro la quale avviene la formazione del biogas
4. Cogeneratori alimentati dal biogas
5. Produzione di energia elettrica immessa nella rete ENEL al 38%
6. Produzione energia termica per serre

L'impianto di cogenerazione a biogas utilizza motori **SINCRO 1.000** che hanno le seguenti caratteristiche:

- Gruppo GEJenbacher modello JGS 320
- 20 cilindri a V - cilindrata 48.670 cc
- Numero di giri 1.500 giri/min (50 Hz)
- Potenza: **1.064 kW<sub>e</sub>** - meccanica 1.490 CV
- Calore recuperato: **1.055 kW<sub>t</sub>** (≈910.000 kcal/h)
- Consumo: **580 m<sup>3</sup>/h di biogas**
- Ore di funzionamento all'anno: **7.500 ÷ 8.000 h/anno**
- Rendimento totale **85,3%** (39 % elettrico e 46,3 termico nominali)



*Figura 25 - Immagine dei tre motori SINCR0 1.000 visti dall'esterno. Sulla sinistra si trovano le due torce*

L'impianto di cogenerazione, come si nota dalla figura sotto riportata, è dotato di un postcombustore catalitico rigenerativo a valle di ogni motore, al fine di diminuire al massimo le emissioni di elementi nocivi alla salute. In particolare, all'interno del postcombustore avviene un processo di catalisi, che abbate il CO presente nei fumi in fuoriuscita dai motori. Questo processo libera energia che alza la temperatura dei fumi da 470°C a circa 500°C.



*Figura 26 - Immagine dei postcombustori posizionati a valle di ogni motore SINCRO 1.000*

In questo modo le emissioni di gas di scarico sono sotto i limiti consentiti dalla legge:

-   $\text{NO}_x < 450 \text{ mg/Nm}^3$
-   $\text{CO} < 500 \text{ mg/Nm}^3$
-   $\text{Polveri} < 10 \text{ mg/Nm}^3$

L'impianto a regime con tutti e tre i gruppi funzionanti e un probabile modulo aggiuntivo SINCRO 200 della potenza di 500 kWe, potrà erogare una potenza elettrica oraria di 3,5 MW, con la produzione elettrica annuale di 22.695 MWhe.

Ciò consentirà di far diminuire il consumo di metano in questi termini:

-  Metano risparmiato all'anno dalle centrali: **5,5 mln di m<sup>3</sup>**
-  Metano risparmiato all'anno dalle serre: **1,3 mln di m<sup>3</sup>**
-  Metano risparmiabile all'anno dal calore: **3 mln m<sup>3</sup>**

Pertanto attualmente lo sfruttamento del biogas consente di risparmiare **6,8 mln di m<sup>3</sup> di metano**, ma c'è l'opportunità di risparmiarne un quantitativo maggiore, utilizzando la restante parte di calore generato dai cogeneratori.

Attualmente i fumi generati dalla combustione del biogas sono immessi in atmosfera a temperature che variano dai 180°C ai 500°C. La temperatura dei fumi in fuoriuscita dal camino dipendono dal fabbisogno della serra; pertanto, questa temperatura dipende dalla stagione e dalla temperatura esterna. Il calore in eccesso può essere sfruttato per aumentare l'efficienza dell'impianto e diminuire le dispersioni nell'ambiente.

La **produzione termica** attesa da ognuno dei tre gruppi SINCRO 1.000 di 1.064 kWe nominali è sottoforma di:



*Figura 27 - Forme di calore disponibili presso S.A.B.A.R.*

È fondamentale distinguere la diversità delle due fonti di calore generate dai cogeneratori, poiché sono diversi le metodologie di utilizzo.

La quantità di calore sottoforma dei fumi di scarico è stata calcolata di seguito utilizzando i seguenti dati:

- $\dot{m}_{fumi} = 5.223 \text{ kg/h} \times 3 \text{ motori} = 15.669 \text{ kg/h}$
- $cs_{fumi} = 1,05 \text{ kJ/kg C}$
- $T_i = 500^\circ\text{C}$
- $T_u = 180^\circ\text{C}$

Calcolo:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \dot{m}_{fumi} \cdot cs_{fumi} \cdot \Delta T = \\ &= 15.669(kg/h) \cdot 1,05(kJ/kg \cdot C) \cdot (500 - 180)^\circ C = \\ &= 5.264.784kJ/h = \\ &= 1.463kJ/s = \\ &\cong 1,5MW\end{aligned}$$

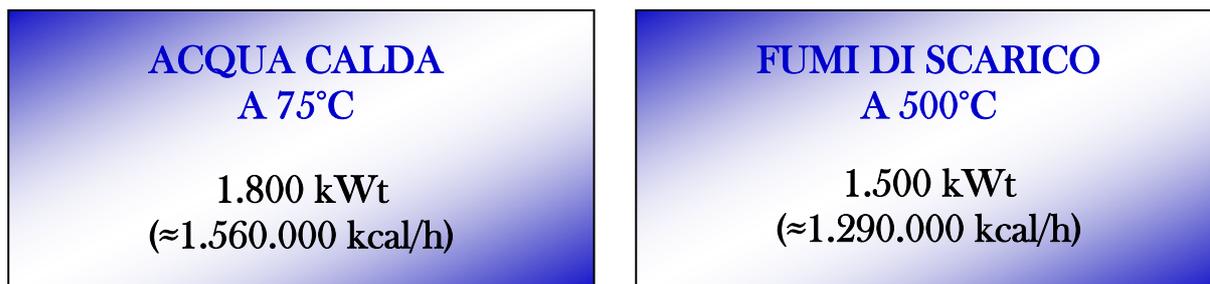
Mentre la quantità di calore sottoforma di acqua a 75°C è stata calcolata di seguito utilizzando tali dati:

- $\dot{m}_{acqua} = 55 \text{ m}^3/\text{h} = 55.000 \text{ kg/h}$
- $cs_{acqua} = 4,186 \text{ kJ/kg C}$
- $T_i = 75^\circ\text{C}$
- $T_u = 47^\circ\text{C}$

Calcolo:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \dot{m}_{acqua} \cdot (cs_{acqua} \cdot \Delta T) \\ &= 55.000(kg/h) \cdot [4,186(kJ/kg \cdot C) \cdot (75 - 47)^\circ C] = \\ &= 6.446.440kJ/h = \\ &= 1.790kJ/s = \\ &\cong 1,8MW\end{aligned}$$

Pertanto con tutti e tre i gruppi funzionanti i kWt a disposizione sono:



*Figura 28 - Quantità di calore disponibili presso S.A.BA.R.*

Considerando quindi, per cautela, **7.000 h/anno** di funzionamento dell'impianto, poiché si possono verificare problemi di vario genere e di fermo impianto per manutenzione, in un anno sono disponibili, come citato precedentemente, questi kWt:

$$\text{kWt a disposizione in un anno} = (1.800 + 1.500) \text{ kWt} \cdot 7.000 \text{ h/anno} = 23.100.000 \text{ kWht}$$

Attualmente sono utilizzati solo in parte per il riscaldamento delle serre. L'**obiettivo** di questa tesi è quello di **valutare le possibili alternative per utilizzare il calore dal punto di vista della fattibilità e dal punto di vista economico.**

## 2.3 LE POSSIBILI ALTERNATIVE

Le alternative, che verranno prese in considerazione da questo studio, per sfruttare una parte del calore generato e attualmente non utilizzato dalla centrale di cogenerazione sono state elaborate attraverso la **metodologia TRIZ**. Questa metodologia è utile per applicazioni di **problem solving** come quella in questione. Si crea una struttura ad albero durante la fase di brainstorming delle possibili soluzioni del problema. È una metodologia semplice ed intuitiva. È utilizzata nelle fasi di **definizione** dei **problemi**, nella loro **soluzione** e nella **valutazione** di tali soluzioni. Come step iniziale si è utilizzata la prima fase di definizione del problema. Sotto è riportato il diagramma a blocchi che riassume alcuni degli **attori** nel cercare le soluzioni, gli elementi di **input**, il **riferimento temporale** e le ramificazioni nella ricerca della **soluzione** ottimale.

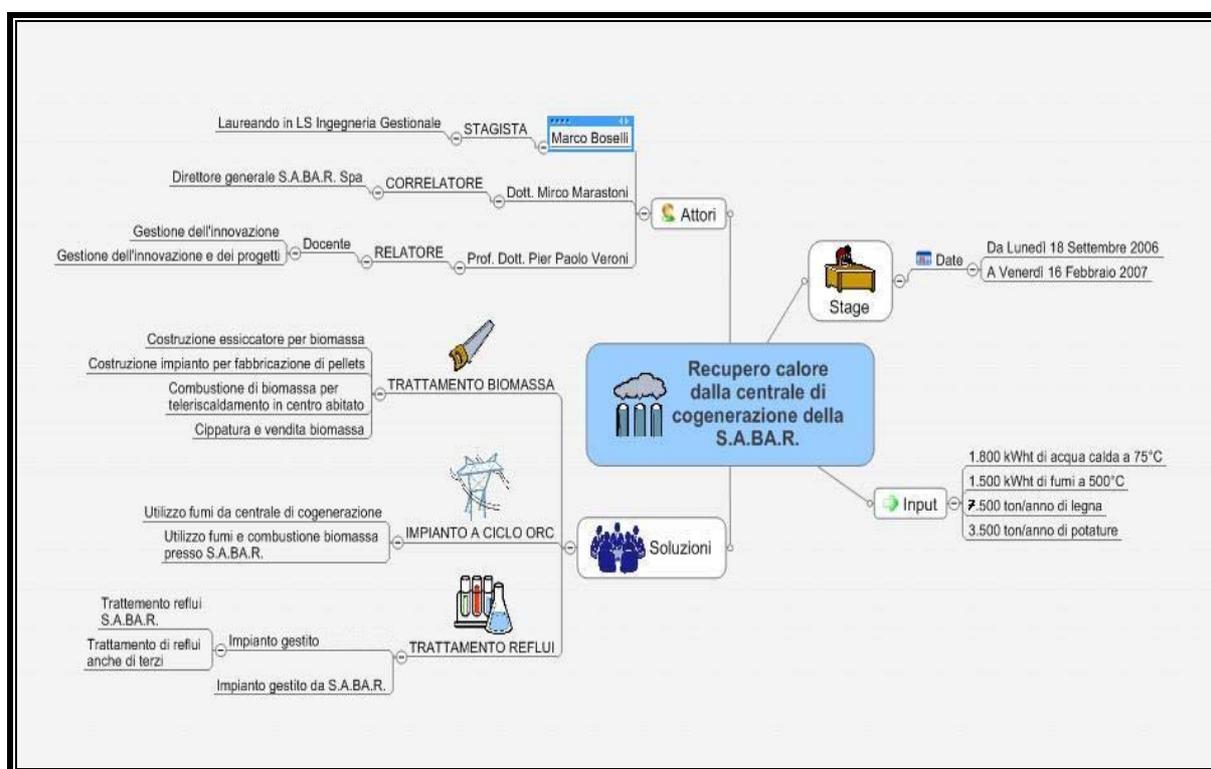


Figura 29 - Metodologia TRIZ attraverso l'utilizzo del software MindManager 6.0, adottata per la ricerca della soluzione ottimale

Pertanto, come si evince dalla figura sopra riportata, sono **3** le **principali soluzioni** per le quali si farà un'attenta valutazione economica e uno studio di fattibilità, tenendo presenti tutti gli aspetti positivi e negativi che possono comportare le diverse alternative:

1. Costruzione di un **IMPIANTO DI TRATTAMENTO** per il **MATERIALE VERDE** e **LEGNOSO**:
  - a. **Cippatura** e **vendita** del materiale verde e legnoso
  - b. Costruzione di un **essiccatore** per il cippato
  - c. Costruzione di un impianto per l'**essiccazione** e la **pellettatura** del materiale
  
2. Costruzione di un **IMPIANTO A CICLO ORC (Organic Rankine Circle)** per la generazione di energia elettrica:
  - a. Energia elettrica dal calore dei **fumi** a 500°C
  - b. Energia elettrica a doppio input: dal calore dei **fumi** a 500°C e dalla combustione della **biomassa**
  
3. Costruzione di un **IMPIANTO** per il trattamento dei **REFLUI DELLA DISCARICA**: il **percolato**, le **acque di lavaggio degli automezzi** e le acque di **prima pioggia**.
  - a. Impianto in gestione a **S.A.BA.R. S.p.A.**
  - b. Impianto costruito e gestito dall'**azienda produttrice**

**CAPITOLO**

**3**

---

---

**IMPIANTO  
DI TRATTAMENTO  
DELLA BIOMASSA**

---

---

## 3.1 VALORIZZAZIONE DELLA BIOMASSA DA RACCOLTA DIFFERENZIATA

La valutazione iniziale fa riferimento ai decreti legislativi che interessano le attività di recupero dei rifiuti derivanti dalla raccolta differenziata della frazione umida.

L'articolo 177 del DL 152/2006 che disciplina la gestione dei rifiuti, recita: *“...l'attività deve essere di pubblico interesse ed è disciplinata dalla parte quarta del presente decreto al fine di assicurare un'elevata protezione dell'ambiente e controlli efficaci...i rifiuti devono essere recuperati o smaltiti senza pericolo per la salute dell'uomo e senza usare procedimenti o metodi che potrebbero recare pregiudizi all'ambiente...”*

A cui segue l'articolo 179 dello stesso decreto che demanda alle pubbliche amministrazioni il perseguimento delle iniziative diretta a favorire *“...prioritariamente la prevenzione e la riduzione della produzione e delle nocività dei rifiuti, in particolare mediante:*

- a. Lo sviluppo di tecnologie pulite che permettono un uso più razionale e un maggiore risparmio di risorse naturali*
- b. La messa a punto tecnica e l'immissione sul mercato di prodotti concepiti in modo da non contribuire o da contribuire il meno possibile, per la loro fabbricazione, il loro uso o il loro smaltimento, ad incrementare la quantità o la nocività dei rifiuti e i rischi di inquinamento*
- c. Lo sviluppo di tecniche appropriate per l'eliminazione di sostanze pericolose contenute nei rifiuti al fine di favorirne il recupero...”*

Nel rispetto delle suddette misure prioritarie *“...le pubbliche amministrazioni adottano, inoltre, misure dirette al recupero dei rifiuti mediante riciclo, reimpiego, riutilizzo, o ogni altra azione intesa a ottenere materie prime secondarie, nonché all'uso dei rifiuti come fonte di energia...”*

Il metodo di recupero risponderebbe ai criteri di cui al comma 6 dell'art 181, con attività di cui all'allegato C *“operazioni di recupero”* dell'allegato alla Parte Quarta del D.L. 152/06. Nel

caso di un essiccatore si tratta di un'operazione di tipo **R3 - Riciclo/recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi**.

L'intervento che si desidera attuare risponde pienamente alle condizioni suddette ed attiva una misura diretta di recupero finalizzata alla produzione di **materie prime secondarie**, che potranno essere utilizzate come combustibile.

La prima ipotesi valutata per utilizzare il calore generato dalla centrale di cogenerazione, è quella della costruzione di un impianto per la **lavorazione del materiale verde e legnoso** derivante dalla raccolta differenziata, composta principalmente da potature e sfalci provenienti da aree verdi. La valutazione su tale ipotesi è stata estesa principalmente su due alternative:

1. Costruzione di una filiera che prevede la **triturazione** e l'**essiccazione** del materiale verde raccolto, con la produzione di "cippato" (dall'inglese "chips" che sta per "pezzetti") di legno essiccato.
2. Costruzione di un impianto che prevede oltre alla **triturazione** e l'**essiccazione** del rifiuto verde, la **raffinazione** e la **cubettatura**. Questo impianto avrebbe come output il **pellets** ottenuto dagli scarti verdi e legnosi.

La fase che consente il recupero dei fumi della centrale di cogenerazione è quella relativa all'essiccazione. L'essiccatore, utilizzando il calore in uscita dai cogeneratori sottoforma di fumi, manterrebbe al suo interno una certa temperatura, facendo così diminuire la percentuale di umidità all'interno del materiale. In questo modo si arresta anche il processo di fermentazione del materiale cippato e, un volta essiccato, non emetterebbe più odori, dal momento che si tratterebbe di materiale secco.

Prima di affrontare le valutazioni sugli investimenti in impianti sono state affrontate problematiche preliminari per giustificare la fattibilità dei due progetti.

## 3.2 QUANTITÀ DI MATERIALE VERDE E LEGNOSO RACCOLTO DA S.A.BA.R.

Prima di effettuare le valutazioni sui possibili progetti in impianti di trattamento del materiale legnoso è utile riportare le quantità di questo materiale raccolto annualmente da S.A.BA.R.

Per fare ciò, è necessario riportare la seguente differenziazione che l'azienda adotta nella raccolta differenziata:

✚ POTATURE E LEGNA

✚ LEGNA BIANCA

Per mostrare la differenza tra le due categorie è stata riportata per entrambe un'immagine a titolo esemplificativo.



*Figura 30 - Potature e legna*



Figura 31 - Legna bianca

In tabella sono riportate le quantità di questi materiali raccolti da S.A.BA.R. negli otto Comuni in cui svolge il servizio di raccolta rifiuti.

<b>QUANTITÀ DI MATERIALE LEGNOSO RACCOLTO DA S.A.BA.R.</b>				
<b>MATERIALE</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
<b>POTATURE E LEGNA</b>	4.893.390 kg	6.269.870 kg	6.165.240 kg	3.514.360 kg
<b>LEGNA BIANCA</b>	3.079.340 kg	3.263.980 kg	3.513.910 kg	7.831.080 kg
<b>TOTOLE</b>	7.972.730 kg	9.533.850 kg	9.679.150 kg	11.345.440 kg

Tabella 32 - Quantità di materiale legnoso raccolto da S.A.BA.R. negli ultimi anni

I dati rilevanti nella tabella sopra riportata sono quelli relativi al 2006 e sono stati evidenziati in rosso. In base ad alcuni accorgimenti strategici adottati dall'azienda nell'ultimo anno si è verificata un'inversione di tendenza tra le quantità di potature e di legna bianca.

Dal momento che non è, quindi, possibile fare una media sui quantitativi negli anni, poiché si otterrebbe un valore che non rispecchierebbe quello reale, sono stati assunti come riferimento i valori arrotondati del 2006, vale a dire:

- **3.500 ton/anno di POTATURE**
- **7.500 ton/anno di LEGNA BIANCA**

Pertanto il quantitativo totale di materiale da trattare è di **11.000 ton/anno**. Per essere trattato il materiale deve subire un processo di triturazione in modo che diventi di pezzatura più omogenea, per poi essere essiccato in un apposito essiccatoio o avviato a combustione in una caldaia a cippato.

### **3.3 COSTO MANCATO PER L'EVITATO SMALTIMENTO**

La lavorazione per valorizzare il materiale legnoso raccolto, come primo effetto sui ricavi dell'azienda avrebbe il costo mancato per evitato smaltimento, poiché attualmente l'azienda sostiene un costo di smaltimento e trasporto presso il centro di compostaggio di Fossoli e la SIA di Viadana.

Attualmente la S.A.BA.R. sostiene dei costi per conferire le 3.500 ton annue di potature al centro di compostaggio e le 7.500 ton/anno di scarti di imballaggi industriali ad una ditta di Viadana. Sia per le potature che per gli scarti industriali è possibile quantificare il costo sostenuto da S.A.BA.R. per lo smaltimento o il recupero.

Per quanto riguarda il centro di **compostaggio di Fossoli**, è stato quantificato il **costo** per tonnellata di materiale smaltito, in questo modo:

- 33 €/ton per conferire le potature al centro di compostaggio (34 €/ton per il 2007)
- 20 €/ton per il trasporto del materiale al centro di compostaggio

Pertanto il costo totale del conferimento di una **tonnellata di potature e legna** presso il centro di compostaggio di Fossoli costa all'azienda **53 €**.

La seconda tipologia, ovvero la **legna bianca**, è portata ad una ditta di Viadana e richiede soltanto i costi di trasporto. Tali costi sono stati quantificati in **10 € alla tonnellata**. Si ricorda che le quantità da prendere in considerazione sono:

- 3.500 ton di potature conferite nel 2006 al centro di compostaggio di Fossoli
- 7.500 ton di legna bianca trasferite alla SIA di Viadana

Pertanto nel corso del 2006 il costo di conferimento del materiale verde al centro di compostaggio dell'AIMAG di Fossoli e presso la ditta SIA di Viadana, si è attestato su tale valore:

<b>CALCOLO DEL COSTO MANCATO DOVUTO AL MANCATO SMALTIMENTO DEL MATERIALE VERDE E LEGNOSO</b>					
<b>DATI</b>			<b>CALCOLI</b>		
Dato	Valore	Unità di misura	Dato	Valore	Unità di misura
Quantità POTATURE raccolte da S.A.B.A.R.	3.500	ton/anno	Costo totale per conferimento all'AIMAG	€ 185.500	€/anno
Quantità LEGNA BIANCA raccolta da S.A.B.A.R.	7.500	ton/anno	Costo totale per conferimento alla SIA	€ 75.000	€/anno
Costo per conferimento alla SIA	€ 10	€/ton			
Costo per conferimento all'AIMAG	€ 53	€/ton			
<b>DELTA RICAVI TOTALE GENERATO</b>					
<b>Ricavo totale annuale</b>				<b>€ 260.500</b>	

Tabella 33 - Ricavo dovuto al costo mancato di smaltimento e trasporto del materiale legnoso

Concludendo questa rapida considerazione, se si decidesse di utilizzare la biomassa cippata essiccata come combustibile in apposite caldaie o procedere con la vendita di questo materiale, oltre ad un'eventuale ricavo dovuto alla valorizzazione della biomassa come calore o alla vendita del cippato essiccato, si deve considerare un **costo mancato** di circa **260.000 €/anno**, che attualmente è sostenuto per il conferimento di questa quantità di materiale al centro di compostaggio di Fossoli e alla SIA di Viadana.

## 3.4 VENDITA DEL CIPPATO ESSICCATO IN CAMPO DA S.A.BA.R.

Oltre al ricavo dal costo mancato per l'evitato smaltimento della biomassa, è possibile valorizzare questo materiale avviandolo alla combustione in centrali create appositamente o vendere il cippato a centrali già esistenti in grado di utilizzarlo come combustibile.

Il materiale che risulta dalla cippatura delle biomassa legnosa raccolta da S.A.BA.R. è un materiale disomogeneo, con variazioni consistenti di percentuali di umidità. Questo materiale non è adatto a fungere da combustibile per tutte le caldaie a cippato presenti sul mercato, ma si adatta meglio ad alcune tipologie ed a caldaie di grosse dimensioni.

Ad ogni modo, il materiale legnoso per essere valorizzato necessita di un processo di essiccazione, che può avvenire in due modi diversi:

- Materiale cippato essiccato in campo
- Materiale cippato essiccato in un apposito essiccatoio

Naturalmente un essiccatoio che utilizza il calore della centrale di cogenerazione, consente di ottenere un cippato di umidità uniforme e fa diminuire il rischio che il materiale marcisca. Se, invece si ritiene più idoneo valorizzare il calore della centrale in un altro modo, un metodo per valorizzare la biomassa potrebbe essere quello di farla essiccare nei mesi più caldi in campo e utilizzarla come combustibile nei mesi invernali.

Anche questo tipo di essiccazione consente di stabilizzare il materiale e ridurre, in quantità inferiore rispetto all'essiccatoio, la percentuale di umidità al suo interno. Il rischio di un'essiccazione di questo tipo è che il materiale fermenti e marcisca.

Questa alternativa è approfondita ora in termini economici.

Il materiale essiccato in campo potrebbe essere venduto a **30 €/ton**. Considerando che la riduzione del peso delle potature sia attorno al 20% e quello della legna bianca sia del 10%, si ha una riduzione totale sul peso del cippato di circa 1.500 ton/anno.

Il calcolo sui ricavi è riportato nella tabella sottostante. Si riporta anche il costo mancato per valutare l'intero importo dei ricavi che genera questa soluzione.

CALCOLO DEI RICAVI DA VENDITA DEL MATERIALE LEGNOSO ESSICCATO IN CAMPO					
DATI			CALCOLI		
Dato	Valore	Unità di misura	Dato	Valore	Unità di misura
Quantità potature e legna di SABAR	3.500	ton/anno	Ricavo da vendita materiale essiccato	€ 286.500	€/anno
Quantità legna bianca di SABAR	7.500	ton/anno			
TOTALE MATERIALE DA ESSICCARE	11.000	ton/anno			
Riduzione frazione umida potature	20%				
Riduzione della frazione umida di legna bianca	10%				
Quantità potature e legna essiccate di SABAR	2.800	ton/anno			
Quantità legna bianca essiccata di SABAR	6.750	ton/anno			
TOTALE MATERIALE ESSICCATO	9.550	ton/anno			
Prezzo pagato per il materiale essiccato	€ 30,00	€/ton			
CALCOLO DEL COSTO MANCATO DOVUTO AL NON CONFERIMENTO DEL MATERIALE AL CENTRO DI COMPOSTAGGIO DI FOSSOLI					
DATI			CALCOLI		
Dato	Valore	Unità di misura	Dato	Valore	Unità di misura
Quantità potature e legna raccolte da S.A.B.A.R.	3.500	ton/anno	Costo totale per conferimento a Fossoli	€ 185.500	€/anno
Quantità legna bianca raccolta da S.A.B.A.R.	7.500	ton/anno	Costo totale per conferimento a Viadana	€ 75.000	€/anno
Costo per conferimento a Viadana	€ 10,00	€/ton			
Costo per conferimento a Fossoli	€ 53,00	€/ton			
DELTA RICAVI TOTALE GENERATO					
Ricavo totale annuale				€ 547.000	

Tabella 34 - Ricavi e costo mancato dalla valorizzazione della biomassa essiccata in campo

Pertanto una soluzione di questo tipo è in grado di aumentare la voce ricavi di circa **547.000 €**. Si riportano ora i costi di investimento previsti per la costruzione di una piccola filiera per l'ottenimento di cippato essiccato in campo. Questo progetto prevede la costruzione di un capannone, l'acquisto di una cippatrice adatta, un ragno caricatore e una vaglio per selezionare accuratamente la biomassa.

I costi per l'urbanizzazione (250.000 €) dell'area acquistata di recente dalla S.A.B.A.R. sono già stati accantonati, poiché l'urbanizzazione dell'area è effettuata in ogni caso.

Il costo del **capannone** per contenere sia il materiale in ingresso nell'essiccatoio, sia il cippato essiccato è invece molto elevato. È stato ipotizzato di costruire un capannone in parte aperto ai lati, di 80 x 80 m<sup>2</sup> al costo di 120 €/m<sup>2</sup>. L'altezza prevista è di 8 m. Il costo del capannone con i vari allacciamenti risulta essere attorno agli **800.000 €**. A tale costo si deve aggiungere la preparazione del piazzale di circa 10.000 m<sup>2</sup>. Considerando un costo per il piazzale di 50 €/m<sup>2</sup>, è necessario tenere conto nell'investimento di circa altre **500.000 €**.

PREVENTIVO PER LA COSTITUZIONE DI UNA FILIERA PER VALORIZZARE LA BIOMASSA			
DESCRIZIONE	COSTO	ANNI	AMMORTAMENTO
<b>TERRENI</b>			
Terreno	€ 60.000	-	
<b>TOTALE LAVORAZIONI TERRENO</b>	<b>€ 60.000</b>		
<b>CAPANNONE</b>			
Urbanizzazione terreno per impianto (*Già ACCANTONATI)	€ 250.000	33	€ 7.576
Capannone di stoccaggio e piazzale di carico e scarico	€ 1.268.000	33	€ 38.424
Imprevisti	€ 100.000	33	€ 3.030
<b>TOTALE COST PER IL CAPANNONE</b>	<b>€ 1.368.000</b>		<b>€ 41.455</b>
<b>CIPPATRICE, RAGNO E VAGLIO</b>			
Cippatrice	€ 280.000	5	€ 56.000
Vaglio	€ 70.000	5	€ 14.000
Ragno caricatore	€ 100.000	5	€ 20.000
<b>TOTALE COSTI</b>	<b>€ 450.000</b>		<b>€ 90.000</b>
<b>TOTALE INVESTIMENTO FILIERA</b>	<b>€ 1.878.000</b>		<b>€ 131.455</b>

Tabella 35 - Costi iniziali per la trasformazione e lo stoccaggio della biomassa cippata

Inoltre per far funzionare la filiera è necessario assumere del personale e tenere ben presente altri costi di gestione. Questi sono riportati nella tabella sottostante.

COSTI DI GESTIONE PER LA FILIERA	
DESCRIZIONE	COSTO
<b>DESCRIZIONE</b>	
Personale (3 addetti)	€ 130.000
Energia elettrica	€ 3.000
Assicurazioni (0,7% di I)	€ 13.146
Materiali di consumo (3% di I)	€ 13.500
Manutenzione (5% di I)	€ 22.500
Spese generali (5% dei costi annuali)	€ 10.457
Spese di gasolio per macchine mobili	€ 27.000
<b>COSTI DI GESTIONE</b>	<b>€ 219.603</b>

Tabella 36 - Costi di gestione della filiera per essiccare il cippato in campo

Riassumendo tutti i costi e i ricavi generabili con questa soluzione si ha:

DESCRIZIONE		COSTO
DESCRIZIONE		
Investimento iniziale	€	1.878.000
Costi annuali relativi all'impianto	€	219.603
Ricavi annuali relativi all'impianto	€	547.000
Utile generato dall'impianto annualmente	€	327.397

*Tabella 37 - Riassunto dei costi d'investimento iniziale, dei costi di gestione e dei ricavi per la filiera di essiccazione del cippato in campo*

Con questi valori, attualizzando i flussi di cassa, è possibile trovare l'andamento del valore attuale netto. La formula utilizzata è riportata di seguito.

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+r)^i}$$

dove:

$I_0$  = Investimento iniziale

$FC_i$  = Flusso di cassa del periodo  $i$

$r$  = costo opportunità del capitale (4%)

$n$  = numero di anni sui quali è calcolato il ritorno sull'investimento (10 anni)

CALCOLO DEL VAN SUI 10 ANNI											
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δ anno	-€ 1.878.000	€ 314.805	€ 302.697	€ 291.054	€ 279.860	€ 269.096	€ 258.746	€ 248.795	€ 239.226	€ 230.025	€ 221.177
VAN	-€ 1.878.000	-€ 1.563.195	-€ 1.260.499	-€ 969.444	-€ 689.584	-€ 420.488	-€ 161.742	€ 87.053	€ 326.278	€ 556.303	€ 777.481
ROI Complessivo		-83%	-67%	-52%	-37%	-22%	-9%	5%	17%	30%	41%
ROI Annuale		-83,24%	-33,56%	-17,21%	-9,18%	-4,48%	-1,44%	0,66%	2,17%	3,29%	4,14%

Tabella 38 - Andamento del VAN sui 10 anni per la filiera di essiccazione cippato in campo

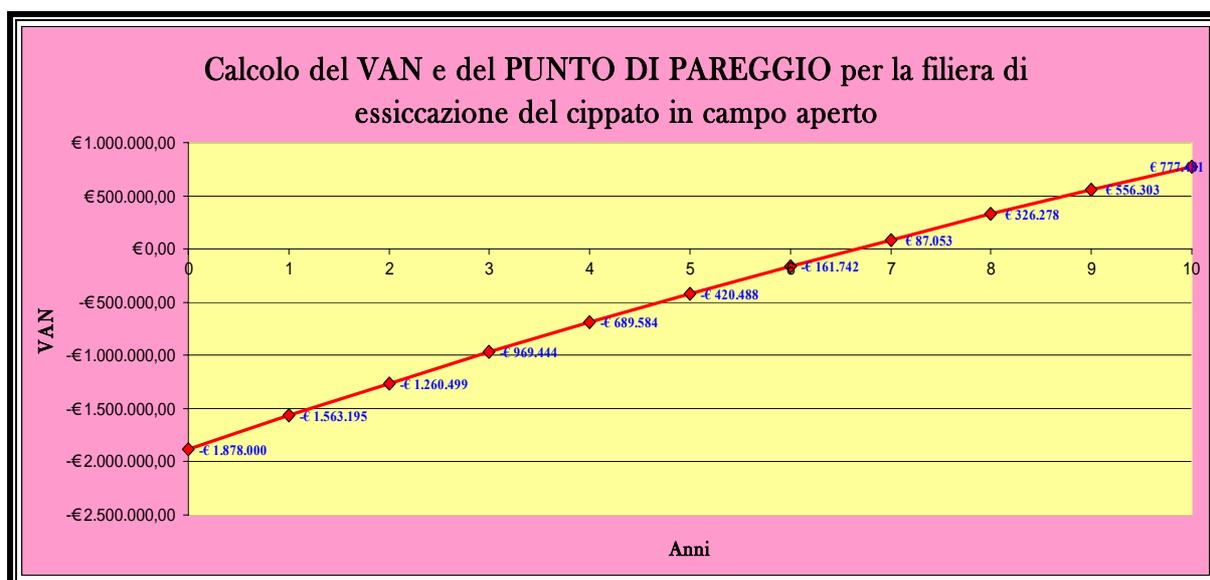


Figura 39 - Andamento del VAN sui 10 anni per la filiera di essiccazione cippato in campo

Pertanto un investimento di queste dimensioni, potrebbe essere recuperato, vendendo il materiale a 30 €/ton, in 6 ÷ 7 anni e genera un ROI annuale del 4,1% sui 10 anni.

La vendita del materiale verde e legnoso essiccato in campo può essere fatto a società che gestiscono centrali funzionanti a biomassa o individuare zone vicine a S.A.BA.R. in cui è possibile e vantaggiosa la costruzione di centrali che funzionano con questo combustibile.

È necessario che la distanza tra la S.A.BA.R., zona in cui avviene la lavorazione, e quella della centrale non sia troppo elevata, per non far lievitare i costi di trasporto. Sono già più di una le centrali che producono energia termica ed elettrica in Emilia Romagna e in tutto il Nord Italia. Il materiale si dovrebbe presentare all'incirca in questo modo:



*Figura 40 - Esempio di biomassa derivante da diversi tipi di scarti vegetali, sottoforma di cippato*

Come si vede anche dal fumo che scaturisce dal cumulo di cippato in figura, il materiale comincia la fermentazione mantenendo una temperatura più alta al suo interno. Questo processo consente al materiale in parte di auto-essicarsi, con il rischio però di marcire. Questo rischio è praticamente eliminato se si prevede il passaggio all'interno di un essiccatoio.

## 3.5 COSTRUZIONE DI UN ESSICCATORE PER CIPPATO LEGNOSO

L'energia termica, sottoforma di fumi a 500°C, prodotta della centrale di cogenerazione potrebbe essere utilizzata per essiccare la biomassa raccolta in maniera differenziata negli 8 Comuni serviti da S.A.BA.R.

Il materiale legnoso raccolto, che attualmente, come sopraccitato, costituisce un costo per l'azienda, potrebbe in questo modo essere valorizzato essiccandolo e venduto sottoforma di cippato.

L'importanza del passaggio in un essiccatoio risiede nel fatto che il materiale, una volta essiccato, non fermenta e quindi diminuisce notevolmente il rischio che il materiale marcisca. Inoltre dato che la percentuale di umidità insita nel legno viene ridotta attraverso questo processo, aumenta il potere calorifico inferiore del cippato.

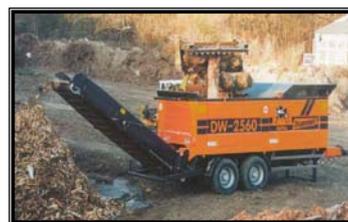
Il sistema è abbastanza semplice poiché prevede il passaggio del materiale in un flusso controcorrente a temperatura imposta. Quindi un'unica linea di trattamento con un impianto di modeste dimensioni. Al fine di sfruttare al meglio l'energia termica in uscita dai motori endotermici, è conveniente collocare l'essiccatore più vicino possibile ai motori per limitare al massimo le dispersioni di calore e lunghezza dei tubi di collegamento.

Il cippato essiccato dopo questa lavorazione può, quindi, essere utilizzato in centrali funzionanti a biomassa per produrre energia elettrica e/o termica. Nel Nord Italia sono presenti già un numero elevato di centrali che funzionano a biomassa. Quindi si può prevedere di vendere il prodotto finale a queste centrali, cercando di evitare viaggi per il trasporto del materiale troppo lunghi.

Dal momento che l'investimento per un impianto di essiccazione richiede un numero elevato di risorse non solo finanziarie, è necessario prima di intraprendere l'investimento trovare eventuali **potenziali utilizzatori**.

L'impianto per la produzione di cippato essiccato richiede la costituzione di una filiera che comprende diverse fasi, quali:

**1. Cippatura del materiale**



**2. Vagliatura per privare il cippato di elementi di altra natura**



**3. Essiccazione del cippato**



4. **Stoccaggio** del cippato essiccato



5. **Trasporto** del cippato a centrali a biomassa



Per quanto riguarda l'essiccatoio è stato chiesto ad una ditta che si occupa di impianti essiccatori, di elaborare un progetto consono alle risorse di calore di S.A.BA.R.. L'essiccatoio proposto da questa ditta ha potenzialità massima di **1.500.000 kcal/h (1,7 MWt)** e prevede di utilizzare in ingresso circa **18.000 kg/h** di **fumi secchi** alla temperatura di **500°C**.

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \dot{m}_{fumi} \cdot cs_{fumi} \cdot \Delta T = \\ &= 18.000(kg/h) \cdot 1,05(kJ/kg \cdot C) \cdot (500 - 180)^\circ C = \\ &= 6.048.000kJ/h = \\ &= 1.680kJ/s = \\ &\cong 1,7MW \end{aligned}$$

Il calore in uscita dai fumi di S.A.BA.R. mediamente si attesta attorno a 1,5 MW, ma l'essiccatoio è stato leggermente sovradimensionato. Per avere un'idea di quanta acqua è in grado di far evaporare questo calore, sono necessari questi dati:

- $\dot{m}_{acqua} = ?$
- $\dot{Q} = 1,5MW = 5.400.000 \text{ kJ/h}$
- $cs_{acqua} = 4,186 \text{ kJ/kg C}$
- $r = 2.250 \text{ kJ/kg}$
- $T_i = 10^\circ C$
- $T_{eb} = 100^\circ C$

Calcolo:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{acqua} \cdot (c_{s_{acqua}} \cdot \Delta T + r)$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{acqua} &= \frac{\dot{Q}}{(c_{s_{acqua}} \cdot \Delta T + r)} = \\ &= \frac{5.400.000 \text{ kJ/h}}{(4,186 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 90^\circ\text{C} + 2.250 \text{ kJ/kg})} = 2.055 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Questo calcolo mostra che è possibile far evaporare all'incirca 2.000 lt/h di acqua insita nel cippato. Naturalmente sono molte le variabili in gioco che possono far variare il risultato del calcolo, ma la formula semplicistica è riportata in modo da avere un'idea delle potenzialità dell'essiccatoio. Se, ad esempio, il quantitativo d'umidità all'interno del cippato è pari al 60%, è possibile essiccare 4 tonnellate di materiale all'ora.

Il preventivo relativo all'**essiccatore** pervenuto alla S.A.BA.R. S.p.A. si aggira attorno ai **250.000 € + IVA** con le spese di trasporto e straordinarie escluse.

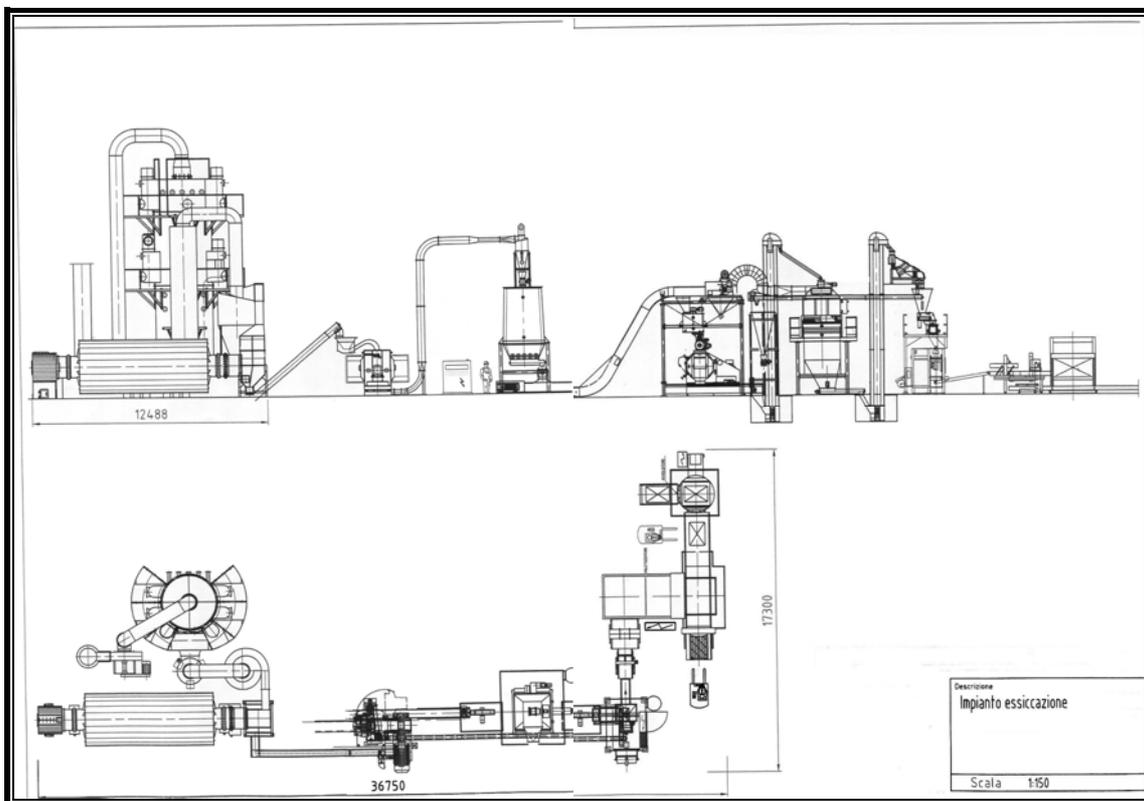


Figura 41 - Disegno e dimensioni dell'impianto essiccatore

È necessario aggiungere al costo dell'essiccatoio una serie di costi relativi alla costruzione dell'impianto: il costo del terreno e di lavorazioni annesse, il costo dello spostamento della serra, il costo di un capannone per lo stoccaggio, il costo di un elettrofiltro adatto per evitare eccessive emissioni sottoforma, soprattutto, di polveri, il costo di una cippatrice che renda il materiale di una pezzatura idonea all'essiccamento, più tutta una serie di costi gestionali ed amministrativi per la gestione dell'impianto una volta installato.

Sotto in tabella sono riportati i costi relativi all'urbanizzazione e quelli di installazione dell'impianto essiccatoio.

