

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA ENERGETICA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

TESI DI LAUREA

**Studio di fattibilità di due filiere per la  
valorizzazione energetica dei sarmenti di vite**

**Relatore:**

prof. Anna Stoppato

**Laureando:**

Alberto Saorin  
matr. 1020437

ANNO ACCADEMICO 2012-2013



---

*A mio papà*

# INDICE

1.	INTRODUZIONE	
1.1	Premessa.....	8
2.	LE BIOMASSE LEGNOSE	
2.1	Normativa.....	14
2.2	Contenuto energetico.....	15
2.2.1	Unità di misura.....	15
2.2.2	Umidità.....	16
2.2.3	Potere calorifico.....	16
2.3	I sarmenti di vite come fonte rinnovabile di energia.....	19
2.4	Cenni sul territorio.....	22
3.	PROVE IN CAMPO	
3.1	Macchine utilizzate.....	27
3.2	Svolgimento delle prove.....	29
3.3	Risultati ottenuti.....	32
3.4	Analisi di laboratorio.....	34
4.	FILIERA PER LA PRODUZIONE DI BIOCOMBUSTIBILI SOLIDI	
4.1	Produzione di biocombustibili solidi.....	40
4.2	Analisi della filiera.....	45
4.2.1	Metodologie di raccolta.....	45
4.2.2	Stoccaggio.....	49
4.2.3	Trasformazione finale.....	51
4.3	Mercato dei biocombustibili scelti.....	56
4.4	Tipologie di caldaie alimentate con agripellet.....	58
4.5	Analisi economica.....	63
4.5.1	Superficie di 250 ha.....	64
4.5.2	Superficie di 500 ha.....	68
4.5.3	Superficie di 1000 ha.....	71

4.6	Prove di pellettatura ed analisi del pellet di vite.....	74
4.7	Analisi energetica e ambientale.....	76
4.8	Considerazioni conclusive.....	78
5.	<b>FILIERA PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA</b>	
5.1	Cicli termodinamici di riferimento.....	82
5.1.1	Ciclo di Carnot.....	82
5.1.2	Ciclo Rankine a vapore saturo.....	84
5.2	Cicli Rankine operanti con fluido organico (ORC).....	86
5.3	Tecnologie presenti sul mercato.....	91
5.3.1	Clean Cycle 125.....	92
5.3.2	Freepower FP120.....	97
5.3.3	Triogen (165 kW).....	99
5.3.4	ZE-150-LT (Zuccato Energia).....	101
5.4	Analisi della filiera.....	102
5.4.1	Metodologie di raccolta.....	104
5.4.2	Stoccaggio.....	104
5.4.3	Produzione di energia elettrica.....	106
5.5	Analisi economica di un impianto .....	109
5.5.1	Considerazioni preliminari.....	109
5.5.2	Esempio d'investimento.....	114
5.6	Possibilità di cogenerazione o trigenerazione.....	118
5.6.1	Cogenerazione per riscaldamento.....	118
5.6.2	Cogenerazione per raffrescamento.....	120
5.6.3	Trigenerazione.....	122
5.7	Analisi energetica ed ambientale.....	123
6.	<b>CONCLUSIONI</b>	
6.1	Considerazioni generali e confronto delle filiere.....	126
7.	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>131</b>
	<i>Ringraziamenti.....</i>	<i>134</i>



---

**1**

# **INTRODUZIONE**

## 1.1 PREMESSA

Nel 2010 è aumentata la domanda mondiale di energia primaria rispetto all'anno precedente (+5%), con un incremento delle emissioni di gas serra (+5,8%). Il petrolio ha continuato ad essere la fonte predominante costituendo il 33% della domanda primaria, pari a 12.132 Mtep (tep = tonnellata equivalente di petrolio), seguito dal carbone (27,1%) e dal gas (20,93%). Le fonti rinnovabili, con una crescita media annua dal 1990 pari all'1,8%, sono arrivate a coprire il 13% dell'offerta di energia primaria, mentre il nucleare il 6%. Secondo gli scenari dell'International Energy Agency (World Energy Outlook 2011), una volta superata la flessione dei consumi legata alla crisi, nel medio termine (fino al 2035) il fabbisogno energetico continuerà ad essere soddisfatto in misura prevalente attraverso l'uso di combustibili fossili.