<b>COSTI URBANIZZAZIONI PER CAPANNONE ED IMPIANTO ESSICCATORE</b>					
<b>PREPARAZIONE DEL TERRENO</b>					
Recinzione	1.150	mt	€ 40	€	46.000
Recinzione con il muretto	250	mt	€ 70	€	17.500
Cancelli	2	unità	€ 5.000	€	10.000
Impianto illuminazione				€	16.000
Linea elettrica e spostamento serra				€	60.000
Piazzola di sosta automezzi	1.250	m <sup>2</sup>	€ 50	€	62.500
Barriera verde	3.000	piante	€ 10	€	30.000
Viabilità interna	400	m <sup>2</sup>	€ 20	€	8.000
<b>TOTALE URBANIZZAZIONI</b>				<b>€</b>	<b>250.000</b>
<b>CAPANNONE PER IL CONTENIMENTO DEL CIPPATO E PIAZZALE</b>					
Piazzale	10.000	m <sup>2</sup>	€ 50	€	500.000
Capannone	6.400	m <sup>2</sup>	€ 120	€	768.000
<b>TOTOALE CAPANNONE</b>				<b>€</b>	<b>1.268.000</b>
<b>IMPREVISTI</b>				<b>€</b>	<b>100.000</b>
<b>TOTALE INVESTIMENTI DI URBANIZZAZIONE</b>				<b>€</b>	<b>1.618.000</b>

Tabella 42 - Costi di urbanizzazione del terreno destinato all'impianto di essiccazione

I costi di preparazione del terreno acquistato recentemente da S.A.BA.R., sono riportati in tabella, ma non sono considerati parte dell'investimento dell'impianto essiccatoio poiché sarebbero in ogni modo sostenuti. Tali costi sono già stati preventivati e accantonati dell'azienda.

Si riportano ora, invece, i costi complessivi dell'investimento sull'impianto essiccatoio.

PREVENTIVO PER LA COSTRUZIONE DI UN IMPIANTO ESSICCATORE IN S.A.BA.R.			
DESCRIZIONE	COSTO	ANNI	AMMORTAMENTO
<b>TERRENI</b>			
Terreno	1 60.000	-	
<b>TOTALE LAVORAZIONI TERRENO</b>	<b>€ 60.000</b>		
<b>CAPANNONE</b>			
Urbanizzazione terreno per impianto ("Già" ACCANTONATI)	1 250.000	33	17.578
Capannone	1 1.268.000	33	138.424
Imprevisti	1 100.000	33	13.030
<b>TOTALE COST PER IL CAPANNONE</b>	<b>€ 1.368.000</b>		<b>€ 41.455</b>
<b>CIPPATRICE, VAGLIO E RAGNO CARICATORE</b>			
Cippatrice	1 280.000	5	156.000
Vaglio	1 70.000	5	14.000
Ragno caricatore	1 100.000	5	120.000
<b>TOTALE COSTI</b>	<b>€ 450.000</b>		<b>€ 90.000</b>
<b>TUBI COLLETTORI DEI FUMI</b>			
Tubi collettori dei fumi	1 50.000	10	15.000
<b>TOTALE TUBI COLLETTORI</b>	<b>€ 50.000</b>		<b>€ 5.000</b>
<b>ELETTROFILTRO</b>			
Elettrofiltro ACR-3-80-10"-10"	1 372.000	10	137.200
Ventilatore	1 15.000	10	1.500
<b>TOTALE ELETTROFILTRO</b>	<b>€ 387.000</b>		<b>€ 38.700</b>
<b>ESSICCATOIO</b>			
1 Silos alimentatore dosatore MOD. BO	1 25.300	10	12.530,00
1 Trasportatore a nastro	1 8.900	10	1.890
1 Coolea	1 4.100	10	1.410
1 Testata fissa o Precamera	1 13.700	10	1.370
Essiccatoio rotativo tubolare continuo MOD. KT2800 equicorrente	1 135.500	10	13.550
1 Coolea	1 5.560	10	1.558
1 Quadro elettrico	1 39.900	10	3.990
Regolatore depressione	1 17.900	10	1.790
<b>TOTALE ESSICCATOIO</b>	<b>€ 250.860</b>		<b>€ 25.086</b>
<b>TOTALE INVESTIMENTO ESSICCATORE</b>	<b>€ 2.565.860</b>		<b>€ 200.241</b>

Tabella 43 - Costo d'installazione di un impianto per l'essiccazione del cippato

- Per il costo del **terreno** si è ipotizzato di dover utilizzare circa 10.000 ÷ 12.000 m<sup>2</sup> di quello recentemente acquistato dalla S.A.BA.R. al costo di 4,5 €/ m<sup>2</sup>. Il costo di questo lotto risulta essere in totale di circa **60.000 €**. È stato riportato fra i costi, anche se non è un bene che si svaluta, ma per avere un'idea dell'importo sostenuto.
- Il costo del **capannone** invece risulta essere quasi il 50% dell'investimento totale, poiché deve contenere sia il materiale in ingresso nell'essiccatoio, sia il cippato essiccato. È stato ipotizzato di costruire un capannone in parte aperto ai lati, di 80 x 80 m<sup>2</sup> al costo di 120 €/m<sup>2</sup>. L'altezza prevista è di 8 m. Il costo del capannone con i vari allacciamenti risulta

essere attorno agli **800.000 €**. A tale costo si deve aggiungere la preparazione del piazzale per la movimentazione del materiale in ingresso ed in uscita dall'essiccatoio di circa 10.000 m<sup>2</sup>. Considerando un costo per il piazzale di 50 €/m<sup>2</sup>, è necessario tenere conto nell'investimento circa altre **500.000 €**.

- È stata acquistata recentemente una **cippatrice** dalla **S.A.B.A.R.**, poiché sono previsti anche altri utilizzi oltre a quello che potrebbe esservi con l'investimento dell'essiccatore. Si tratta di vedere, se le dimensioni che è in grado di fare tale cippatrice, possano andare bene anche per il cippato destinato all'impianto essiccatore. In caso contrario si renderebbe necessario l'acquisto di una cippatrice capace di ridurre maggiormente le dimensioni del cippato. Sono riportate le caratteristiche della cippatrice acquistata da **S.A.B.A.R.**:

- ↵ Marca: DOPPSTADT
- ↵ Modello: DW 2560
- ↵ Motorizzazione: diesel
- ↵ Installazione: mobile
- ↵ Lunghezza totale: 9.378 mm
- ↵ Larghezza totale: 2.500 mm
- ↵ Altezza totale con il nastro ripiegato: 3.900 mm
- ↵ Marca motore: Daimler - Chrysler
- ↵ Tipo motore: OM 460 LA
- ↵ Potenza: 290 kW
- ↵ Cilindrata: 11.970
- ↵ Capacità serbatoio: 300 l
- ↵ Pezzatura: regolabile
- ↵ Capacità di triturazione: 40 ton/h
- ↵ Peso: 19 ton

Il costo della cippatrice, comprensivo anche delle spese di trasposto è di **280.000 €**.



Figura 44 - Immagine della cippatrice DW 2560 acquistata dalla S.A.BA.R.

Ai costi di realizzazione dell'impianto sopraccitati sono da aggiungere quelli relativi alla gestione dell'impianto. Per alcune voci sono state ipotizzate delle quote percentuali sull'investimento, dato che non è possibile quantificarle con esattezza a priori. Tali costi sono riportati in tabella.

COSTI DI GESTIONE IMPIANTO ESSICCATORE IN S.A.BA.R.	
DESCRIZIONE	COSTO
<b>DESCRIZIONE</b>	
Personale (5 addetti)	€ 220.000
Energia elettrica	€ 17.000
Assicurazioni (0,7% di I)	€ 4.815
Materiali di consumo (3% di I)	€ 20.636
Manutenzione (5% di I)	€ 31.893
Spese generali (5% dei costi annuali)	€ 5.067
Spese di gasolio per macchine mobili	€ 27.000
<b>COSTI DI GESTIONE</b>	<b>€ 326.411</b>

Tabella 45 - Costi di gestione dell'impianto di essiccazione

Il costo totale dell'impianto e i costi di gestione possono subire delle modifiche in corso d'opera. Per ogni singola voce, sono riportati i calcoli fatti per stimare i valori sopra riportati.

- **Personale:** si considera di lavorare su **due turni** lavorativi di **36,5 ore a settimana**. Ogni operatore lavora, considerando le ferie, per 48 sett/anno a 25 €/h. Ogni operatore costa all'azienda 43.800 €/anno (36,5 h/sett x 48 sett/anno x 25 €/h). Per il corretto funzionamento dell'impianto si ritiene siano necessari **5 operatori**, per assicurare che i turni siano coperti anche quando qualcuno di questi va in ferie o si ammala. Così il costo totale per il personale si aggira intorno ai **220.000 €/anno**.
- **Energia elettrica:** analizzando i consumi di ogni componente dell'impianto essiccatore, è stato constatato un assorbimento di energia elettrica di **73,5 kW** per ogni ora di funzionamento. Se si considerano le 3.300 h/anno di funzionamento, la richiesta totale si aggira attorno ai 242.385 kWh/anno. Utilizzando l'energia elettrica prodotta dai cogeneratori, il costo è di 0,07 €/kWe, quindi il costo da sostenere annualmente è di circa **17.000 €**.
- **Assicurazione:** il costo per assicurare l'impianto è lo **0,7% dell'investimento**.
- **Materiali di consumo:** non riuscendo ad ipotizzare quale sia il valore dei materiali di consumo, è stato utilizzato anche per questa voce un valore percentuale sul totale dell'investimento. In letteratura, per questo tipo di impianti, si ipotizza il **3% dell'investimento**.
- **Manutenzione:** per quantificare il valore della manutenzione si utilizza il **5% dell'investimento**.
- **Spese generali:** questa voce raccoglie tutti i costi non previsti, ma che potrebbero essere da sostenere nella gestione dell'impianto. È stata quantificata come il **5% dei costi annuali**. In questi costi rientrano anche i costi amministrativi e commerciali, che non sono molto elevati dato che si occuperebbe di questa gestione il personale già assunto di S.A.B.A.R..

- **Spese di gasolio per macchine mobili:** sono 3 le macchine mobili che rientrano in questo progetto: la **cippatrice**, la **pala** per la pulizia del piazzale in cui è stoccato il legno e il **ragno** per il carico del materiale nella cippatrice. Per stimare questo valore sono necessari alcuni dati. La **cippatrice** che ha una capacità di  $35 \div 40$  ton/ora lavorerebbe per **450 h/anno** ( $16.500 \text{ ton}/\text{anno} \div 35 \text{ ton}/\text{h}$ ). La potenza della macchina è di 290 kW ( $1 \text{ kW} = 1,36 \text{ CV}$  [*Fonte Wikipedia*]), anche se non lavora sempre a pieno carico. Considerando quindi 213 CV e un consumo a CV di 0,2 l di gasolio (0,93 + IVA €/l), il consumo della cippatrice risulta essere attorno ai 40 l/h, che equivalgono all'incirca a 40 €/h. Il costo annuale del carburante per la cippatrice risulta essere di **18.000 €**. A questo vanno aggiunti i consumi della **pala** e del **ragno caricatore** che consumano ognuno attorno ai 10 l/h ( $\approx 10\text{€/h}$ ). Si suppone che per caricare 40 tonnellate di materiale, il tempo richiesto sia di un'ora. Pertanto il costo annuale del carburante per il ragno è di **4.500 €/anno**. Lo stesso valore è ipotizzato anche per il carburante necessario per la pala. In totale il costo del carburante per i tre mezzi è di **27.000 €**.

Per l'impianto essiccatore è già stata chiesta la variante, in modo tale che, se si decidesse di partire con l'installazione dell'impianto di essiccazione, i tempi non siano troppo lunghi. Il progetto è riportato in figura.

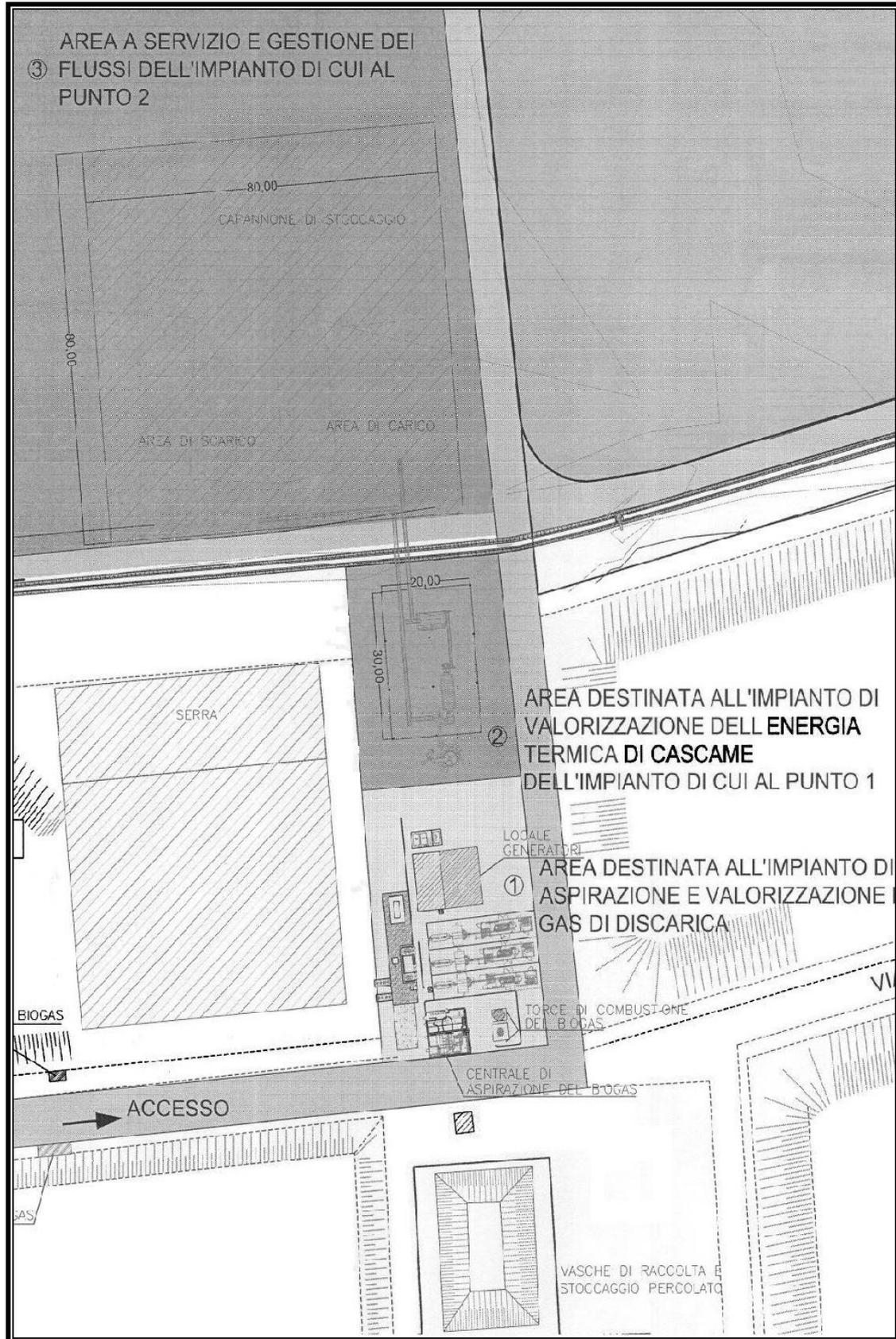


Figura 46 - Layout dell'eventuale impianto di essiccazione e stoccaggio del cippato

Dal momento che le quantità di materiale da essiccare raccolte da S.A.BA.R. non sarebbero sufficienti a saturare il funzionamento su due turni dell'impianto, sono state fatte due ipotesi per utilizzare l'intera capacità dell'essiccatoio:

- a. È stata ipotizzata la possibilità di fare una campagna di sensibilizzazione presso gli **agricoltori** degli 8 Comuni gestiti da S.A.BA.R. per raccogliere un maggiore quantitativo di legname di quello attuale. Attualmente molti agricoltori bruciano in campagna le potature e gli scarti di legname. Inoltre è molto probabile che in breve tempo questa operazione venga proibita, quindi si renderà necessario raccogliere anche questo materiale.
- b. La seconda ipotesi, invece, è quella di prelevare dalle isole ecologiche dei comuni vicini a Novellara di proprietà di **ENIA**, il quantitativo di legname per riuscire a saturare l'impianto.

Se con un essiccatore da **1.500.000 kcal/h (1.744 kWt)** si lavorano **4,5 tonnellate** di materiale essiccato ogni ora, il materiale raccolto attualmente dalla S.A.BA.R. di **11.000 ton/anno**, richiederebbe **2.450 h/anno** di funzionamento sulle 3.675 h/anno a disposizione.

Si ipotizza che per la gestione dell'impianto essiccatore si facciano **2 turni** strutturati nel seguente modo: il primo turno da 6 ore che lavora **dalle 6 alle 12** per **6 giorni** alla settimana e un secondo turno che lavora 7 ore e mezza per **5 giorni dalle 12 alle 19.30**. In questo modo l'impianto lavora dal lunedì al venerdì per 13 ore e 30, e 6 ore il sabato. Il numero di **ore totali di lavoro** dell'essiccatore risulta essere di **73,5 ore settimanali**. Per semplicità si considerano i giorni festivi in un anno considerando 50 settimane all'anno anziché 52. In questo modo le **ore di lavoro** in un anno per l'essiccatoio risultano essere **3.675 h/anno** (= 50 sett/anno x 73,5 ore sett). Con queste ore si considera di essiccare **16.500 ton/anno** di materiale umido al 50%. Le restanti **5.500 ton/anno** si raccoglierebbero attraverso la sensibilizzazione agli **agricoltori** oppure sarebbero richieste ad **ENIA**. Se il materiale fosse prelevato da ENIA, si suppone di prelevarlo a costo zero.

Il prezzo a cui è possibile vendere il cippato essiccato non è definito con precisione. Attualmente il prezzo pagato per il **cippato fresco** è di **40÷50 €/ton**, compreso il trasporto. Il valore del cippato essiccato proveniente da materiale raccolto tramite la raccolta differenziata, non è però ancora quantificato con precisione, poiché si tratta di un materiale di seconda

qualità. Dato che si tratta di materiale raccolto come “rifiuto differenziato” e rigenerato grazie alla cippatura, il passaggio in un vaglio e l’essiccazione, non è facile stabilire come verrà recepito dal mercato. È stato fatto un attento studio del mercato del cippato da avviare a combustione, ma non si hanno riferimenti precisi per il materiale di questo tipo.

Il prezzo di vendita dipenderà, in ogni modo, dalla distanza con gli utilizzatori e dagli accordi che saranno presi con le società interessate all’acquisto del materiale di S.A.BA.R..

Per effettuare il calcolo sul ritorno dell’investimento è stato **ipotizzato** di riuscire a vendere il cippato essiccato a **50 €/ton**, prezzo leggermente più alto di quello pagato attualmente per il cippato tal quale. Il cippato essiccato avrebbe un PCI maggiore, ma dato che è un materiale secondario, cautelativamente è stato fissato tale prezzo di vendita.

Per stabilire a quanto possano ammontare i ricavi derivanti dalla vendita di cippato essiccato di S.A.BA.R. è necessario tenere presente che tramite un’essiccazione di questo tipo si ha una riduzione della percentuale di umidità del cippato e quindi una diminuzione del peso.

Le potature che mediamente contengono un valore di umidità pari al 60 ÷ 70%, subiscono una riduzione del 50% del valore dell’umidità, mentre la legna bianca passa da un 40% ad un 10%, riducendosi del 30%. Pertanto anche le tonnellate di materiale raccolto, una volta cippate ed essiccate si riducono notevolmente.

$$\rightarrow \text{Riduzione peso della potature} = 3.500\text{ton}/\text{anno} \cdot (1 - 50\%) = 1.750 \text{ ton/anno}$$

$$\rightarrow \text{Riduzione peso delle legna bianca} = 7.500\text{ton}/\text{anno} \cdot (1 - 30\%) = 5.250 \text{ ton/anno}$$

$$\blacktriangleright \text{Ricavo da cippato essiccato: } 50\text{€}/\text{ton} \cdot 7.000\text{ton} = 350.000 \text{ €/anno}$$

Quindi, cippando ed essiccando il materiale raccolto da S.A.BA.R., si ha oltre al ricavo dalla vendita anche il costo mancato per l’evitato smaltimento. La somma dei due risulta pari a:

$$\text{Ricavi e costo mancato} = 260.500 \text{ €/anno} + 350.000 \text{ €/anno} = 610.500 \text{ €/anno}$$

L’investimento dell’essiccatoio quindi farebbe aumentare la voce ricavi di più di mezzo milione di €, solo per quanto riguarda il materiale raccolto da S.A.BA.R.

Infatti oltre ad essiccare le 11.000 ton/anno raccolte, sarebbe possibile essiccare all'incirca altre 5.500 ton/anno. Considerando anche questa quantità, prelevata a costo zero si è proceduto con una valutazione più accurata sui ricavi che genera l'investimento.

<b>CALCOLO DEI RICAVI DA VENDITA DEL MATERIALE LEGNOSO ESSICCATO</b>					
<b>DATI</b>			<b>CALCOLI</b>		
Dato	Valore	Unità di misura	Dato	Valore	Unità di misura
Quantità potature e legna di SABAR	3.500	ton/anno	Ricavo da vendita materiale essiccato	€ 542.500	€/anno
Quantità legna bianca di SABAR	7.500	ton/anno			
Quantità potature e legna di ENIA/AGRICOLTORI	5.500	ton/anno			
TOTALE MATERIALE DA ESSICCARE	16.500	ton/anno			
Riduzione frazione umida potature	50%				
Riduzione della frazione umida di legna bianca	30%				
Quantità potature e legna essiccate di SABAR	1.750	ton/anno			
Quantità legna bianca essiccata di SABAR	5.250	ton/anno			
Quantità potature e legna essiccate di ENIA/AGRICOLTORI	3.850	ton/anno			
TOTALE MATERIALE ESSICCATO	10.850	ton/anno			
Prezzo pagato per il materiale essiccato	€ 50,00	€/ton			
<b>CALCOLO DEL COSTO MANCATO DOVUTO AL NON CONFERIMENTO DEL MATERIALE AL CENTRO DI COMPOSTAGGIO DI FOSSOLI</b>					
<b>DATI</b>			<b>CALCOLI</b>		
Dato	Valore	Unità di misura	Dato	Valore	Unità di misura
Quantità potature e legna raccolte da S.A.BA.R.	3.500	ton/anno	Costo totale per conferimento a Fossoli	€ 185.500	€/anno
Quantità legna bianca raccolta da S.A.BA.R.	7.500	ton/anno	Costo totale per conferimento a Viadana	€ 75.000	€/anno
Costo per conferimento a Viadana	€ 10,00	€/ton			
Costo per conferimento a Fossoli	€ 53,00	€/ton			
<b>DELTA RICAVI TOTALE GENERATO</b>					
<b>Ricavo totale annuale</b>				<b>€ 803.000</b>	

Tabella 47 - Ricavi annuali generati dalla vendita del materiale essiccato a 50€/ton

Da questi ricavi e con i costi sopraccitati è possibile valutare il Valore Attuale Netto dell'investimento dopo 10 anni, il periodo di recupero della somma investita (PUNTO DI PAREGGIO) e il ritorno sull'investimento (ROI).

Sono riportati gli importi dei ricavi e dei costi per effettuare il calcolo del VAN e del ROI.

Costi, ricavi e utili generati dall'essiccatore	
DESCRIZIONE	COSTO
<b>DESCRIZIONE</b>	
Investimento iniziale	€ 2.565.860
Costi annuali relativi all'impianto	€ 326.411
Ricavi annuali relativi all'impianto	€ 803.000
Utile generato dall'impianto annualmente	€ 476.589

Figura 48 - Riassunto dei costi, ricavi e utili dell'investimento dell'impianto essiccatore

Ora con questi dati è possibile calcolare il ritorno economico per ogni anno. Il calcolo del VAN e del ROI anno per anno, riporta i seguenti risultati:

CALCOLO DEL VAN SUI 10 ANNI											
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δ anno	-€ 2.565.860	€ 458.259	€ 440.633	€ 423.686	€ 407.390	€ 391.721	€ 376.655	€ 362.168	€ 348.239	€ 334.845	€ 321.966
VAN	-€ 2.565.860	-€ 2.107.601	-€ 1.666.968	-€ 1.243.282	-€ 835.892	-€ 444.170	-€ 67.515	€ 294.653	€ 642.892	€ 977.737	€ 1.299.704
ROI Complessivo		-82%	-65%	-48%	-33%	-17%	-3%	11%	25%	38%	51%
ROI Annuale		-82,14%	-32,48%	-16,15%	-8,14%	-3,46%	-0,44%	1,64%	3,13%	4,23%	5,07%

Tabella 49 - Calcolo del ritorno economico, del VAN e del ROI sull'impianto essiccatore

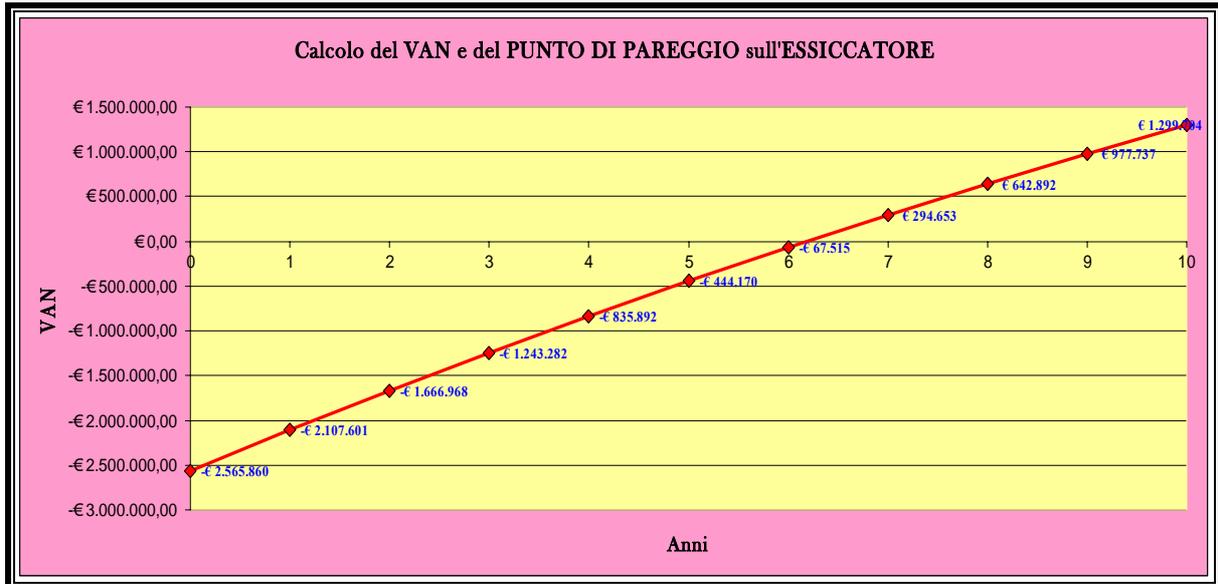


Figura 50 - Calcolo del VAN e del PUNTO DI PAREGGIO sull'essiccatore con la vendita del cippato essiccato a 50 €/ton

Ipotizzando un **tasso di interesse** annuo pari al **4 %** per attualizzare i ricavi generati negli anni, dalle stime fatte si può affermare che il ritorno economico sull'investimento (ROI), previsto dopo 10 anni è del **51%**. Il **ROI annuale** risulta quindi pari al **5,07%** e il **punto di pareggio** è intorno ai **6 anni**.

Dai calcoli fatti, tenendo sempre presente che alcuni valori possono essere soggetti a variazione nell'arco dei 10 anni, pare che l'investimento dal solo punto di vista economico possa essere considerato valido. Il confronto in termini economici per l'utilizzo del calore deve essere fatto con l'impianto a ciclo ORC.

Sono due, però, le considerazioni importanti da fare:

1. Il prezzo di vendita del **cippato essiccato** ipotizzato è stato pari a **50 €**, ma è possibile che il prezzo pagato per il cippato essiccato possa essere più basso o più elevato. Si tratta prima di effettuare l'investimento, di identificare possibili utilizzatori finali, che si impegnino ad acquistare, ad un prezzo fissato, tale materiale per una durata pluriennale. Attualmente, nella zone adiacenti alla S.A.BA.R., il prezzo, compreso di trasporto, a cui è stato acquistato il cippato tal quale di prima qualità è di 43 €/ton. Si riportano i valori del VAN nei casi in cui il prezzo del cippato essiccato è inferiore o maggiore dei 50 €/ton.

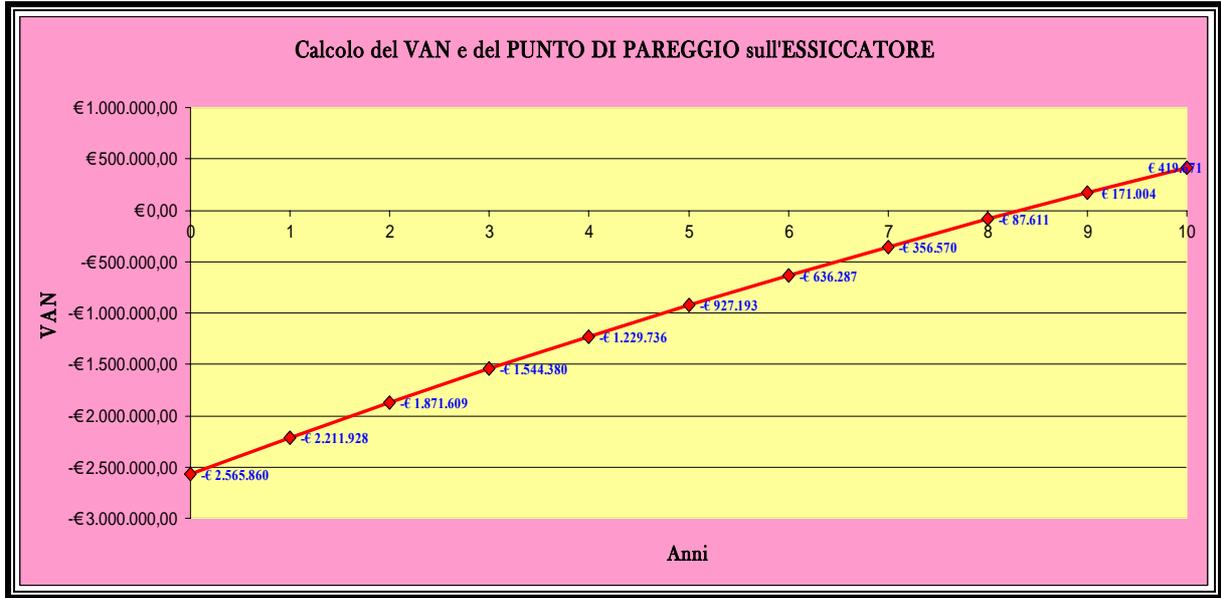


Figura 51 - Ritorno economico dell'essiccatore con il cippato venduto a 40 €/ton

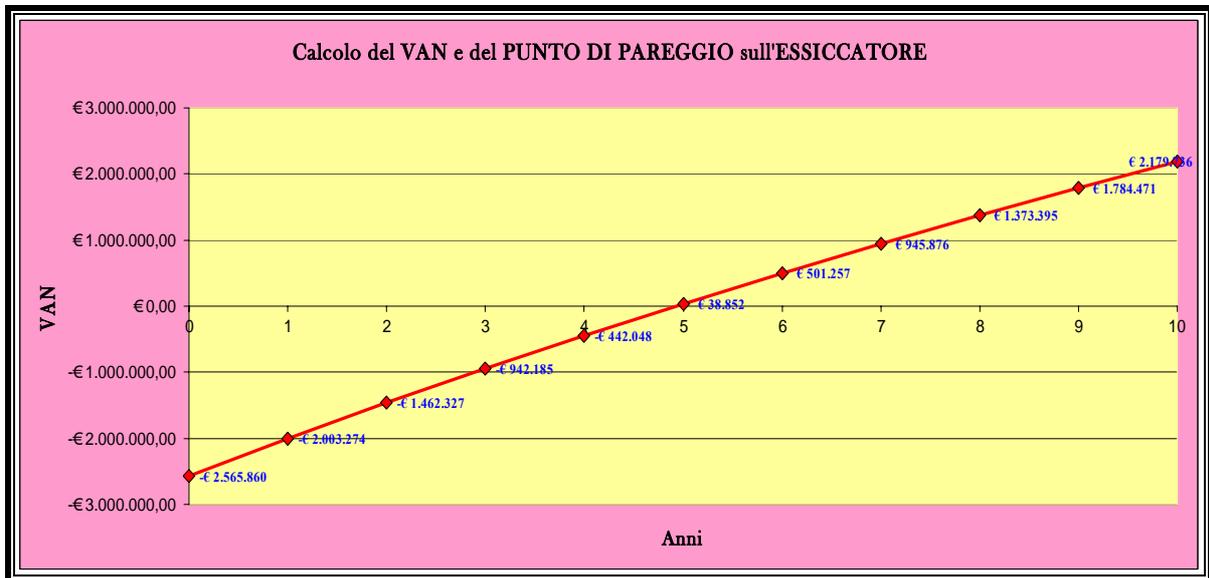


Figura 52 - Ritorno economico dell'essiccatore con il cippato venduto a 60 €/ton

Naturalmente, cambiando il prezzo di vendita del cippato essiccato, la valutazione economica complessiva è molto differente. Il mercato del legno cippato attualmente non si è ancora stabilizzato e non è possibile stabilire con precisione

come questo materiale possa essere recepito. Si può affermare che il caso della vendita a 50 €/ton sia il caso più probabile dei tre, soprattutto per quanto riguarda i primi anni, poi il prezzo del combustibile varierà in base alla domanda del mercato.

2. Al di là del risultato economico, è importante sottolineare che una soluzione di questo tipo consentirebbe di costruire e far funzionare centrali funzionanti a biomassa che andrebbero a sostituire tante piccole caldaie a fonti fossili, facendo diminuire l'**impatto ambientale** globale. Inoltre non si inierebbero a smaltimento migliaia di tonnellate all'anno di materiale legnoso che può essere recuperato dal punto di vista energetico, senza creare elevate emissioni.
3. Sarebbe utilizzato un combustibile, prodotto in zona, mantenendo l'economia all'interno del paese, diminuendo anche la dipendenza dai paesi esteri per la fornitura di energia e combustibile.

Ci sono però altre considerazioni da tenere presente che possono modificare la percezione del ritorno economico stimato. Queste valutazioni sono riportate sotto:

- Se sarà possibile utilizzare la cippatrice già acquistata da S.A.B.A.R., che sarà impiegata anche per altri scopi, i costi di ammortamento sono da suddividere con le altre attività per cui la cippatrice è utilizzata.
- Stessa considerazione può essere fatta per il ragno caricatore.
- Un altro costo, anche se non molto elevato, che può non essere considerato, è quello del terreno, poiché non è un bene che si svaluta.
- Inoltre non è stato considerato tra i costi, il valore del calore poiché è stato generato dalla centrale di cogenerazione e lo si ha a disposizione gratuitamente. Una soluzione di questo tipo quindi consentirebbe di utilizzare parte del calore e di non immetterlo completamente nell'ambiente.

La situazione attuale del mercato del cippato suggerisce un aumento della richiesta di materiale legnoso come combustibile, poiché stanno nascendo diverse centrali funzionanti a biomassa nel Nord Italia, anche non sono molto distanti da S.A.BA.R.

Inoltre è possibile attivare un nuovo business per S.A.BA.R. che è quello di vendere, oltre al cippato essiccato, direttamente il calore, attraverso l'installazione in uno o più piccole centrali funzionanti a biomassa. S.A.BA.R. sta prendendo in considerazione di poter costruire una centrale a Novellara e una a Guastalla e vendere quindi energia termica prodotta dalla combustione della biomassa raccolta.

Dato l'aumento dei costi del petrolio e del gas metano e con l'emanazione di incentivi ad utilizzare fonti rinnovabili per la produzione di energia, stanno diventando economicamente convenienti diverse tipologie di centrali e caldaie a biomassa.

## 3.6 COSTRUZIONE DI UN IMPIANTO PER PRODUZIONE DEL PELLETT

L'altra ipotesi presa in considerazione è lo studio che riguarda un impianto che prevede come output il **pellets**. Dal momento che il mercato del pellets in questi anni è esploso e si ha una domanda superiore all'offerta, con una conseguente lievitazione del prezzo del pellet, S.A.BA.R. ha valutato la possibilità di produrre pellets.



*Figura 53 - Immagine del pellet di prima qualità*

Un impianto per la produzione di **pellets** è costituito dalle seguenti principali sezioni\*:

➤ **Sezione di triturazione**, in cui il materiale viene tritato in modo da aumentare la superficie a contatto con l'aria per accelerare ed aumentare la riduzione di umidità all'interno materiale. Il materiale dopo questa fase è denominato "cippato".

➤ **Sezione di essiccazione**, in cui il rifiuto viene mantenuto ad una certa temperatura per diminuire il contenuto di umidità. L'umidità contenuta nel materiale prima di entrare nell'essiccatoio solitamente varia tra il 25 e il 60%. In questa fase il materiale viene disidratato e l'umidità deve raggiungere valori compresi tra il 10 e 15%, in modo che il pellet non si sbricioli.

➤ **Sezione di stoccaggio**, per contenere il cippato essiccato.

➤ **Sezione di raffinazione**, il materiale viene raffinato prima di essere compresso, in questo modo il materiale dovrebbe avere una pezzettatura omogenea.

➤ **Sezione di cubettatura, raffreddamento e setacciatura**, in questa sezione il materiale inerte viene compresso e scaldato leggermente, in questo modo dal legno fuoriesce la lignina che funge da collante. A volte questa non basta e viene aggiunto dell'amido di mais, che al massimo può essere del 2%. Il materiale compresso è chiamato "pellets". Durante questo processo la temperatura si alza (80÷100°C), quindi è necessario far seguire un processo di raffreddamento ad aria in controcorrente. Infine il materiale viene privato dalla polvere grazie ad un setaccio meccanico.

➤ **Sezione di pesatura e confezionamento**, fase finale in cui il pellets viene confezionato.

L'impianto quindi, rispetto al precedente, prevede le sezioni finali di fabbricazione del pellet e il suo confezionamento. Le caratteristiche tecniche e il disegno dell'impianto sono riportate nella figura sottostante.

\* Tratto da un opuscolo informativo: "La meccanica", TECNOLOGIE PER LA PRODUZIONE DEL PELLETS

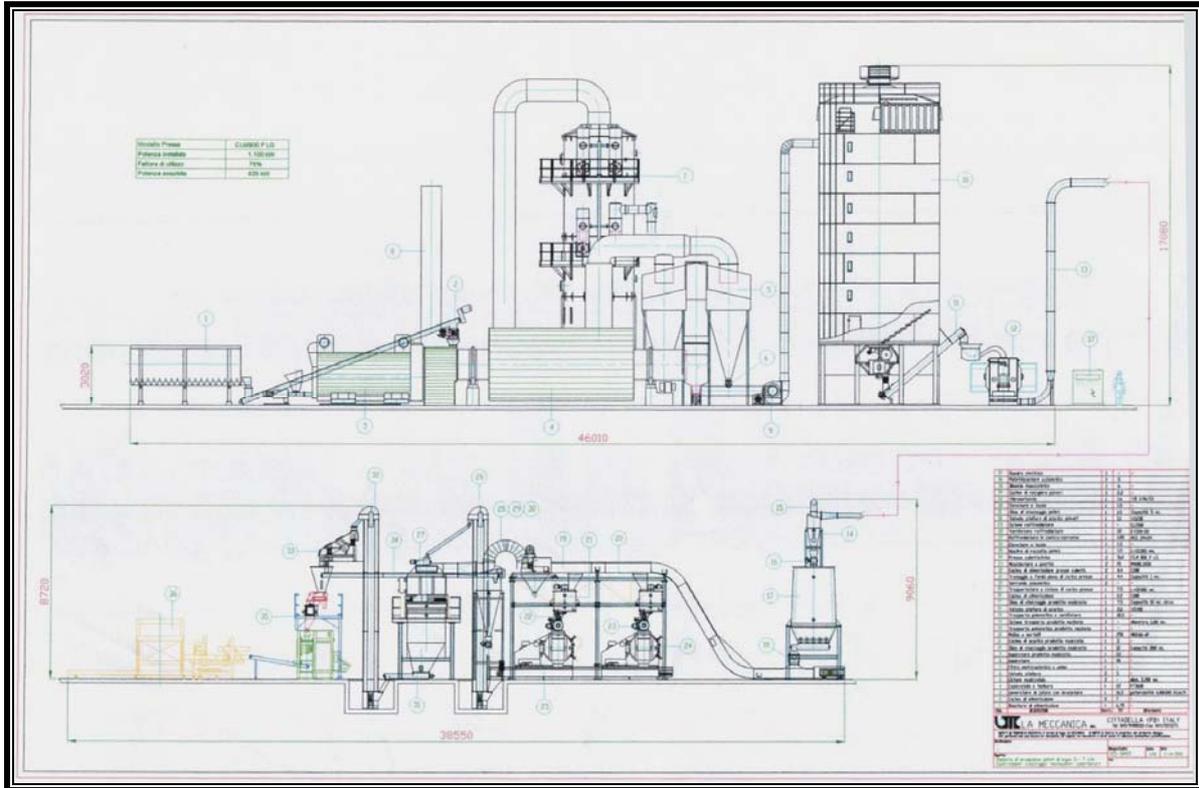


Figura 54 - Impianto di pellettizzazione

Parallelamente al preventivo richiesto alla ditta che produce impianti di pellettizzazione, è stata fatta una prova di fabbricazione del pellet con il materiale raccolto dalla S.A.BA.R.

In particolare questa **prova** è stata effettuata su un campione di **10 tonnellate di patate**. In seguito sono riportati i dati emersi da tale prova e le relative considerazioni.

Prima di riportare i dati della prova sono elencate le proprietà che il pellet di alta qualità deve avere per essere commercializzato.

## 3.7 FATTORI CHE INFLUENZANO LA QUALITÀ DEL PELLETS\*

Prima di poter prendere in considerazione l'investimento sono state effettuate delle prove di fabbricazione del pellets, per valutare la qualità del prodotto che ne deriva dal rifiuto verde raccolto dalla S.A.BA.R.. Per effettuare questa valutazione è necessario conoscere i **fattori** che influenzano la **qualità** e la **durabilità** del pellets sono:

1. **Tipo di legno**
2. **Granulometria della materia da lavorare**
3. **Umidità della materia prima**
4. **Specifiche tecniche delle trafilie**
5. **Raffreddamento dopo la granulazione**

### 1. **Tipo di legno**

Ogni tipo di albero dà un legno diverso: debole, forte, resinoso. I legni teneri hanno fibra e maglia larga mentre i legni forti hanno una fibra molto compatta. I legni teneri sono più facilmente pellettizzabili dagli altri tipi di essenza. Per creare pellets di qualità è consigliato utilizzare miscele di legno contenenti legni teneri.

### 2. **Granulometria**

La granulometria della materia prima da pellettizzare è molto importante: una segatura troppo fine è difficile da pellettizzare. La macchina si sforza molto e il pellets che si ottiene risulta molto spezzettato. È consigliabile utilizzare miscele di segatura a granulometria variabile.

\* Tratto da un opuscolo informativo: "La meccanica", TECNOLOGIE PER LA PRODUZIONE DEL PELLETS

### 3. Umidità della materia prima

L'umidità ideale per la produzione di pellets è tra il 10 e il 15%. Sotto il 10% il materiale risulta secco. Le presse sforzano molto ed il risultato non è buono: pellets corto e polveroso. Sopra il 15% il pellets tende a fessurarsi a causa della tensione interna creata dall'evaporazione dell'umidità in eccesso.

### 4. Specifiche tecniche delle trafile

Sono gli effetti dello spessore della trafilatura sulla capacità produttiva della pressa e sulla curabilità del pellets.

#### **Trafilatura di basso spessore:**

- ↑ Alta capacità
- ↑ Minor rischio di intasamento
- ↑ Minore stress delle macchine
- ↓ Necessità di maggior impegno ed esperienza dell'operatore per garantire la qualità del pellets
- ↓ Aspetto opaco del pellets
- ↓ Minore densità del pellets

#### **Trafilatura di alto spessore:**

- ↑ Qualità del pellets non legata all'esperienza dell'operatore
- ↓ Diminuzione di produttività
- ↓ Frequenti problemi di intasamento
- ↓ Maggiori costi di produzione
- ↓ Maggiore usura di trafilatura e camicie dei rulli
- ↓ Aumento della temperatura dovuta ad attrito
- ↓ Possibilità di danneggiamento della superficie della trafilatura

## 5. Raffreddamento

Il raffreddatore deve eliminare l'umidità aggiunta con il condizionamento a vapore mettendo a contatto l'aria con la superficie esterna del pellets. In questo modo l'umidità del pellets viene ridotta per un processo di evaporazione. Questo processo causa anche il raffreddamento del pellets. L'umidità del prodotto finito dovrà essere quasi uguale all'umidità della segatura di partenza.

## 3.8 PROVA DI FABBRICAZIONE DEL PELLETS CON IL MATERIALE DI S.A.BA.R.

Nel Marzo 2006 S.A.BA.R., affittando un impianto di fabbricazione del pellet, ha provato a fare un campione su 3 tonnellate di potature e rifiuto verde raccolto negli 8 comuni, per poter effettuare una valutazione obiettiva sulla qualità e sulla caratteristiche del pellets che ne può ricavare. Sotto è riportata un'immagine di una confezione di pellet scaturita dalla prova.



*Figura 55 - Pellets derivante dalle potature raccolte da S.A.BA.R.*

Come si può vedere dalla figura il pellets ricavato ha un colore piuttosto scuro rispetto al normale pellets in commercio, che deriva da scarti di lavorazione di segherie e quindi da legno bianco. Al di là del colore ciò che conta è il potere calorifico e il contenuto di ceneri dopo la combustione.

Per quantificare questi valori, è stata fatta analizzare una parte di tale campione dallo **STUDIO ALFA** di Reggio Emilia in data **14/04/2006**. L'analisi è stata effettuata tramite un microscopio elettronico in scansione SEM e sottoposto ad analisi elementare con rivelatore EDS. L'analisi è stata fatta su due campioni:

- A. Residuo** della combustione del pellets da riscaldamento di origine vegetale
- B. Pellets** da riscaldamento di origine vegetale

Lo scopo dell'indagine condotta sui due campioni era quello di identificarne la natura e determinarne alcune caratteristiche.

Per quanto riguarda il campione A (**residuo della combustione**) il materiale si presenta come un insieme di frammenti di **dimensioni grossolane** (fino a **2-3 mm**) di **durezza medio-alta**, colore nero e in alcuni frammenti traslucido. Dall'analisi risulta composto prevalentemente da **calcio** e **silicio**, ma anche da **potassio**, **alluminio**, **magnesio**, **ferro** e **sodio**.

Per quanto riguarda invece il campione B (**pellets**) si è provveduto a calcolarne il PCI, il contenuto in ceneri, l'umidità e la quantità di **cloro** e **fluoro** totali presenti nel campione.

Descrizione prova sul pellets	Unità di misura	Esito	Valore di riferimento
Umidità	%	4,62	≤10%
<b>Ceneri</b>	<b>%</b>	<b>11,3</b>	<b>≤0,7%</b>
Potere calorifico superiore	kcal/Kg	4.549	
Potere calorifico inferiore	kcal/Kg	3.866	
Cloro (Cl <sub>2</sub> )	mg/kg	1.460	
Fluoro (F <sub>2</sub> )	mg/kg	255	

*Tabella 56 - Composizione del campione di pellet derivante dalla biomassa raccolta da S.A.B.A.R.*

Le caratteristiche del pellets scaturito dalla prova risultano mediamente corrispondenti ai valori dichiarati per il pellets di origine vegetale, anche il potere calorifero inferiore si attesta su valori presenti in letteratura.

Il dato che rende di **scarsa qualità** il pellets è invece l'elevato contenuto di **ceneri**. Il valore si attesta sull'**11,3%** quando il pellets di prima categoria richiede (Norma CEN) un valore inferiore allo **0,7%**. Il valore molto elevato delle ceneri è una diretta conseguenza dell'elevata frazione inorganica (silice) del materiale di origine (elevata presenza di corteccia).

La composizione di questa frazione risulta simile a quella di terreno e sabbia, data la presenza di **calcio, silicio, potassio, alluminio, magnesio, ferro e sodio**.

Il solo valore delle ceneri rende però problematico l'utilizzo del pellets di origine vegetale. Innanzitutto la normativa CEN non consente che stufe e caldaie domestiche utilizzino materiale che bruciato abbia una frazione così elevata di ceneri; inoltre le ceneri in questa quantità andrebbero ad intasare i filtri delle normali caldaie domestiche in circolazione, bloccando ripetutamente il funzionamento della caldaia. Da alcune prove di funzionamento delle caldaie domestiche, ogni 6 ore di funzionamento con questo tipo di pellets si è resa necessaria la pulizia della camera di raccolta delle ceneri, poiché intasava il filtro.

Pertanto, dato che non è possibile, se non in minima quantità, ridurre il valore elevato delle ceneri a monte, non è possibile pensare di poter commercializzare pellets di questa qualità per utenze domestiche.

Concludendo quindi, è stata **scartata l'ipotesi** di fabbricazione del **pellets** con il materiale di raccolta della S.A.BA.R. ed è stata presa invece in considerazione l'ipotesi di fermarsi al primo step di cippatura ed essiccazione del materiale.

## 3.9 CONCLUSIONI

Attualmente tutta la biomassa raccolta da S.A.BA.R. è destinata allo smaltimento, quando si potrebbe valorizzarla con un apposito trattamento. L'utilizzo di moderne tecniche di combustione delle biomasse consente di produrre energia termica o elettrica con limitati valori di emissioni.

Pertanto con un'apposita lavorazione (R3 - Recupero o riciclo delle sostanze organiche), la biomassa raccolta può essere rigenerata in materia prima secondaria ed essere avviata alla produzione di energia termica o elettrica. In questo modo si ha l'utilizzo di fonti rinnovabili che sostituiscono parte dell'utilizzo di fonti fossili.

Il trattamento consiste nel cippare il materiale, farlo passare attraverso un sistema di vagliatura che lo "pulisca" ed essiccarlo per far diminuire il tenore di umidità al suo interno e stabilizzarlo. Per verificare il reale comportamento del materiale di S.A.BA.R. avviato a combustione sono previste prove in futuro in caldaie esistenti già funzionanti.

Lo studio economico restituisce valori interessanti sia con la costituzione di una filiera per essiccare il materiale in campo sia con un'essiccazione più accurata in un essiccatoio.

I vantaggi di avere una disidratazione in un apposito essiccatoio comportano costi d'investimento iniziali più elevati e soprattutto non consentono di valorizzare il calore con altre tecnologie forse più redditizie.

La filiera per il recupero del materiale risulta essere un investimento, in ogni caso, interessante sia dal punto di vista economico che ambientale, dato che consente l'utilizzo di una risorsa che altrimenti andrebbe smaltita.

La soluzione di produrre pellets, invece, è stata scartata in quanto non è possibile utilizzare questo prodotto, con un tenore così elevato di ceneri, in stufe e caldaie domestiche. Pertanto conviene arrestare la filiera alla produzione del cippato ed utilizzarlo in caldaie di grosse dimensioni.

**CAPITOLO**

**4**

---

---

**IMPIANTO**  
**A CICLO ORC**

---

---

## 4.1 ORC A VALLE DI UNA CENTRALE DI COGENERAZIONE - DISCARICA DI CASAROTA\*

Come accennato nel primo capitolo nell'analisi teorica, in Italia, non esistono ancora associazioni di impianti a ciclo ORC a valle di centrali di cogenerazione. Uno di questi impianti in fase d'installazione è presso la discarica di Casa Rota nel Comune di Terranuova Bracciolini in provincia di Arezzo. Non sarà attivo però prima della fine del 2007.

La centrale di cogenerazione è in fase di ampliamento, che comprende:

- Un motore GEJenbacher da 1.064 kW
- Un motore GEJenbacher da 836 kW
- **Convertitore di energia ORMAT da 350 kW**

L'impianto a ciclo ORC utilizzerebbe il calore in uscita dai fumi dei 4 complessivi nuovi motori di una potenza complessiva di 2.900 kW<sub>e</sub>, quindi avrebbe una potenza termica, sottoforma di fumi, in ingresso di 2.000 kW<sub>t</sub>. I dati sono riportati nella tabella sottostante.

Temperatura media ambientale di progetto	15 °C
Potenza termica in ingresso	2.000 kW
Potenza elettrica nominale	350 kW
Potenza elettrica generata lorda	340 kW
Potenza netta generata alle condizioni medie di progetto	290 kW (escluse le pompe di circolazione dell'olio diatermico)
Tensione di produzione	400 Volt
Ore di disponibilità	> 8.000 ore/anno

*Tabella 57 - Dati dell'impianto in fase di ampliamento a Terranuova Bracciolini (AR)*

\* Tratto da OTTIMIZZAZIONE DEL RECUPERO ENERGETICO DA BIOGAS CON ORGANIC RANKINE CYCLE ENGINE: IL CASO DELLA DISCARICA DI TERRANUOVA BRACCIOLINI, G.F. Saetti (CSAI), articolo 2006

Con tale accorgimento l'impianto anziché avere un **rendimento elettrico** al **38%** dato dai motori della GEJenbacher, avrebbe un **rendimento complessivo** superiore al **45%**.

L'impianto descritto, escluso il modulo a ciclo ORC, è molto simile a quello presente in **S.A.BA.R.**. Dai tre motori da 1 MWe installati attualmente, si hanno a disposizione **1,5 MWt** di calore sottoforma di fumi a 500°C che andrebbero ad alimentare un impianto a ciclo ORC da **300 kWe nominali**.

Il funzionamento dell'impianto che verrà installato presso la discarica di Casa Rota, segue le seguenti fasi:

1. L'**olio diatermico**, riscaldato in caldaia ad una temperatura di circa **280°C**, è inviato al modulo ORMAT in cui viene raffreddato ad una temperatura di poco superiore ai **120°C**. In questa fase l'olio trasferisce il suo contenuto energetico al **fluido organico** utilizzato nella turbina, operante in leggera contropressione ed azionante il generatore di corrente.
2. Il **fluido organico** presente nel modulo ORMAT è una miscela idrocarburica costituita in gran parte da *n-pentano* che opera in ciclo chiuso, ad una pressione sempre superiore a quella atmosferica, ed in un intervallo di temperatura compreso tra i **30°C** ed i **170°C**. Il fluido organico allo stato liquido proveniente dal condensatore ad aria viene pompato ad una pressione di circa **20 bar** e riscaldato dall'olio diatermico, fino ad ottenere vapore, ad una temperatura di circa **170°C**.
3. Dopo il passaggio dalla turbina a vapore, il **vapore** si trova ad una temperatura di **80-100°C** ed a una **pressione** leggermente **superiore** a quella **atmosferica**. Da qui viene inviato, dopo un'eventuale **scambio termico** con il fluido uscente dal condensatore, allo stesso condensatore in cui si ha il passaggio di fase, a pressione pressoché costante, dallo stato vapore a quello liquido, per poi ricominciare il ciclo termodinamico.

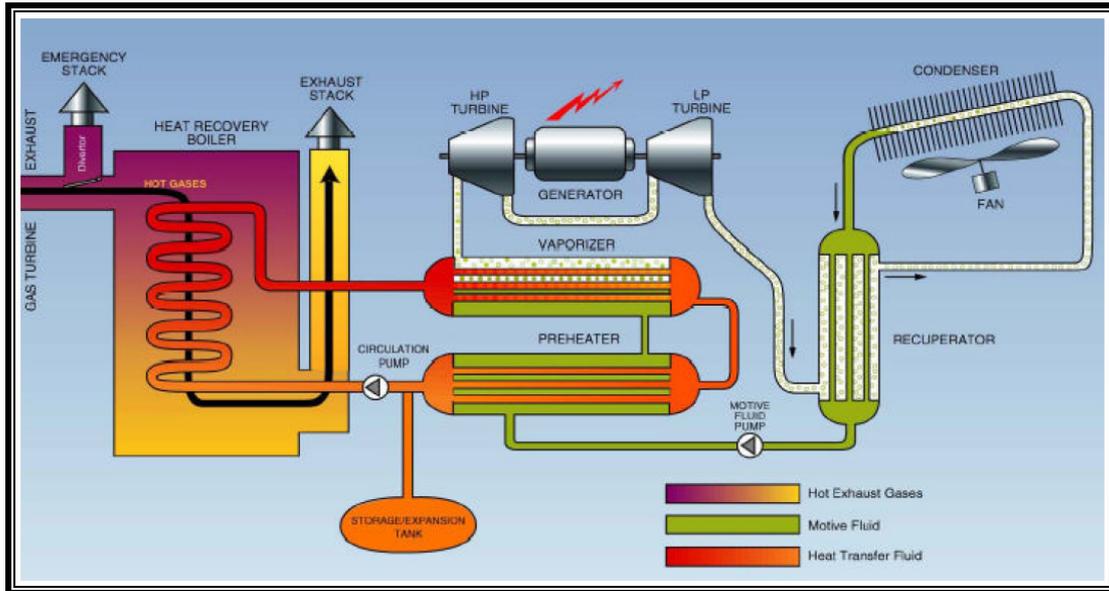


Figura 58 - Schema di processo dell'impianto a ciclo ORC che verrà installato presso la discarica di CASAROTA (AR)

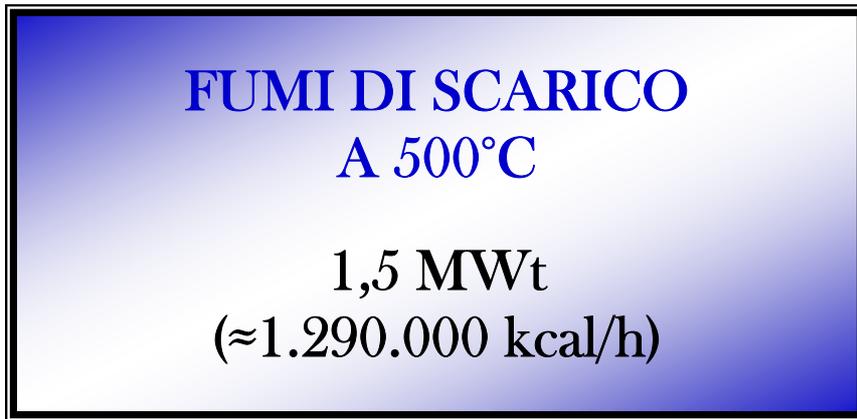
## 4.2 IMPIANTO ORC CON I FUMI DELLA CENTRALE DI COGENERAZIONE S.A.B.A.R.

L'impianto a ciclo ORC può essere posto a valle della centrale di cogenerazione di Novellara e utilizzare il calore in uscita da fumi per generare un ulteriore quantitativo di energia elettrica.

La produzione termica attesa da ognuno dei tre gruppi SINCRO 1.000 di 1.064 kWe è di:

- 500 kWt ( $\approx 430.000$  kcal/h): sottoforma di fumi a 500°C

Pertanto, avendo tutti e tre i moduli funzionanti, l'energia termica a disposizione, sottoforma di fumi, per alimentare l'impianto a ciclo ORC sono:



*Figura 59 - Energia termica in uscita dalla centrale di cogenerazione sottoforma di fumi a 500°C*

I **1.500 kWt** sarebbero utilizzati per far funzionare un impianto a ciclo ORC da 300 kWt. Attraverso un abbassamento della temperatura di uscita dei fumi da 500°C a 180°C, è possibile trasferire calore all'olio diatermico che andrebbe a scaldare successivamente il fluido organico.

Sono di due diversi tipi gli impianti a ciclo ORC capaci di sfruttare il calore in uscita dai cogeneratori. La scelta di uno o l'altro dipende dalla possibilità di volere utilizzare l'acqua calda generata per alimentare un impianto di teleriscaldamento. In questo caso l'acqua inviata alle utenze nel circuito primario non può essere inferiore agli 80°C.

**Modello CHP:** {  
 T di ingresso OLIO DIATERMICO: 300°C  
 T di uscita OLIO DIATERMICO: 250°C  
 T di ingresso ACQUA: 60°C  
 T di uscita ACQUA: 80°C

**Modello HR:** {  
 T di ingresso OLIO DIATERMICO: 265°C  
 T di uscita OLIO DIATERMICO: 165°C  
 T di ingresso ACQUA: 28°C  
 T di uscita ACQUA: 43°C

Il **modello CHP** consente di recuperare calore sottoforma di acqua calda, associando una rete di **teleriscaldamento**, con acqua che in partenza ha una temperatura di 80°C.

Il **modello HR** invece è più efficiente nella produzione di energia elettrica, perché sfrutta un salto entalpico maggiore, ma restituisce acqua ad una temperatura con la quale non è possibile associare una rete di teleriscaldamento.

Il **rendimento di trasformazione** da kWt ai kWe attraverso un ciclo ORC si attesta intorno al **20% lordo**. È necessario applicare un **coefficiente di derating** medio su base annua del **5%**. Infine il sistema per **autoalimentarsi** necessita, per pompe, torre evaporative e perdite, di circa **10 kWe**. Sotto sono riportati i passaggi del calcolo per un eventuale impianto che sfrutti il calore in uscita dai fumi della centrale cogenerativa di Novellara:

$$\begin{aligned} 1.500 \text{ kWt} \cdot 20\% &= 300 \text{ kWe} \\ 300 \text{ kWe} - (300 \text{ kWe} \cdot 0,05) &= 285 \text{ kWe} \\ 285 \text{ kWe} - 10 \text{ kWe} &= 275 \text{ kWe} \end{aligned}$$

Pertanto la trasformazione attraverso il sistema ORC consente di recuperare 275 kWe effettivi ogni ora. Considerando un funzionamento di 8.000 ore annuali è possibile fare una stima della produzione annua di kWe:

$$\text{kWe prodotti annualmente} = 275 \text{ kWe} \cdot 8.000 \text{ h/anno} = 2.200.000 \text{ kWe/anno}$$

Dato che il kWe è pagato circa 7 centesimi di € dall'ENEL e i Certificati Verdi, poiché si tratta di energia prodotta da fonti rinnovabili, aggiungono a questa quota circa altri 10 centesimi di €, un kWe immesso nella rete ENEL genera un ricavo di **0,17 €**.

Il prezzo di riferimento fissato per i **Certificati Verdi** per il 2006, assicurato dal GSE - Gestore dei Servizi Elettrici - è di **0,12528 €/kWe**, ma per il calcolo dei ricavi dalla vendita dei CV, cautelativamente, si utilizza un valore di 0,10 €/kWe.

Il calcolo dei ricavi dalla vendita di energia elettrica è riportato nella tabella sottostante.

<b>RICAVI DALLA VENDITA DI ENERGIA ELETTRICA CON IMPIANTO ORC DA 300 KWE</b>					
<b>DATI</b>			<b>CALCOLI</b>		
<b>Dato</b>	<b>Valore</b>	<b>Unità di misura</b>	<b>Dato</b>	<b>Valore</b>	<b>Unità di misura</b>
kWt in uscita dai fumi	1.500	kWt/h	kWe prodotti idealmente ogni ora	300	kWt/h
Impianto a ciclo ORC da	300	kWe/h	kWe prodotti effettivamente ogni ora	285	kWt/h
Coefficiente di derating	5%		kWe vendibili ogni ora	275	kWt/h
Richiesta di e.e. per autoalimentazione impianto	10	kWe/h	kWhe generati ogni anno	2.200.000	kWhe/anno
Numero ore di funzionam. impianto all'anno	8.000	h/anno	Rendimento effettivo impianto	18,3%	
Prezzo pagato dall'ENEL per kWe	€ 0.07	€/kWt	<b>Ricavi da vendita di e.e.</b>	<b>374.000</b>	<b>€/anno</b>
Certificati Verdi per kWe	€ 0.10	€/kWt			
<b>RICAVI TOTALE GENERATO DALLA VENDITA DI ENERGIA ELETTRICA</b>					
				<b>Ricavo totale annuale</b>	<b>€ 374.000</b>

Tabella 60 - Riassunto ricavi generabili con un impianto a ciclo ORC da 300 kWe a valle della centrale di cogenerazione

Per poter generare energia elettrica attraverso il ciclo ORC, in questo caso è necessario utilizzare il modello HR, per avere il rendimento elettrico maggiore possibile. L'uscita di acqua a 43°C non consente di poter utilizzare l'energia termica per altri scopi.

È necessario però ricordare che questa soluzione richiede la costruzione di una linea ENEL dedicata, che trasporti l'energia prodotta dalla S.A.BA.R alla cabina primaria ENEL di Guastalla, per garantire che il limite imposto dall'ENEL alla potenza immessa non sia mai superato. La costituzione di tale linea da 6 MW che sostituisca le due esistenti e consenta di immettere in rete tutta l'energia elettrica prodotta, richiede un investimento di 600.000 €. La costruzione e il progetto della nuova linea è al vaglio e sarà costruita entro la fine del 2008, poiché consentirà di immettere in rete anche i 500 kWe producibili con l'attuale centrale di cogenerazione e non sfruttati.

Quindi se la scelta di S.A.BA.R. sarà quella di un impianto a ciclo ORC, è indispensabile la costruzione della linea elettrica, perché con la linea attuale non sarebbe possibile immettere l'elettricità prodotta in rete.

Non considerando il costo della linea elettrica per tale investimento, poiché in ogni caso deve essere fatta, il costo totale dell'investimento comprende l'impianto a ciclo ORC, la preparazione del basamento sul quale sarebbe riposto, lo spostamento della serra e gli scambiatori per far in modo che i fumi abbiano uno scambio termico continuo con l'olio diatermico.

<b>PREVENTIVO PER UN IMPIANTO A CICLO ORC A VALLE DELLA CENTRALE DI COGENERAZIONE</b>			
DESCRIZIONE	COSTO	ANNI	AMMORTAMENTO
<b>LAVORAZIONI</b>			
Spostamento serra più piccola	€ 30.000	33	€ 909
Collegamenti vari	€ 50.000	33	€ 1.515
Imprevisti	€ 50.000	33	€ 1.515
<b>TOTALE LAVORAZIONI</b>	<b>€ 130.000</b>		<b>€ 3.939</b>
<b>IMPIANTO A CICLO ORC</b>			
Impianto a ciclo ORC con scambiatori per i fumi	€ 900.000	10	€ 90.000
<b>TOTALE IMPIANTO A CICLO ORC</b>	<b>€ 900.000</b>		<b>€ 90.000</b>
<b>TRASFORMATORE, CABINE E ALLACCIAMENTO</b>			
Trasformatore, cabina e allacciamento alla rete	€ 50.000	10	€ 5.000
<b>TOTALE TRASFORMATORE E ALLACCIAMENTO RETE</b>	<b>€ 50.000</b>		<b>€ 5.000</b>
<b>TOTALE IMPIANTO CICLO ORC</b>	<b>€ 1.080.000</b>		<b>€ 98.939</b>

Tabella 61 - Costo totale d'installazione dell'impianto a ciclo ORC da 300 kWe che genera e.e. attraverso il recupero di calore dalla centrale di cogenerazione esistente

I costi di gestione per un impianto di questo tipo sono stati ipotizzati e sono riportati nella tabella sottostante. Con questi ulteriori dati è possibile quantificare la validità dell'investimento.

<b>COSTI DI GESTIONE IMPIANTO A CICLO ORC CON I FUMI</b>	
DESCRIZIONE	COSTO
Personale	€ 0
Energia elettrica	€ 0
Combustibile	€ 0
Assicurazioni (0,7% di I)	€ 6.300
Materiali di consumo (3% di I)	€ 27.000
Manutenzione	€ 15.000
Garanzia del 95% (0,005 €/kwe)	€ 11.000
Spese generali	€ 5.000
Spese per gestione a CPL	€ 5.000
<b>COSTI DI GESTIONE</b>	<b>€ 69.300</b>

Figura 62 - Costi di gestione annuali per l'impianto a ciclo ORC da 300 kWe funzionante con il calore, sottoforma di fumi, della centrale di cogenerazione

L'importo di ogni voce è giustificato con le seguenti considerazioni.

- **PERSONALE:** l'impianto non necessita di personale di presidio. È compito della società installatrice garantire il corretto funzionamento. È inoltre possibile comandarlo a distanza.
- **ENERGIA ELETTRICA:** l'impianto si autoalimenta e i costi di energia elettrica sono già stati considerati abbassando il rendimento dell'impianto.
- **ASSICURAZIONE:** il costo per assicurare l'impianto è lo **0,7% dell'investimento**.
- **MATERIALI DI CONSUMO:** non riuscendo ad ipotizzare quale sia il valore dei materiali di consumo, è stato utilizzato anche per questa voce un valore percentuale sul totale dell'investimento. In letteratura, per questo tipo di impianti, si ipotizza il **3% dell'investimento**.
- **MANUTENZIONE:** la società produttrice dell'impianto propone una gestione della manutenzione opzionale a fronte di un costo annuale pari a **15.000 €**.
- **GARANZIA:** è possibile garantire che il rendimento dell'impianto a ciclo ORC sia minimo al 95% di quello dichiarato, garantendo la fornitura di calore. Pagando una forma di garanzia di 0,005 €/kWe prodotto si ottiene la possibilità di essere ripagati per la quantità di energia elettrica non prodotta, qualora non si raggiunga il 95% della produzione teorica dichiarata dalle caratteristiche dell'impianto.
- **SPESE GENERALI:** questa voce raccoglie tutti i costi non previsti, ma che potrebbero essere da sostenere nella gestione dell'impianto. È stata quantificata pari a **5.000 €/anno**. In questi costi rientrano anche i costi amministrativi e commerciali, che non sono molto elevati dato che si occuperebbe di questa gestione il personale già assunto di S.A.BA.R..
- **SPESE PER GESTIONE A CPL:** la ditta che si occupa della gestione della centrale di cogenerazione potrebbe essere co-gestore dell'impianto a ciclo ORC con l'azienda produttrice, essendo il personale spesso presso la zona dove sono presenti gli impianti. Questo valore è da quantificare con più precisione, ma non sarà molto elevato, data

l'affidabilità dell'impianto e dal fatto che se si riscontrano problemi, è il personale della ditta produttrice ad occuparsene.

Riportando di nuovo i valori dei costi d'installazione, dei costi di gestione e dei ricavi della costruzione dell'impianto a ciclo ORC da 300 kWe, è possibile quantificare il ritorno sull'investimento e il punto di pareggio per la somma investita inizialmente.

DESCRIZIONE	COSTO
<b>DESCRIZIONE</b>	
Investimento iniziale	€ 1.080.000
Costi annuali relativi all'impianto	€ 69.300
Ricavi annuali relativi all'impianto	€ 374.000
Utile generato dall'impianto annualmente	€ 304.700

Figura 63 - Riassunto dell'investimento iniziale, i costi di gestione e i ricavi per l'impianto a ciclo ORC da 300 kW elettrici

Si riporta ora la curva del VAN sui 12 anni di validità dei CV sul grafico.

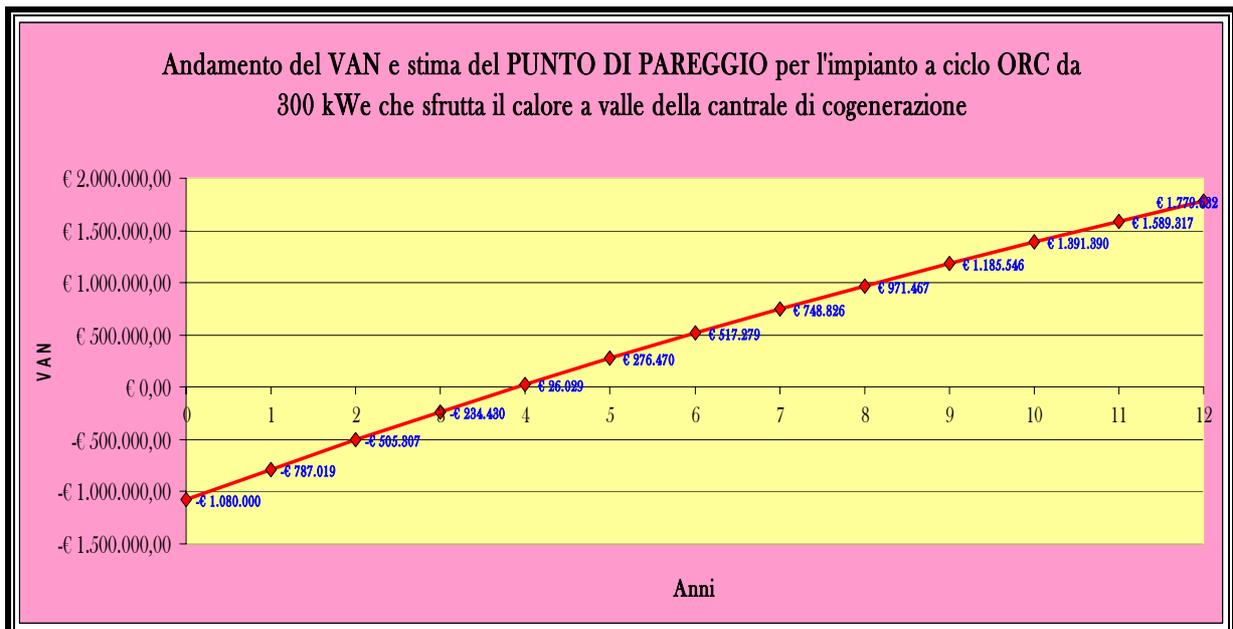


Figura 64 - Valore Attuale Netto dell'investimento di un impianto a ciclo ORC da 300 kWe

La validità economica dell'impianto è dimostrata dall'andamento del VAN dell'investimento riportato nel grafico. Per maggiore dettaglio, si riportano i valori del VAN durante i 12 anni e il calcolo del ROI sia complessivo che annuale.

CALCOLO DEL VAN SUI 12 ANNI DI VALIDITA' DEI CERTIFICATI VERDI													
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\Delta$ anno	-1.080.000	292.981	281.712	270.877	260.459	250.441	240.809	231.547	222.641	214.078	205.844	197.927	190.315
VAN	-1.080.000	787.019	505.307	234.430	26.029	276.470	517.279	748.826	971.467	1.185.546	1.391.390	1.589.317	1.779.632
ROI Complessivo		-73%	-47%	-22%	2%	26%	48%	69%	90%	110%	129%	147%	165%
ROI Annuale		-73%	-23%	-7%	1%	5%	8%	10%	11%	12%	13%	13%	14%

Figura 65 - VAN e ROI anno per anno per l'investimento nell'impianto a ciclo ORC

Considerando l'arco temporale di 12 anni in cui è garantita l'emissione dei Certificati Verdi l'impianto garantisce un **ROI annuale** pari al **14%**. Dopodiché l'impianto continuerà a generare energia elettrica, ma non sarà più possibile associare alla produzione di energia elettrica la quota dei Certificati Verdi. Dal 13-esimo anno in poi sarà quindi possibile soltanto ricavare proventi dalla vendita dell'energia immessa in rete. Non è stato quantificato il ritorno economico dopo i 12 anni, poiché non è possibile quantificare con precisione il valore dell'energia elettrica fra 12 anni ed essere certi che l'impianto sia ancora funzionante con gli stessi rendimenti e senza eccessivi costi di manutenzione.

Un altro aspetto importante da considerare in questo investimento è che la fonte utilizzata per far funzionare l'impianto è del tutto "pulita", nel senso che non ha ulteriori emissioni rispetto a quello già esistenti, poiché il combustibile di questo impianto sono i fumi che in ogni modo sono dispersi in atmosfera. L'unica differenza è che l'uscita dei fumi avviene a temperatura minore.

Si tratta di valutare se dal punto di vista economico è più valida questa alternativa o quella di essiccare il cippato, per poi poterlo vendere. Il confronto su due tipi di investimenti così differenti è stato fatto principalmente sull'aspetto economico, tutti gli altri aspetti sono elencati per poter effettuare una valutazione più ampia.

È importante ricordare che questo investimento può essere intrapreso soltanto quando è ultimata la linea elettrica da 8 MW.

## 4.3 IMPIANTO ORC CON LE BIOMASSE RACCOLTE DA S.A.BA.R.

Un'altra alternativa, sempre relativa al **ciclo ORC**, è quella di abbinare questo ciclo anziché al calore recuperato dai fumi, al calore prodotto dalla **combustione della biomassa** di origine vegetale che S.A.BA.R. raccoglie sul territorio in cui svolge il servizio.

Dal momento che il calore fornito dalla combustione della biomassa è elevato, per impianti di dimensione superiore al MW, la soluzione più conveniente è quella che prevede un primo salto entalpico in una **turbina a vapore** e un secondo recupero nel **boiler del ciclo ORC**.

Per impianti con dimensione inferiore al MW e mezzo, il ciclo ORC offre la possibilità di avere rendimenti elettrici al 18% e di associare alla caldaia una rete di teleriscaldamento. È necessario, dal punto di vista ambientale ed economico, produrre energia elettrica solo quando è presente una richiesta di calore.

Dato, però, che per S.A.BA.R. la biomassa, che è il combustibile, non costituisce un costo, anzi consente di risparmiare nelle spese di smaltimento, è stata affrontata anche l'ipotesi di poter avviare la biomassa a combustione associandola direttamente ad un impianto a ciclo ORC. Il rendimento del ciclo ORC generato da biomassa si assesta intorno ai valori riportati in figura.

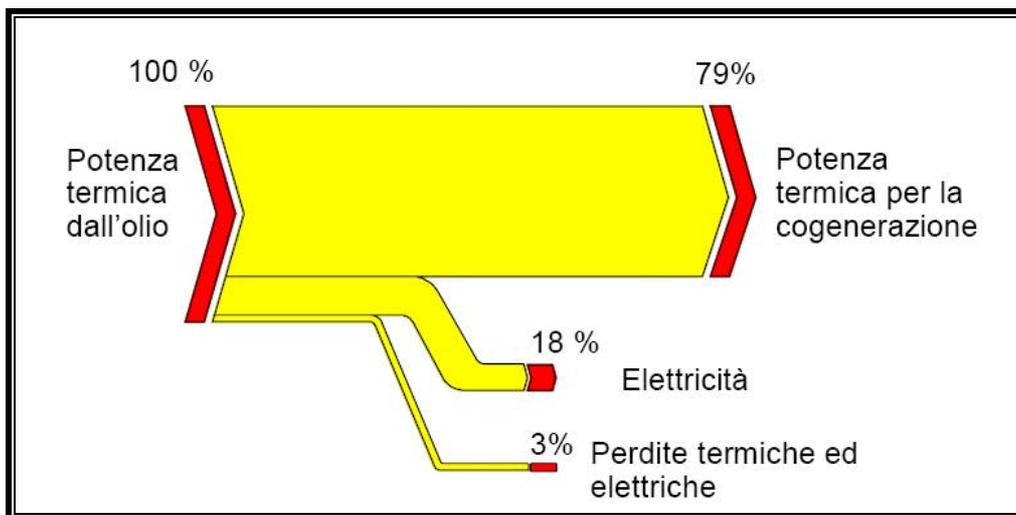


Figura 66 - Bilancio energetico di un impianto a ciclo ORC per cogenerazione a BIOMASSA

Come si evince dalla figura, attivare un impianto di cogenerazione di questo tipo solo per la produzione di energia elettrica, ha degli sperperi energetici rilevanti, poiché solo il 18% di ciò che si produce è realmente utilizzato.

L'impianto ORC che utilizza tutta la biomassa raccolta andrebbe dunque delocalizzato per fare in modo che possa essere utilizzato anche il calore.

Per comprendere appieno le potenzialità della biomassa raccolta da S.A.BA.R. per la produzione di energia elettrica sono riportati i calcoli di seguito.

Le quantità raccolte da S.A.BA.R. nel corso del **2006** relativo alle potature e alla legna bianca che possono essere considerati **valori medi annuali**, sono state di:

-  **3.500 ton/anno** di potature e legna
-  **7.500 ton/anno** di legna bianca

La disponibilità di materiale da destinare alla combustione risulta pari a circa **11.000 tonnellate l'anno**. I calcoli di progetto richiedono la stima del **Potere Calorifico Inferiore** che dovrebbe avere il materiale raccolto.

Dal momento che non è possibile effettuare prove ed affidarsi a valori medi delle diverse tipologie di legno per stimare il **PCI**, poiché il materiale raccolto cambia di volta in volta, si è fatto riferimento a valori medi di un generico materiale legnoso in funzione dell'umidità.

L'ipotesi sul quantitativo di umidità presente nel legno raccolto è però, strettamente necessaria. È stato utilizzato il grafico sottostante per stabilire il **PCI** del materiale legnoso raccolto da S.A.BA.R..

Stabilito il valore di umidità presente, è facile trovare il valore del **PCI** del legno.

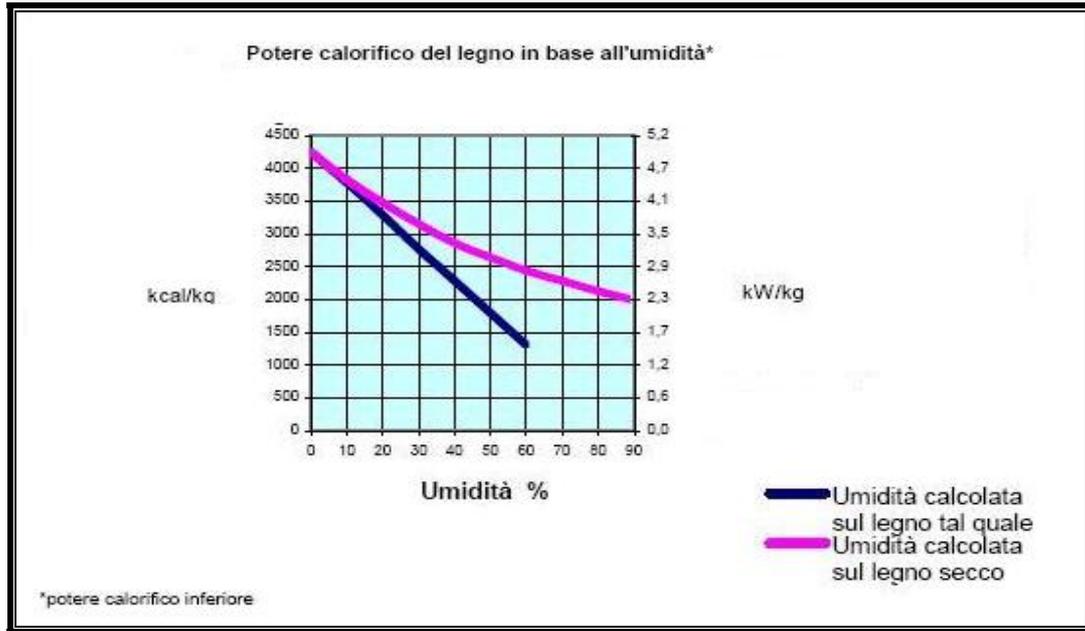


Figura 67 - Grafico potere calorifico inferiore/umidità del legno [Fonte Energia dal legno]

Per stimare il poter calorifico inferiore del materiale non essiccato è stata fatta una media pesata. Considerando il **materiale verde raccolto anche tramite una campagna di sensibilizzazione agli agricoltori** (5.500 ton/anno) ad un tasso di umidità al 60 ÷ 70%, il suo potere calorifico si attesta attorno ai **1.400 kcal/kg**, mentre per la **legna bianca** (7.500 ton/anno) la percentuale di umidità è stimata attorno al 30 ÷ 40% e il potere calorifico risulta essere pari a **2.400 kcal/kg**.

$$\text{Media pesata PCI} = \frac{5.500\text{ton} \cdot 1.400\text{kcal/kg} + 7.500\text{ton} \cdot 2.400\text{kcal/kg}}{13.000\text{ton}} \approx 2.000\text{kcal/kg}$$

Pertanto, considerando di raccogliere il materiale e, dopo un apposito trattamento per ridurne e omogeneizzarne la pezzatura, avviarlo direttamente alla combustione, il potere calorifico relativo a questo materiale è stimato intorno alle **2.000 kcal/kg**.

Con questi dati è ora possibile calcolare quanta energia elettrica è possibile generare attraverso la combustione della biomassa. Nella tabella sottostante sono riassunti tutti i dati necessari e sono riportati i calcoli.

<b>CALCOLO DEI RICAVI CON CICLO ORC FUNZIONANTE A BIOMASSA NON ESSICCATO</b>					
<b>DATI</b>			<b>CALCOLI</b>		
Dato	Valore	Unità di misura	Dato	Valore	Unità di misura
PCI biomassa non essiccata	2.000	kcal/kg	Q <sub>totale</sub>	26.000.000.000	kcal/anno
Quantità potature e legna	5.500	ton/anno	Q <sub>combustione in kcal</sub>	20.800.000.000	kcal/anno
Quantità legna bianca	7.500	ton/anno	Q <sub>combustione in kJ</sub>	87.068.800.000	kJ/anno
<b>TOTALE MATERIALE NON ESSICCATO</b>	<b>13.000</b>	<b>ton/anno</b>	Q <sub>combustione in kWt</sub>	24.185.778	kWt/anno
Rendimento combustione legno	80%		Potenza in ingresso di kWt	3,02	MWt/h
Fattore di conversione da kcal a kJ	4,186		Potenza elettrica generabile in un anno	4,353	MWhe/anno
Fattore di conversione da kJ a kW	0,00278		Impianto da kWe	544	kWe/h
Rendimento trasformazione kWt a kWe	18%		<b>Ricavi dovuti all'e.e. prodotta</b>	<b>€ 740.085</b>	<b>€/anno</b>
Numero ore di funzionamento impianto	8.000	h/anno	Q <sub>utili avanzati dal sistema cogenerativo</sub>	17,414	MWht/anno
Prezzo pagato dall'ENEL per kWe	€ 0,07	€/kWt	Energia termica sottoforma di acqua a 43°C	2,18	MWt/h
Certificati Verdi per kWe	€ 0,10	€/kWt			
<b>CALCOLO DEL COSTO MANCATO DOVUTO AL NON CONFERIMENTO DEL MATERIALE AL CENTRO DI COMPOSTAGGIO DI FOSSOLI</b>					
<b>DATI</b>			<b>CALCOLI</b>		
Dato	Valore	Unità di misura	Dato	Valore	Unità di misura
Quantità potature e legna	3.500	ton/anno	Costo conferimento a Fossoli	€ 185.500	€/anno
Quantità legna bianca	7.500	ton/anno	Costo conferimento a Viadana	€ 75.000	€/anno
Costo totale per conferimento a Viadana	€ 10,00	€/ton			
Costo totale per conferimento a Fossoli	€ 53,00	€/ton			
<b>RICAVI TOTALE GENERATO</b>					
<b>Ricavo totale annuale</b>				<b>€ 1.000.585</b>	

Tabella 68 - Calcolo dei ricavi generabili con la produzione di energia elettrica con un impianto a ciclo ORC funzionante a biomassa

Cautelativamente è stato ipotizzato un rendimento di combustione pari all'80%. Quindi con la biomassa raccolta da S.A.BA.R. è possibile alimentare un **impianto a ciclo ORC** da circa **550 kWe**. Il fatto che si utilizza una tecnologia HR o CHP non modifica di molto i calcoli appena fatti. Naturalmente se si desidera associare una rete di teleriscaldamento e avere in uscita acqua ad 80°C, il rendimento elettrico è leggermente più basso.