In *figura 1.1* sono rappresentati i consumi mondiali per l'anno 2009 sia riguardo l'energia primaria sia esclusivamente per la produzione di energia elettrica.

I consumi di carbone stanno aumentando per lo sviluppo energetico di paesi in via di sviluppo, in particolare della Cina. Tale combustibile è quello con la maggior emissione

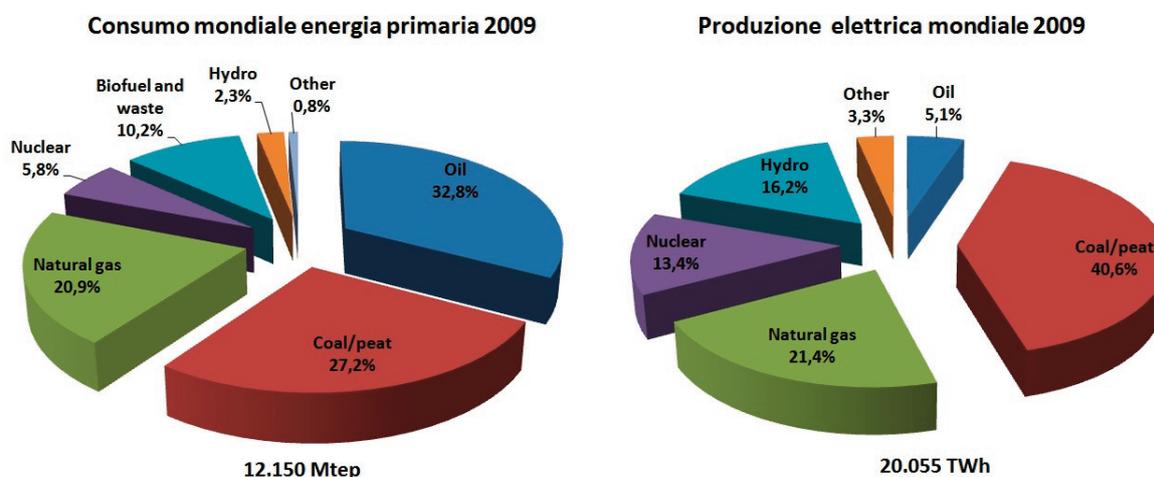


Fig. 1.1

di anidride carbonica tra i combustibili fossili, infatti per ogni kWh termico vengono rilasciati 0,36 kg di CO<sub>2</sub>, a fronte di 0,27 kg del petrolio e 0,20 kg del gas naturale.

Per quanto riguarda il nucleare si deve tener conto della politica di mutamento mondiale in seguito al disastro della centrale elettrica di *Fukushima Dai-ichi* nel Marzo del 2011. Diversi paesi, come la Germania, hanno deciso di ridurre la quota di energia prodotta da fonte nucleare, da compensare con un ricorso a fonti sostenibili.

Riguardo l'Europa, nel 2010 si è registrata una crescita del 3,2% della domanda di energia primaria rispetto al 2009. Il Consiglio Europeo, al fine di contrastare il rischio di cam-

biamenti climatici, ha fissato l'obiettivo di ridurre entro il 2050 le emissioni di gas serra dell'UE di almeno l'80% rispetto ai livelli del 1990, stabilendo anche delle tappe intermedie di riduzione pari ad almeno il 40% nel 2030 e il 60% nel 2040. Gli obiettivi fissati dal pacchetto clima-energia dell'Unione Europea (chiamato 20-20-20) consentono, tuttavia, di raggiungere solo parzialmente l'obiettivo al 2050. Pertanto, per realizzare un'economia a basse emissioni di carbonio, nei prossimi 40 anni saranno necessari ulteriori investimenti da parte dell'UE, pari all'1,5% del PIL annuo (270 miliardi di euro) in aggiunta all'attuale 19% di PIL già investito, riportando l'Europa ai livelli d'investimento pre-crisi. Buona parte di questi saranno compensati sia da una minore fattura energetica per gas e petrolio, permettendo di risparmiare tra i 175 e i 320 miliardi di euro l'anno, sia da una minore sensibilità alle fluttuazioni dei prezzi di petrolio e gas.