Il calcolo è però stato fatto in questo caso considerando di utilizzare una **metodologia HR**, che restituisce acqua **calda a 43°C** non utilizzabile per altri scopi.

L'impianto, dato il costo del combustibile che sarebbe pari a zero, con i ricavi garantiti dai Certificati Verdi è economicamente valido anche senza l'utilizzo del calore generato, ma la situazione è più delicata dal punto di vista ambientale.

Se la scelta ricade sull'installazione di un impianto per produrre solo energia elettrica da biomassa, allora esistono tecnologie diverse, come la piro-gassificazione che stanno avanzando e uscendo dalla fase sperimentale, che consentono di avere rendimenti elettrici più elevati del ciclo ORC. I dati restituiscono utilizzando questa tecnologia un rendimento elettrico al 30%.

Un'importante considerazione da fare è che presso S.A.BA.R. vi è già un'elevata quantità di calore a disposizione a valle della centrale di cogenerazione non utilizzata. Sarebbe più idoneo, qualunque sia la scelta sulla tecnologia, delocalizzare l'impianto in una zona non troppo distante per poter utilizzare anche il calore generato. Altrimenti conviene essiccare il materiale legnoso e destinarlo a centrali esistenti per la produzione di solo calore o dove vi è la produzione e l'utilizzo combinato di energia termica ed elettrica.

Per questi motivi non si è entrati nel dettaglio per il calcolo del VAN e del ROI dell'investimento.

Un soluzione più idonea, ma con gli stessi limiti di quelle appena citate, è quella di sovradimensionare l'impianto a ciclo ORC ed utilizzare in ingresso sia il calore derivante dalla combustione in caldaia della biomassa, che quello in uscita sottoforma di fumi dalla centrale di cogenerazione. Il vantaggio è solo economico sull'investimento iniziale, poiché con un solo impianto e costi leggermente superiori si utilizzerebbero due fonti di calore per generare energia elettrica.

## **4.4 IMPIANTO ORC A DOPPIO INPUT: CALORE DAI FUMI E DALLE BIOMASSE**

Un proposta avanzata, invece, più opportuna per avviare alla combustione il materiale presso S.A.BA.R. è quella di associare ad un impianto a ciclo ORC un doppio ingresso di calore. Dal punto di vista tecnico è possibile e non comporta costi elevati. Si tratta solo di avere un doppio scambiatore che passa energia termica all'olio diatermico. È possibile quindi fare un solo impianto in grado di generare elettricità utilizzando il salto entalpico dei fumi in uscita dalla centrale di cogenerazione e quello proveniente dalla combustione della biomassa raccolta. L'abbinamento dei due calori in ingresso all'impianto a ciclo ORC, può giustificare maggiormente l'utilizzo della biomassa come combustibile per generare energia elettrica. Dal punto di vista economico, un impianto a ciclo ORC con capacità maggiore non comporta costi molto più elevati. In questo modo però il calore prodotto o viene dissipato completamente o si prevede una lunga rete di teleriscaldamento che colleghi gli impianti a delle possibili utenze.

Si riportano i dati tecnici per la valutazione di produrre elettricità senza utilizzare il calore prodotto. Utilizzando una metodologia HR è possibile produrre energia elettrica con questi dati:

- 300 kWe dal calore, sottoforma di **fumi**, in uscita dalla centrale di cogenerazione
- 540 kWe dal calore generato in caldaia dalla **combustione della biomassa**

In questo modo è possibile installare un unico impianto da **800 kWe** che raccolga il calore in ingresso sotto le due diverse forme, per far funzionare la turbina a fluido organico.

I ricavi generati da questo tipo di impianto hanno tre voci:

- ✓ Ricavi generati dalla vendita dell'energia elettrica e dai CV con input il calore dei fumi della centrale
- ✓ Ricavi generati dalla vendita dell'energia elettrica e dai CV con input il calore generato dalla combustione della biomassa
- ✓ Costo mancato per l'evitato smaltimento e trasporto della biomassa legnosa

<b>CALCOLO DEI RICAVI DA VENDITA DI ENERGIA ELETTRICA</b>					
<b>DATI</b>			<b>CALCOLI</b>		
Dato	Valore	Unità di misura	Dato	Valore	Unità di misura
kWt in ingresso sottoforma di fumi	1,5	MWt/h	Impianto da kWe	800	kWe/h
kWt in ingresso dalla combustione della biomassa	3,02	MWt/h	MWe prodotti annualmente	6.400	MWhe/anno
Totale MWt in ingresso	4,52	MWt/h	Ricavi da vendita di e.e.	€ 1.088.000	€/anno
Ore di funzionamento all'anno	8.000	h/anno	Ricavi da evitato smaltimento biomassa	€ 260.500	€/anno
			MWt in uscita sottoforma di acqua a 43°C	25,600	MWt/anno
			Energia termica sottoforma di acqua a 43°C	3,20	MWt/h
<b>RICAVI TOTALE GENERATO DALLA VENDITA DI ENERGIA ELETTRICA</b>					
			<b>Ricavo totale annuale</b>	<b>€ 1.348.500</b>	

*Tabella 69 - Ricavi e costi mancati con impianto a ciclo ORC da 800 kWe e tecnologia HR che utilizza sia il calore dei fumi che quello della combustione della biomassa*

I dati riportati nella tabella sovrastante riportano ricavi ingenti dalla vendita di energia elettrica, oltre che dall'evitato smaltimento.

E' necessario quantificare i costi iniziali d'investimento per tutto l'impianto. Si riportano nella tabella sottostante.

PREVENTIVO PER IMPIANTO ORC FUNZIONANTE A BIOMASSA NON ESSICCATA E FUMI			
DESCRIZIONE	COSTO	ANNI	AMMORTAMENTO
<b>TERRENI</b>			
Terreno	€ 60.000	-	
Urbanizzazioni (già accantonate)	€ 250.000	-	
<b>TOTALE LAVORAZIONI TERRENO</b>	<b>€ 60.000</b>		<b>€ 0,00</b>
<b>CAPANNONE</b>			
Capannone per lo stoccaggio della biomassa e piazzale	€ 1.000.000	33	€ 30.303
<b>TOTALE COSTI PER IL CAPANNONE</b>	<b>€ 1.000.000</b>		<b>€ 30.303</b>
<b>CIPPATRICE, VAGLIO E RAGNO CARICATORE</b>			
Cippatrice	€ 280.000	5	€ 56.000
Vaglio	€ 70.000	5	€ 14.000
Ragno caricatore	€ 100.000	5	€ 20.000
<b>TOTALE COSTI MACCHINE MOBILI</b>	<b>€ 450.000</b>		<b>€ 90.000</b>
<b>CALDAIA</b>			
Caldaia	€ 500.000	10	€ 50.000
Elettrofiltro	€ 500.000	10	€ 50.000
<b>TOTALE IMPIANTO BRUCIATORE</b>	<b>€ 1.000.000</b>		<b>€ 100.000</b>
<b>IMPIANTO A CICLO ORC</b>			
Impianto a ciclo ORC	€ 1.115.500	10	€ 111.550
<b>TOTALE IMPIANTO A CICLO ORC</b>	<b>€ 1.115.500</b>		<b>€ 111.550</b>
<b>TRASFORMATORE, CABINA E ALLACCIAMENTO ENEL</b>			
Trasformatore, cabina e allacciamento alla rete ENEL	€ 100.000	33	€ 3.030
<b>TOTALE TRAFORMATORE E ALLACCIAMENTO ALLA RETE</b>	<b>€ 100.000</b>		<b>€ 3.030</b>
<b>TOTALE IMPIANTO A CICLO ORC</b>	<b>€ 3.725.500</b>		<b>€ 334.883</b>

Tabella 70 - Investimento per caldaia a biomassa, capannone per lo stoccaggio e impianto ORC da 800 kWe

Inoltre sono stati quantificati i costi di gestione per l'impianto, anche se alcune voci non sono facili da ipotizzare con precisione. Per questo motivo è stata aggiunta una voce imprevisti per far fronte agli eventuali costi non considerati.

COSTI DI GESTIONE IMPIANTO CICLO ORC DA 800 KWE	
DESCRIZIONE	COSTO
<b>DESCRIZIONE</b>	
Personale (5 addetti)	€ 220.000
Personale amministrativo (1 addetto a metà servizio)	€ 20.000
Energia elettrica per funzionamento della caldaia	€ 17.000
Assicurazioni (0,7% di I)	€ 10.150
Materiali di consumo (3% di I)	€ 43.500
Manutenzione (5% di I)	€ 72.500
Manutenzione impianto ciclo ORC	€ 15.000
Garanzie per ciclo ORC (0,005 €/kwe)	€ 32.767
Spese generali (5% dei costi annuali)	€ 8.508
Spese di gasolio per macchine mobili	€ 27.000
Imprevisti	€ 50.000
<b>COSTI DI GESTIONE</b>	<b>€ 466.425</b>

Tabella 71 - Costi di gestione impianto completo

Per avere un quadro complessivo che riassume tutte le voci appena quantificate, è riportata la tabella sottostante, che mostra i dati aggregati per arrivare ad una valutazione finale il più obiettiva possibile.

DESCRIZIONE	COSTO
<b>DESCRIZIONE</b>	
Investimento iniziale	€ 3.725.500
Costi annuali relativi all'impianto	€ 466.425
Ricavi annuali relativi all'impianto	€ 1.348.500
Utile generato dall'impianto annualmente	€ 882.075

Tabella 72 - Riassunto costi d'installazione, di gestione e ricavi annuali per l'impianto ORC da 800 kWe

Con questi valori è possibile, attualizzando tutti i ricavi e i costi trovare l'andamento del VAN e il ritorno sull'investimento. Tutto è riportato nella tabella e nel grafico sottostanti.

CALCOLO DEL VAN SUI 12 ANNI													
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\Delta$ anno	-   3.725.500	848.149	815.528	784.162	754.002	725.002	697.117	670.305	644.524	619.734	595.898	572.979	550.942
<b>YAN</b>	-   3.725.500	-   2.877.351	-   2.061.822	-   1.277.661	-   523.659	201.343	898.459	1.568.764	2.213.288	2.833.022	3.428.921	4.001.900	4.552.842
<b>ROI Complessivo</b>		-77%	-55%	-34%	-14%	5%	24%	42%	59%	76%	92%	107%	122%
<b>ROI Annuale</b>		-77%	-28%	-10%	-4%	1%	4%	6%	7%	8%	9%	10%	10%

Tabella 73 - Ritorno economico e andamento del VAN per l'investimento per l'impianto ORC da 800 kWe

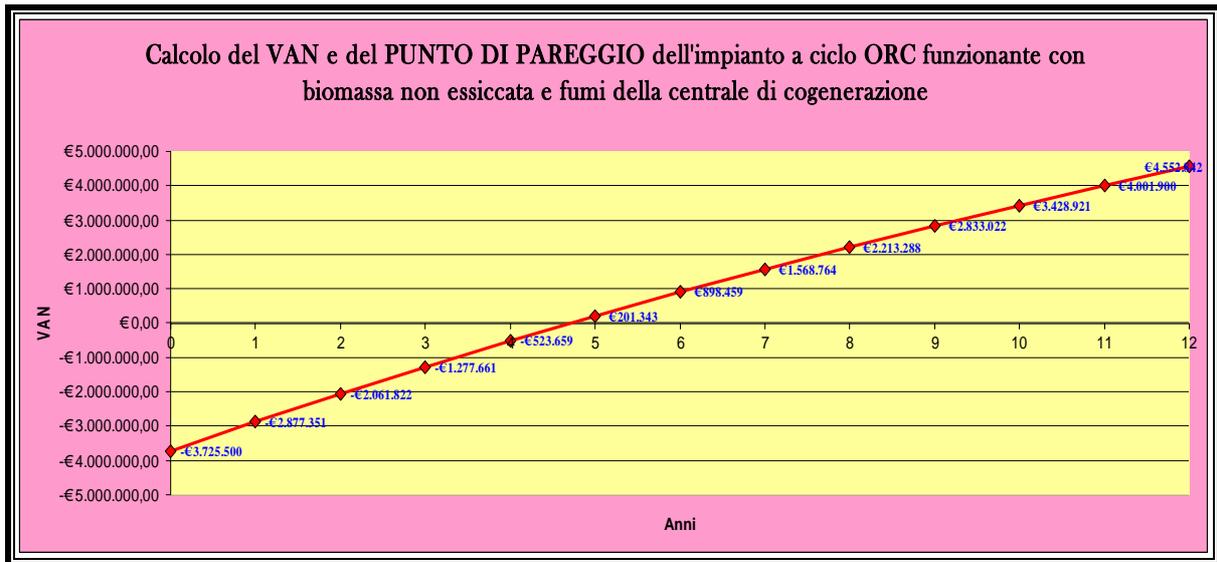


Figura 74 - Andamento del VAN e calcolo del PUNTO DI PAREGGIO per l'investimento sull'impianto a ciclo ORC da 800 kWe

Come si evince dalla curva riportata sul grafico, nonostante l'investimento iniziale sia ingente, il periodo di recupero è molto breve (meno di 5 anni!) e il ritorno sull'investimento è cospicuo.

Dal punto di vista economico, infatti, l'investimento è davvero molto conveniente. Dopo 12 anni il ROI annuale risulta pari al 10%, ovvero un 122% di ROI complessivo.

Una valutazione che deve essere fatta è considerare se vale più la pena impegnare la biomassa in questo modo o costituire delle centrali per la produzione di energia termica all'interno dei centri abitati e vendere direttamente calore. Dal punto di vista ambientale, infatti, questa soluzione mostra una produzione di energia elettrica da biomassa con un rendimento piuttosto basso e una produzione di calore sottoforma di acqua calda dispersa.

L'alternativa, come è mostrato nel paragrafo successivo, potrebbe essere quella di utilizzare una metodologia CHP e associare una rete di teleriscaldamento che colleghi la centrale alle utenze.

Un impianto a ciclo ORC diventa interessante per la produzione di energia elettrica soltanto se si allaccia una rete di teleriscaldamento che possa far arrivare il calore dove può essere utilizzato. La caldaia dovrebbe, pertanto, funzionare solo in base al calore richiesto e in base a questa richiesta generare anche elettricità.

Se si individua una rete di teleriscaldamento da allacciare all'impianto, può essere giustificata l'installazione di un impianto a ciclo ORC presso S.A.BA.R., altrimenti si produrrebbe altro calore che deve essere disperso in atmosfera.

## 4.5 CICLO ORC E RETE DI TELERISCALDAMENTO

Un'altra ipotesi studiata è quella di utilizzare un impianto a ciclo ORC con metodologia CHP, sempre con ingresso di calore a doppio input, e associare una rete di teleriscaldamento che parte dalla S.A.BA.R. e collega le varie utenze. Lo svantaggio di questa soluzione è posto nel fatto che la produzione di calore avviene a distanze elevate dalle utenze e la rete di teleriscaldamento, per portare calore alle utenze, ha dei costi molto elevati.

Riportando un dato dell'attuale mercato delle reti di teleriscaldamento, un metro lineare di tubi di teleriscaldamento posto in opera costa dai 120 ÷ 400 €/mt. Il costo varia in base al diametro del tubo che deve essere doppio, il tubo di mandata e quello di ritorno. Il diametro deve essere scelto in base a quanto calore si deve trasferire e progettarlo in modo che la

velocità dell'acqua non superi gli 1 o 2 m/s. Di solito preliminarmente si fissa di non superare 1,5 m/s.

In più, oltre a verificare se il percorso per arrivare alle utenze è percorribile, è necessario tenere presente che più è lunga la rete, maggiori sono i costi di pompaggio dell'acqua calda alle utenze. Una volta verificato tutto ciò, è indispensabile dotare le utenze finali di appositi scambiatori in modo che ogni utenza ottenga il calore che le serve.

Pertanto come prima valutazione è stata stimata la distanza che intercorre tra la zona di S.A.B.A.R. destinata all'impianto e la CILA, che è l'utenza più vicina alla discarica alla quale può servire calore per svolgere le proprie attività.

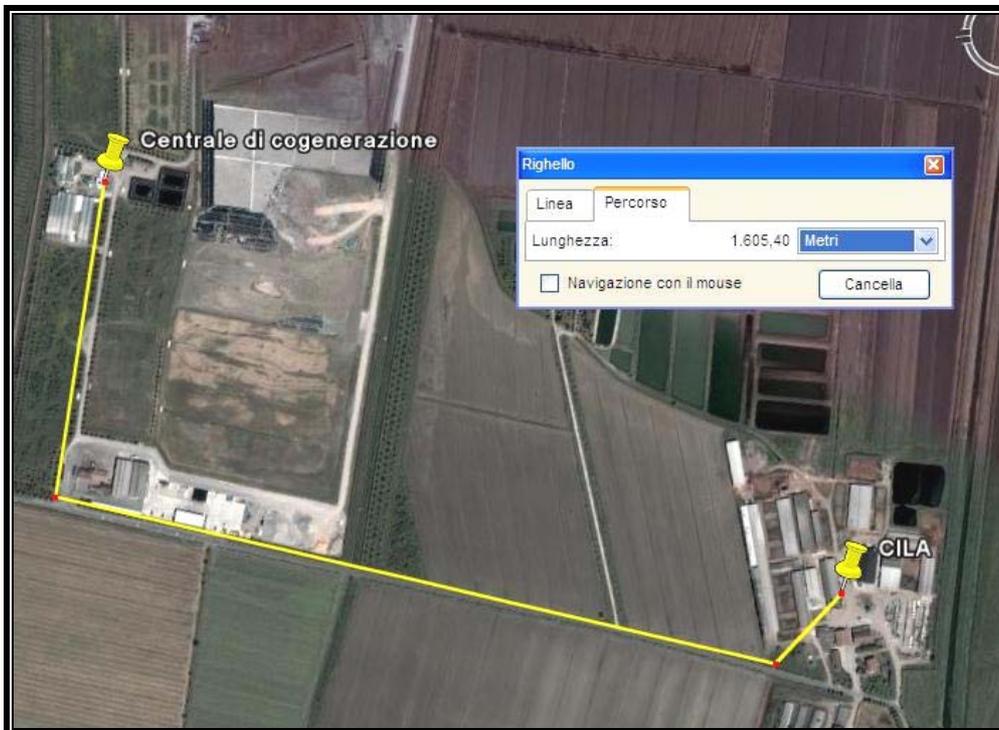


Figura 75 - Distanza tra la zona destinata all'impianto in S.A.B.A.R. e la CILA

Come si evince dalla figura la distanza si aggira intorno al Km e mezzo. Considerando un costo medio di 200 €/mt lineare, il costo della sola rete di teleriscaldamento per collegare l'utenza più vicina è di 320.000 €. Si tratta di fare una valutazione economica considerando i costi che la CILA sostiene attualmente per svolgere le proprie attività produttive e per riscaldare gli ambienti. La spesa che sostiene la CILA per il riscaldamento degli ambienti e per svolgere le proprie attività si attesta sui 34.000 €/anno. Se si considerano le spese per l'energia

elettrica richiesta per pompare l'acqua a 80°C per più di 1 km e mezzo, l'utile diminuisce notevolmente. Se si considera un utile di 20.000 €/anno per coprire i costi di gestione e ammortamento dell'impianto, non si rientra sicuramente dell'investimento in breve tempo. Per giustificare un investimento di questo tipo, occorre servire un numero più elevato di utenze. Il problema è che nei dintorni di S.A.BA.R. le utenze distano molto le une dalle altre. La valutazione è quindi stata fatta principalmente su altri due percorsi:

- Collegare S.A.BA.R. alla zona industriale di Novellara
- Collegare S.A.BA.R. alla zona in cui è previsto l'ampliamento della zona residenziale di Novellara.

È stata, quindi, verificata la distanza dalla S.A.BA.R. alla zona industriale più vicina di una certa consistenza. È da sottolineare che lungo il percorso, oltre alla CILA, per arrivare alla zona industriale è possibile allacciare il teleriscaldamento a diverse utenze, sia industriali che domestiche.

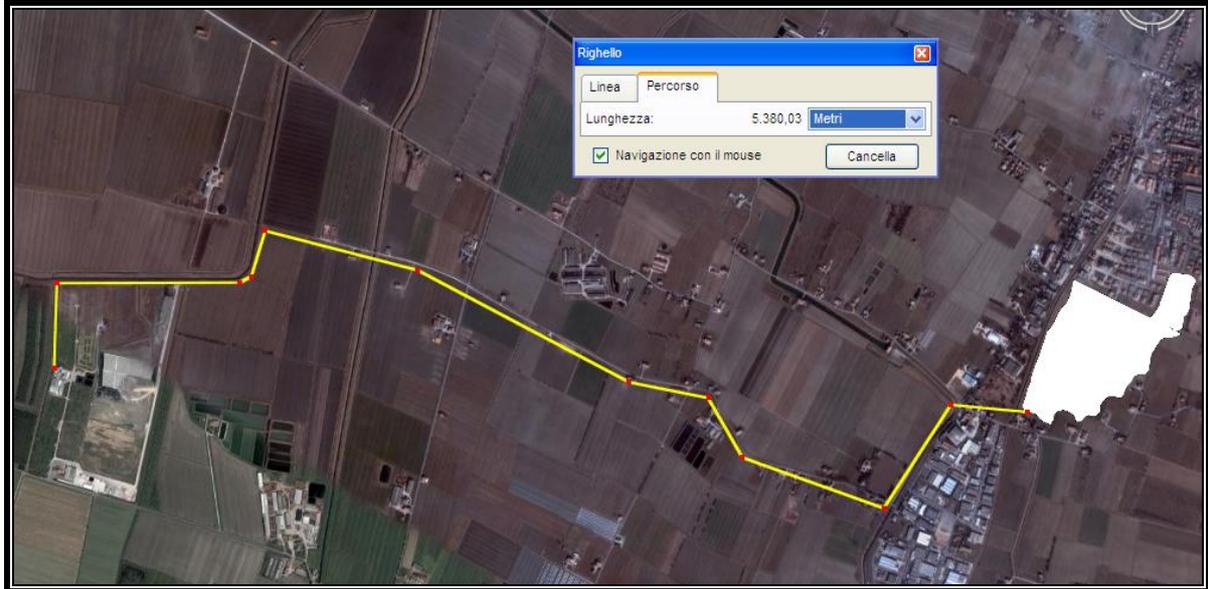


*Figura 76 - Distanza fra S.A.BA.R. e la più vicina zona industriale*

Come si vede dalla finestra riportata in figura, la distanza comincia a diventare consistente. Quasi 6 km di rete di teleriscaldamento richiedono investimenti in tubazioni elevatissime e spese di pompaggio consistenti. A questi costi si devono aggiungere tutti i costi per le

apparecchiature elettroniche e i locali scambiatori. Il vantaggio, rispetto a servire la CILA, è che si possono servire più utenze con un'unica rete di teleriscaldamento.

Successivamente è stata valutata la distanza dall'ampliamento della zona residenziale.



*Figura 77 - Distanza tra la S.A.BA.R. e la zona di ampliamento residenziale*

Pertanto, queste soluzioni prevedono una rete di teleriscaldamento di circa 6 km. Con le moderne tubazioni interrato vi è la possibilità di perdere **0,1°C ogni km**, quindi la dispersione di calore lungo il percorso è quasi trascurabile.

Il vantaggio della zona industriale rispetto a quella di collegare il centro abitato di Novellara è che le utenze industriali hanno un consumo energetico anche nei mesi non invernali per svolgere le proprie attività. Mentre le utenze domestiche necessitano di calore solo nei mesi con temperature più rigide. Mediamente nelle aree emiliane la richiesta di calore si concentra su 1.200 ÷ 1.500 h/anno. Per le restanti ore, quindi si dovrebbe produrre energia elettrica con bassi rendimenti, dissipando il calore generato.

Si riporta il calcolo economico di questa opportunità. La prima considerazione da fare è che in questo caso, si ha una minore produzione di elettricità, poiché si dovrebbe utilizzare la tecnologia CHP del ciclo ORC per avere a valle la produzione di acqua calda a 80°C, pertanto si generano:

- 200 kWe dal calore, sottoforma di **fumi**, in uscita dalla centrale di cogenerazione
- 500 kWe dal calore generato in caldaia dalla **combustione della biomassa**

In questo modo i ricavi derivanti dalla vendita di energia elettrica e CV e dal costo evitato dello smaltimento della biomassa sono riportati sotto.

CALCOLO DEI RICAVI DA VENDITA DI ENERGIA ELETTRICA					
DATI			CALCOLI		
Dato	Valore	Unità di misura	Dato	Valore	Unità di misura
kWt in ingresso sottoforma di fumi	1,00	MWt/h	Impianto da kWe	700	kWe/h
kWt in ingresso dalla combustione della biomassa	3,02	MWt/h	MWhe prodotti annualmente	5.600	MWhe/anno
Totale MWt in ingresso	4,02	MWt/h	Ricavi da vendita di e.e.	€ 952.000	€/anno
Ore di funzionamento all'anno	8.000	h/anno	Ricavi da evitato smaltimento biomassa	€ 260.500	€/anno
			MWht in uscita sottoforma di acqua a 80°C	22.400	MWht/anno
			Energia termica sottoforma di acqua a 80°C	2,80	MWht/h
RICAVI TOTALE GENERATO DALLA VENDITA DI ENERGIA ELETTRICA					
			Ricavo totale annuale	€ 1.212.500	

Tabella 78 - Ricavi e costo mancato per un impianto a ciclo ORC da 700 kWe

Questi valori sono leggermente inferiori rispetto a quelli riscontrati precedentemente con la metodologia HP. A questi vanno però aggiunti i ricavi dalla vendita del calore alle utenze. Per stabilire questo valore è stato stabilito di cedere calore al 15% in meno rispetto al costo di una kcal prodotta con il gas metano. Un'importante considerazione da fare è che mentre l'energia elettrica prodotta è sempre immessa in rete, l'energia termica è utilizzata solo per 1.500 h/anno rispetto alle 8.000 h/anno in cui si ha produzione di calore. Quando non richiesto il calore deve essere dissipato.

Naturalmente, se si effettuasse l'investimento della rete di teleriscaldamento, oltre al calore prodotto dall'impianto a ciclo ORC, è possibile trasferire anche quello in uscita dai cogeneratori sottoforma di **acqua calda a 75°C**. Il quantitativo è pari a **1,8 MWt**, che si va ad aggiungere ai 2,8 MWt in uscita dall'impianto a ciclo ORC.

<b>CALCOLO DEL RENDIMENTO ECONOMICO DI UNA LINEA DI TELERISCALDAMENTO</b>					
<b>DATI</b>			<b>CALCOLI</b>		
Dato	Valore	U di misura	Dato	Valore	U di misura
Calore generato nell'arco dell'anno dall'ORC	23.013.760	kWh/anno	Q detratto delle perdite	35.543.072	kWh/anno
Calore generato dalla centrale di cogenerazione	14.400.000	kWh/anno	Volume di metano necessario	4.691.535	Sm <sup>3</sup>
Totale calore sottoforma di acqua ad 80°C	37.413.760	kWh/anno	€ risparmiabili dai Q termici in un anno	€ 2.627.260	€/anno
Fornitura di picco pari a	4,68	MWt	Volume metano risparmiato x effettivo utilizzo	879.663	m <sup>3</sup> /anno
Ora disponibilità in un anno	8.000	h/anno	Costo equiv. del calore in metano	€ 492.611	€/anno
Ora utilizzate per il riscaldamento	1.500	h/anno	<b>€ risp dai Q termici</b>	<b>€ 418.720</b>	<b>€/anno</b>
PCI metano	9,47	kWh/Sm <sup>3</sup>			
Rendimento combustione metano	80%		Appartamenti riscaldati	586	unità
Costo del metano	€ 0,56	€/m <sup>3</sup>			
Garantire % in meno sul costo del metano	15%		Tep attribuibili al progetto	721,32	tep/anno
Coefficiente relativo alle perdite	5%		<b>Ricavo da certificati bianchi</b>	<b>€ 72.132</b>	<b>€/anno</b>
Utilizzo medio di metano per appartamento	1.500	m <sup>3</sup> /anno	CO2 non immessa in atmosfera	1.708	ton/anno
Fattore di conversione METANO e tep	0,82	tep/1000 m <sup>3</sup>			
Fattore CO <sub>2</sub> per il metano	205	kg/MWt			
Valore certificato bianco per tep risparmiata	€ 100	€/tep			
Riduzione sul costo del metano	15%				
<b>RICAVO GENERATO DA UNA LINEA DI TELERISCALDAMENTO</b>					
<b>Ricavo sulla vendita di calore</b>				<b>€ 490.852</b>	

Tabella 79 - Ricavo dalla vendita di calore alle utenze

Considerando di cedere tutto il calore prodotto per 1.500 h/anno, si potrebbe avere un ricavo, comprensivo dei certificati bianchi, di **490.000 €/anno**, a fronte però di una diminuzione di produzione di energia elettrica. Inoltre con questi maggiori ricavi sono da ammortizzare i costi della rete di teleriscaldamento e coprire i maggiori costi di gestione.

Pertanto aggiungendo il ricavo dalla vendita di calore si ha complessivamente un ricavo annuale complessivo superiore a 1.700.000 €.

Come riportato in tabella, ipotizzando un consumo medio di 1.500 m<sup>3</sup>/anno è possibile riscaldare quasi 600 appartamenti di medie dimensioni.

E' necessario però quantificare i costi d'investimento dell'impianto intero per evidenziare la differenza in termini economici con il progetto precedente che non prevede la rete di teleriscaldamento. Si riportano i costi iniziali nella tabella sottostante.

PREVENTIVO PER IMPIANTO ORC FUNZIONANTE A BIOMASSA NON ESSICCATA E FUMI			
DESCRIZIONE	COSTO	ANNI	AMMORTAMENTO
<b>TERRENI</b>			
Terreno	1 60.000	-	
Urbanizzazioni (già accantonate)	1 250.000	-	
<b>TOTALE LAVORAZIONI TERRENO</b>	<b>€ 60.000</b>		<b>€ 0,00</b>
<b>CAPANNONE</b>			
Capannone per lo stoccaggio della biomassa	1 1.000.000	33	1 30.303
<b>TOTALE COST PER IL CAPANNONE</b>	<b>€ 1.000.000</b>		<b>€ 30.303</b>
<b>CIPPATRICE</b>			
Cippatrice	1 280.000	5	1 56.000
Yaglio	1 70.000	5	1 14.000
Ragno caricatore	1 100.000	5	1 20.000
<b>TOTALE COSTI</b>	<b>€ 450.000</b>		<b>€ 90.000</b>
<b>CALDAIA</b>			
Caldaia	1 500.000	10	1 50.000
Elettrofiltro	1 500.000	10	1 50.000
<b>TOTALE IMPIANTO BRUCIATORE</b>	<b>€ 1.000.000</b>		<b>€ 100.000</b>
<b>IMPIANTO A CICLO ORC</b>			
Impianto a ciclo ORC	1 1.115.500	10	1 111.550
<b>TOTALE IMPIANTO A CICLO ORC</b>	<b>€ 1.115.500</b>		<b>€ 111.550</b>
<b>RETE DI TELERISCALDAMENTO</b>			
Rete di teleriscaldamento di 6 km	1 5.000.000	10	1 500.000
<b>TOTALE IMPIANTO A CICLO ORC</b>	<b>€ 5.000.000</b>		<b>€ 500.000</b>
<b>TRASFORMATORE, CABINE E ALLACCIAMENTO</b>			
Trasformatore, cabina e allacciamento alla rete	1 100.000	33	1 3.030
<b>TOTALE TRASFORMATORE E ALLACCIAMENTO RETE</b>	<b>€ 100.000</b>		<b>€ 3.030</b>
<b>TOTALE IMPIANTO A CICLO ORC</b>	<b>€ 8.725.500</b>		<b>€ 334.883</b>

Tabella 80 - Investimento per caldaia a biomassa, capannone per lo stoccaggio, impianto ORC da 800 kWe e rete di teleriscaldamento

Sono stati quantificati anche i costi di gestione, che però possono essere soggetti a variazioni più consistenti rispetto alle variazioni possibili per progetti analizzati precedentemente, essendo un investimento molto ampio e che riguarda diversi settori.

COSTI DI GESTIONE IMPIANTO	
DESCRIZIONE	COSTO
<b>DESCRIZIONE</b>	
Personale (5 addetti)	€ 220.000
Personale amministrativo (1 addetto)	€ 50.000
Energia elettrica	€ 17.000
Energia elettrica per pompaggio acqua di teleriscaldamento	€ 50.000
Assicurazioni (0,7% di I)	€ 10.150
Materiali di consumo (3% di I)	€ 43.500
Manutenzione (5% di I)	€ 72.500
Manutenzione ciclo ORC	€ 15.000
Garanzie per ciclo ORC	€ 28.767
Spese generali (5% dei costi annuali)	€ 8.508
Spese di gasolio per macchine mobili	€ 27.000
Spese commerciali	€ 20.000
Imprevisti	€ 50.000
<b>COSTI DI GESTIONE</b>	<b>€ 612.425</b>

Tabella 81- Costi di gestione impianto completo

Per maggiore chiarezza, sono riportati i costi di investimento, i costi di gestione e i ricavi generati dall'impianto.

DESCRIZIONE	COSTO
<b>DESCRIZIONE</b>	
Investimento iniziale	€ 8.725.500
Costi annuali relativi all'impianto	€ 612.425
Ricavi annuali relativi all'impianto	€ 1.631.220
Utile generato dall'impianto annualmente	€ 1.018.795

Tabella 82 - Riassunto costi d'installazione, di gestione e ricavi annuali

L'andamento del VAN e i dati che riportano anno per anno il ROI sono riportati nelle figure sottostanti.

CALCOLO DEL VAN SUI 12 ANNI													
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\Delta$ anno	-1 8.725.500	979.610	941.933	905.705	870.870	837.375	805.168	774.200	744.423	715.792	688.261	661.790	636.336
<b>VAN</b>	-1 8.725.500	-1 7.745.890	-1 6.803.956	-1 5.898.252	-1 5.027.382	-1 4.190.006	-1 3.384.838	-1 2.610.638	-1 1.866.214	-1 1.150.423	-1 462.161	199.628	835.965
<b>ROI Complessivo</b>		-89%	-78%	-68%	-58%	-48%	-39%	-30%	-21%	-13%	-5%	2%	10%
<b>ROI Annuale</b>		-89%	-39%	-23%	-14%	-10%	-6%	-4%	-3%	-1%	-1%	0%	1%

Tabella 83 - Ritorno economico e andamento del VAN per l'investimento

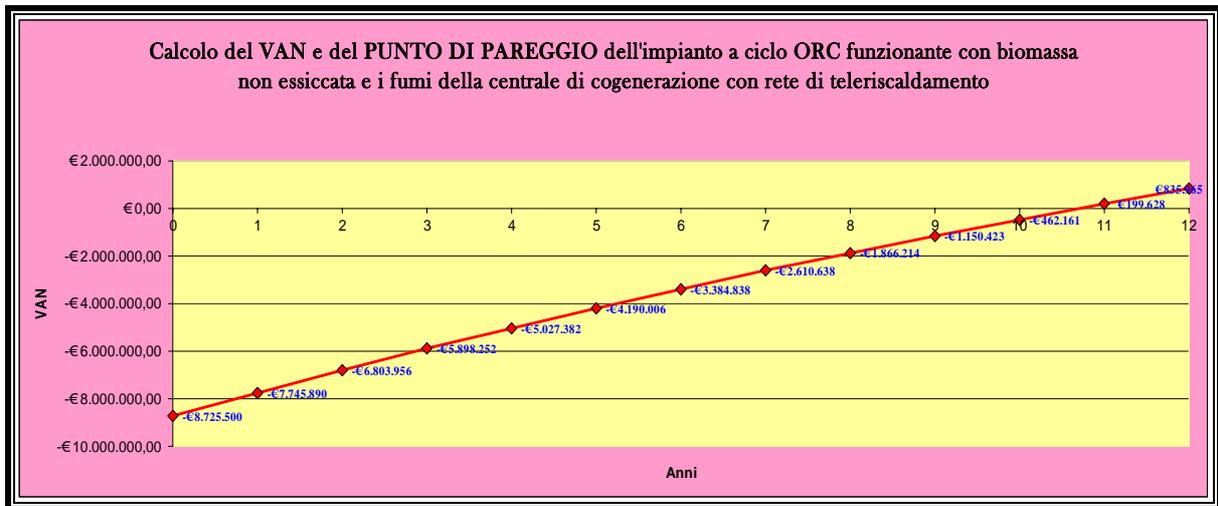


Figura 84 - Andamento del VAN e calcolo del PUNTO DI PAREGGIO per l'investimento

Come si evince dalla figura anche questo investimento, dal punto di vista ambientale più corretto, poiché non dissipa tutto il calore generato, è economicamente meno conveniente rispetto agli altri. La voce di costo più rilevante è quella della rete di teleriscaldamento, che complessivamente è stata stimata a 5.000.000 €, ma è un valore che per essere più corretto necessita di un'analisi più approfondita. L'abbassamento dei valori del VAN e del ROI sono causati principalmente da quattro motivi:

- ✓ La rete di teleriscaldamento e apparecchiature annesse hanno dei costi molto elevati
- ✓ Il calore utilizzato è solo per 1.500 h/anno a fronte di una produzione costante di 8.000 h/anno. Questo incide sul ritorno economico sulla rete di teleriscaldamento.

- ✓ Per produrre acqua ad 80°C da inviare nella rete di teleriscaldamento si ha una perdita di produzione di energia elettrica, che essendo prodotta da fonte rinnovabile ha diritto ai CV ed è quindi pagata molto bene.
- ✓ I costi di gestione sono maggiori rispetto alla precedente alternativa, poiché è da gestire la fatturazione delle bollette, garantire la fornitura alle utenze e gestire la manutenzione presso le utenze.

Concludendo, questo investimento che dal punto di vista ambientale è più corretto rispetto al precedente, richiede l'impiego di risorse maggiori e un investimento iniziale molto elevato. In questo modo il ritorno economico è basso e si rientra nell'investimento dopo più di 10 anni. Sarebbe più opportuno dimensionare la caldaia con una capacità maggiore per generare energia termica solo quando richiesta dalle utenze e servirne in questo modo un numero maggiore.

## 4.6 CONCLUSIONI

L'impianto a ciclo ORC è un'alternativa molto interessante associato ai fumi in uscita dalla centrale di cogenerazione. Per quanto riguarda la combustione della biomassa è interessante solo se è possibile servire delle utenze con il calore generato dall'impianto.

Attualmente questa nuova tecnologia si sta diffondendo poiché è diventata molto affidabile e con il meccanismo dei Certificati Verdi, associate alle fonti rinnovabili, diventa economicamente conveniente.

Sono diverse le considerazioni da fare per quanto riguarda le due alternative. Il ciclo ORC associato soltanto ai fumi della centrale andrebbe ad utilizzare energia termica che attualmente è dissipata in atmosfera. Pertanto senza aggiungere nessun tipo di emissione ulteriore, ma soltanto abbassando la temperatura di uscita dei fumi, sarebbe possibile generare altra energia elettrica. Oltre a ciò il calcolo ha dimostrato che il ritorno sull'investimento è molto elevato, poiché, se l'impianto non riscontra problemi, dopo 12 anni il ritorno sull'investimento è pari al

165%, ovvero un 14% annuale. Questa soluzione è molto valida, anche se necessita che sia ultimata la nuova linea elettrica per trasportare l'elettricità prodotta in rete.

Anche un impianto a ciclo ORC presso S.A.BA.R. che utilizza in ingresso sia il calore dei fumi che quello derivante dalla combustione della biomassa risulta essere un investimento interessante, poiché oltre al ricavo dalla vendita dell'energia elettrica prodotta e dei Certificati Verdi, si ha un costo mancato per l'evitato smaltimento della biomassa. Considerando i costi di trasformazione della biomassa in cippato e i costi mancati per evitato smaltimento, si può affermare di avere il combustibile quasi a costo zero. In questo modo anche senza l'utilizzo del calore generato dall'impianto a ciclo ORC, l'impianto è economicamente conveniente. Il problema è più dal punto di vista ambientale, poiché si produce energia elettrica ad un rendimento basso (18%) e si dissipa il calore.

L'ipotesi di associare una rete di teleriscaldamento che colleghi la S.A.BA.R. al centro abitato o alla zona industriale, pare essere economicamente meno conveniente. Il costo della rete per collegare la zona di produzione di energia termica e le utenze è molto elevato. Anche per quanto riguarda questa alternativa saranno fatte valutazioni più in dettaglio in seguito.

Sia dal punto di vista ambientale che economico è conveniente invece trasformare la biomassa in cippato e destinarla a centrali per la produzione di energia termica poste vicino alle utenze. Nel caso in cui queste centrali abbiano dimensioni rilevanti ( $> 1\text{MW}$ ), associare ad esse un impianto a ciclo ORC per la produzione di energia elettrica solo in base alla richiesta delle utenze di energia termica.

**CAPITOLO**

**5**

---

---

**IMPIANTO  
DI TRATTAMENTO DEI  
REFLUI DI DISCARICA**

---

---

## 5.1 REFLUI PRESENTI NELLA DISCARICA DI NOVELLARA

Attualmente il percolato prodotto non rigettato in discarica è smaltito presso due depuratori: un **depuratore** di **Parma** e uno di **Cremona**. Nella tabella sotto riportata sono presenti le quantità di percolato prodotto, riciclato e quello inviato ai centri di depurazione. È inoltre riportato il rapporto del percolato prodotto con le tonnellate di rifiuti smaltiti in discarica.

DATI RELATIVI AL PERCOLATO PRODOTTO NELLA DISCARICA DELLA S.A.B.A.R DI NOVELLARA							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	MEDIA
Rifiuti smaltiti in discarica S.A.B.A.R. (ton)	70.050	89.860	92.949	138.367	216.008	203.118	
Percolato prodotto (m <sup>3</sup> )	8.534	11.221	12.826	15.228	23.293	19.304	15.068
Percolato riciclato (m <sup>3</sup> )	4.779	7.007	5.809	11.617	14.360	14.274	9.641
Percolato a depurazione (m <sup>3</sup> )	3.755	3.910	5.420	3.934	9.520	5.328	5.311
Rapporto percolato prodotto/rifiuti smaltiti (m <sup>3</sup> /ton)	0.122	0.125	0.138	0.110	0.108	0.095	0.116

Tabella 85 - Produzione di percolato confrontato con le quantità di rifiuti smaltiti in discarica e percolato inviato a depurazione

Il dato che sarà utilizzato nei calcoli successivi sono i metri cubi di percolato inviato a depurazione. Questi dati sono evidenziati in rosso ed è stata fatta una **media** dei valori degli ultimi **6 anni**.

La composizione del percolato dipende in larga misura dalla quantità e dal tipo di rifiuti smaltiti e dall'abbondanza delle precipitazioni in grado di raggiungere il drenaggio di fondo. Da un'analisi chimica si può evidenziare come il percolato possa contenere diversi elementi pericolosi: sostanze organiche **inquinanti** come **BOD** e **COD**, **azoto**, **arsenico**, **fosforo**, **metalli pesanti** la cui variazione totale temporale è dovuta all'evolversi delle trasformazioni biologiche.

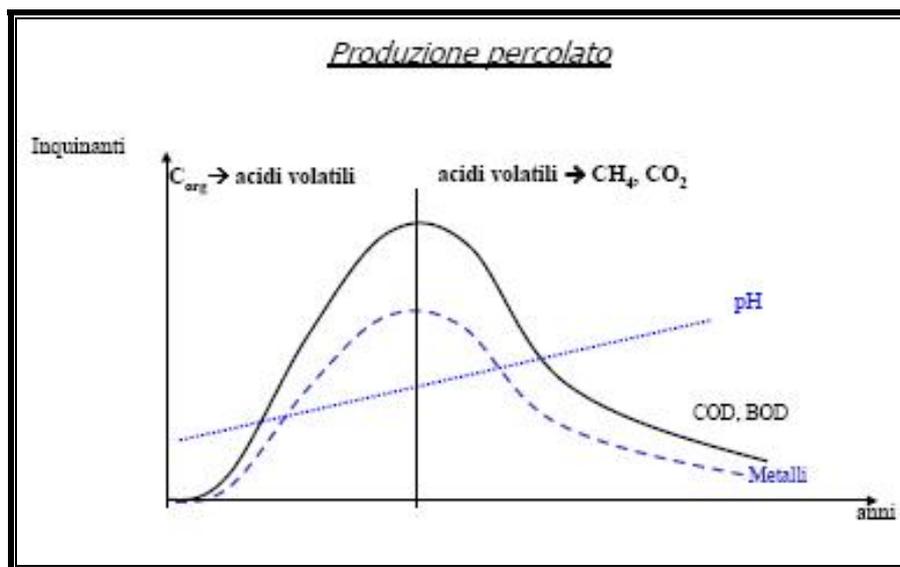


Figura 86 - Curve di produzione degli inquinanti nel percolato negli anni

Si riporta ora una tabella con i valori degli elementi riscontrati dalle analisi del percolato raccolto nelle vasche della discarica di Novellara.

<b>Analisi del percolato nelle vasche di raccolta</b>						
	27/04/2004	02/09/2004	10/02/2005	05/05/2005	15/09/2005	10/11/2005
pH	7,5	7,9	7,7	8,2	7,8	7,5
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	400	159	415	208	1.500	800
C.O.D. (mg/l)	2.701	992	2.680	2.388	7.575	4.040
NH <sub>4</sub> (mg/l)	1.350	1.148	1.410	1.150	1.060	1.390
P (mg/l)	8,7	10,0	8,6	10,7	6,2	9,2
Pb (µg/l)	42	<50	<10	<50	30	30
Cr (µg/l)	918	915	570	885	620	880
As (µg/l)	33	48	19	59	30	16
Hg (µg/l)	<2	<1	<1	1	5	2
Cl (mg/l)	2.128	1.675	1.350	1.556	1.240	1.370

Tabella 87 - Dati relativi all'analisi della concentrazione di percolato nella vasca

Per il percolato non sono previsti valori limite da rispettare, ma S.A.BA.R. e A.R.P.A., ente specializzato nelle analisi chimiche, mantengono monitorati i trend dei parametri per valutare che non ci siano valori di inquinanti particolarmente elevati.

All'interno del percolato è presente anche un'elevata percentuale di umidità, pertanto è stata affrontata l'ipotesi d'installare, presso S.A.BA.R, un **impianto** adatto al **trattamento del percolato per evaporazione**. Il trattamento consiste nel fare evaporare la parte umida presente in elevata quantità nel percolato e nelle acque di prima pioggia, ottenendo così una riduzione consistente della quantità del refluo iniziale

Questi impianti, già presenti sul mercato, adottano una tecnologia consolidata. Il trattamento consiste nel separare la parte umida dagli elementi presenti nei reflui, ottenendo così un **concentrato** che dovrà essere smaltito e una parte di **distillato** che è fatto evaporare.

Inoltre, con tale impianto, è possibile trattare anche l'altro refluo raccolto dalla discarica di Novellara, citato precedentemente: le **acque di lavaggio** degli **automezzi** e quelle di **prima pioggia**.

Sotto sono riportati in tabella i quantitativi di acque di lavaggio automezzi e di prima pioggia smaltiti presso i depuratori negli ultimi anni. La media è stata effettuata soltanto sugli **ultimi tre anni** poiché si ha un valore più rappresentativo. Negli anni precedenti si ha un quantitativo minore dovuto al fatto che i mezzi lavati erano meno.

DATI RELATIVI ALLA RACCOLTA DI ACQUE DI PRIMA PIOGGIA E DI LAVAGGIO DEGLI AUTOMEZZI							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	MEDIA
Acque smaltite presso i depuratori (m <sup>3</sup> )	1.181	2.140	3.200	3.793	4.165	2.160	2.773

Tabella 88 - Quantità di acque di prima pioggia e di lavaggio automezzi smaltiti

Con l'installazione di un **impianto evaporatore** non sarebbe più necessario destinare entrambi i reflui ad un impianto di depurazione, poiché con tale trattamento, sia il concentrato che risulta dal percolato che quello derivante dall'acqua di prima pioggia, sarebbero smaltiti direttamente nella discarica di proprietà della S.A.BA.R..

## 5.2 IMPIANTO EVAPORATORE PER I REFLUI DA DISCARICA \*

Il **D.Lgs. 36/03** consente di poter smaltire direttamente in discarica il concentrato ottenuto dalla distillazione del percolato e delle acque di prima pioggia.

Infatti l'**articolo 2.3** di tale decreto cita: *"Il percolato e le acque raccolte devono essere trattate in impianto tecnicamente idoneo di trattamento al fine di garantirne lo scarico nel rispetto dei limiti previsti dalla normativa vigente in materia. La concentrazione del percolato può essere autorizzata solo nel caso in cui contribuisca all'abbassamento del relativo battente idraulico; il concentrato può rimanere confinato all'interno della discarica."*

L'impianto di trattamento del percolato sfrutta il processo naturale dell'**evaporazione** per scindere l'acqua presente nel refluo rilasciando il concentrato. L'evaporazione è l'unico processo esistente in natura per scindere l'acqua da un composto. L'ebollizione dell'acqua avviene a 100°C se ci si trova alla pressione atmosferica, ma se diminuisce la pressione, l'ebollizione avviene a temperature inferiori. Il rapporto tra temperatura di ebollizione e pressione è direttamente proporzionale, quindi in un ambiente sotto vuoto l'acqua evapora ad una temperatura minore. L'impianto evaporatore per reflui da discarica sfrutta questo fenomeno lavorando ad una **pressione** di **-960 mbar**. In questo modo è possibile lavorare a temperatura più bassa e far evaporare l'acqua a circa **30°C**. Si riporta lo schema dell'impianto che consente il trattamento dei reflui da discarica.

Il processo che prevede il trattamento del percolato e delle acque di lavaggio e prima pioggia, segue le seguenti fasi:

- A.** Raccolta e rilancio del **percolato** dalle vasche esistenti al serbatoio d'acidificazione
- B.** Trattamento mediante **evaporazione** sottovuoto
- C.** Estrazione e stoccaggio del **concentrato**
- D.** Stoccaggio del **distillato**

\*Tratto da L'EVAPORAZIONE SOTTOVUOTO PER LA DEPURAZIONE E IL RIUTILIZZO DEI REFLUI INDUSTRIALI, Catalogo informativo.

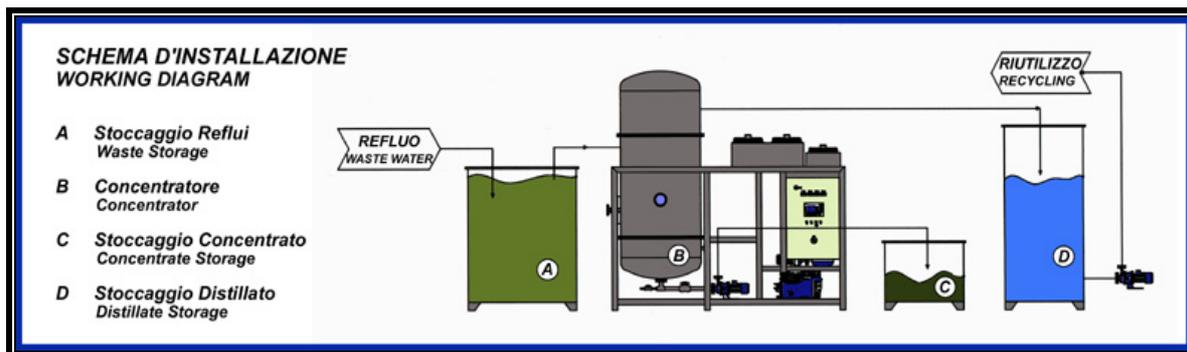


Figura 89 - Schema dell'impianto di trattamento reflui

Le quattro fasi descritte e riportate in figura sono descritte nel dettaglio:

### A. ACCUMUOLO DEL REFLUO

Il **refluo** viene convogliato nel **serbatoio di stoccaggio** che deve essere di volume doppio rispetto al volume giornaliero del refluo da trattare. Data la presenza di ione ammonio (circa 115 ppm del tal quale), si ritiene di suggerire una correzione preventiva del valore di **pH** del refluo (da circa 8,3 a circa 5,5 / 6 all'ingresso dell'evaporatore tramite immissione di acido solforico), per limitare, attraverso la sua salificazione, l'evaporazione dello ione ammonio. Da questo serbatoio il refluo viene inviato in asservimento al successivo impianto d'evaporazione avente una prevalenza di **0,5 bar**.

### B. TRATTANEMENTO MEDIANTE EVAPORAZIONE SOTTOVUOTO

Il refluo contenuto nel serbatoio d'accumulo viene direttamente aspirato dall'evaporatore e sottoposto a processo d'evaporazione sottovuoto, dal quale si ottengono un **distillato** ed un **concentrato**. L'evaporatore funziona in modo totalmente automatico ed è dotato di una serie di controlli ed allarmi atti a garantire il perfetto e sicuro funzionamento.

### C. ESTRAZIONE E RILANCIO DEL CONCENTRATO

Il **concentrato** viene automaticamente **scaricato** tramite una pompa d'estrazione, comandata dal PLC, ed inviato ad un serbatoio d'accumulo, pronto per il conferimento agli smaltitori autorizzati. Il volume di tale serbatoio è opportuno che sia dimensionato in base alla capacità di ritiro dello smaltitore. Se si riesce ad ottenere il consenso dalla Provincia di poter riporre questo concentrato in discarica, è possibile prevedere un **getto** che **rilanci** direttamente il **materiale in discarica**, senza la necessità del serbatoio.

### D. STOCCAGGIO DEL DISTILLATO

Il **distillato** ottenuto dall'evaporatore viene inviato, con una prevalenza di 0,5 bar, in un serbatoio idoneo allo **stoccaggio**. Il volume di tale serbatoio deve essere pari al volume del serbatoio del refluo da trattare. C'è anche la possibilità di utilizzare questo distillato per far funzionare la **torre evaporativa**.

L'offerta pervenuta a S.A.B.A.R. S.p.A. è relativa ad un **Evaporatore ECO 30.000 VS WW monostadio ad acqua calda**.



*Figura 90 - Evaporatore ECO 30.000 VS WW ad effetto multiplo ad acqua calda*

La scelta è ricaduta su questo tipo di impianto poiché un **concentratore** di questo tipo è estremamente **conveniente** quando nell'ambito dell'attività, come nel caso della S.A.B.A.R., si verifica la disponibilità di fonti di calore a basso costo o addirittura di **recuperare calore** dal processo produttivo, ovvero dalla centrale di cogenerazione. L'impianto proposto dalla ditta è monostadio, ma le caratteristiche tecniche saranno definite in fase di progettazione esecutiva. Potrebbe infatti essere più efficiente un impianto a più stadi.

In tali impianti si opera a **livelli di vuoto differenti**. Nel primo stadio, dove la temperatura di distillazione è più elevata, è sufficiente un grado di vuoto non eccessivamente spinto, mentre nei successivi stadi occorre mantenere nelle camere di ebollizione un vuoto via via sempre più elevato per compensare la minor temperatura del fluido vettore.

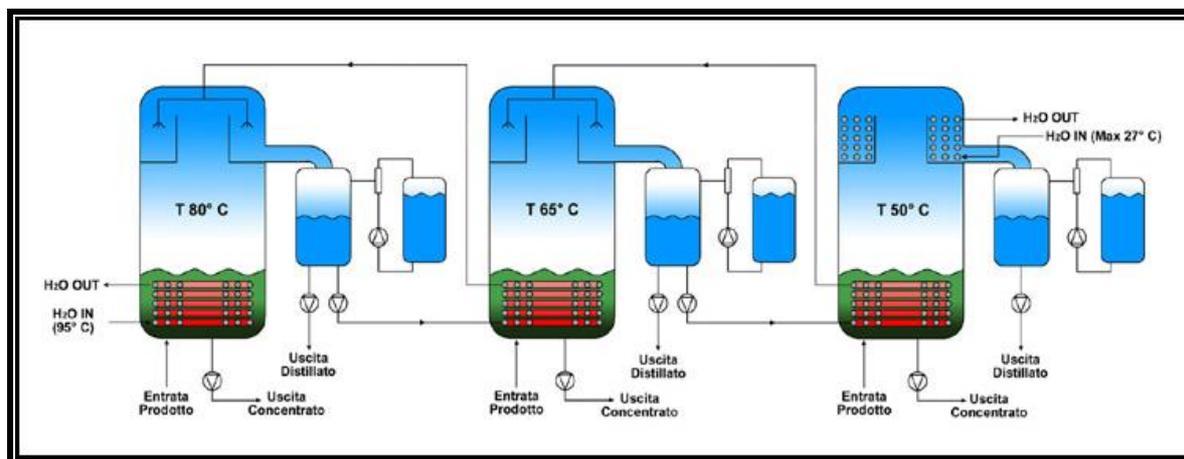


Figura 91 - Schema evaporatore VS WW multistadio

La condensazione del distillato nei primi due passaggi avviene per scambio termico con il tale dello stadio successivo, mentre nello stadio finale viene realizzata mediante un condensatore evaporativo operante in circuito chiuso.

Nel caso di un impianto a due stadi, il consumo energetico si riduce così ad  $\frac{1}{2}$  rispetto a quello normalmente ottenuto con un impianto monoeffetto. Il sistema ad acqua calda non richiede l'utilizzo di gas frigoriferi, come invece accade per i sistemi a pompa di calore. Questo comporta minori attenzioni e minori manutenzioni. È possibile inoltre aggiungere ulteriori stadi a cascata anche dopo l'installazione, senza richiedere incrementi della potenza termica impiegata.



## 5.3 PROVA EFFETTUATA SUL PERCOLATO RACCOLTO IN S.A.BA.R.

In data **25 Novembre 2005** è stata effettuata una prova di concentrazione del percolato raccolto nelle vasche S.A.BA.R.. Il campione prelevato, sul quale si è fatto la prova di trattamento, è stato di **180 litri**. Il test ha simulato un ciclo di **trattamento completo** allo scopo di analizzare tutti gli aspetti inerenti al comportamento del refluo all'interno dell'impianto di trattamento. L'impianto su cui si è effettuato il test ha un resa pari a 130 litri al giorno (5,4 litri ora).

Il prodotto tal quale di aspetto liquido e torbido e presentava i seguenti valori:

- **pH** pari a **7,8**
- **Densità** di **1.025 g/l**
- **Conducibilità** di **14.900 µS/cm**.

La prova ha avuto una durata di **47 ore**, le prime 2 sono state utilizzate per la **correzione** del **pH**, da **7,8** a **5** dosando in totale **7 ml/l** di acido solforico al 50%, resa subito necessaria per la presenza di un'elevata concentrazione di ammoniaca nel distillato.

Il processo di distillazione dopo una prima esitazione, dovuta ad un'elevata presenza di incondensabili, è in seguito proseguito regolarmente raggiungendo e mantenendo per tutto il corso della prova il grado di vuoto necessario a portare in ebollizione il prodotto a una temperatura di circa 30°C.

Nella prima fase del processo di trattamento si è verificata la **formazione di schiume** (solo durante il primo carico) rendendo necessaria l'aggiunta manuale di un **prodotto antischiuma** (totale utilizzato circa **200 ml**).

Il **distillato** prodotto ha mantenuto un aspetto **limpido, incolore** e **costante** per tutto l'andamento della prova. Durante la prova sono stati prelevati alcuni campioni di **distillato** a diverse concentrazioni che sono stati analizzati e i cui valori sono stati portati nella tabella sottostante. In particolare i **campioni** su cui sono state fatte le analisi sono 7:

1. Campione di **tal quale** a **pH 7,8**
2. Campione di **tal quale** acidificato a **pH 5**
3. Campione di **distillato** a riduzione volume del **90%** (FCV 10)
4. Campione di **distillato** a riduzione volume del **93%** (FCV 15)
5. Campione di **distillato** a riduzione volume del **95%** (FCV 22)
6. Campione di **distillato medio** ottenuto dalla raccolta totale del distillato prodotto
7. **Concentrato finale** (8 litri)

FCV è il **Fattore di Conversione Volumetrica** calcolato come indicato sotto.

$$FCV = \frac{\text{Volume\_del\_distillato} + \text{Volume\_del\_concentrato}}{\text{Volume\_del\_concentrato}}$$

<b>Analisi del percolato nelle diverse fasi del trattamento</b>								
	1 tq	2 pH 5	3 D 90	4 D 93	5 D 95	6 D me	7 Conc	Riferim.
pH	7,5	6,0	9,0	8,7	5,9	8,9	6,1	5,5-9,5
Condensato	11.847	12.637	302	537	1.404	255	83.935	-
BOD <sub>5</sub> (mg/l)						23		40
C.O.D. (mg/l)	1.540		311	822	826	274	54.757	160
Boro (mg/l)					0,79	0,066	153	2
Cadmio (µg/l)					<1	<1	45	20
Cromo tot (µg/l)					<5	<5	7.920	2.000
CromoIV (µg/l)					<20	<20		200
Pb (µg/l)					<50	<50	90	200
Rame (µg/l)					<5	5	585	100
Zinco (µg/l)					<5	5	2.610	500
Solfati (mg/l)					6,9	3,9		1.000
Cloruri (mg/l)					2,5	2,1		1.200
P (mg/l)						4,05		10
NH <sub>4</sub> (mg/l)	1.522	1.387	94	139	309	69	18.775	15
N-No <sub>3</sub> (mg/l)					0,12	0,1		20
Solfuri (mg/l)					1,2	0,96		
SOV (µg/l)	3,47	17,2	20,6	0,77	0,67	10,6	23	100
Fenoli (mg/l)					4,4	8,4	35,9	1
Organoalogenati (µg/l)					<0,7	<0,7	<0,7	1000

Tabella 93 - Valori relativi alle analisi del percolato nelle diverse fasi del trattamento

L'andamento della composizione del distillato mostra un peggioramento evidente della sua qualità una volta superato il 91% di riduzione.

Alla fine della prova è stato raccolto un campione medio del distillato prodotto che presenta dei parametri più accettabili. I dati che superano la soglia limite sono il C.O.D. e l'ammoniaca.

La prova ha prodotto un **concentrato** finale nella quantità di **8 litri** (4,5% del campione iniziale) avente una **densità** di **1.140 g/l**. A giudicare dalla riduzione della resa dell'impianto nella fase finale, il prodotto estratto non è ulteriormente concentrabile. La **riduzione di volume** è stata quindi pari al **95,5%**.

Ad avvenuto svuotamento della camera di ebollizione si è proceduto ad un lavaggio iniziale con un semplice getto d'acqua. Le parti a contatto con il prodotto trattato denotavano un leggero grado di attaccamento e incrostazione soprattutto sullo scambiatore immerso. Per questo motivo si è proceduto ad un lavaggio con prodotto chimico idoneo, seguito da uno spostamento e risciacquo finale con acqua di rete, il tutto con esito positivo e completa pulizia della camera di ebollizione. Il tempo richiesto per lavaggi e risciacqui è stato stimato intorno ad un'ora.

## 5.4 OFFERTA PER LA COSTRUZIONE DELL'EVAPORATORE

La S.A.BA.R. S.p.A. ha chiesto ad una ditta che costruisce evaporatori, un preventivo per la costruzione e l'installazione dell'impianto evaporatore ECO 30.000 VS WW monostadio o pluristadio (le caratteristiche tecniche definitive saranno stabilite in fase di progettazione esecutiva). L'impianto presenta le seguenti caratteristiche tecniche:

- ↪ **Produzione nominale distillato** (riferita ad acqua): **1.250 l/h**
- ↪ **Potenza elettrica** assorbita per pompe impianto: **7,5 kWe/h**
- ↪ **Compressore** che crea **6 l/h**: **4 kWe/h**
- ↪ **Energia elettrica** per pompe torre evaporativa: **6 kWe/h**
- ↪ **Potenza termica** assorbita: **810.000 kcal/h** ( $\approx$  **942 kWt/h**)

- ↪ Fluido primario di riscaldamento: **acqua a 83°C -  $\Delta T$  di 10°C**
- ↪ Dimensioni evaporatore cm. 200 x 320 x 700 (h)
- ↪ Temperatura d'entrata acqua di condensazione: 30°C
- ↪ Temperatura di uscita acqua di condensazione: 40°C
- ↪ Esecuzione e certificazione secondo normative CE e PED
- ↪ Portata d'acqua della torre evaporativa: 82 m<sup>3</sup>/h



*Figura 94 - Immagine dell'impianto evaporatore ECO VS WW completo di torre evaporativa*

È possibile prendere come riferimento della quantità del percolato da smaltire, il valore medio annuo di percolato avviato a depurazione riportato precedentemente, ovvero **5.311 m<sup>3</sup>**. Questo valore è all'incirca la stessa quantità inviata ai depuratori del 2005, quindi a maggior ragione può essere considerato un dato valido da utilizzare per la stima dei costi mancati. Con tale valore è possibile valutare così il numero di ore richieste di funzionamento dell'impianto.

Dal momento che ogni ora l'impianto tratta **1.300 l/h** di refluo, il numero di ore necessarie di funzionamento impianto per ridurre il percolato è di **4.085 ore/anno**. A queste vanno

aggiunte alcune ore di fermo-macchina per la sostituzione di alcune parti dell'impianto e per il lavaggio del serbatoio contenente il distillato.

Rimane poi da valutare il numero di ore richieste dal trattamento delle acque di prima pioggia e di lavaggio degli automezzi. Per quanto riguarda il valore medio delle acque di prima pioggia e di lavaggio automezzi, come mostrato precedentemente, si è preferito utilizzare una media solo sugli ultimi 3 anni per avere un dato più attinente al reale. Pertanto attualmente ogni anno, in media, si avviano ai depuratori circa **2.773 m<sup>3</sup>** di refluo. Considerando questa quantità di liquido da trattare con l'eventuale impianto di evaporazione, si rendono necessarie circa **2.133 ore all'anno** per ridurre l'entità del refluo. In tabella è riportato il calcolo effettuato.

<b>CALCOLO DELLE ORE NECESSARIE PER TRATTARE I REFLUI</b>					
<b>DATI</b>			<b>CALCOLI</b>		
<b>Dato</b>	<b>Valore</b>	<b>Unità di misura</b>	<b>Dato</b>	<b>Valore</b>	<b>Unità di misura</b>
Quantità di percolato prodotto	5.311	m <sup>3</sup> /anno	Numero di ore per trattamento del percolato	4.085	h/anno
Quantità delle acque di lavaggio e prima pioggia raccolte	2.773	m <sup>3</sup> /anno	Numero di ore per trattamento delle acque	2.133	h/anno
Numero di litri di refluo trattato per ora	1.300	lt/h			
<b>NUMERO DI ORE DI FUNZIONAMENTO DELL'IMPIANTO</b>					
<b>Numero totale di h/anno di funzion.</b>				<b>6.218</b>	

Tabella 95 - Calcolo ore necessarie per la riduzione dei reflui della S.A.BA.R.

Pertanto, se si ipotizza di trattare solo il refluo derivante dalla discarica della S.A.BA.R., è richiesto un numero di ore pari a **6.218 h/anno**. Questo quantitativo di ore, se sommato alle ore di fermo impianto per lavaggio e manutenzione richiede di far funzionare l'evaporatore per 24 ore al giorno.

In tabella sono riassunti i costi d'installazione dell'impianto di evaporazione dei reflui.

PREVENTIVO PER LA COSTRUZIONE DI UN IMPIANTO EVAPORATORE IN S.A.BA.R.			
DESCRIZIONE	COSTO	ANNI	AMMORTAMENTO
<b>TERRENI</b>			
Terreno	€ 2.000	-	
<b>TOTALE LAVORAZIONI TERRENO</b>	<b>€ 2.000</b>		
<b>IMPIANTO EVAPORATORE</b>			
Scambiatore di riscaldamento in SANDVIK SAF 2507	€ 62.000	10	€ 6.200
Versione speciale in SANDVIK SAF 2507	€ 12.900	10	€ 1.290
Evaporatore ECO 30.000 VS WWV mono stadio	€ 163.200	10	€ 16.320
Impianto circolazione acqua calda dai motori	€ 50.000	10	€ 5.000
Alimentazione pompaggio da vasche del percolato	€ 5.000	10	€ 500
Intercettazioni tra impianto d'evaporazione e torre evaporativa	€ 500	10	€ 50
Allacciamento idraulico ed elettrico alle linee	€ 5.000	10	€ 500
Alimentazione pneumatica	€ 1.000	10	€ 100
Linea telefonica dedicata al modem	€ 1.500	10	€ 150
Lavori in posa d'opera	€ 50.000	10	€ 5.000
Impianto per il riciclo del concentrato ottenuto in discarica	€ 10.000	10	€ 1.000
Spese di progettazione e istruttoria	€ 50.000	10	€ 5.000
Spese per garanzie finanziarie presso la Provincia	€ 5.000	10	€ 500
Spese di spedizione	€ 11.200	10	€ 1.120
<b>TOTALE EVAPORATORE</b>	<b>€ 427.300</b>		<b>€ 42.730</b>
<b>TOTALE INVESTIMENTO EVAPORATORE</b>	<b>€ 429.300</b>		<b>€ 42.730</b>

Tabella 96 - Preventivo per l'installazione dell'impianto per la riduzione di reflui da discarica

Nella tabella sottostante, invece, sono riportati i costi di gestione che comprendono costi di personale, additivi chimici e tutte le voci di costo di manutenzione e amministrativi.

COSTI DI GESTIONE IMPIANTO EVAPORATORE IN S.A.BA.R.	
DESCRIZIONE	COSTO
<b>DESCRIZIONE</b>	
Personale	€ 21.900
Energia elettrica	€ 12.800
Energia termica	€ 0
Assicurazioni (0,7% di I)	€ 3.005
Materiali di consumo (3% di I)	€ 12.879
Manutenzione (3% di I)	€ 12.879
Spese generali (5% dei costi annuali)	€ 2.078
Spese per antischiuma	€ 14.600
Spese per acido solforico	€ 1.100
<b>COSTI DI GESTIONE</b>	<b>€ 81.241</b>

Tabella 97 - Costi di gestione dell'impianto di riduzione del percolato

Ogni voce è ora giustificata nel dettaglio:

- **Personale:** si presume che attraverso un corso per imparare a gestire l'impianto, il personale già presente in S.A.BA.R. possa dedicarsi anche alla gestione di un impianto di questo tipo. Anche se l'impianto funziona 24 ore, si quantifica il tempo necessario a gestire l'impianto come quello di **metà anno uomo** del personale assunto. Un operatore lavora, considerando le ferie, per 48 sett/anno a 25 €/h. Un operatore costa all'azienda 43.800 €/anno (36,5 h/sett x 48 sett/anno x 25 €/h)., quindi si considerano **21.900 €/anno**.
  
- **Energia elettrica:** i componenti che utilizzano energia elettrica all'interno dell'impianto sono 4: pompa per il prelievo del percolato dalla vasca (7,5 kWe/h), pompa per il rigetto del concentrato in discarica (7,5 kWe/h), compressore (4 kWe/h) e pompa della torre evaporativa (6 kWe/h). Pertanto, in totale, il consumo dell'impianto a regime è di **25 kWe/h**. Dato che l'utilizzo previsto si aggira intorno alle 7.300 h/anno, il costo totale per l'energia elettrica è di circa **12.800 €/anno** (= 25 kWe x 7.300 h/anno x 0,07 €/kWe).
  
- **Energia termica:** l'evaporatore richiede un'energia termica pari a **810.000 kcal/h** ( $\approx 942$  kWt) per il suo funzionamento. Se il calore non fosse disponibile gratuitamente, generare questa quantità di calore attraverso la combustione di gas metano avrebbe un costo pari a 63 €/h (costo di un kWt è pari a 0,067 €). Pertanto considerando un funzionamento annuale pari a 7.000 h, il costo per energia termica sarebbe attorno i **450.000 €/anno**. La disponibilità del calore sottoforma di acqua a 75°C deriva dalla centrale di cogenerazione, pertanto in questo calcolo **non rientra tra i costi**.
  
- **Assicurazione:** il costo per assicurare l'impianto è lo **0,7% dell'investimento**.
  
- **Materiali di consumo:** Anche per questa voce un valore percentuale sul totale dell'investimento. In letteratura, per questo tipo di impianti, si ipotizza il **3% dell'investimento**.

- **Manutenzione:** per quantificare il valore della manutenzione si utilizza il **3% dell'investimento**. La manutenzione in impianti ad acqua calda è quasi inesistente. Si tratta di controllare che non ci siano infiltrazioni d'aria tra le connessioni, tra l'altro individuabili con la perdita del vuoto e di controllare che i sali all'interno dell'acqua nella torre evaporativa non raggiungono valori troppo elevati (immettendo il distillato nella torre evaporativa non sarà necessario controllarla spesso). La pompa di scarico e riciclo si cambia ogni 3.000 ore di funzionamento, mentre la girante della pompa ogni 8.000 ore. Si fa rientrare all'interno di questa voce anche il fermo impianto causato dal lavaggio.
  
- **Spese generali:** questa voce raccoglie tutti i costi non previsti, ma che potrebbero essere da sostenere nella gestione dell'impianto. È stata quantificata come il **5% dei costi annuali**. In questi costi rientrano anche i costi amministrativi e commerciali, che non sono molto elevati dato che si occuperebbe di questa gestione il personale già assunto di S.A.BA.R..
  
- **Antischiuma:** nel corso della prova effettuata con 180 litri è stata utilizzata una quantità di antischiuma corrispondente a circa 1 per 1.000. Questa quantità è probabilmente in eccesso poiché a fine prova non richiedeva una nuova immissione di antischiuma. In base ad applicazioni similari si stima che il quantitativo richiesto di antischiuma sia di 0,5 per 1.000 litri trattati. Il costo indicativo al giorno risulta essere di **40 €**, che per 365 giorni/anno restituisce un costo di **14.600 €**.
  
- **Acido solforico:** dalla prova effettuata si evince che per acidificare il refluo portandolo a pH 5 necessitano di 7 ml/l di acido solforico al 50%, corrispondenti a circa **3 €/giorno**. In un anno i costi si assestano intorno ai **1.100 €**.
  
- **Lavaggio:** si ipotizza un lavaggio totale ogni 15/20 giorni, che richiede poco più di un'ora di lavoro e l'utilizzo di acqua e soda al 50%. Dato che è un costo trascurabile, lo si può considerare all'interno della manutenzione e del costo del personale.

## 5.5 COSTO MANCATO CON L'IMPIANTO EVAPORATORE

I ricavi generati con l'investimento in un impianto di trattamento del percolato e delle acque di prima pioggia, sono il risultato soltanto di un costo mancato. Attualmente S.A.B.A.R. smaltisce questi due fluidi in impianti adatti alla loro depurazione. Il percolato è inviato a un centro di depurazione di Parma e uno di Cremona, mentre le acque di prima pioggia vengono inviate ad un centro di trattamento a Piacenza. Questa procedura sarebbe quindi eliminata.

L'impianto, sopra descritto, è adatto a trattare sia il percolato che le acque di prima pioggia. Il distillato prodotto dal trattamento è fatto evaporare dalla torre evaporativa, mentre il 4,5% che rimane sottoforma di concentrato può, per legge, essere smaltito direttamente in discarica.

I dati necessari a quantificare i costi mancati sono quelli relativi al numero di m<sup>3</sup>/anno dei due tipi di reflui smaltiti ed il costo per il loro smaltimento e trasporto presso le sedi idonee al trattamento.

Per stimare i costi mancati sono necessari i costi di smaltimento delle due tipologie di reflui presso i depuratori a cui vengono inviati. La migliore offerta pervenuta a S.A.B.A.R. per il 2007 è di una ditta di Casalmaggiore, che dista circa 35 km dalla sede S.A.B.A.R.:

✚ Costo di smaltimento del **percolato** = 12 €/m<sup>3</sup>

✚ Costo di smaltimento delle acque di **lavaggio** e **prima pioggia** = 13 €/m<sup>3</sup>

Aggiungendo a questi costi di smaltimento, anche quelli di trasporto, che si aggirano attorno ai 5 €/m<sup>3</sup>, si quindi un costo complessivo di:

✚ Costo di smaltimento del **percolato** = 17 €/m<sup>3</sup>

✚ Costo di smaltimento delle acque di **lavaggio** e **prima pioggia** = 18 €/m<sup>3</sup>

Nella tabella sotto riportata è mostrato il calcolo per quantificare l'entità dei costi totali annuali per il trasporto e lo smaltimento dei reflui della discarica.

Nel calcolo sono stati utilizzati i riferimenti medi dei quantitativi dei reflui stimati precedentemente.

<b>CALCOLO DEI RICAVI COME COSTO MANCATO DI NON CONFERIMENTO PERCOLATO E ACQUE DI LAVAGGIO E PRIMA PIOGGIA PRESSO IMPIANTI DEPURATORI</b>					
<b>DATI</b>			<b>CALCOLI</b>		
Dato	Valore	Unità di misura	Dato	Valore	Unità di misura
Quantità di percolato prodotto	5.311	m <sup>3</sup> /anno	Costo conferimento a Mancasale	€ 90.287	€/anno
Quantità di acque di prima pioggia raccolte	2.773	m <sup>3</sup> /anno	Costo conferimento a Piacenza	€ 49.914	€/anno
Costo per conferimento di percolato al depuratore	€ 17,00	€/m <sup>3</sup>			
Costo totale per conferimento a Piacenza	€ 18,00	€/m <sup>3</sup>			
<b>DELTA RICAVI TOTALE GENERATO</b>					
				<b>Ricavo totale annuale</b>	<b>€ 140.201</b>

Tabella 98 - Costi mancati con l'installazione dell'impianto di trattamento delle acque e del percolato

Pertanto, mediamente, in un anno si avrebbe un costo mancato per smaltimento dei reflui di circa 140.000 €.

È stato effettuato un calcolo del ritorno economico generato dall'attuazione di questo progetto, per stabilire la fattibilità economica dell'investimento. Nella tabella sottostante sono riportati i costi, i ricavi e l'entità dell'investimento con i quali calcolare il ritorno sull'investimento.

<b>Costi, ricavi e utili generati dal depuratore</b>	
<b>DESCRIZIONE</b>	<b>COSTO</b>
<b>DESCRIZIONE</b>	
Investimento iniziale	€ 429.300,00
Costi annuali relativi all'impianto	€ 81.241,26
Ricavi annuali relativi all'impianto	€ 140.201,00
Utile generato dall'impianto annualmente	€ 58.959,75

Tabella 99 - Riassunto dei costi di investimento e gestione dell'impianto e i ricavi

Ora, invece, si riporta il calcolo effettuato per quantificare VAN, ROI e PUNTO DI PAREGGIO sull'investimento. Il calcolo è stato eseguito in questo modo:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+r)^i}$$

dove:

$I_0$  = Investimento iniziale

$FC_i$  = Flusso di cassa del periodo  $i$

$r$  = costo opportunità del capitale (4%)

$n$  = numero di anni per i quali è calcolato il ritorno sull'investimento (10 anni)

CALCOLO DEL VAN SUI 10 ANNI											
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta$ anno	-€ 429.300	€ 56.692	€ 54.512	€ 52.415	€ 50.399	€ 48.461	€ 46.597	€ 44.805	€ 43.081	€ 41.424	€ 39.831
VAN	-€ 429.300	-€ 372.608	-€ 318.096	-€ 265.681	-€ 215.282	-€ 166.822	-€ 120.225	-€ 75.420	-€ 32.339	€ 9.085	€ 48.916
ROI Complessivo		-87%	-74%	-62%	-50%	-39%	-28%	-18%	-8%	2%	11%
ROI Annuale		-87%	-37%	-21%	-13%	-8%	-5%	-3%	-1%	0%	1%

Tabella 100 - Ammontare del VAN e del ROI per i primi 10 anni

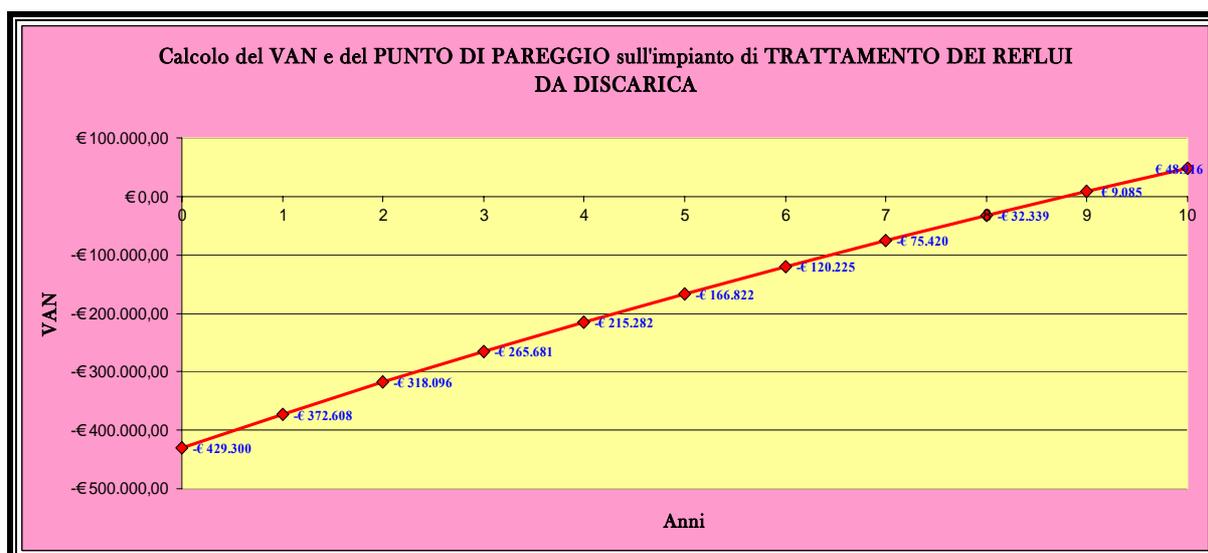


Tabella 101- Grafico che riporta l'andamento del VAN per i primi 10 anni

L'investimento in questi termini pare non essere conveniente dal punto di vista economico. Un 1% di ROI annuale dopo 10 anni e un punto di pareggio attorno ai 9 anni, non giustifica un investimento così consistente.

Inoltre vi è un problema legato alle autorizzazioni per le emissioni in atmosfera, che allungano i tempi e complicano le procedure per l'installazione e la gestione dell'impianto evaporatore da parte di S.A.BA.R.

Pertanto, S.A.BA.R. ha provato a chiedere che fosse la stessa ditta produttrice dell'evaporatore ad assumersi i costi per l'installazione e la gestione dell'impianto, in cambio di un pagamento da parte di S.A.BA.R. di un quota fissa prestabilita a metro cubo.

## 5.6 OFFERTA PER LA GESTIONE DELL'EVAPORATORE

Si esamina ora l'alternativa di far assumere gli oneri di investimento iniziale e di far gestire alla ditta costruttrice l'impianto di trattamento dei reflui della discarica.

Questa soluzione è stata esaminata per diversi motivi:

- ✓ Non è risultata valida dal punto di vista economico la gestione a S.A.BA.R.
- ✓ La gestione richiede personale altamente qualificato dal punto di vista chimico
- ✓ È una politica già adottata per altri impianti esistenti in S.A.BA.R.
- ✓ Riduce i rischi legati al non funzionamento dell'impianto

Il contratto di servizio di gestione di questo impianto da parte della ditta prevede una durata di **8 anni** dalla messa dall'inizio di funzionamento dell'impianto. La formula di noleggio è "**Full service**".

L'impegno di fornitura di S.A.BA.R. S.p.A. è :

- Periodo di **7.200 ore** annuali per **8 anni**
- Alimentazione di **acqua** a min **75°C** con **810.000 kcal/h** ( $\approx$  **941 kWt**) con un  $\Delta T$  di **5°C**

- Alimentazione di percolato per un quantitativo minimo di **30 m<sup>3</sup>/24h** con caratteristiche analoghe a quanto indicato nelle analisi chimiche relative al test di evaporazione eseguito

E' stato previsto di utilizzare il distillato prodotto dall'impianto come acqua di reintegro alla torre evaporativa. Inoltre è previsto di riporre il concentrato ottenuto all'interno della discarica stessa.

L'offerta prevede un compenso di **10,13 €/m<sup>3</sup>** di percolato o acque di lavaggio e di prima pioggia trattati.

Qualora le utenze fornite da S.A.BA.R. S.p.A. risultassero inferiori a 7.200 ore dovrà essere corrisposto alla ditta che gestisce l'impianto un compenso stabilito contrattualmente sino al raggiungimento del periodo minimo di 7.200 h/anno.