In Italia nel 2010 la domanda di energia primaria ha visto una crescita del 4,1% rispetto al 2009, trainata dalla seppur lieve ripresa economica (1,3%).

Si inverte il trend degli ultimi quattro anni, anche se i consumi del 2010 restano inferiori del 5% rispetto al 2005. Riguardo alle fonti si conferma la decrescita del ricorso al petrolio a vantaggio del gas e il significativo aumento delle fonti rinnovabili.

Nel 2010 il peso della fattura energetica del nostro Paese è stato pari a oltre 50 milioni di euro (+27,1% rispetto al 2009) e la sua incidenza sul valore nominale del PIL pari al 3,4%. Le più recenti stime dell'Unione Petrolifera relative al 2011 collocano la fattura energetica italiana su valori che oltrepassano i 60 miliardi di euro.

La ripartizione degli impieghi finali per settore evidenzia il peso crescente del settore civile (dal 30,3% del 2007 al 35,4% del 2010), mentre il settore industriale, la cui quota è in netto calo negli ultimi cinque anni (-5%), copre il 23,2% dei consumi finali.

Le politiche del governo italiano negli ultimi anni hanno continuato a perseguire gli obiettivi della sicurezza degli approvvigionamenti, della sostenibilità ambientale e della competitività attraverso il contenimento dei prezzi, nel più vasto contesto del nuovo quadro d'azione europeo.

In particolare sono state adottate misure tese a completare il processo di liberalizzazione del settore elettrico e del gas, a promuovere l'efficienza energetica (*Piano nazionale per l'efficienza energetica*) e a sviluppare l'uso delle fonti rinnovabili (*Piano di Azione Nazionale per le Energie Rinnovabili*), per consentire la necessaria diversificazione delle fonti energetiche.

L'utilizzo di fonti rinnovabili da parte dell'Italia permette di svincolarsi sempre di più dall'importazione di energia dagli altri paesi, europei ed extraeuropei. Le principali fonti energetiche su cui deve puntare il nostro Paese sono il solare e le biomasse.

In questo studio si presenterà un'analisi che mira al recupero di potature agricole per la produzione di biocombustibili ed energia elettrica. Già da qualche anno, infatti, i crescenti costi del gas naturale hanno portato numerose famiglie ed imprese all'utilizzo di

biomasse per le loro esigenze di riscaldamento. Le cifre dell'energia derivante dal legno in Italia riportano (*fonte AIEL*):

- 2,35 miliardi di euro all'anno il valore economico dei combustibili legnosi;
- 22,8 milioni di tonnellate di combustibili a base di legno consumati nel 2009;
- 4,4 milioni di famiglie hanno consumato 19 milioni di tonnellate di legna da ardere. Oltre il 50% di queste famiglie usa la legna da ardere come fonte di riscaldamento principale;
- Negli ultimi 10 anni sono stati installati circa 5 milioni di stufe tradizionali, camini e termocamini, termocucine e stufe a pellet;
- 1,5 milioni di t all'anno: consumo di pellet stimato nel 2010 per un valore di almeno 350 milioni di euro;
- nel 2010 stimati almeno 1.000.000 apparecchi domestici a pellet (assoluto primato europeo).

Anche se è particolarmente difficile avere dei dati precisi sul consumo e sulla produzione di pellet, è stato stimato nel 2011 una produzione in Italia di circa 500.000 t/a a fronte di un picco di oltre 700.000 t/a nel 2007. Essendo che la maggior parte del pellet prodotto in Italia utilizza come materia prima gli scarti legnosi provenienti dalle segherie, la crisi che attualmente il nostro paese sta attraversando ha provocato la chiusura di molte di queste attività, con una conseguente diminuzione della materia prima (*fig. 1.2*). L'intera produzione nazionale viene impiegata internamente ma non è, tuttavia, sufficiente a far fronte a tutta la domanda italiana che supera 1,9 milioni di tonnellate annue (*fonte Assopellet*).