Qualora si verificassero rotture non imputabili alla ditta costruttrice, ad esempio causate a terze persone o da eventi meteorici o sismici, le relative riparazioni saranno addebitate a S.A.BA.R. S.p.A.

I limiti di fornitura sono:

- Installazione dell'impianto (posa in opera di tutte le linee e dei diversi collegamenti);
- Reintegro d'acqua addolcita alla torre evaporativa;
- Alimentazione elettrica ai quadri di potenza;
- Collegamenti elettrici tra il quadro elettrico e le cassette di derivazione in campo;
- Alimentazione pneumatica ai riduttori di pressione;
- La vasca di contenimento impianti e serbatoi;
- Le protezioni antipioggia ed antigelo degli impianti,
- Lo stoccaggio dei prodotti chimici necessari;
- Linea telefonica dedicata al modem installato nel quadro comandi impianto.

La proposta di S.A.BA.R. è quella di far sostenere anche i costi dei componenti sopraccitati in cambio di un maggiore compenso al m<sup>3</sup>.

Per ognuna di queste voci, pertanto, è stato stimato un costo che può assumere ed è stato ripartito sugli 8 anni di contratto e sui 9.468 m<sup>3</sup> di refluo che si suppone di trattare.

<b>CALCOLO DEI COSTI DA SOSTENERE PER LA GESTIONE DELL'IMPIANTO ALLA DITTA COSTRUTTRICE</b>				
<b>DATI</b>				
<b>Dati</b>	<b>Costo totale</b>	<b>Costo annuo</b>	<b>Costo a m<sup>3</sup></b>	<b>Unità di misura</b>
Quantità di percolato prodotto			5.311	m <sup>3</sup> /anno
Quantità di acque di prima pioggia raccolte			2.773	m <sup>3</sup> /anno
Quantità totale da trattare media			8.084	m <sup>3</sup> /anno
Quantità totale annuale minima richiesta			9.000	m <sup>3</sup> /anno
<b>Costo per trattamento dei reflui</b>			<b>€ 10,13</b>	<b>€/m<sup>3</sup></b>
Struttura di contenimento, platea e rete fognaria	€ 50.000	€ 6.250	€ 0,69	€/m <sup>3</sup>
Impianto di alimentazione acqua a 75°C	€ 50.000	€ 6.250	€ 0,69	€/m <sup>3</sup>
Alimentazione elettrica aper 25 kWh		€ 12.600	€ 1,40	€/m <sup>3</sup>
Alimentazione percolato da vasche di stoccaggio	€ 5.000	€ 625	€ 0,07	€/m <sup>3</sup>
Collegamenti elettrici tra quadro e cassette derivazione	€ 5.000	€ 625	€ 0,07	€/m <sup>3</sup>
Alimentazione pneumatica	€ 1.000	€ 125	€ 0,01	€/m <sup>3</sup>
Linea telefonica dedicata al modem	€ 1.500	€ 188	€ 0,02	€/m <sup>3</sup>
Impianto per il riciclo del concentrato ottenuto in discarica	€ 10.000	€ 1.250	€ 0,14	€/m <sup>3</sup>
Impianto per il reintegro d'acqua addolcita alla torre evaporativa	€ 500	€ 63	€ 0,01	€/m <sup>3</sup>
Controlli da parte di personale S.A.BA.R.	€ 2.000	€ 250	€ 0,03	€/m <sup>3</sup>
Spese per garanzie finanziarie presso la Provincia	€ 5.000	€ 625	€ 0,07	€/m <sup>3</sup>
Imprevisti	€ 2.500	€ 313	€ 0,03	€/m <sup>3</sup>
<b>TOTALE COSTI A m<sup>3</sup></b>	<b>€ 132.500</b>	<b>€ 29.163</b>	<b>€ 13,37</b>	<b>€/m<sup>3</sup></b>
<b>COSTI ANNUALI</b>				
<b>Dato</b>			<b>Valore</b>	<b>Unità di misura</b>
Costo trattamento percolato			€ 71.010	€/anno
Costo trattamento acque lavaggio e pioggia			€ 37.076	€/anno
<b>COSTI TOTALI</b>				
			<b>Costo totale annuale</b>	<b>€ 108.085</b>
			<b>Costo totale annuale minimo</b>	<b>€ 120.000</b>

Tabella 102 - Costi per la gestione dell'impianto di trattamento dei reflui da parte della ditta costruttrice

In questo modo, se la ditta costruttrice sostenesse tutti i costi d'installazione e gestione dell'impianto, S.A.BA.R. sarebbe dovrebbe pagare un compenso a m<sup>3</sup> di **13,37 €**, anziché 10,13. Ora per ogni voce è dettagliato meglio il valore stimato.

- **Struttura di contenimento, platea e rete fognaria: 50.000 €**
- **Reintegro d'acqua addolcita alla torre evaporativa: 500 €**
- **Alimentazione elettrica ai quadri di potenza per 25 kWe per 7.200 h/anno sono circa 180.000 kWh/anno. Dato che si utilizza l'energia elettrica prodotta dai cogeneratori, il costo è pari al ricavo mancato dalla non vendita all'ENEL dell'e.e. a 0,07 €/kWe.**

La quota di ricavo pari a 0,10 €/kWe dovuta ai CV, è allo stesso modo incassata, poiché è energia prodotta da fonti rinnovabili. Il costo pertanto è pari a **12.600 €/anno**.

- **Collegamenti elettrici** tra il **quadro elettrico** e le cassette di derivazione in campo: **5.000 €**
  
- **Alimentazione pneumatica** ai riduttori di pressione: **1.000 €**
  
- Impianto per il **riciclo del concentrato** ottenuto in discarica: **10.000 €**
  
- Lo **stoccaggio** dei **prodotti chimici** necessari sarebbe effettuato in una struttura già fabbricata non distante dal luogo dell'impianto.
  
- Linea telefonica dedicata al modem installato nel quadro comandi impianto: **500 €**
  
- I controlli da parte del personale S.A.B.A.R. sono quasi irrilevanti. Si tratta di verificare saltuariamente se tutto procede correttamente. Si è ipotizzato un costo su 8 anni di: **2.000 €**

Se non intervengono **imprevisti** di svariato tipo, che in parte sono stati considerati ipotizzando una quota di **2.500 €** su 8 anni, risulta che allocando tutti questi costi ad ogni singolo metro cubo di refluò trattato, **ogni metro cubo** risulta avere un costo di **13,37 €**. Moltiplicando questo valore per il numero minimo di m<sup>3</sup> da trattare ogni anno, il costo annuale minimo da garantire alla ditta è di circa **120.000 €/anno**. Con i valori medi calcolati precedentemente non si raggiungerebbe la quantità minima richiesta. Per raggiungere la quota minima e non pagare per un quantitativo non trattato, le soluzioni sono due:

- Trattare una quantità maggiore di percolato anziché rigettarlo sulla discarica;
- Accettare di trattare reflui prodotti da enti terzi.

Rimanendo ai quantitativi medi prodotti annualmente dalla discarica di Novellara, si ottengono i seguenti valori.

<b>Costi, ricavi e utili generati dall'evaporatore</b>	
<b>DESCRIZIONE</b>	<b>IMPORTO</b>
<b>DESCRIZIONE</b>	
Investimento iniziale	€ -
Costi annuali relativi all'impianto	€ 120.000
Ricavi/Costi mancati annuali relativi all'impianto	€ 140.201
Utile generato dall'impianto annualmente	€ 20.201

*Tabella 103 - Riassunto costi, ricavi e utili generati dall'installazione dell'impianto di riduzione dei reflui gestito dalla ditta costruttrice*

L'investimento iniziale si considera pari a 0 €, poiché le opere sono a carico della ditta che si assume l'onere di costruzione dell'impianto. Sono state allocate come costi ad ogni singolo metro cubo di refluo trattato. Dal momento che non si raggiungerebbero i 9.000 m<sup>3</sup>/anno di reflui trattati, il costo da sostenere è pari al minimo stabilito in sede di contratto, ovvero 120.000 €.

Il valore del VAN partirà dall'origine e sarà una curva crescente, ma con i ricavi che diminuiscono a causa dell'inflazione negli 8 anni.

<b>CALCOLO DEL VAN SU 8 ANNI PREVISTI DAL CONTRATTO</b>									
<b>Anno</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Δ anno</b>	€ -	€ 19.424	€ 18.677	€ 17.959	€ 17.268	€ 16.604	€ 15.965	€ 15.351	€ 14.761
<b>VAN</b>	€ -	€ 19.424	€ 38.101	€ 56.060	€ 73.328	€ 89.931	€ 105.896	€ 121.248	€ 136.008

*Tabella 104 - Calcolo del VAN su 8 anni per l'impianto evaporatore gestito dalla ditta costruttrice*

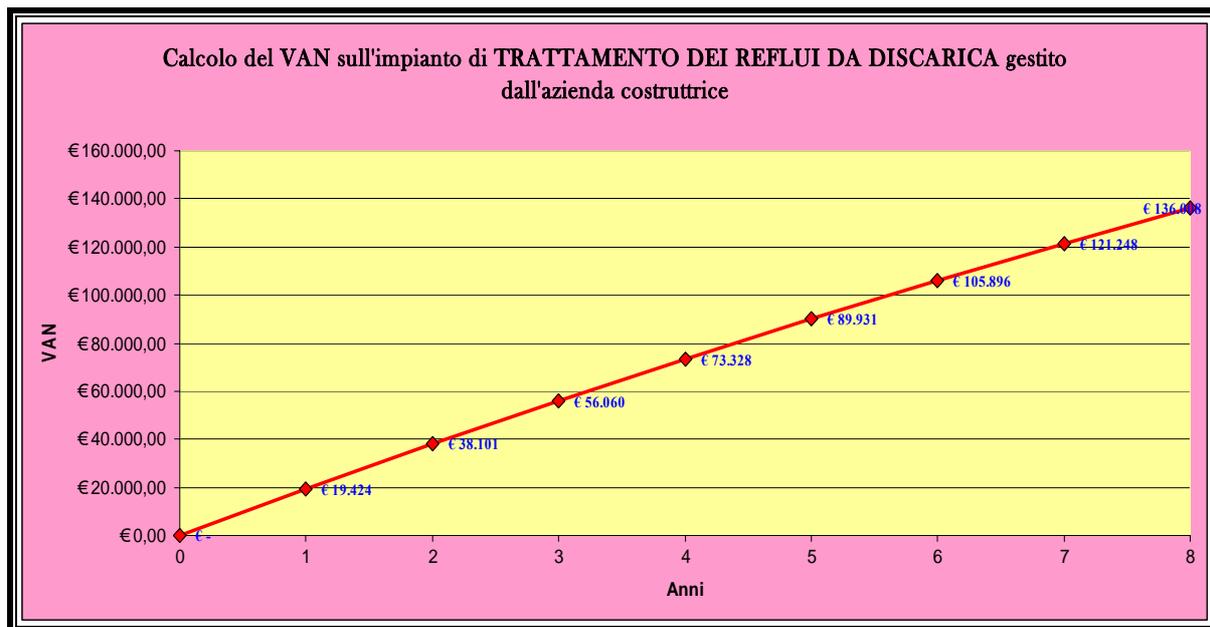


Figura 105 - Grafico che riporta l'andamento del VAN per l'impianto di evaporazione gestito dalla ditta costruttrice

Anche questa soluzione economicamente pare non giustificare l'installazione dell'impianto evaporatore.

È sicuramente una soluzione più valida rispetto alla precedente e più semplice dal punto di vista gestionale, poiché la gestione dell'impianto è tutta a carico dell'impresa costruttrice. Inoltre tutti gli oneri dovuti al rilascio delle concessioni di autorizzazioni e al loro rinnovo da parte della Provincia non sarebbero gestite da S.A.BA.R.

È da tenere in considerazione il fatto che l'azienda di costruzione dell'evaporatore sino ad ora non si è mai occupata della gestione degli impianti da essa costruiti. Sarebbe alla prima esperienza, ma si ritiene che il know-how in loro possesso possa garantire la gestione dell'impianto nel migliore dei modi.

Un vantaggio di questa soluzione è che i rischi legati al non funzionamento e ad eventuali problemi dell'impianto sono sostenuti dalla ditta costruttrice, che gestirà l'impianto per i primi 8 anni.

Un impianto di questo tipo consente però di assicurarsi la possibilità di gestire economicamente nel migliore dei modi la gestione "post mortem" della discarica, nel senso che poco importa la fluttuazione del costo di smaltimento dei reflui presso i depuratori nel corso degli anni, dal momento che sarà sempre possibile trattare i reflui presso la discarica.

Pertanto si può concludere che un impianto di questo tipo, costruito presso S.A.BA.R dove il calore sfruttato non richiede dei costi, comporti più che ad un ricavo generato dal mancato costo per l'azienda, una soluzione che garantisce anche dopo la chiusura della discarica, di garantire un costo fisso di trattamento del reflui da discarica negli anni.

Risultano necessarie, però, le valutazioni con i dati sulle possibili emissioni in atmosfera ed eventualmente in acque superficiali per prendere in considerazione, sotto tutti gli aspetti, l'installazione dell'impianto.

## 5.7 IPOTESI SATURAZIONE IMPIANTO CON REFLUI DA TERZI

L'ipotesi che si può avanzare è quella di saturare l'impianto con reflui provenienti da terzi, dato che si dovrebbero pagare anche le ore di non funzionamento impianto per raggiungere la quota minima stabilita da contratto, stimata a 7.200 ore/anno.

Con il quantitativo medio dei volumi di percolato e delle acque di lavaggio e prima pioggia della discarica di Novellara si raggiungerebbero 6.218 ore di funzionamento. Le restanti ore per il raggiungimento della quota minima consentirebbero di trattare altri 1.276 m<sup>3</sup> di refluo che può essere importato dall'esterno.

Si ipotizza che la quota per trattare il refluo proveniente dall'esterno sia di **14 €/m<sup>3</sup>**. Il totale dei ricavi è riportato in tabella.

<b>CALCOLO DEI RICAVI COME COSTO MANCATO DI NON CONFERIMENTO PERCOLATO E ACQUE DI PRIMA PIOGGIA PRESSO IMPIANTI DEPURATORI</b>					
<b>DATI</b>			<b>CALCOLI</b>		
Dato	Valore	Unità di misura	Dato	Valore	Unità di misura
Quantità di percolato prodotto	5.311	m <sup>3</sup> /anno	Costo conferimento a Mancasale	€ 90.287	€/anno
Quantità di acque di prima pioggia raccolte	2.773	m <sup>3</sup> /anno	Costo conferimento a Piacenza	€ 49.914	€/anno
Quantità di refluo da terzi	1.276	m <sup>3</sup> /anno	<b>Ricavo dai reflui di terzi</b>	<b>€ 17.864</b>	<b>€/anno</b>
Costo per conferimento di percolato al depuratore	€ 17,00	€/m <sup>3</sup>			
Costo totale per conferimento a Piacenza	€ 18,00	€/m <sup>3</sup>			
Ricavo dai reflui di terzi	€ 14,00	€/m <sup>3</sup>			
<b>DELTA RICAVI TOTALE GENERATO</b>					
				<b>Ricavo totale annuale</b>	<b>€ 158.065</b>

Tabella 106 - Ricavi generati dall'impianto di trattamento reflui trattando anche reflui di terzi

Senza riportare tutti i costi che rimangono uguali a quelli presenti nel calcolo precedente, si riporta soltanto l'andamento del VAN negli 8 anni previsti dal contratto. L'unica differenza, come sottolineato dalla tabella sarebbero i circa **18.000 €/anno** di ricavi per il trattamento dei reflui provenienti da terzi.

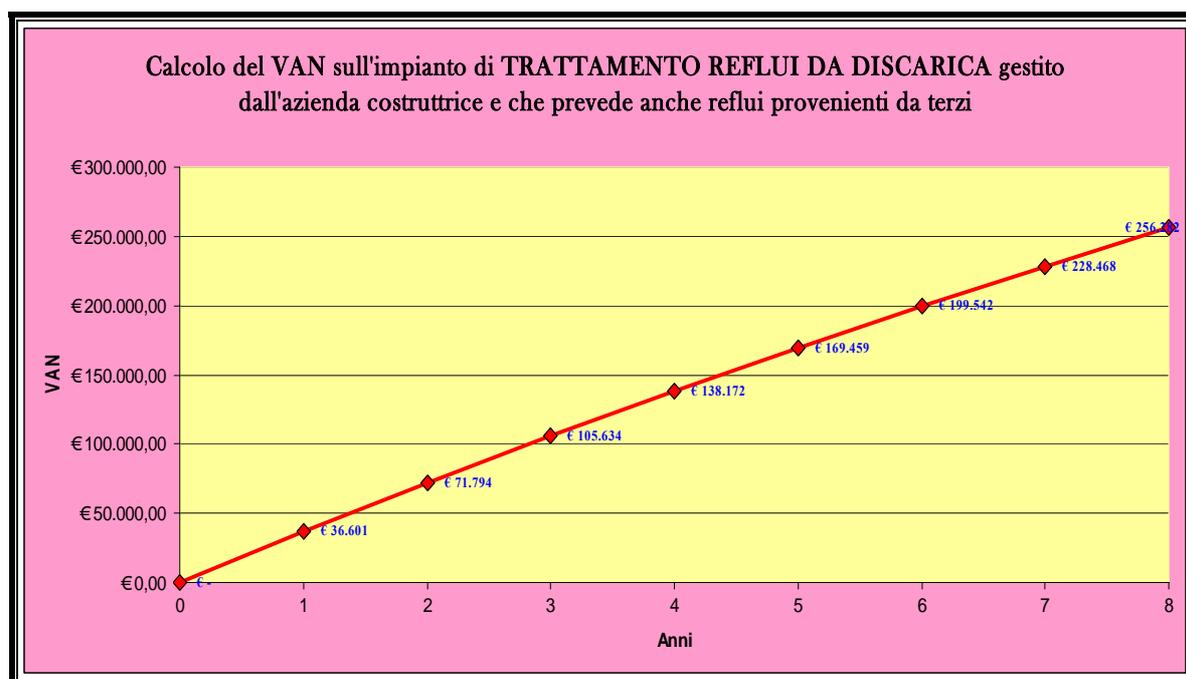


Figura 107 - Grafico dell'andamento del VAN importando parte dei reflui dall'esterno

Come si evince dal grafico si ottiene un miglioramento dei **ricavi**, che dopo **8 anni** anziché essere di 136.000 €, sale a **256.000 €**.

Questi ricavi si hanno con l'utilizzo dell'impianto per 7.200 h/anno. È naturale che se si decide di trattare reflui derivanti da terzi è possibile trattare un quantitativo maggiore di fluido poiché l'impianto può lavorare anche per 8.000 ore. Con questo numero di ore i reflui da terzi possono essere anche di 2.400 m<sup>3</sup>/anno.

Il problema è quello di avere le autorizzazioni per trattare i reflui provenienti da terzi e verificare che chimicamente di cosa si tratta.

## 5.8 CONCLUSIONI

Tutte le offerte pervenute a S.A.B.A.R. per un possibile impianto di trattamento dei reflui da discarica, anche utilizzando i fumi, sono economicamente meno vantaggiose di quella appena riportata. La scelta di questo impianto però non esclude le altre due alternative presentate precedentemente dell'essiccazione della biomassa o di installare un impianto ciclo ORC, poiché questo utilizzerebbe il calore sottoforma di acqua a 75°C, mentre gli altri due impianti il calore dei fumi.

Pertanto, qualunque sia la scelta relativa all'utilizzo del calore sottoforma di fumi, non si esclude questa. Considerando, però, i costi che attualmente sono richiesti a S.A.B.A.R. per lo smaltimento dei reflui, un impianto di questo tipo non consente di risparmiare una somma consistente, dato anche i rischi che si corrono sul corretto funzionamento dell'impianto. Tanto più che si potrebbero avere delle emissioni, anche se leggere, in acque superficiali e il concentrato rimanente deve essere smaltito in discarica, quando gli impianti di depurazione recuperano in parte il concentrato in impianti di lavorazione dei fanghi.

È un'opportunità da tenere presente in futuro se i costi di smaltimento saliranno ed in ottica di gestione "post mortem" della discarica, nel senso che una volta installato l'impianto presso la discarica, la produzione di reflui verrebbe smaltita senza costi aggiuntivi e senza dovere gestire i trasporti.

**CAPITOLO**

**6**

---

---

**INSTALLAZIONE DI UNA  
CENTRALE A BIOMASSA**

---

---

## 6.1 ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI IN ITALIA

### 6.1.1 PRODUZIONE DI ENERGIA RINNOVABILE IN ITALIA

Ai sensi dell'articolo 2, comma 1 del Decreto Legislativo n. 387 del 29 dicembre 2003, per **FONTI RINNOVABILI** si intendono “Le fonti energetiche rinnovabili non fossili (eolica, solare, geotermica, del moto ondoso, maremotrice, idraulica, biomasse, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas)”.

In particolare l'articolo 2 della direttiva 2001/77/CE, per “**biomassa**” recita che si intende “la parte biodegradabile dei prodotti, dei rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze animali e vegetali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani”. La situazione dell'Italia nell'utilizzo delle diverse fonti per produrre energia è riportata nella figura sottostante. I dati più aggiornati ad oggi sono quelli relativi al 2004 resi noti dal Rapporto Annuale Energia e Ambiente (REA) dell'ENEA.

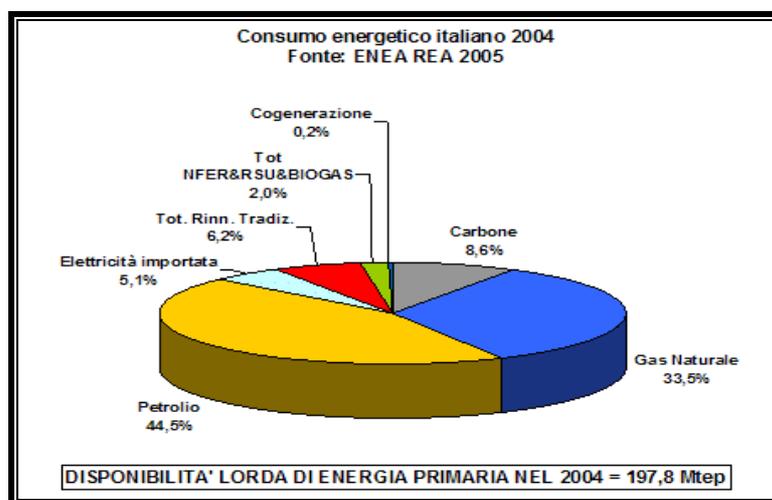


Figura 108 - Il consumo energetico italiano del 2004 per fonti primarie

Il contributo delle **Nuove Fonti di Energia Rinnovabile (NFER)** è sviluppato ulteriormente per mostrare il reale contributo delle biomasse ai fini energetici rispetto a quello delle altre fonti rinnovabili endogene tradizionali e ai recuperi energetici derivanti dalla cogenerazione, dai RSU e dal biogas di discarica.

Utilizzo a fine energetico di biomasse relative al 2004				
FORTE	Energia consumata nel 2004	U di M	Mtep	Quota % sul totale
Legna da ardere	57.820	TJ	1,382	0,700%
Biomasse per energia elettrica	2.190	TWe	0,482	0,244%
Biomasse per usi termici	60.187	TJ	1,438	0,727%

*Tabella 109 - Utilizzo a fine energetico di biomasse relative al 2004 in Italia*

## 6.1.2 PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTI RINNOVABILI IN ITALIA

Nel 2005, in Italia la produzione lorda di energia elettrica da impianti alimentati da **fonti rinnovabili** ha raggiunto il valore di **49.920 GWh**. Il maggiore contributo è venuto dalla produzione **idroelettrica**, pari a **36.067 GWh**, seguito dalla produzione da **biomasse e rifiuti**, **6.155 GWh**, **geotermica**, **5.324 GWh**, ed **eolica**, **2.343 GWh**.

Nella figura sottostante sono riportati i valori di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili in Italia dal 1994 al 2005.

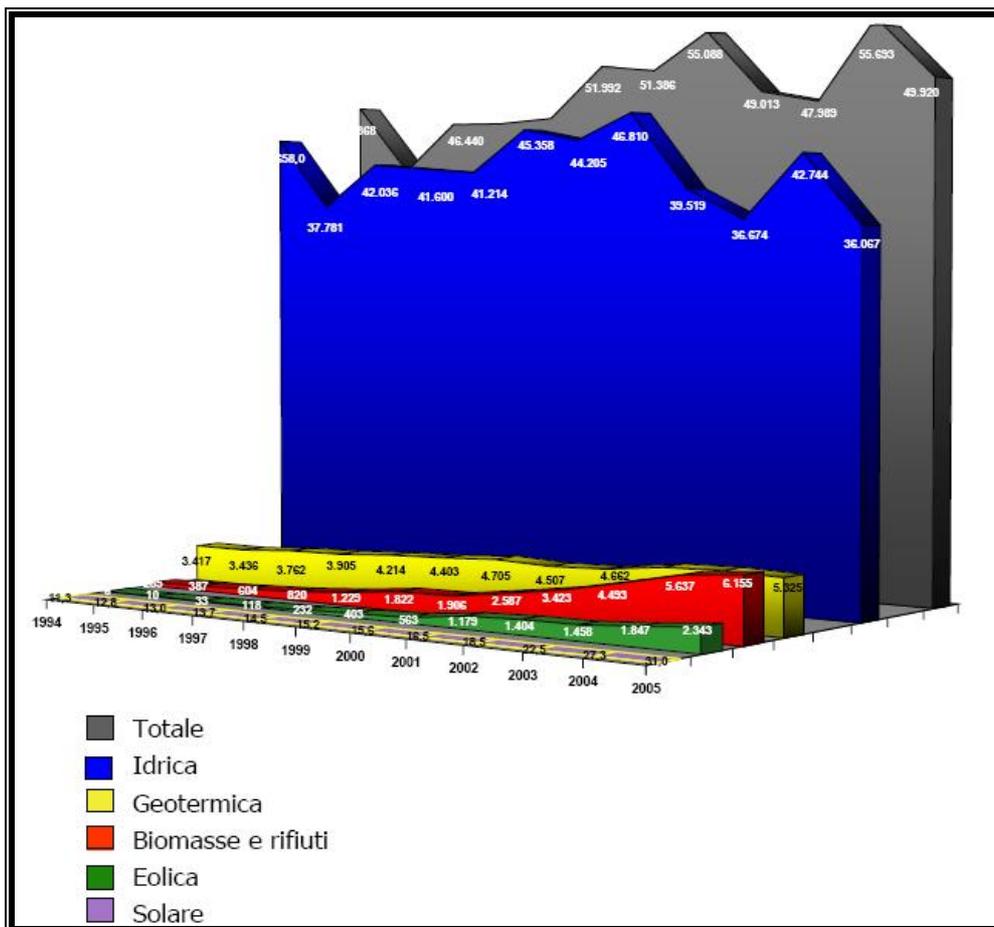


Figura 110 - Andamento della produzione lorda da fonte rinnovabile in Italia dal 1994 al 2005 in GWh [Dati ENEA]

Dal grafico si evince che la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile è per la maggior parte derivante da impianti idroelettrici. È però in crescita, grazie al sistema incentivante dei Certificati Verdi, l'energia elettrica prodotta da eolico, da biomasse e rifiuti.

A partire dal 2007, con la nuova finanziaria, agli impianti che produrranno energia elettrica da rifiuti non saranno più associati i Certificati Verdi

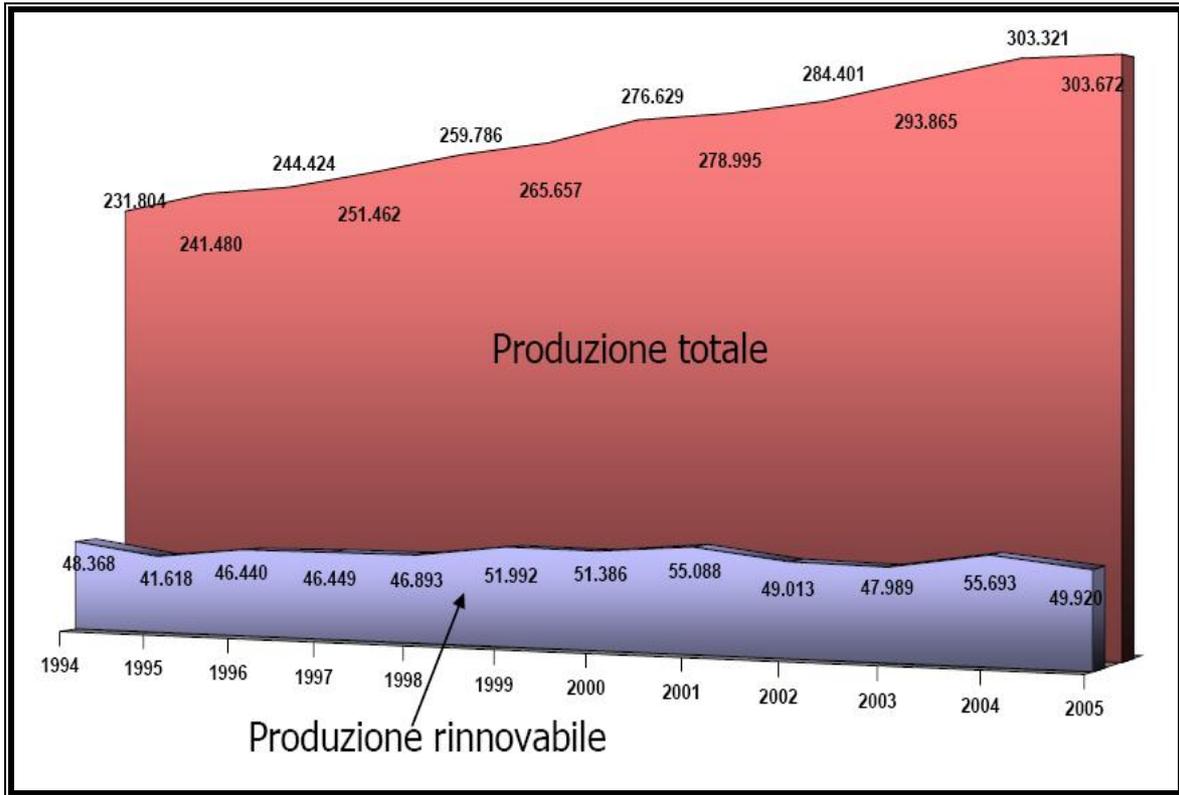
Nella tabella sottostante sono riportati i **numeri degli impianti** da fonte rinnovabile presenti in Italia e la **produzione effettiva lorda** nel **2005**, posti a confronto con i dati relativi al **2004**.

Potenza efficiente lorda degli impianti da fonte rinnovabile in Italia al 31 dicembre					
	n°	kW 2004	n°	kW 2005	% '05 / '04
<b>Idrica</b>	<b>2.021</b>	<b>17.055.630</b>	<b>2.055</b>	<b>17.325.767</b>	<b>1,6</b>
0_1	1.134	413.034	1.157	419.418	1,5
1_10 (MW)	593	1.951.470	605	1.986.114	1,8
> 10	294	14.691.126	293	14.920.235	1,6
<b>Eolica</b>	<b>120</b>	<b>1.131.485</b>	<b>148</b>	<b>1.638.955</b>	<b>44,8</b>
<b>Solare*</b>	<b>-</b>	<b>31.000</b>	<b>-</b>	<b>34.000</b>	<b>9,7</b>
<b>Geotermica</b>	<b>31</b>	<b>681.000</b>	<b>31</b>	<b>711.000</b>	<b>4,4</b>
<b>Biomasse e rifiuti**</b>	<b>267</b>	<b>1.191.751</b>	<b>277</b>	<b>1.199.773</b>	<b>0,7</b>
- Solidi	94	923.848	98	915.900	-0,9
- rifiuti solidi urbani	53	511.228	55	526.500	3,0
- da colture e altri rifiuti agro-industriali	41	412.620	43	389.400	-5,6
- Biogas	173	267.903	180	283.873	6,0
- da discariche	148	229.623	150	236.833	3,1
- da fanghi	4	3.512	5	4.714	34,2
- da deiezioni animali	13	3.973	14	6.843	72,2
- da colture e altri rifiuti agro-industriali	8	30.795	9	35.483	15,2
<b>Totale</b>	<b>2.439</b>	<b>20.090.866</b>	<b>2.512</b>	<b>20.909.495</b>	<b>4,1</b>

Figura 111 - Dati sul numero di impianti e sulla produzione efficiente lorda di energia elettrica da fonte rinnovabile [Dati ENEA]

Dai dati forniti da ENEA riportati in tabella, si nota che per quasi tutte le tipologie di energia rinnovabile si riscontra un aumento più o meno sostanziale dell'utilizzo di fonti rinnovabili.

Nonostante però l'aumento del 4,1% di energia elettrica prodotta effettivamente da fonte rinnovabile, si trova una diminuzione della potenzialità di produzione lorda, dovuta ad impianti idroelettrici, che riporta la potenzialità di produzione totale ai livelli del 1994.



*Figura 112 - Produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile sul totale della produzione [Dati ENEA]*

In seguito lo studio si concentrerà sulla produzione di **energia termica e/o elettrica** attraverso la combustione della **biomassa** legnosa raccolta da S.A.BA.R. S.p.A.

## 6.2 STIMA DEL PCI A DISPOSIZIONE CON LA BIOMASSA RACCOLTA

Come accennato più volte precedentemente S.A.BA.R. raccoglie in media, annualmente:

- 3.500 ton/anno di **POTATURE**
- 7.500 ton/anno di **LEGNA BIANCA**

Si considerano tre casi diversi e su questi si stima il PCI insito nella biomassa raccolta. Sono tre le ipotesi che sono state formulate, ovvero:

- Avviare direttamente a combustione in una caldaia presso S.A.BA.R. per tutto l'anno la biomassa raccolta e produrre energia elettrica con un impianto a ciclo ORC.
- Far essiccare la biomassa in campo nelle aree di stoccaggio di S.A.BA.R. e inviarla a centrali nel periodo invernale.
- Essiccare la biomassa attraverso un essiccatore ed inviarla alle centrali nel periodo invernale.

In base al trattamento subito, varia la percentuale di umidità insita nel cippato. Questa variabile modifica il valore del PCI del cippato. La legna raccolta, come visto precedentemente, ha un'umidità variabile tra il 30 e il 60% e ad essa è stata attribuita un PCI pari a 2.000 kcal/kg.

- ⊕ 2.000 kcal/kg per potature e legna **non essiccate**
- ⊕ 2.300 kcal/kg per cippato **essiccato in campo**
- ⊕ 3.800 kcal/kg per potature e legna **essiccate attraverso un essiccatore**

Per il caso di essiccazione in campo il PCI aumenta di poco, ma è importante cercare di evitare il cippato marcisca.

## 6.3 ENERGIA TERMICA OTTENIBILE ATTRAVERSO LA COMBUSTIONE DELLA BIOMASSA

Per quantificare l'energia termica che è possibile produrre con la biomassa è necessario analizzare due dei tre casi appena citati, poiché quello relativo alla combustione diretta in caldaia per alimentare un impianto a ciclo ORC è già stato ampiamente trattato. Pertanto si valuta l'energia termica a disposizione negli altri due casi:

- Essiccazione in campo
- Essiccazione con il calore della centrale di cogenerazione

Nel primo caso dunque in media, dopo un'essiccazione in campo il PCI si stima attorno ai 2.300 kcal/kg rispetto alle 2.000 kcal/kg della biomassa tal quale.

Un inconveniente dell'essiccazione in campo è che il materiale ha un rischio maggiore di marcire. Supponendo quindi di avviare a combustione in qualsiasi centrale a biomassa che possa utilizzare un combustibile come quello presente in S.A.BA.R., tutto il materiale raccolto potrebbe alimentare una centrale da 13 MW funzionante per 1.500 h/anno.

Il potere calorifico a disposizione è pari a quello di 2.500.000 m<sup>3</sup> di metano, che consentono di risparmiare 2.100 tep/anno. Pertanto considerando d'installare delle centrali che avviino a combustione tutta la biomassa raccolta annualmente da S.A.BA.R. si avrebbe una valorizzazione del materiale in calore molto elevata.

<b>RENDIMENTO TERMICO DELLA COMBUSTIONE DELLA BIOMASSA ESSICCATO IN CAMPO RACCOLTA DA S.A.B.A.R. PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA</b>						
<b>DATI</b>			<b>CALCOLI</b>			
<b>Dato</b>	<b>Valore</b>	<b>U di misura</b>	<b>Dato</b>	<b>Valore</b>	<b>U di misura</b>	
Potere calorifico inferiore biomassa	2.300	kcal/kg	Q <sub>gesse</sub>	21.965.000.000	kcal/anno	
Quantità di potature e legna	3.500	ton/anno	Q <sub>combustione in kcal</sub>	17.572.000.000	kcal/anno	
Quantità di legna bianca	7.500	ton/anno	Q <sub>combustione in kJ</sub>	73.556.392.000	kJ/anno	
TOTALE MATERIALE NON ESSICCATO	11.000	ton/anno	Q <sub>combustione in kWh</sub>	20.432.331	kWh/anno	
Riduzione frazione umida delle potature	20%		Calore a disposizione depurato delle perdite	19.410.715	kWh/anno	
Riduzione della frazione umida di legna bianca	10%		Possibile centrale alimentata a biomassa	12,94	MWt	
Quantità potature e legna	2.800	ton/anno	Volume di metano necessario	2.562.132	Sm <sup>3</sup> /anno	
Quantità legna bianca	6.750	ton/anno	Costo equivalente del combustibile metano	€ 1.434.794	€/anno	
TOTALE MATERIALE ESSICCATO	9.550	ton/anno	Costo a cui si vedrebbe il calore	€ 1.219.675	€/anno	
Costo della biomassa essiccata	€ 30,00	€/ton	Costo della biomassa come combustibile	€ 286.500	€/anno	
Rendimento combustione legno	80%					
Fattore di conversione da kcal a kJ	4,186		Valorizzazione del combustibile in calore	€ 933.075	€/anno	
Fattore di conversione da kJ a kWh	0,000278					
Numero di ore di funzionamento all'anno	1.500	h/anno	Numero appartamenti riscaldati	1.708	unità	
PCI metano	9,47	kWh/Sm <sup>3</sup>				
Rendimento combustione metano	80%		Tep attribuibili al progetto	2.100,95	tep/anno	
Costo del metano	€ 0,56	€/m <sup>3</sup>	Ricavo da certificati bianchi	€ 210.095	€/anno	
Coefficiente relativo alle perdite	5%		CO <sub>2</sub> non immessa in atmosfera	3.979	ton/anno	
Consumo medio di un appartamento	1.500	m <sup>3</sup> /anno				
Riduzione sul costo del metano	15%					
Fattore di conversione METANO e tep	0,82	tep/1000 m <sup>3</sup>				
Fattore CO <sub>2</sub> per il metano	205	kg/MWt				
Valore certificato bianco per tep risparmiata	€ 100	€/tep				
<b>VENDITA DEL CALORE AL 15% IN MENO RISPETTO AL METANO</b>						
<b>Valorizzazione del combustibile</b>				<b>€ 1.429.670</b>		

Figura 113 - Calcolo dell'energia termica disponibile con l'essiccazione della biomassa in campo

Pertanto la valorizzazione della biomassa sarebbe di 1.400.000 €/anno con i quali coprire i costi di gestione e di ammortamento. Per avere un'idea è possibile coprire il fabbisogno medio di 1.700 appartamenti. Inoltre, alla combustione di fonti rinnovabili sono associati i Certificati Bianchi, uno per ogni Tonnellata Equivalente di Petrolio. Anche per i CB esiste un mercato, ma si utilizza il valore di 100 €/tep che è quello che si ritiene più vicino al reale.

Se, invece, si prevede il passaggio del cippato in un essiccatoio che utilizza il calore in uscita dalla centrale di cogenerazione il calore a disposizione è maggiore. È ovvio che richiede un investimento maggiore, che deve essere giustificato anche dal punto di vista economico.

Un fattore rilevante da tenere in considerazione è che attraverso l'essiccazione in un essiccatoio diminuisce il tenore di umidità in modo da annullare il rischio di fermentazione.

<b>RENDIMENTO TERMICO DELLA COMBUSTIONE DELLA BIOMASSA RACCOLTA DA S.A.B.A.R. ESSICCATO IN UN APPOSITO ESSICCATOIO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA</b>					
<b>DATI</b>			<b>CALCOLI</b>		
Dato	Valore	U di misura	Dato	Valore	U di misura
Potere calorifico inferiore biomassa	3.800	kcal/kg	Q <sub>residuo</sub>	37.050.000.000	kcal/anno
Quantità di potature e legna	9.000	ton/anno	Q <sub>combustione in kcal</sub>	29.640.000.000	kcal/anno
Quantità di legna bianca e potature agricoli	7.500	ton/anno	Q <sub>combustione in kJ</sub>	124.073.040.000	kJ/anno
TOTALE MATERIALE NON ESSICCATO	16.500	ton/anno	Q <sub>combustione in kWht</sub>	34.464.733	kWht/anno
Riduzione frazione umida delle potature	50%		Calore a disposizione depurato delle perdite	32.741.497	kWht/anno
Riduzione della frazione umida di legna bianca	30%		Possibile centrale alimentata a biomassa	21,83	MWt
Quantità potature e legna	4.500	ton/anno	Volume di metano necessario	4.321.739	Sm <sup>3</sup> /anno
Quantità legna bianca	5.250	ton/anno	Costo equivalente del combustibile metano	€ 2.420.174	€/anno
TOTALE MATERIALE ESSICCATO	9.750	ton/anno	Costo a cui si vedrebbe il calore	€ 2.057.148	€/anno
Costo della biomassa essiccata	€ 40,00	€/ton	Costo della biomassa come combustibile	€ 390.000	€/anno
Rendimento combustione legno	80%		Valorizzazione del combustibile in calore	€ 1.667.148	€/anno
Fattore di conversione da kcal a kJ	4,186		Numero appartamenti riscaldati	2.881	unità
Fattore di conversione da kJ a kWh	0,000278		Tep attribuibili al progetto	3.544	tep/anno
Numero di ore di funzionamento all'anno	1.500	h/anno	Ricavo da certificati bianchi	€ 354.383	€/anno
PCI metano	9,47	kW/Sm <sup>3</sup>	CO2 non immessa in atmosfera	6.712	ton/anno
Rendimento combustione metano	80%				
Costo del metano	€ 0,56	€/m <sup>3</sup>			
Coefficiente relativo alle perdite	5%				
Consumo medio di un appartamento	1.500	m <sup>3</sup> /anno			
Riduzione sul costo del metano	15%				
Fattore di conversione METANO e tep	0,82	tep/1000 m <sup>3</sup>			
Fattore CO <sub>2</sub> per il metano	205	kg/MWt			
Valore certificato bianco per tep risparmiata	€ 100	€/tep			
<b>VENDITA DEL CALORE AL 15% IN MENO RISPETTO AL METANO</b>					
				<b>Valorizzazione del combustibile</b>	<b>€ 2.411.531</b>

Figura 114 - Calcolo dell'energia termica disponibile con l'essiccazione della biomassa in un essiccatoio che utilizza il calore della centrale di cogenerazione

La differenza tra le due valorizzazioni si attesta attorno ai 300.000 euro ed è possibile riscaldare un numero maggiore di appartamenti.