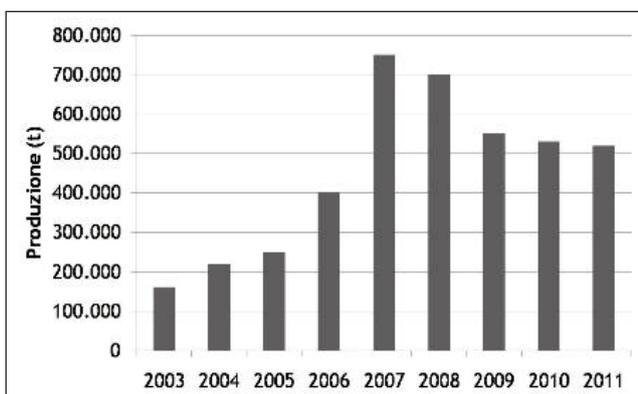


Fig. 1.2 - Produzione pellet in Italia (Assopellet)

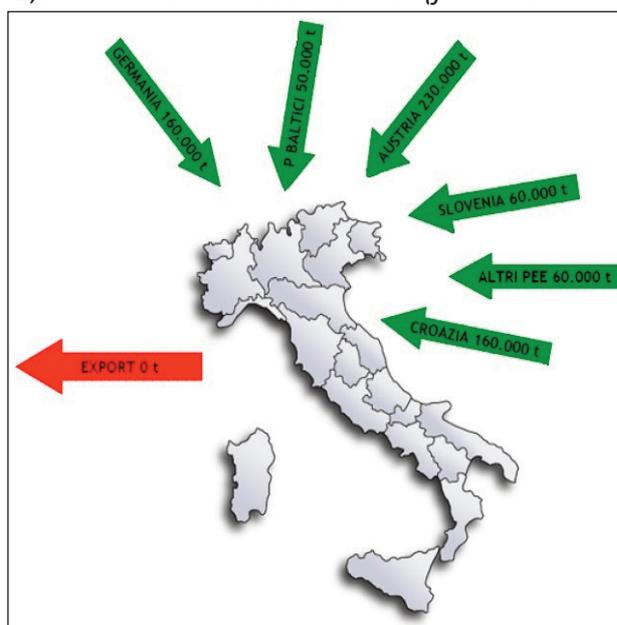


Fig. 1.3 - Importazione stimata di pellet in Italia nel 2009

I biocombustibili che vengono adoperati in Italia, giungono per buona parte da paesi esteri (*fig. 1.3*). I trasporti incidono sempre di più sul costo di questi combustibili rino-

vabili i quali, seppur mantenendo prezzi più bassi di quelli fossili, hanno un trend di crescita positivo del loro valore sul mercato. La crescente domanda di questi biocombustibili e la necessità di abbattere i costi ha portato a degli studi di fattibilità per la loro produzione sul territorio nazionale, mediante filiere corte che minimizzano i costi legati al trasporto e che mirino al recupero di scarti di lavorazioni industriali e agricole.



---

# 2

## LE BIOMASSE LEGNOSE

## 2.1 NORMATIVA

Per biomassa si intende "la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani" (formulazione prevista dalla Direttiva Europea 2009/28/CE).

Per quanto riguarda il settore agricolo, il 16 febbraio 2012 la Camera dei Deputati ha approvato la modifica dell'art. 185 del Testo Unico Ambientale (dlgs n. 152 del 3 aprile 2006) in materia di sfalci e potature, aprendo la strada all'utilizzo, per fini energetici, dei residui vegetali provenienti dalla manutenzione del verde pubblico e privato. La precedente normativa italiana classificava infatti tali residui come rifiuti urbani, prevedendone pertanto lo smaltimento in discarica e impedendo quindi lo sfruttamento di una possibile risorsa energetica. In particolare, l'emendamento stabilisce che al comma 1, lettera F, dell'art. 185 del dlgs 152/2006 e successive modificazioni, le parole da "per la produzione" fino a "biomassa" vengano sostituite da "ivi inclusi in tal caso quelli derivanti dalla manutenzione del verde pubblico e privato, sempreché soddisfino i requisiti di cui all'art. 184-bis, per la produzione di energia da tale biomassa, in ogni caso". In questo modo le potature ritornano a rappresentare una voce di ricavo, e non un costo, in ambito locale. E in questo momento di crisi, l'effetto di questo provvedimento rappresenta, da un lato una boccata di ossigeno sia per il settore agricolo che per le amministrazioni, dall'altro una misura per diversificare la filiera di approvvigionamento della biomassa e valorizzarne i sottoprodotti.