È necessario sottolineare però che l'investimento sull'essiccatoio escluderebbe quello sull'impianto a ciclo ORC che garantisce ricavi per l'azienda più sicuri e di maggior valore. La considerazione più importante è valutare l'indispensabilità del passaggio attraverso l'essiccatoio per evitare che il cippato marcisca.

Se questo non fosse indispensabile è possibile attivare l'impianto a ciclo ORC che sfrutta il calore in uscita sottoforma di fumi dai cogeneratori per generare energia elettrica e attivare la vendita di cippato essiccato in campo a centrali già esistenti, con la possibilità d'installare in futuro centrali presso i comuni serviti da S.A.B.A.R. Per quest'ultima ipotesi sono già state affrontate le prime sommarie valutazioni in collaborazione con gli amministratori comunali.

## 6.4 PROGETTAZIONE DI UNA CENTRALE A BIOMASSA \*

Per la progettazione ed il dimensionamento di una centrale a biomassa sono diversi gli aspetti da tenere in considerazione:

- **PRODUZIONE DI CALORE**
  - ▶ Sistema di recupero calore
  - ▶ Sistema di combustione biomassa per i carichi di base
  - ▶ Sistema di riscaldamento per integrazione (picchi)
  - ▶ Sistema opzionale per riscaldamento di emergenza
  
- **DISTRIBUZIONE DI CALORE**
  - ▶ Per edifici singoli o multi-utenze in teleriscaldamento
  - ▶ A 2 tubi: mandata e ritorno
  
- **ALIMENTAZIONE COMBUSTIBILE**
  - ▶ Sistemi di trasporto, ricevimento e stoccaggio combustibile
  - ▶ Trasferimento combustibile dal serbatoio giornaliero alla caldaia

Il sistema di combustione di biomassa per la produzione di energia termica si compone degli elementi riportati in figura.

\*Dal sito di RET Screen International

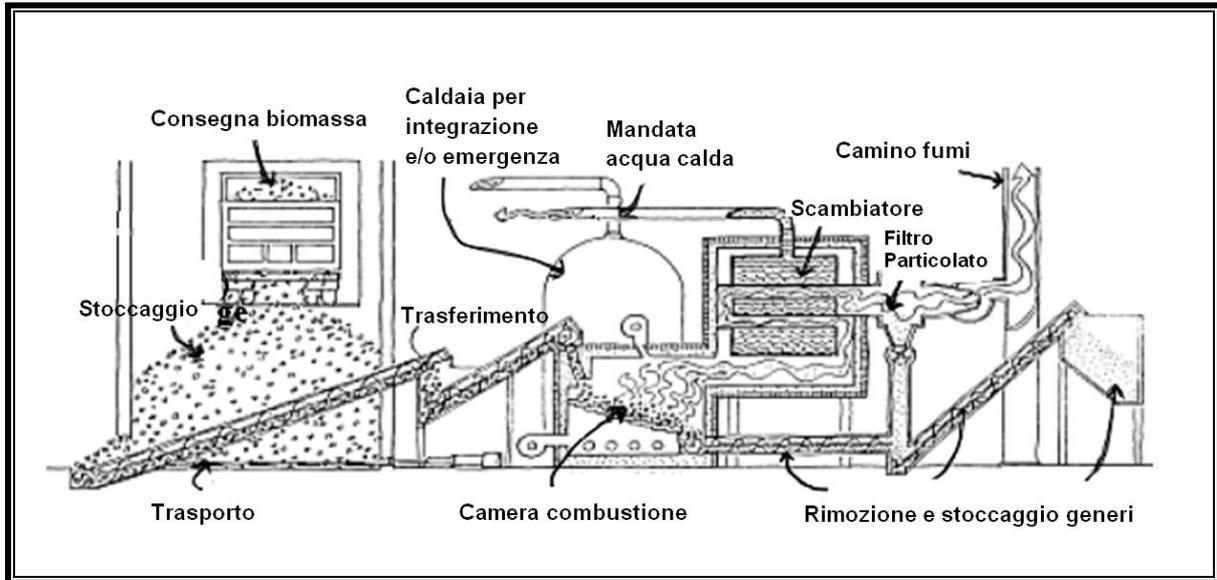


Figura 115 - Impianto per la generazione di calore funzionante a biomassa

Il dimensionamento degli impianti avviene valutando l'energia termica richiesta dalle utenze ad esso collegato. Vi è un carico di base (all'incirca un 60%) ed uno di picco. Normalmente il carico di base è coperto dalla combustione della biomassa, mentre il carico di picco è servito da una caldaia a metano o ad olio che entra in funzione per le poche ore in cui la richiesta è molto elevata. Spesso questa caldaia ad integrazione ha una capacità pari di quella a cippato per garantire la fornitura di calore alle utenze anche in caso di fermo macchina per manutenzione.

Nelle caldaie a cippato solitamente è presente un pre-riscaldatore della biomassa che consente di pre-essiccare il materiale recuperando parte del calore.

Nel grafico sottostante è riportato il ragionamento che sta alla base del progetto di dimensionamento della caldaia a cippato. I primi passi da seguire sono:

- ✓ Individuare gli edifici da riscaldare
- ✓ Verificare la richiesta massima che si può riscontrare (picco)
- ✓ Stimare la richiesta media di base degli edifici

Mediamente, ma ogni caso si differenzia dagli altri, si riscontra che il carico di base si attesta al 60% e sarebbe soddisfatto dalla caldaia a biomassa. Mentre per soddisfare la richiesta quando si verificano dei picchi si utilizza la caldaia ad integrazione. Come si evince dal grafico

sottostante, la richiesta massima è per poche ore l'anno. Infatti, la maggior parte della richiesta di calore è soddisfatta dalla combustione del cippato, diretta o attraverso il recupero di calore con la preessiccatura. La parte soddisfatta dalla caldaia ad integrazione è solo una minima parte della domanda di calore degli edifici annessi.

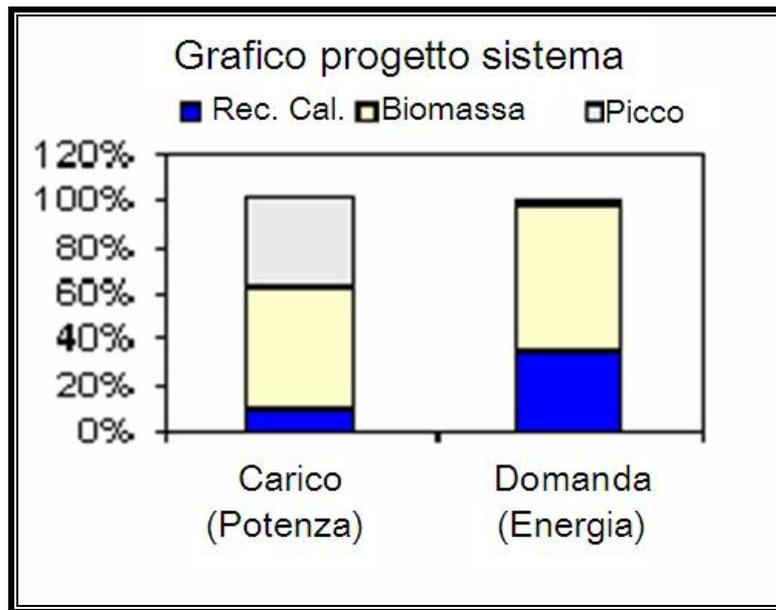


Figura 116 - Copertura della richiesta di calore con caldaia a biomassa

Ci sono altre considerazioni importanti da effettuare prima di intraprendere l'investimento in un impianto a biomassa e sono relative al **combustibile**:

- ▶ Potere calorifico ed umidità della biomassa
- ▶ Affidabilità, sicurezza e stabilità dei prezzi della biomassa
- ▶ Infrastrutture per il trasporto e lo stoccaggio

Per quanto riguarda il materiale S.A.B.A.R., la stima del PCI è già stata fatta, anche se è possibile che di volta in volta ci sia qualche variazione dovuta al fatto che non si può sapere anticipatamente che materiale si raccoglie dalle isole ecologiche attrezzate.

I prezzi possono essere considerati stabili, poiché nel business plan di S.A.B.A.R. è stato considerato un prezzo di vendita pressoché costante ed anche perché come base di partenza vi

è anche un c'è un costo evitato per lo smaltimento. Così come può essere considerata stabile la fornitura di combustibile, poiché il materiale raccolto da S.A.BA.R. è pressoché lo stesso da anni ed è anzi possibile attraverso campagne di sensibilizzazione raccogliere quantitativi maggiori di biomassa legnosa.

Un altro vantaggio è che l'azienda in questione è in possesso di ampi spazi per lo stoccaggio del materiale e se vi sarà l'installazione di centrali nei comuni serviti saranno possibili forniture alle centrali senza particolari problemi e in tempi brevi. In questo modo è possibile dedicare uno spazio minore per lo stoccaggio del cippato dove è situata la centrale, fatto non trascurabile considerando che queste centrali verrebbero installate vicino a centri abitati.

Un altro aspetto non trascurabile è quello relativo alle **emissioni locali** e ai limiti previsti dalla legge per la zona in cui si prevede d'installare l'impianto. È necessario avere l'autorizzazione da parte delle amministrazioni locali e assicurarsi di rispettare tutti i limiti imposti dalla legge. Il tema della emissioni è trattato ampiamente in seguito.

## 6.5 IPOTESI DI UNA CENTRALE A BIOMASSA A NOVELLARA

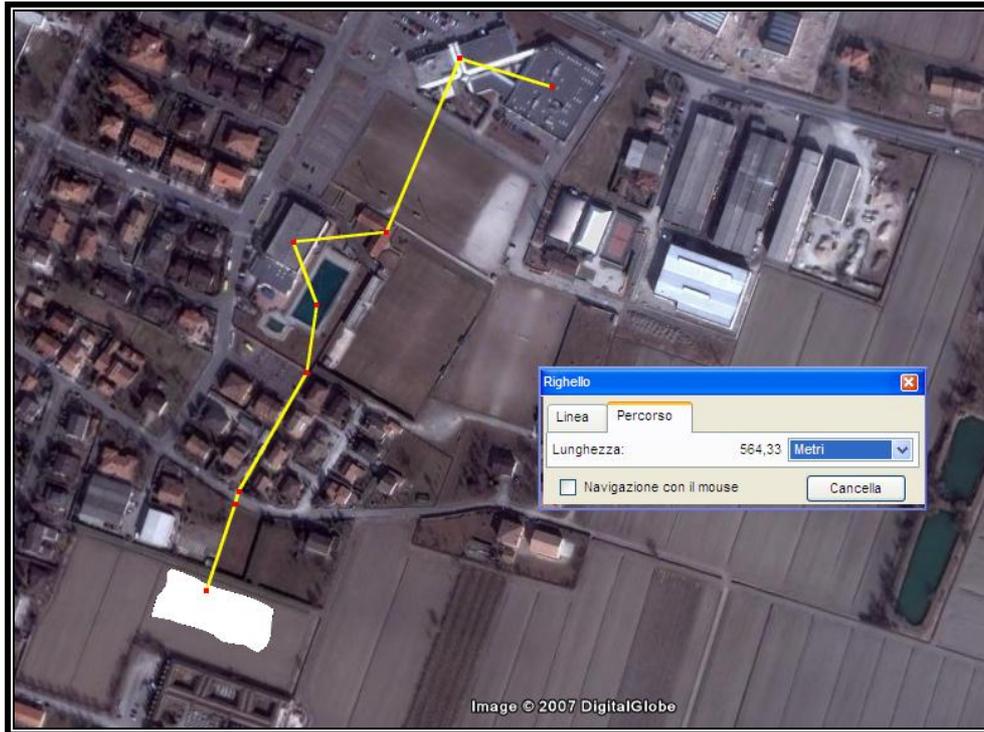
Un'ipotesi concreta che è stata presa in considerazione è la possibilità d'installare una centrale nel Comune di Novellara. In questo modo è possibile per S.A.BA.R. valorizzare maggiormente il cippato derivante dalla legna raccolta presso i Comuni in cui svolge il servizio.

Le ipotesi di costruzione di una centrale funzionante a biomassa sono principalmente due:

- Costruire una centrale vicino al **cimitero** in modo da servire utenze di proprietà del Comune.
  
- Costruire una centrale che fornirà energia ai **nuovi alloggi** che sorgeranno in un'area destinata all'ampliamento della zona residenziale.

La prima ipotesi interessa principalmente le utenze comunali, ma non è escluso che si possano poi allacciare anche utenze private e domestiche.

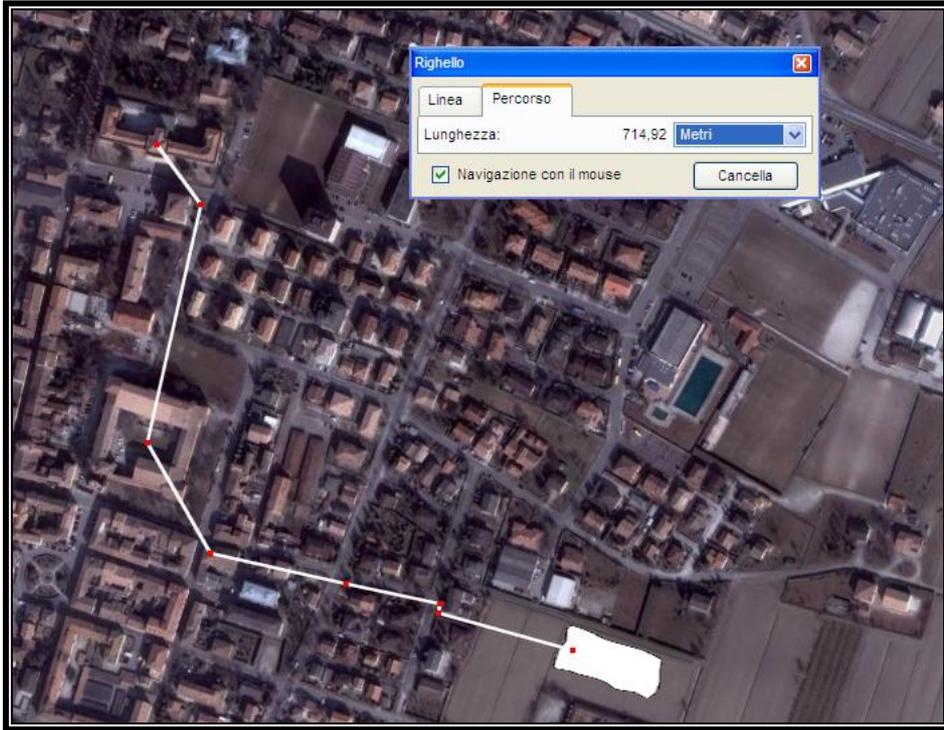
Sotto in figura si riporta la zona dove può sorgere la nuova centrale. Dato che ci sono dei limiti dovuti alla costruzione di edifici abitabili per la zona cimiteriale, si sta valutando l'ipotesi d'installare una centrale proprio in quella zona.



*Figura 117 - Rete di teleriscaldamento a partire dalla zona cimiteriale nel Comune di Novellara*

Con una tale rete di teleriscaldamento è possibile servire la piscina comunale, sia aperta che coperta, gli spogliatoi della società sportiva e la zona adibita a centro commerciale. Questa ipotesi richiede, come è riportato in figura, una rete di teleriscaldamento di circa 500 mt.

La stessa centrale potrebbe prevedere contemporaneamente un'altra linea di teleriscaldamento per servire altre utenze comunali.



*Figura 118 - Altra rete di teleriscaldamento a partire dalla zona cimiteriale nel Comune di Novellara*

L'altro percorso ipotizzato per la rete di teleriscaldamento a partire dalla zona cimiteriale è quello mostrato in figura, che punta diritto verso il centro storico, servendo la Rocca, dove ha sede il Comune, altri sportelli e il teatro. Proseguendo la rete può fornire calore anche alle scuole elementari e medie di Novellara. Questo percorso è leggermente più lungo e supera i 700 mt. Uno non esclude l'altro, anzi è probabile che la centrale possa servire più utenze per meglio ammortizzare i costi fissi.

Anche i percorsi che sono riportati in figura sono indicativi, poiché, con opportune verifiche, si dovrà stabilire dove è più conveniente far passare la rete e sondare la volontà delle diverse utenze di allacciarsi alla rete.

Lo studio per valutare tutte le altre variabili e tutti i costi e i ricavi in gioco non entra nel lavoro svolto in questa tesi, poiché è uno studio che richiede molto tempo e risorse.

È interessante però fare una valutazione generale sulla differenza di costi a livello di combustibile, per quantificare a grandi linee quanto è possibile investire inizialmente.

È riportato un calcolo per quantificare la differenza di costi a livello di combustibile:

Dati:

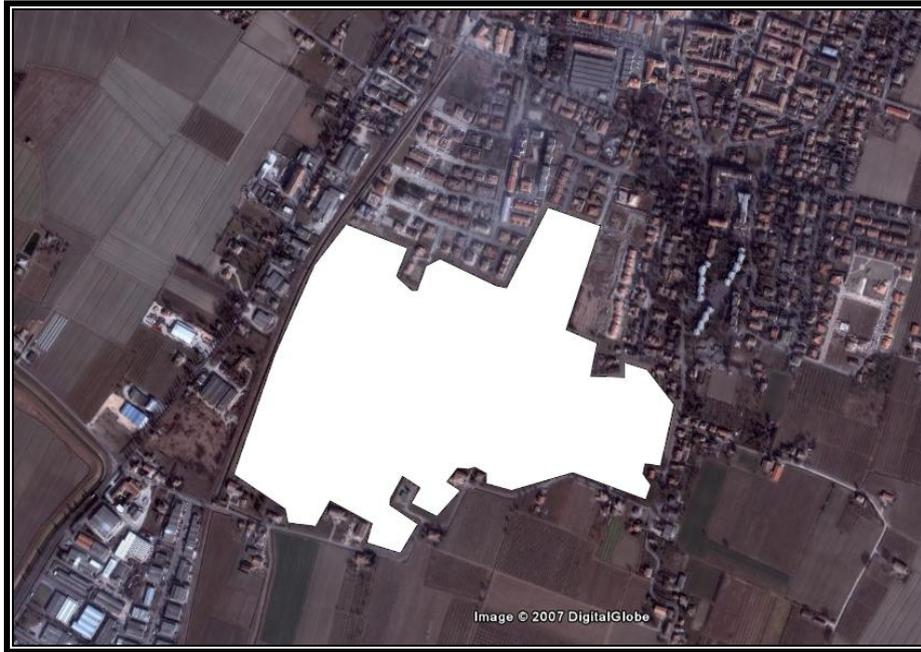
- $PCI_{CH_4} = 8.150 \text{ kcal/m}^3 = 9,47 \text{ kW/m}^3$
- $PCI_{LEGGNO} = 2.300 \text{ kcal/kg} = 2,70 \text{ kW/kg}$
- $Costo_{CH_4} = 0,56 \text{ €/m}^3$
- $Costo_{LEGGNO} = 0,04 \text{ €/kg}$

Calcolo:

- $Costo_{CH_4} \text{ a kW} = \frac{0,56 \text{ €/m}^3}{9,47 \text{ kW/m}^3} = 0,05913 \text{ €/kW}$
- $Costo_{LEGGNO} \text{ a kW} = \frac{0,04 \text{ €/kg}}{2,70 \text{ €/kg}} = 0,01481 \text{ €/kW}$
- $Risparmio \text{ a kW prodotto} = 0,05913 - 0,01481 = 0,04432 \text{ €/kW}$

Il calcolo mostra come il rapporto tra l'energia termica prodotta con la caldaia tradizionale a metano e quella a cippato prodotta dalla S.A.BA.R. è di circa 1 a 4. Pertanto moltiplicando la differenza tra i due valori appena trovati per il numero di ore che funziona la caldaia a cippato in un anno, è possibile trovare un valore indicativo dei ricavi che garantisce una centrale funzionante a biomassa. A questi ricavi spetta il compito di riuscire a coprire tutti i costi di gestione, finanziari e di ammortamento dell'impianto.

L'altra ipotesi, molto più consistente, vede interessata una grossa impresa immobiliare che ha in appalto la costruzione dell'ampliamento della zona residenziale di Novellara. L'ampliamento previsto dal piano regolatore comunale è previsto nella zona Sud del centro abitato di Novellara. Sotto è evidenziata in figura la zona che prevede l'ampliamento.



*Figura 119- Area di ampliamento della zona Sud di Novellara*

Tale ampliamento prevede la costruzione in 15 anni di 720 alloggi per nuclei familiari. Dal punto di vista energetico è previsto che gli alloggi appartengano alla classe energetica B, ovvero il consumo medio previsto per abitazione è di circa 1.000 m<sup>3</sup>/anno considerando 1.500 ore di funzionamento.

Per questo progetto la rete di teleriscaldamento è già stata prevista, anche se finora è stato ipotizzato l'utilizzo di fonte fossile. La dirigenza di quest'azienda si è mostrata favorevole all'installazione di una caldaia a biomassa, alimentata eventualmente dal cippato della S.A.B.A.R. che sarebbe in grado di garantire la copertura annuale senza particolari rischi.

La valutazione economica che è stata effettuata è quella di produzione di energia termica e refrigerazione per tutto il comprensorio e una valutazione sulla possibilità di fare la trigenerazione. Per il primo caso sono riportati i dati e i calcoli nella tabella sottostante.

<b>RISPARMIO SUL COMBUSTIBILE PER LA CENTRALE A BIOMASSA NELLA NUOVA ZONA DI AMPLIAMENTO DI 720 ALLOGGI A NOVELLARA</b>					
<b>DATI</b>			<b>CALCOLI</b>		
<b>Dato</b>	<b>Valore</b>	<b>U di misura</b>	<b>Dato</b>	<b>Valore</b>	<b>U di misura</b>
Caldia da	4.000	kWt	Quantità di kWh prodotti annualmente	6.000.000	kWh/anno
Numero ore di funzionamento anno	1.500	h/anno	Quantità di kWh risparmiati annualmente	600.000	kWh/anno
Numero ore di funzionamento per refrigerazione	500	h/anno	Quantità di m <sup>3</sup> di metano necessari	703.977	m <sup>3</sup> /anno
Percentuale di carico per la refrigerazione	30%		Costo dell'energia elettrica necessaria	€ 96.000	€/anno
Costo di un kWh	€ 0,16	€/kWh	Costo del metano	€ 394.227	€/anno
PCI del metano	9,47	kWh/m <sup>3</sup>	Riduzione sui costi energetici a cippato	€ 418.693	€/anno
Rendimento di combustione metano	90%		Quantità di cippato necessario	3.056	ton/anno
PCI del cippato	2,70	kWh/kg	Costo del cippato come combustibile	€ 122.222	€/anno
Rendimento di combustione cippato	80%		<b>Differenza dei costi combustibile</b>	<b>€ 294.471</b>	<b>€/anno</b>
Costo di un m <sup>3</sup> di metano	€ 0,56	€/m <sup>3</sup>	Tep attribuibili al progetto	577,26	tep/anno
Costo del cippato	€ 40,00	€/ton	Ricavo da certificati bianchi	€ 57.726	€/anno
Fattore di conversione METANO e tep	0,82	tep/1000 m <sup>3</sup>	CO2 non immessa in atmosfera	1.353	ton/anno
Fattore CO <sub>2</sub> per il metano	205	kg/MWt			
Valore certificato bianco per tep risparmiata	€ 100	€/tep			
Riduzione sul costo del metano	15%				
<b>UTILE TOTALE ANNUALE</b>					
				<b>Utile totale annuale</b>	<b>€ 352.197</b>

Tabella 120 - Utile annuale per coprire i costi di gestione e ammortamento nella nuova zona di ampliamento a Novellara

L'utile annuale considera la possibilità di avere un costo minore per il combustibile rispetto al metano. Questo valore è quello che dovrebbe consentire di coprire i costi di gestione e gli ammortamenti degli impianti e delle strutture.

L'altro caso preso in considerazione è quello di produrre anche energia elettrica, date le elevate dimensioni della caldaia che si andrebbe ad installare. Associando un impianto per la produzione di energia elettrica, come ad esempio un impianto a ciclo ORC di 800 kWh, che si adatterebbe molto bene alle dimensioni in questione, è possibile alzare abbondantemente la voce ricavi. Infatti alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili sono associati i certificati verdi che garantiscono, oltre alla quota relativa alla vendita di elettricità, il contributo della vendita dei CV. E' riportato il calcolo anche per questo caso.

<b>RISPARMIO SUL COMBUSTIBILE PER LA CENTRALE A BIOMASSA NELLA NUOVA ZONA DI AMPLIAMENTO DI 720 ALLOGGI A NOVELLARA CON PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA</b>						
<b>DATI</b>			<b>CALCOLI</b>			
Dato	Valore	U di misura	Dato	Valore	U di misura	
Caldaia per energia termica da	4.500	kWt	Quantità di kWht prodotti annualmente	5.332.500	kWht/anno	
Rendimento elettrico	18%		Quantità di energia elettrica prodotta	1.600.000	kWhe/anno	
Impianto per la produzione di ee da	800	kWe	Quantità di kWhe risparmiati per refrigerazione	675.000	kWhe/anno	
Rendimento termico	79%		Quantità di m <sup>3</sup> di metano necessari	625.660	m <sup>3</sup> /anno	
Numero ore di funzionamento anno	1.500	h/anno	<b>Valorizzazione energia elettrica</b>	<b>€ 256.000</b>	<b>€/anno</b>	
Numero ore di funzionamento per refrigerazione	500	h/anno	Costo dell'energia elettrica necessaria	€ 108.000	€/anno	
Percentuale di carico per la refrigerazione	30%		Costo del metano	€ 350.370	€/anno	
Costo di un kWe	€ 0,16	€/kWe	<b>Riduzione sui costi energetici a cippato</b>	<b>€ 389.614</b>	<b>€/anno</b>	
PCI del metano	9,47	kWt/m <sup>3</sup>	Quantità di cippato necessario	2.781	ton/anno	
Rendimento di combustione metano	90%		Costo del cippato come combustibile	€ 111.250	€/anno	
PCI del cippato	2,70	kWt/kg	<b>Differenza dei costi combustibile</b>	<b>€ 278.364</b>	<b>€/anno</b>	
Rendimento di combustione cippato	80%		Tep attribuibili al progetto	513,04	tep/anno	
Costo di un m <sup>3</sup> di metano	€ 0,56	€/m <sup>3</sup>	<b>Ricavo da certificati bianchi</b>	<b>€ 51.304</b>	<b>€/anno</b>	
Costo del cippato	€ 40,00	€/ton	CO2 non immessa in atmosfera	1.231,54	ton/anno	
Fattore di conversione METANO e tep	0,82	tep/1000 m <sup>3</sup>				
Fattore CO <sub>2</sub> per il metano	205	kg/MWt				
Valore certificato bianco per tep risparmiata	€ 100	€/tep				
Riduzione sul costo del metano	15%					
<b>UTILE TOTALE ANNUALE</b>						
				<b>Utile totale annuale</b>	<b>€ 585.668</b>	

Tabella 121 - Utile annuale per coprire i costi di gestione e ammortamento nella nuova zona di ampliamento a Novellara con la produzione contestuale di energia elettrica e termica

I ricavi generabili da energia elettrica sono una parte consistente dell'utile generato. Ovviamente in questo modo la complessità dell'impianto e quindi i costi d'installazione e gestione sono più elevati. Sono però due valutazioni sulla quali porre le basi per le considerazioni economiche di investimento in centrali a biomassa nel Comune dove è situata la S.A.BA.R.

## 6.6 IPOTESI DI CENTRALE A BIOMASSA A GUASTALLA

Anche l'amministrazione comunale di Guastalla ha mostrato grande interesse alla possibilità di poter installare una centrale a biomassa che serva le utenze comunali. La possibilità di avere la S.A.BA.R. come fornitore che garantisce la fornitura di combustibile, invita gli amministratori a prendere in considerazione di produrre energia termica attraverso la combustione della biomassa raccolta nei comuni in cui S.A.BA.R. svolge il servizio di raccolta e smaltimento rifiuti.

La zona ipotizzata per installare una caldaia che serva edifici e strutture comunali è riportata in figura.



*Figura 122 - Zona ipotizzata per la costruzione di una centrale a biomassa a Guastalla*

Il calore generato dalla centrale attraverso una rete di teleriscaldamento andrebbe a servire la piscina, gli spogliatoi del campo sportivo, l'ospedale, la caserma dei carabinieri, la Croce Rossa, la Coop e altre utenze private. Lo studio accurato del progetto e dell'energia termica richiesta da tali utenze non rientra nel lavoro svolto in questa tesi.

Ipotizzando di utilizzare una caldaia da 1 MWt con un funzionamento annuo pari a 1.500 ore per il calore e 500 per la refrigerazione, i risultati sono riportati in tabella.

<b>RISPARMIO SUL COMBUSTIBILE PER LA CENTRALE A BIOMASSA NELLA ZONA SPORTIVA DEL COMUNE DI GUASTALLA</b>					
<b>DATI</b>			<b>CALCOLI</b>		
Dato	Valore	U di misura	Dato	Valore	U di misura
Caldaia da	1.080	kWt	Quantità di kWt prodotti annualmente	1.620.000	kWt/anno
Numero ore di funzionamento anno	1.500	h/anno	Quantità di kWe risparmiati annualmente	162.000	kWe/anno
Numero ore di funzionamento per refrigerazione	500	h/anno	Quantità di m <sup>3</sup> di metano necessari	190.074	m <sup>3</sup> /anno
Percentuale di carico per la refrigerazione	30%		Costo dell'energia elettrica necessaria	€ 25.920	€/anno
Costo di un kWe	€ 0,16	€/kWe	Costo del metano	€ 106.441	€/anno
PCI del metano	9,47	kWt/m <sup>3</sup>	Riduzione sui costi energetici a cippato	€ 112.507	€/anno
Rendimento di combustione metano	90%		Quantità di cippato necessario	825	ton/anno
PCI del cippato	2,70	kWt/kg	Costo del cippato come combustibile	€ 33.000	€/anno
Rendimento di combustione cippato	80%		<b>Differenza dei costi combustibile</b>	<b>€ 79.507</b>	<b>€/anno</b>
Costo di un m <sup>3</sup> di metano	€ 0,56	€/m <sup>3</sup>	Tep attribuibili al progetto	155,86	tep/anno
Costo del cippato	€ 40,00	€/ton	<b>Ricavo da certificati bianchi</b>	<b>€ 15.586</b>	<b>€/anno</b>
Fattore di conversione METANO e tep	0,82	tep/1000 m <sup>3</sup>	CO2 non immessa in atmosfera	365,31	ton/anno
Fattore CO <sub>2</sub> per il metano	205	kg/MWt			
Valore certificato bianco per tep risparmiata	€ 100	€/tep			
Riduzione sul costo del metano	15%				
<b>UTILE TOTALE ANNUALE</b>					
				<b>Utile totale annuale</b>	<b>€ 95.093</b>

Tabella 123 - Calcolo dei ricavi per l'installazione di una caldaia da 1 MWt a Guastalla

Ogni anno si avrebbero circa 100.000 € per coprire i costi di gestione a gli ammortamenti degli impianti.

Non è da trascurare il fatto che sia lo Stato che la Comunità Europea mettono a disposizione dei finanziamenti per incentivare la costruzione di impianti che riducono l'impatto sulla CO<sub>2</sub> in atmosfera. I due tipi di finanziamenti sono molto diversi. Per accedere ai finanziamenti della **Comunità Europea** è necessario presentare un progetto che se è considerato valido può essere finanziato interamente, con il 40% a fondo perduto e il restante 60% da restituire senza interessi in 10 anni. Inoltre ci sono gli incentivi statali che sono erogati tramite il criterio dei **certificati bianchi**, ovvero in base alle quote di CO<sub>2</sub> risparmiate attraverso la costruzione dell'impianto.

## 6.7 DENSITÀ O MASSA VOLUMICA DEL CIPPATO

La densità o massa volumica di un materiale è il rapporto fra la sua massa (espressa dal peso in g o kg) e il suo volume, misurato in  $\text{cm}^3$  o  $\text{m}^3$ . Il cippato può essere considerato quasi alla stregua di un liquido e quindi non avere proprio volume, ma quello del contenitore che lo racchiude. Per tale motivo si parla, nel caso del cippato, di **massa volumica apparente**. Essa esprime la massa del cippato in rapporto al volume del silos, rimorchio, locale, ecc. che lo contiene. Il volume è così costituito dalla somma del volume delle singole particelle legnose più gli spazi vuoti tra esse (per tale motivo si usa la dizione apparente soprattutto per non confondere tale valore con quello della massa volumica della specie legnosa da cui è stato ottenuto il cippato, evidentemente superiore).

L'unità di misura comunemente usata è il  $\text{kg}/\text{m}^3$ . La massa volumica (apparente) dipende sia dalla massa volumica delle particelle che compongono il cippato, sia dalle loro dimensioni, che influenzano il grado di costipazione del cumulo). Per legname fresco di taglio, la densità del cippato ottenuto può variare fra 150 e 450  $\text{kg}/\text{m}^3$ . I valori inferiori si riscontrano nel caso di legno dolce come pioppo, abete, pino e di particelle di grandi dimensioni; quelli più elevati sono tipici del legno duro (faggio, quercia, carpino) e di particelle minute. La densità varia anche in funzione dell'umidità del materiale legnoso: ad esempio cippato di pino fresco di taglio, composto da particelle della lunghezza di 20 mm ha una densità media pari a 310  $\text{kg}/\text{m}^3$ , che si riduce a circa 150  $\text{kg}/\text{m}^3$  quando l'umidità del materiale raggiunge un valore prossimo al 30%.

Per le modalità di determinazione della massa volumica del cippato si fa riferimento alla norma UNI 9220. Per il calcolo fatto in questa tesi sono utilizzati i seguenti dati:

- La densità della **ramaglia** tal quale supera raramente i 150  $\text{kg}/\text{m}^3$
- Quella del **cippato** oscilla tra i 200 e i 350  $\text{kg}/\text{m}^3$ .
- La densità dei una **bricchetta** varia tra i 400 e i 700  $\text{kg}/\text{m}^3$

A questo punto è possibile stabilire, per ogni tipo e dimensione della caldaia, quanto spazio necessita lo stoccaggio del cippato.

Si riporta un esempio per mostrare il calcolo per il dimensionamento dell'area da destinare allo stoccaggio presso la centrale.

Dati:

- Caldaia da kW = 540 kWt
- $PCI_{\text{LEGNO}} = 2,7 \text{ kW/kg}$
- $d_{\text{CIPPATO}} = 260 \text{ kg/m}^3$
- Ore di funzionamento al gg = 10 h/gg

Calcolo:

- ✓ kWt prodotti giornalmente =  $540 \text{ kWt} \cdot 10 \text{ gg} = 5.400 \text{ kWt/gg}$
- ✓ Kg di cippato utilizzati al gg =  $\frac{5.400 \text{ kWt/gg}}{2,7 \text{ kWt/kg}} = 2.000 \text{ Kg/gg}$
- ✓ Stoccaggio per 10 gg =  $2.000 \text{ kg/gg} \cdot 10 \text{ gg} = 20.000 \text{ Kg/10 gg}$
- ✓  $\text{m}^3$  per lo stoccaggio =  $\frac{20.000 \text{ Kg}}{260 \text{ kg/m}^3} = 77 \text{ m}^3$

Pertanto se si vuole garantire la fornitura di cippato come combustibile per 10 giorni, all'incirca servono **77 m<sup>3</sup>** per lo stoccaggio del materiale. Naturalmente questo per i mesi in cui le temperature sono più basse. In questo modo il rifornimento può essere fatto meno di una volta a settimana.

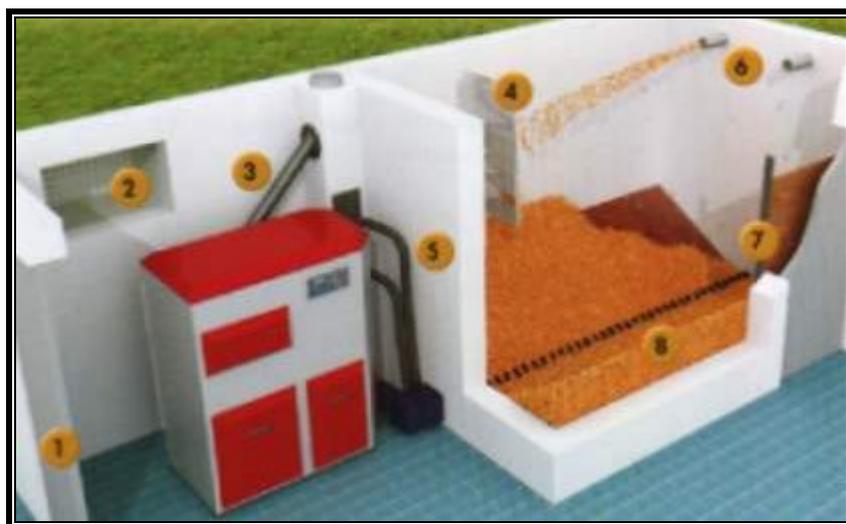
Basterebbe quindi ad esempio uno spazio di 5x5 mt di base e un'altezza di 3 mt per soddisfare lo spazio richiesto per lo stoccaggio.

Nelle considerazioni sul dimensionamento della zona dedicata allo stoccaggio presso la centrale sono da tenere in considerazione diversi aspetti:

- ✓ La vicinanza alle fonti di approvvigionamento può permettere di avere un **minor volume di stoccaggio** all'interno dell'impianto di teleriscaldamento (consentendone la costruzione anche in aree più anguste), avvalendosi eventualmente della possibilità di stoccaggio presso il fornitore. Le distanze tra la S.A.B.A.R. e le aree ipotizzate per la

costruzione della centrale sono minime. Da qualche km a una decina di km per la centrale di Guastalla.

- ✓ La **distanza** dalla fonte di approvvigionamento **non** deve essere **eccessiva** anche perchè il trasporto può influire notevolmente sul costo della materia prima (e sul bilancio della CO<sub>2</sub> emessa dall'impianto).
- ✓ Deve poi esservi la presenza di un'**area adeguata**, vicina alle arterie di trasporto e ad una distanza conveniente dall'abitato, dove poter costruire l'impianto ed i magazzini di stoccaggio, senza creare eccessivi disagi dovuti al traffico per l'approvvigionamento. Lo stoccaggio può avvenire in edifici sotterranei costruiti appositamente.



*Figura 124 - Esempio di zona dedicata allo stoccaggio del cippato sotterranea*

## 6.8 EMISSIONI DELLA COMBUSTIONE DELLA BIOMASSA

### 6.8.1 IMPATTO AMBIENTALE DI IMPIANTI FUNZIONANTI A BIOMASSA

Le componenti d'impatto ambientale, relative alla qualità dell'aria di un sistema energetico alimentato a biomassa sono:

- a. Incremento delle emissioni a livello locale
- b. Le emissioni di particolato con i microinquinanti associati
- c. Le emissioni associate al traffico dei mezzi di movimentazione della biomassa

Tali emissioni devono essere monitorate per mantenerne un livello al di sotto dei limiti consentiti dalla legge. Ciò comporta una serie di accorgimenti atti a limitare al massimo le emissioni e al loro costante monitoraggio:

- i. Sistemi a doppia camera (aria primaria e aria secondaria)
- ii. Sistemi di monitoraggio in continuo dei parametri di combustione
- iii. Filtrazione finale dei fumi

Il composto volatile, che costituisce circa l'85% della biomassa iniziale.

I principali problemi di impatto ambientale connessi con la combustione della biomassa sono legati alla natura particolare del "combustibile solido", quali la sua composizione chimica, il contenuto delle sostanze volatili, il tasso di umidità, la disomogeneità fisica, il contenuto ed il comportamento delle ceneri. Un aspetto positivo è che il basso contenuto dei solfuri riduce le piogge acide.

## 6.8.2 LIMITI DI EMISSIONI PER CALDAIE A BIOMASSA

La legislazione che fissa i limiti di emissioni di caldaie a biomassa è la parte 2, sezione 4 dell'Allegato X del D.L. 5 Aprile 2006, n° 152.

Innanzitutto fissa le tipologie di materiale che possono essere avviate a combustione, pirolisi e gassificazione:

- ✓ Materiale vegetale prodotto da coltivazioni dedicate;
- ✓ Materiale vegetale prodotto da trattamento esclusivamente meccanico di coltivazioni agricole non dedicate;
- ✓ Materiale vegetale prodotto da interventi selvicolturali, da manutenzione forestale e da potatura;
- ✓ Materiale vegetale prodotto dalla lavorazione esclusivamente meccanica di legno vergine e costituito da cortecce, segatura, trucioli, chips, refili e tondelli di legno vergine, granulati e cascami di legno vergine, granulati e cascami di sughero vergine, tondelli non contaminati da inquinanti, aventi le caratteristiche previste per la commercializzazione e l'impiego;
- ✓ Materiale vegetale prodotto dalla lavorazione esclusivamente meccanica di prodotti agricoli, avente le caratteristiche previste per la commercializzazione e l'impiego.

Ogni caldaia a biomassa in base alla potenza installata deve rispettare i limiti di emissioni previsti dall'allegato alla parte IV del D.L. del 5 Aprile 2006, n° 152. I limiti sono riportati nella figura sottostante.

Questi valori sono riportati nella tabella sottostante espressi in  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Si considerano questi valori riferiti ad un tenore di ossigeno nell'effluente gassoso all'11%.

	<b>Potenza termica nominale installata (MW)</b>			
	[1] >0,15 ÷ ≤3	>3 ÷ ≤6	>6 ÷ ≤20	>20
polveri totali	100 mg/Nm <sup>3</sup>	30 mg/Nm <sup>3</sup>	30 mg/Nm <sup>3</sup>	30 mg/Nm <sup>3</sup>
carbonio organico totale (COT)	-	-	30 mg/Nm <sup>3</sup>	20 mg/Nm <sup>3</sup> 10 mg/Nm <sup>3</sup> [2]
monossido di carbonio (CO)	350 mg/Nm <sup>3</sup>	300 mg/Nm <sup>3</sup>	250 mg/Nm <sup>3</sup> 150 mg/Nm <sup>3</sup> [2]	200 100 mg/Nm <sup>3</sup> [2]
ossidi di azoto (espressi come NO <sub>2</sub> )	500 mg/Nm <sup>3</sup>	500 mg/Nm <sup>3</sup>	400 mg/Nm <sup>3</sup> 300 mg/Nm <sup>3</sup> [2]	400 mg/Nm <sup>3</sup> 200 mg/Nm <sup>3</sup> [2]
ossidi di zolfo (espressi come SO <sub>2</sub> )	200 mg/Nm <sup>3</sup>	200 mg/Nm <sup>3</sup>	200 mg/Nm <sup>3</sup>	200 mg/Nm <sup>3</sup>
[1] Agli impianti di potenza termica nominale pari o superiore a 0,035 MW e non superiore a 0,15 MW si applica un valore di emissione per le polveri totali di 200 mg/Nm <sup>3</sup> .				
[2] Valori medi giornalieri.				

Tabella 125 - Limiti di emissioni per caldaie a biomassa previste dal D.L. del 5 Aprile 2006, n° 152

L'articolo 214 del D.L. 152 recita: *“I limiti di emissione non siano inferiori a quelli stabiliti per impianti di incenerimento e coincenerimento dei rifiuti della normativa vigente con particolare riferimento al D.L. 11 Maggio 2005, n. 133”*.

Per quanto riguarda la combustione da biomasse raccolte tramite la raccolta differenziata i limiti di emissioni per alcune sostanze sono ancora più stringenti di quelle riportate sopra.

Inquinanti	≤3 MWt	>3 - ≤20 MWt	>20 - ≤50 MWt	>50 - ≤100 MW	>100 MWt
SO <sub>2</sub>		200	200	200	200
NO <sub>x</sub>		450	300	300	300
Polveri totali	75 <sup>(1)</sup>	15	15	15	30

(1) Non si applica agli impianti di potenza termica nominale complessiva non superiore a 0,15 MW.

Figura 126 - Limiti di emissioni per caldaie a biomassa da raccolta differenziata previste dal D.L. del 11 Maggio 2005, n° 133

Per ridurre le emissioni nelle caldaie di qualsiasi dimensione è necessario separare la zona di combustione dalla zona di scambio termico e utilizzare dei catalizzatori che permettano di bruciare la fuliggine per aumentare ancora di più i rendimenti termici e la qualità della combustione.

### 6.8.3 CONFRONTO FRA LE EMISSIONI DI CALDAIE A COMBUSTIBILE DIVERSO

Sotto è riportato un grafico elaborato da ENEA nel 2004, dove sono messe a confronto le emissioni prodotte dalle caldaie alimentate con i diversi tipi dei combustibili. I valori di emissioni stabiliti dalla legge per comprendere il tenore di inquinamento dovuto all'utilizzo dei diversi combustibili, sono

- Ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>)
- Ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>)
- Monossido di carbonio (CO)
- Polveri
- Composti organici volatili (COV).

Uno studio ENEA riporta i valori di emissioni di caldaie a diverso combustibile espresse in base alla potenza erogata (emissioni in mg/MJ).

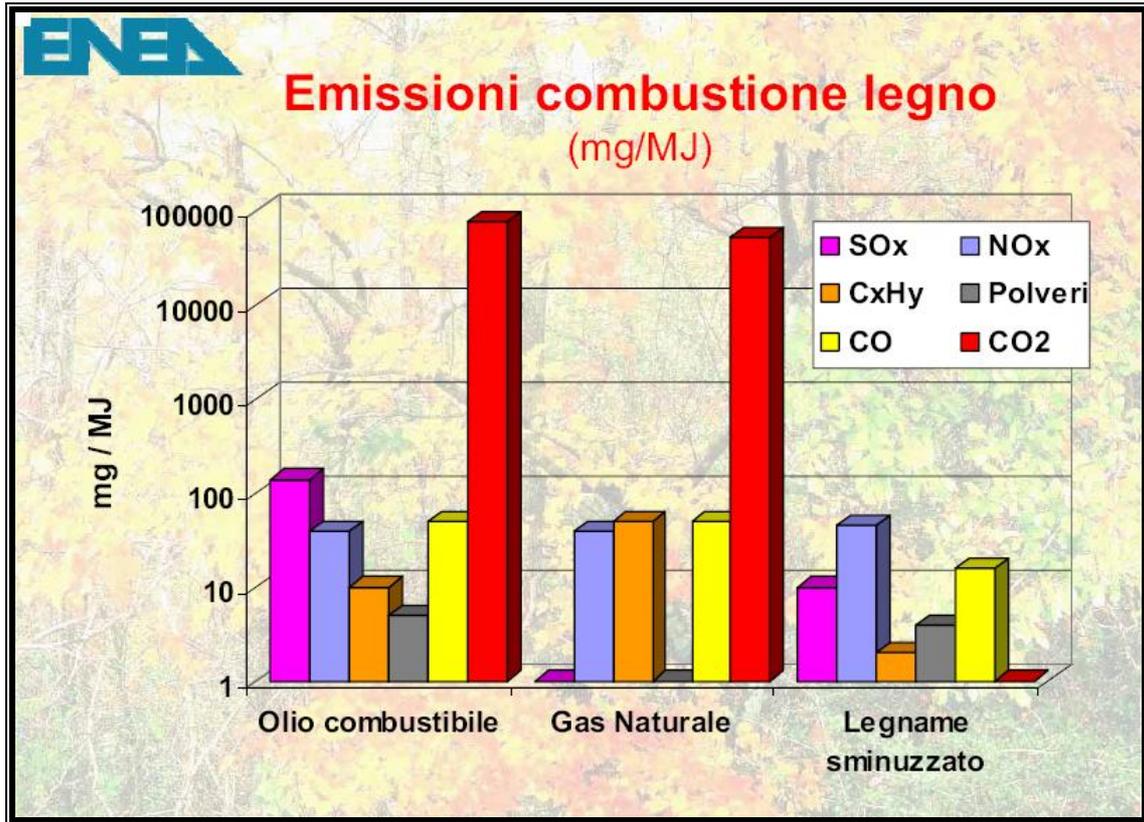


Figura 127 - Emissioni della combustione del legno poste a confronto agli altri due combustibili più diffusi

Dal grafico sopra riportato, il confronto deve essere fatto principalmente tra il legname e il gas naturale, che è il combustibile più utilizzato per il riscaldamento. Sostanzialmente il legname come combustibile ha il vantaggio di diminuire notevolmente l'emissione di gas ad effetto serra come la  $CO_2$ , il CO e il  $C_xH_y$ . In realtà la combustione di legname emette  $CO_2$ , ma è considerata pari a zero poiché è la stessa quantità sottratta dall'albero all'atmosfera durante la sua vita. Per gli altri elementi invece l'emissione è leggermente maggiore rispetto a quelle del gas naturale. Un elemento da tenere in considerazione sono le polveri sottili, poiché la combustione di materiale solido libera polveri che più sono sottili più sono dannose. Per questo motivo, soprattutto se la caldaia ha dimensioni elevate, sono posti elettrofiltri a valle dei fumi della caldaia, che bloccano parte di queste particelle volatili. Dal momento che ogni combustibile ha dei punti di forza e di debolezza per quanto riguarda le emissioni, è indispensabile a livello globale differenziare l'utilizzo dei combustibili e non concentrarsi solo su uno.

## 6.9 EFFETTI DEGLI INQUINANTI SULLA SALUTE UMANA \*

### 6.9.1 MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)

Il **monossido di carbonio** (CO) è un gas incolore, inodore, insapore, non irritante; l'assenza di caratteristiche organolettiche lo rendono quindi un pericoloso e silenzioso killer.

I primi sintomi da intossicazione da CO sono generici: un leggero mal di testa, un po' di affanno, sensazione di vertigini, uno stato di confusione mentale, generici disturbi alla vista, nausea, vomito.

L'avvelenamento da monossido di carbonio può avvenire per cause accidentali (scaldabagni, stufe, impianti di riscaldamento difettosi, locali con camini e stufe a legna non sufficientemente ventilati) che si producono soprattutto nei mesi invernali perché legate al maggior utilizzo di tali impianti. Inoltre alle cause interne descritte sopra possono sommarsi cause esterne quali umidità, temperatura e particolari condizioni climatiche che possono esasperare gli effetti. Ma anche quando il livello di intossicazione è fortunatamente al di sotto della soglia letale, il monossido di carbonio produce effetti dannosi che di rado vengono riconosciuti e attribuiti ad esso: **perdita di memoria, incontinenza urinaria e fecale**, e sintomi che solitamente si verificano in malattie degenerative neurologiche quali **Alzheimer** e **Parkinson**, oltre ad altri gravi effetti neurologici.

Ci sono in commercio dei rilevatori di CO, strumenti di costo contenuto, che producono con precisione e affidabilità un allarme anche per basse concentrazioni di CO (220 ppm). Intervengono con segnalazioni luminose o acustiche, oppure possono essere previsti per attivare una ventilazione forzata, per esempio tramite un estrattore d'aria.

Il CO presenta un'affinità per l'emoglobina 200-300 volte maggiore rispetto a quella per l'ossigeno così che i globuli rossi del sangue, che hanno il compito di trasportare e rilasciare ossigeno ai tessuti,

\* Tratto da materiale informativo fornito dal Comune di Reggio Emilia, SCHEDE INFORMATIVE SULLE SOSTANZE PRODOTTE DALLE EMISSIONI DELL'IMPIANTI DI INCENERIMENTO

in presenza di CO vengono pesantemente limitati nella loro funzione di trasportatori di ossigeno.

Le conseguenze a danno dei principali organi (cervello, cuore, ecc.) che se ne nutrono per funzionare e sopravvivere possono essere molto gravi.

I danni permanenti possono verificarsi con **esposizione ad alte concentrazioni di CO** oppure a basse concentrazioni ma per **lungi periodi** di tempo che danno luogo a fenomeni di accumulo. Già a **200 ppm** si possono produrre sintomi quali mal di testa o leggera nausea, secondo la sensibilità individuale delle persone esposte. A **600 ppm** sono probabili svenimenti, a **800 ppm** si è già in pericolo di vita, ma ancora non c'è cognizione di cosa stia succedendo.

L'esposizione prolungata produce perdita di coscienza, palpitazioni, insufficienza respiratoria, convulsioni e nei casi più gravi la morte. Lo si assorbe attraverso i polmoni e, una volta nel sangue si sostituisce all'ossigeno legandosi con l'emoglobina.

Nella tabella sottostante sono riportati i sintomi in base alla percentuale di monossido di carbonio presente nel sangue

Percentuale di CO nel sangue	Sintomi
0-10%	Di solito non avvertiti, scambiati per un malessere generico
10-20%	Mal di testa, affanno, dolore al petto
20-30%	Emicrania pulsante, nausea, vomito, affaticamento, poca concentrazione
30-40%	Vertigini, affaticamento, processi mentali indeboliti
40-50%	Respiro rapido, battito cardiaco accelerato, vertigini, stato confusionale
50-60%	Insufficienza respiratoria, collasso, convulsioni e coma
60-70%	Insufficienza respiratoria, pressione del sangue bassa e coma
oltre 70%	Coma, rapidamente fatale

*Figura 128 - Sintomi in conseguenza della % di CO nel sangue*

## 6.9.2 OSSIDI DI ZOLFO (SO<sub>x</sub>)

Gli ossidi di zolfo, genericamente indicati come SO<sub>x</sub>, sono prodotti nelle reazioni di ossidazione per la combustione di materiali in cui sia presente zolfo, ad esempio gasolio, nafta, carbone, legna, ed altro.

Al momento del dilavamento atmosferico durante le giornate di pioggia la ricaduta degli inquinanti derivanti dagli ossidi di zolfo è una delle componenti principali per la formazione delle "piogge acide" i cui effetti sulla vegetazione boschiva, defoliazione ed inaridimento di vaste zone e sul patrimonio monumentale nelle grandi città, sono sotto gli occhi di tutti.

Un vasto spettro di effetti cronici e acuti sulla salute dell'uomo sono dovuti all'esposizione a biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) e ai suoi derivati, che si combinano con l'umidità atmosferica dando luogo all'acido solforico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Occorre precisare che SO e particolato aereo disperso sono prodotti dalle medesime fonti ed è perciò difficile studiare gli effetti dell'esposizione ad uno indipendentemente dall'altro. Le particelle di più piccolo diametro sono, infatti, in grado di veicolare l'SO<sub>2</sub> nelle vie respiratorie profonde. In generale, l'SO<sub>2</sub> e derivati agiscono sulla funzionalità respiratoria, provocando per esposizione acuta effetti bronco-costrittori sia in soggetti sani che in broncopatici e soprattutto in asmatici. L'effetto è aumentato dall'esercizio fisico, dall'esposizione ad aria fredda e secca e dall'esposizione ad ozono.

## 6.9.3 OSSIDI DI AZOTO (NO<sub>x</sub>)

Con il termine **NO<sub>x</sub>** vengono indicati genericamente l'insieme dei due più importanti ossidi di azoto a livello di inquinamento atmosferico ossia l'**ossido di azoto (NO)** e il **biossido di azoto (NO<sub>2</sub>)**. I maggiori effetti diretti sull'ambiente degli ossidi di azoto sono dovuti alla loro ricaduta sotto forma di acido nitrico che crea zone di aggressione puntiformi ad elevata concentrazione.

Esperimenti condotti hanno portato a verificare che basse concentrazioni di NO<sub>2</sub> per 24 ore di esposizione crea già le prime necrosi a livello del fogliame, mentre concentrazioni più elevate di NO per 24 ore debilitano già in modo sensibile la fotosintesi clorofilliana. Gli ossidi di azoto contribuiscono, inoltre, alla formazione di piogge acide e, favorendo l'accumulo di nitrati al

suolo e nelle acque, possono provocare alterazioni degli equilibri ecologici ambientali (eutrofizzazione).

Le evidenze attualmente disponibili indicano che l' $\text{NO}_2$  è responsabile sia di **effetti acuti** che di **effetti cronici**, particolarmente in gruppi di popolazione suscettibili quali, ad esempio, gli **asmatici**. L' $\text{NO}_2$  agisce principalmente come sostanza ossidante che può danneggiare le membrane e le proteine cellulari. Per esposizioni acute a concentrazioni molto elevate si possono avere risposte **infiammatorie** delle **vie aeree**, anche in soggetti sani. Tuttavia, i soggetti asmatici o i pazienti con malattie polmonari croniche ostruttive sono senza dubbio più suscettibili alle basse concentrazioni. Diversi studi, sia epidemiologici che sperimentali, hanno inoltre evidenziato che l'esposizione cronica a  $\text{NO}_2$  può essere causa di effetti respiratori cronici.

La nocività degli ossidi di azoto è inoltre legata al fatto che essi concorrono a dar luogo, in presenza dei raggi del sole, ad una serie di reazioni fotochimiche secondarie che portano alla formazione di vari inquinanti noti comunemente con il nome di "smog fotochimico".

## 6.9.4 POLVERI

Il **particolato**, comunemente identificato con il termine di **polvere**, è un inquinante presente sia naturalmente che dovuto alle attività umane, prodotto di arrivo della frantumazione, del degrado o della produzione di un materiale. E' anche generato da reazioni specificatamente chimiche o fisiche di riconsolidazione in atmosfera di composti inorganici. Fattori intrinseci di pericolosità dei particolati è il loro **diametro** associato alla specifica attività a livello polmonare.

Una prima suddivisione di massima li raggruppa in **Polveri Fini** il cui diametro è inferiore a **100  $\mu\text{m}$**  e polveri, grossolane il cui diametro è maggiore. In generale quelli che interessano la atmosfera che ci circonda possono avere diametri da **0,1  $\mu\text{m}$**  a **100  $\mu\text{m}$**  ed in base alla loro grandezza varia la loro capacità di restare sospesi a livello aereo.

Gli effetti sulla **salute** sono particolarmente dovuti alle particelle più fini con un diametro inferiore a **10  $\mu\text{g}$**  (**PM10**) che, a secondo della granulometria, si depositano in sezioni diverse dell'apparato respiratorio. Gli studi epidemiologici hanno evidenziato una relazione lineare fra l'esposizione a particelle ed effetti sulla salute: quanto più e' alta la concentrazione di particelle nell'aria tanto maggiore è l'effetto sulla salute della popolazione. Allo stato attuale delle

conoscenze, secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità non è possibile fissare una soglia di esposizione al di sotto della quale certamente non si verificano nella popolazione degli effetti avversi sulla salute. Nelle persone sensibili (come gli asmatici e le persone con malattie polmonari e cardiache preesistenti), c'è ragione di temere un **peggioramento della meccanica respiratoria** ed uno scatenamento di sintomi (es. **tosse** o un **attacco di asma**), nonché un'alterazione dei meccanismi di regolazione del **cuore** e della **coagulazione del sangue**. Tali effetti sono sia di tipo **acuto**, ossia si manifestano nella popolazione nei giorni in cui la concentrazione degli inquinanti è più elevata (aggravamento di **sintomi respiratori** e **cardiaci** in soggetti predisposti, **infezioni respiratorie acute**, crisi di **asma** bronchiale, **disturbi circolatori** e **ischemici**), sia di tipo cronico, ossia si presentano per effetto di un'esposizione di lungo periodo (diminuzione della capacità polmonare, bronchite cronica, tumore polmonare). Studi condotti negli Stati Uniti ed in molti Paesi europei hanno evidenziato un'associazione fra i livelli di inquinanti atmosferici e il numero giornaliero di morti o di ricoveri in ospedale per cause respiratorie e cardiovascolari.

### 6.9.5 CARBONIO ORGANICO TOTALE e VOLATILE (COT e COV)

Per quanto riguarda l'introduzione di composti organici da parte dell'uomo si può affermare che la fonte maggiore è sicuramente quella dovuta al traffico autoveicolare. Nei processi industriali le maggiori fonti sono derivanti dai processi di verniciatura, produzione di monomeri per l'industria delle materie plastiche e alle industrie collegate alla produzione e utilizzo dell'etilene; a livello civile non sono trascurabili i contributi derivanti dai processi di lavaggio tessuti e grassaggio di particolari da sottoporre al processo di verniciatura.

Per la flora gli idrocarburi più nocivi sono soprattutto quelli difficilmente metabolizzabili che danno di conseguenza fenomeni di accumulo con i problemi connessi.

Trattandosi di un gruppo molto composito di possibili molecole organiche è praticamente impossibile la descrizione puntuale degli effetti sulla salute. Alcuni idrocarburi non sono dotati di particolare tossicità (metano, propano ecc), altri hanno soprattutto un'azione irritante (aldeidi), altri infine sono dotati di elevata tossicità con effetti genotossici, immunotossici e

cancerogeni noti come gli IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici) ed il benzene. E' interessante notare che la maggior azione a livello tossicologico viene espletata qualora questi composti siano adsorbiti su pulviscolo o particolato che funge da substrato di trasporto e ne consente l'introduzione permanente a livello polmonare.

## 6.9.6 DIOSSINA E FURANI (PCDD-PCDF)

Le principali fonti di emissione di microinquinanti organici quali policlorodibenzodiossine (PCDD) e policlorodibenzofurani (PCDF) sono riconducibili a:

- Sorgenti di combustione: incenerimento di rifiuti, combustori che utilizzano combustibili diversi (carbone, legna, prodotti petroliferi di varia natura), sorgenti che operano ad alta temperatura, combustioni incontrollate e in difetto di ossigeno, incendi;
- Processi biologici e fotochimici (es. operazioni di compostaggio per l'azione di microrganismi su composti fenolici clorurati);
- Emissioni di veicoli a motore.

Una particolare diossina, la 2,3,7,8-TCDD è un accertato **cancerogeno** per l'uomo, mentre le altre diossine/furani sono **potenziali cancerogeni**. La via principale di esposizione dell'uomo alle diossine è quella **alimentare** che contribuisce per oltre il 90% dell'esposizione complessiva. L'esposizione acuta ad elevati livelli di diossina (quali quelli raggiunti in occasione di rilevanti incidenti industriali) può portare a **lesioni cutanee** (cloracne) ed alterazioni della funzionalità **epatica**. L'esposizione cronica è associata a **danni** al **sistema immunitario**, ad alterazioni dello sviluppo del sistema nervoso e della funzionalità dell'apparato **endocrino** e **riproduttivo**.

L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha classificato la TCDD come "Cancerogeno noto per l'uomo" sulla base dei risultati degli studi epidemiologici condotti. Esiste pertanto probabilmente un livello di soglia al di sotto del quale non è evidenziabile l'effetto cancerogeno (OMS).

## 6.10 CONCLUSIONI

La valorizzazione della biomassa raccolta da S.A.BA.R. a fini energetici può avere luogo vendendo il cippato a centrali già esistenti o creando centrali a biomassa da gestire, vendendo direttamente il calore.

Quest'ultima ipotesi ha un valore maggiore sia per l'azienda che per il territorio. La biomassa per la produzione di energia termica ha senso solo se le distanze dalla fonte di fornitura di combustibile sono minime. In questo modo si limitano le emissioni e i costi dovuti al trasporto e l'area da dedicare allo stoccaggio del cippato presso la centrale può essere più ridotta.

Quindi l'installazione di centrali a biomassa all'interno degli 8 Comuni in cui S.A.BA.R. svolge anche il servizio di raccolta e smaltimento dei rifiuti è un'opportunità da cogliere. Con i sistemi di cui sono dotate le nuove centrali, le emissioni di polveri sottili e altri possibili inquinanti sono ridottissime. In questo modo si diminuisce l'incidenza sull'effetto serra e consente all'Italia, anche se in maniera ridotta, di avvicinarsi maggiormente agli obiettivi fissati dal Protocollo di Kyoto.

Pertanto, oltre a non destinare allo smaltimento una notevole quantità di materiale legnoso, vi è un apporto positivo all'ambiente perché si andrebbero a sostituire parte dell'utilizzo delle fonti fossili. Con i sistemi di teleriscaldamento si ha anche una maggiore efficienza rispetto a tante piccole caldaie a metano.

Resta da valutare nel dettaglio dei progetti se e quanto è conveniente dal punto di vista economico l'installazione di centrali funzionanti a biomassa, poiché i costi iniziali d'investimento per caldaie a cippato sono molto elevati.

Per questo motivo sono diversi i metodi di finanziamento messi a disposizione dalle Regioni, dallo Stato e dalla Comunità Europea. Si tratta di tenere monitorati l'emissione di bandi per accedere a qualche forma di finanziamento che aiuti a partire con l'investimento.

# CONCLUSIONI

Al termine del lavoro svolto è possibile avere una visione molto più ampia e chiara degli aspetti positivi e negativi delle diverse alternative per utilizzare il calore in uscita dalla centrale di cogenerazione. La valutazione può essere effettuata sulla base di tutti i dati raccolti ed elaborati nel corso di questo studio.

Si può affermare che durante la fase di analisi delle alternative si è spaziato in diversi settori e proprio nel corso di questa fase sono state create diverse varianti ai progetti fissati inizialmente, che hanno modificato la percezione di alcuni aspetti della valutazione finale.

Una valutazione soltanto economica in progetti di questa portata è ampiamente riduttiva. All'interno di questo elaborato, infatti, sono state affrontate le valutazioni tenendo ben presente la variabile economica, ma non trascurando tutti gli altri aspetti, fra i quali emerge marcatamente quello ambientale, dal quale non si può assolutamente prescindere in questa valutazione.

La tabella riportata di seguito mette a confronto, dal punto di vista strettamente economico, le alternative che nel corso di quest'analisi hanno mostrato una certa validità sotto i vari aspetti, ovvero:

- Costituzione di una filiera per la biomassa
  - Vendita del cippato essiccato in campo
  - Vendita del cippato essiccato con un apposito essiccatoio che utilizza il calore della centrale di cogenerazione
  
- Costruzione di un impianto a CICLO ORC
  - Per il recupero calore dai fumi dalla centrale di cogenerazione
  - Per il recupero calore dai fumi, senza investimento iniziale
  - Per il recupero calore dai fumi e dalla combustione della biomassa
  - Per il recupero calore dai fumi e dalla combustione della biomassa con rete di teleriscaldamento

➤ Costruzione di un impianto di TRATTAMENTO DEI REFLUI DA DISCARICA

- Con investimento iniziale
- Senza investimento iniziale

VALUTAZIONE FINALE DEGLI INVESTIMENTI PER IL RECUPERO DI CALORE								
FILIERA PER	Investimento iniziale	Costi di gestione	Ricavi	Utili	VAN dopo 10 anni	Punto di pareggio	ROI complessivo	ROI annuale
L'ESSICCAZIONE DEL CIPPATO IN CAMPO e VENDITA A 30€/TON	€ 1.878.000	€ 219.603	€ 547.000	€ 327.397	€ 777.481	6 ÷ 7 anni	41%	4,14%
ESSICCATORE CON VENDITA CIPPATO A 40 €/TON	€ 2.565.860	€ 326.411	€ 694.500	€ 368.089	€ 419.671	8 ÷ 9 anni	16%	1,64%
ESSICCATORE CON VENDITA CIPPATO A 50 €/TON	€ 2.565.860	€ 326.411	€ 803.000	€ 476.589	€ 1.299.704	6 ÷ 7 anni	51%	5,07%
IMPIATO A CICLO ORC DA 300 KW PER RECUPERO DEI FUMI	€ 1.080.000	€ 69.300	€ 374.000	€ 304.700	€ 1.779.632	4 anni	165%	13,73%
IMPIATO ORC DA 300 KW PER RECUPERO DEI FUMI SENZA INVESTIMENTO INIZIALE (50% e 50%)	-	€ 33.000	€ 187.000	€ 154.000	€ 1.445.301			
IMPIATO ORC DA 800 KW PER RECUPERO DEI FUMI E COMBUSTIONE DELLA BIOMASSA	€ 3.725.500	€ 466.425	€ 1.348.500	€ 882.075	€ 4.552.842	4 ÷ 5 anni	122%	10,18%
IMPIATO ORC DA 800 KW CON CALORE DAI FUMI E DALLA BIOMASSA E RETE DI TELERISCALDAMENTO	€ 8.725.500	€ 612.425	€ 1.631.220	€ 1.018.795	€ 835.965	10 ÷ 11 anni	10%	0,80%
UN IMPIATO PER IL TRATTAMENTO DEI REFLUI DA DISCARICA	€ 429.300	€ 81.241	€ 140.201	€ 58.960	€ 48.016	8 ÷ 9 anni	11%	1,14%
IMPIATO PER IL TRATTAMENTO DEI REFLUI DA DISCARICA SENZA INVESTIMENTO INIZIALE	-	€ 120.000	€ 140.201	€ 20.201	€ 136.008			
IMPIATO PER IL TRATTAMENTO DEI REFLUI ANCHE DA TERZI SENZA INVESTIMENTO INIZIALE	-	€ 120.000	€ 158.065	€ 38.065	€ 256.282			

Figura 129 - Riepilogo valutazioni economiche finali degli investimenti

Anche in una valutazione più ampia il progetto che risulta più conveniente è quello di associare un impianto a ciclo ORC che recuperi calore sottoforma di fumi generando un ulteriore quantitativo di energia elettrica. Questo metodo consente di recuperare i fumi valorizzandoli, senza generare altre emissioni. Rimane all'azienda la decisione di assumersi l'onere dell'investimento iniziale oppure, dato che l'azienda costruttrice dell'impianto si è resa disponibile, far sostenere ad essa i costi iniziali in cambio di una equa divisione dei ricavi dalla vendita dell'energia elettrica prodotta.

La scelta di recuperare il calore sottoforma di fumi con un impianto a ciclo ORC, esclude però quella, sicuramente più stimolante ed ambiziosa, di un essiccatore per la biomassa. Dopo la chiusura di questa tesi, infatti, saranno effettuate delle prove di combustione del materiale essiccato con un essiccatoio e dello stesso materiale essiccato invece in campo, in caldaie tradizionali di medie e grosse dimensioni per verificarne il reale funzionamento.

Va da sé che, se è possibile utilizzare il materiale raccolto senza essiccarlo in un essiccatoio, ma solamente all'aria aperta, è sicuramente più vantaggioso tenere separati i due input (biomassa e calore) e installare un impianto a ciclo ORC per l'utilizzo dei fumi e istituire una filiera per la produzione di cippato essiccato "in campo".

La fase successiva alla costituzione della filiera di produzione del cippato di legno, è quella di avviare a combustione il materiale prodotto in centrali a biomassa installate nei Comuni in cui S.A.BA.R. svolge il servizio di raccolta e smaltimento rifiuti. Come riportato in questo elaborato sono al vaglio diversi progetti. Si tratta di verificare nel dettaglio la fattibilità di ognuno, naturalmente dopo essersi accertati che il materiale prodotto possa essere utilizzato in queste caldaie senza creare problemi ed emettere eccessive emissioni. Le prove previste in futuro restituiranno questa sentenza.

Avviare invece presso S.A.BA.R. la combustione della biomassa ha degli aspetti negativi rilevanti che fanno desistere dall'intraprendere l'investimento.

Installare un ciclo ORC sovradimensionato con un unico impianto e un doppio input di calore (fumi e combustione delle biomassa) risulta economicamente conveniente, grazie soprattutto al contributo dei CV, ma utilizza soltanto un 18% del calore prodotto per generare energia elettrica, tutto il restante calore sarebbe dissipato.

Anche installare un impianto presso S.A.BA.R di ultima tecnologia, come un pirogassificatore, che produce energia elettrica al 30%, ha l'aspetto negativo di non potere utilizzare il calore prodotto. Conviene delocalizzare, magari in più di un impianto, la produzione di energia elettrica e termica per l'utilizzo di entrambe le risorse prodotte.

L'ulteriore evoluzione di questa alternativa, vale a dire l'installazione di un impianto per la combustione della biomassa presso S.A.BA.R. è quella di portare il calore prodotto alle utenze attraverso una rete di teleriscaldamento. Come si vede dai dati economici riportati in tabella, i costi di gestione e degli ammortamenti della rete di teleriscaldamento superano quelli che si recuperano dalla vendita del calore. Il costo della rete di teleriscaldamento incide sui costi iniziali in modo rilevante, più che raddoppiando l'investimento iniziale. Inoltre soltanto una parte del calore prodotto durante l'anno sarebbe utilizzato, poiché solo nei mesi in cui le temperature sono basse si ha richiesta di energia termica. Pertanto anche in questo caso si avrebbe uno sperpero di risorse. La soluzione più idonea potrebbe essere quella d'installare una centrale di grandi dimensioni che produca energia elettrica solo in base alla richiesta di energia termica e avviare la biomassa a combustione soltanto nei mesi in cui possono essere utilizzate entrambe. La valutazione di quest'ultima soluzione non è stata riportata in questo elaborato poiché non si hanno a disposizione tutti gli elementi necessari per effettuare un'analisi obiettiva.

Più interessante, invece, risulta essere l'utilizzo della biomassa in centrali per la produzione di energia termica, che già esistono o che possono essere create appositamente per sostituire, in parte, l'utilizzo di fonti fossili.

Data la possibilità di avere un ente che garantisce la fornitura di cippato, nei Comuni serviti da S.A.BA.R. o nei Comuni adiacenti a Novellara, può risultare conveniente installare centrali a biomassa o caldaie presso utenze industriali.

Se sarà verificata la possibilità di utilizzare il cippato essiccato in campo, sarà possibile utilizzare dunque due risorse, il calore in uscita dei fumi e la biomassa raccolta da S.A.BA.R. per produrre energia elettrica e termica da fonti rinnovabili, oltre a garantire l'uso e la valorizzazione di queste risorse, ora inutilizzate.

L'intrapresa di questi progetti consentirà di diminuire le emissioni di gas ad effetto serra e si aiuterà l'Italia, anche se con un contributo minimo, a raggiungere gli obiettivi fissati con il protocollo di Kyoto. Tenendo conto che, come disse il noto scrittore francese, Raoul Follereau: "Anche il più grande degli oceani è formato da tante piccole gocce".

# RINGRAZIAMENTI

Prima di tutto ringrazio chi mi ha dato l'opportunità di svolgere questo elaborato, che ha richiesto molto impegno, ma come tutte le cose che richiedono impegno, creano, quando si arriva alla fine, grande soddisfazione. Mi ha permesso di arricchire le mie conoscenze su un settore, quello energetico e delle fonti rinnovabili, che mi interessa moltissimo fin dall'inizio del percorso universitario.

Un grazie sentitissimo e di cuore va a tutti quelli che mi sono stati vicino e con i quali ho condiviso gli ostacoli e le gioie dell'intero cammino universitario e di questa tesi che ha ultimato il mio percorso di studi.

Ringrazio per prima la mia **tatina**, che mi è sempre stata accanto, mi ha aiutato, ascoltato, pur non capendo molto, ma soprattutto per avermi dato ogni giorno la motivazione di curare ogni minimo dettaglio di questo lavoro e d'affrontare tutte le situazioni nel migliore modo possibile.

Poi la mia famiglia, mamma **Adriana** e papà **Fausto**, per aver sostenuto, non solo economicamente, questi cinque anni di università, senza fare mai alcuna pressione e lasciandomi libero di fare qualsiasi scelta. Grazie per come ho potuto trascorrere questi anni, senza mai farmi mancare nulla.

Ringrazio per il supporto e l'affetto **Alle**, l'**Elena** e cito anche la new entry in famiglia, **Martina**, venuta alla luce proprio nel periodo di stesura della tesi.

Ringrazio sentitamente **Mirco Marastoni**, che più di tutti mi ha seguito nell'affrontare il lavoro riportato in tesi, trasmettendomi davvero tante conoscenze e molta della sua esperienza. Lo ringrazio per tutto il tempo che mi ha dedicato in questi mesi, facendomi fare una ricca e bellissima esperienza.

Ringrazio il prof. **Pier Paolo Veroni**, che ha tenuto le veci di relatore per questa tesi e non si è limitato a seguire i passi avanti nella stesura della tesi. Lo ringrazio per essere venuto in visita alla centrale a Roncoferraro, per tutti i consigli e le informazioni che mi ha dato e per aver mostrato grande entusiasmo fin dal primo giorno nel seguirmi in questo progetto.

Ringrazio anche tutto il personale della **S.A.B.A.R. S.p.A.** per essersi sempre reso disponibile a trasmettere informazioni, aiuti e consigli: **Luca**, **Marco**, **Robby**, **Iames**, **Danilo**, l'**Erica**, la **Mony**, l'**Alle**, la **Debora**, **Luciano**, la **Daniela**, **Marco**, l'**Anita** e la **Valeria**.

Ringrazio la consulente esterna di S.A.B.A.R. in materia ambientale, **Arianna Bastoni**, per tutto il materiale che mi ha fornito e per la sua disponibilità.

Ringrazio l'ing. **Stefano Strazzi** del CPL di Concordia, per avermi fornito i primi dati e le prime fondamentali spiegazioni sulla centrale di cogenerazione.

Ringrazio **Roberto Loschi** per la possibilità di far visita alla Turboden e per i dati e le spiegazioni tecniche che mi ha fornito sulla centrale.

Ringrazio **Massimo Zaghi**, **Gabriele Santi** e **Giovanni Mazzocchi** per aver organizzato e permesso la mia partecipazione al viaggio in Baviera, dove ho potuto arricchire le mie conoscenze sulle fonti rinnovabili, visitando alcuni tra i migliori centri di ricerca europei e alcune centrali alimentate da risorse rinnovabili.

Ringrazio, anche se avrei dovuto metterli all'inizio, tutti gli amici con i quali sono cresciuto e con i quali, chi più chi meno, ho sempre condiviso tutto. Grazie a **Chicco, Fico, Liga, Pazzo, Rado, Pergio, Albert, Pulu, Marian, Matte, Pears, Rocky, Gebs, Romz, Luglio, Dams e Vezzel**, anche per la compagnia nei pranzi fatti insieme in questi mesi.

Un grazie anche ai miei compagni di viaggio universitari, con i quali, anche se si conclude la nostra esperienza insieme, rimarrà un forte legame per sempre. Grazie a **Robby, Fontain, Floro, l'Ely, Massi, Cassa, Brev, Fred, Teo, Aguz**, e tutti gli altri.

Un sentito grazie anche alla **famiglia dell'Ele**, che mi fa sempre sentire uno di loro, ai miei **bimbi** e a tutta la **comunità di San Prospero**, che hanno reso molto più leggeri questi mesi.

MARCO BOSELLI

# BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- R. Anthony, D. Hawkins, D. Macrì, K. Merchant, SISTEMI DI CONTROLLO, ANALISI ECONOMICHE PER LE DECISIONI AZIENDALI, McGraw-Hill
- R. Brealey, S. Myers, S. Sandri, PRINCIPI DI FINANZA AZIENDALE, McGraw-Hill
- Corrado Di Nicola Ciaranca, TRIZ, TEORIA PER LA RISOLUZIONE INVENTIVA DEI PROBLEMI, Articolo del politecnico dell'innovazione di Milano
- A. Damodaran, VALUTAZIONE DELLE AZIENDE, Apogeo
- G. Manfreda, GASSIFICAZIONE, Articolo 2006
- Energia Lab, Doria, Forni, Andreatta, Puglioli, PRODUZIONE ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI - BIOMASSA, Articolo 2006
- A. Marroni, STRUMENTI DI INCENTIVAZIONE PER L'ENERGIA SOSTENIBILE CERTIFICATI VERDI, CERTIFICATI BIANCHI E MERCATO DELLE EMISSIONI, articolo 2005.
- D. Fraternali, TECNOLOGIE PER L'UTILIZZO ENERGETICO DELLA BIOMASSA agro-forestale e problematiche di impatto ambientale, presentazione 2006.
- P. Ficco, P. Firmiani, F. Gerardini, LA GESTIONE DEI RIFIUTI, QUADRO NORMATIVO E INTERPRETAZIONI, Edizioni Ambiente.
- GSE S.p.A., FISSATO IL PREZZO DI RIFERIMENTO 2006 DEL CERTIFICATI VERDI, comunicato stampa.
- S.A.Ba.R. S.p.A., DICHIARAZIONE AMBIENTALE - EMAS e AGGIORNAMENTI.
- L'EVAPORAZIONE SOTTOVUOTO PER LA DEPURAZIONE E IL RIUTILIZZO DEI REFLUI INDUSTRIALI, Catalogo informativo.
- S.A.Ba.R. S.p.A., BILANCIO 2005.
- W. Righini, CENTRALI A BIOMASSA, ESPERIENZE NELL'USO ENERGETICO DEL LEGNO, articolo 2005.
- La meccanica, TECNOLOGIE PER LA PRODUZIONE DEL PELLETS, opuscolo informativo.
- F. Fantozzi, GENERAZIONE DISTRIBUITA DI ENERGIA ELETTRICA DA BIOMASSA CON TECNOLOGIA IPRP - INTEGRATED PYROLYSIS REGENERATED PLANT, Articolo 2005.

- A. Duvia, M. Gaia, COGENERAZIONE A BIOMASSA MEDIANTE TURBOGENERATORI ORC: TECNOLOGIA, ESPERIENZE PRATICHE ED ECONOMIA, Documento presentato al convegno dell'11 Novembre 2004 dal titolo "Energia prodotta dagli scarti del legno".
- R. Bini, A. Duvia, A. Schwarz, M. Gaia, P. Bertuzzi, W. Righini, OPERATIONAL RESULTS OF THE FIRST BIOMASS CHP PLANT IN ITALY BASED ON AN ORGANIC RANKINE CYRCLE TURBOGENERATOR AND OVERVIEW OF A NUMBER OF PLANTS IN OPERATION IN EUROPE SINCE 1998, articolo 2005.
- G. Manfreda, GASSIFICAZIONE, Articolo 2005/2006.
- L. Castellazzi (ENEA), ENERGIA TERMICA DA BIOMASSE: ASPETTI TECNICI ED AMBIENTALI, Articolo 2004.
- ENI Scuola, BIOMASSA.
- W. Francescano (AIEL), TECNOLOGIE PER LA CONVERSIONE ENERGETICA DEL LEGNO, articolo 2006.
- Ret Screen International, ANALISI PROGETTI DI RISCALDAMENTO A BIOMASSA, Articolo e presentazione al programma di Ret Screen sulla valutazione degli impianti a biomassa.
- Ret Screen International, ANALISI PROGETTI CON ENERGIE PULITE - SOFTWARE RET SCREEN® INTERNATIONAL, Presentazione al programma di Ret Screen.
- G.F. Saetti (CSAI), OTTIMIZZAZIONE DEL RECUPERO ENERGETICO DA BIOGAS CON ORGANIC RANKINE CYCLE ENGINE: IL CASO DELLA DISCARICA DI TERRANUOVA BRACCIOLINI, articolo 2006.
- A. Dumas, S. Mazzacane, ELEMENTI DI TERMODINAMICA, Progetto Leonardo.
- Valter Francescato, Eliseo Antonini (capitoli da 1 a 10) e Giustino Mezzalira (introduzione e capitolo 11), ENERGIA DAL LEGNO - NOZIONI, CONCETTI E NUMERI DI BASE, Pauwlania.
- Istituto per le piante e l'ambiente (IPLA), UTILIZZO DEL LEGNO COME FONTE DI CALORE, Regione Piemonte.
- ENEA, Rapporto annuale energia e ambiente (REA 2005).
- Regione Piemonte, BIOMASSE LIGNOCELLULOSICHE PER FINI ENERGETICI.
- Romano Giglioli, COGENERAZIONE DI PICCOLA POTENZA DA BIOMASSA, Articolo.
- Politecnico di Milano, COMPOSIZIONE DEL BIOGAS DA DISCARICA, Articolo.
- [www.mindjet.com](http://www.mindjet.com) (Download della versione "Trial" di Mindmanager 6.0)

- [www.eniscuola.net](http://www.eniscuola.net) (Tecnologie esistenti per la combustione della biomassa)
- [www.gas.it](http://www.gas.it) (Dati tecnici sul gas metano e biogas)
- [www.grtn.it/ita](http://www.grtn.it/ita) (Gestione dei Servizi Elettrici)
- [www.energoclub.it](http://www.energoclub.it) (Fonti sulle energie rinnovabili)
- [www.autorita.energia.it](http://www.autorita.energia.it) (Informazioni sui titoli di efficienza energetica)
- [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net) (Download del software e delle informazioni sulle energie rinnovabili)
- [www.enea.it](http://www.enea.it) (Dati tecnici sulle produzioni energetiche da fonti rinnovabili)
- [www.itabia.it](http://www.itabia.it) (Informazioni sull'utilizzo del legno)
- [www.fire-italia.it](http://www.fire-italia.it) (Nozioni sui certificati bianchi)
- [www.ambientediritto.it](http://www.ambientediritto.it) (Legislazioni)
- [www.triz-journal.com](http://www.triz-journal.com) (Letteratura sulla metodologia TRIZ)
- [www.eurad.uni-koeln.de/index\\_e.html](http://www.eurad.uni-koeln.de/index_e.html) (Sito sulla qualità dell'aria in Europa)
- [www.comune.re.it](http://www.comune.re.it) (Effetti degli inquinanti)
- [www.aspoitalia.net](http://www.aspoitalia.net) (Dati su fonti energetiche in Italia)
- [www.elettrosannio.com](http://www.elettrosannio.com) (Tecnologie per la produzione di energia elettrica da biomassa)
- [www.agriforenergy.com](http://www.agriforenergy.com) (Tecnologie per produzione energia da legno)
- [www.novambiente.it](http://www.novambiente.it) (Normative ambientali e dati sulle emissioni)
- [www.icqholdingspa.com](http://www.icqholdingspa.com) (Informazioni sugli impianti a ciclo ORC a valle di centrali a cogenerazione a biogas)
- [www.turboden.it](http://www.turboden.it) (Informazioni sugli impianti a ciclo ORC)