## 2.2 CONTENUTO ENERGETICO

### 2.2.1 Unità di misura

Ogni combustibile possiede una certa quantità di energia definita energia primaria che, con la combustione, si trasforma in energia utile per gli scopi desiderati (calore per riscaldamento, calore per acqua calda sanitaria, calore per l'alimentazione di un ciclo termodinamico).

Le unità di misura derivanti dal Sistema Internazionale da impiegare sono Joule (J), il Watt (W) e i loro multipli.

Nel settore energetico però sono comunemente usate anche altre unità di misura tecniche, cioè non appartenenti al S.I.. Le più diffuse sono la kcal (chilocaloria), il kWh (chilowattora) e il tep (tonnellata equivalente di petrolio). Quest'ultima è un'unità di misura convenzionale utilizzata a scopi statistico-comparativi che esprime il contenuto di energia di una tonnellata di petrolio greggio.

La *tabella 2.1* rappresenta uno strumento utile per capire le equivalenze tra le varie unità di misura dell'energia termica.

Tabella 2.1

	kJ	kcal	kWh	tep
1 kJ	1	0,239	$0,278 \cdot 10^{-3}$	$23,88 \cdot 10^{-9}$
1 kcal	4,1868	1	$1,163 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-6}$
1 kWh	3.600	860	1	$86 \cdot 10^{-6}$
1 tep	$41,87 \cdot 10^6$	$10 \cdot 10^6$	$11,63 \cdot 10^3$	1

L'energia termica è quella forma di energia che è associata al movimento di agitazione molecolare; essa non è sinonimo di calore con il quale si intende invece la quantità di energia termica trasferita da un sistema ad un altro.

**La potenza termica (Q)** è il rapporto tra l'energia termica prodotta ed il tempo impiegato a produrla. Esprime la quantità di calore utile ceduto al vettore termico. L'unità di misura della potenza è il Watt (Joule/secondo).

**La potenza al focolare (Q<sub>B</sub>)** esprime la potenza erogata dal materiale combustibile al focolare della caldaia.

**La potenza nominale (Q<sub>N</sub>)** esprime la quantità massima di energia termica prodotta dalla caldaia in modo continuo attraverso la combustione nell'unità di tempo.

**Il rendimento della caldaia (η<sub>c</sub>)** esprime il rapporto tra la potenza termica utile (Q) e la potenza al focolare (Q<sub>B</sub>).

## 2.2.2 Umidità nel legno

La valutazione del tenore idrico del legno è di fondamentale importanza in quanto è direttamente collegato al potere calorifico. Esso è espresso in termini percentuali secondo le due formule seguenti:

### Umidità del legno (U)

Esprime la massa di acqua ( $m_{\text{acqua}}$ ) presente in rapporto alla massa di legno anidro ( $m_0$ ) e varia tra 0 e  $\infty$ .

$$U = \frac{m_{\text{acqua}}}{m_0}$$

### Contenuto idrico del legno (M)

Esprime la massa di acqua presente ( $m_{\text{acqua}}$ ) in rapporto alla massa di legno fresco ( $m_{\text{umido}}$ ) e rappresenta la misura solitamente impiegata nella compravendita dei combustibili legnosi. Esso varia tra 0 e 100.

$$M = \frac{m_{\text{acqua}}}{m_{\text{umido}}}$$

Supponendo che la massa del legno fresco appena tagliato sia costituita per metà di sostanza legnosa e per l'altra metà di acqua, si ha che il contenuto idrico è pari a  $M=50\%$ , mentre l'umidità è  $U=100\%$ .

## 2.2.3 Potere calorifico

Il processo di combustione è una reazione chimica esotermica di ossidazione che coinvolge due tipologie di sostanze:

- un combustibile, che contiene gli elementi che subiscono l'ossidazione;
- un comburente, che è l'ossidante.

La *tabella 2.2* riporta la composizione elementare, il potere calorifico e le ceneri su base secca delle principali biomasse utilizzate nei processi di combustione.

Il potere calorifico di un combustibile esprime la quantità di calore estraibile dai prodotti di una combustione completa con deflusso derivanti dall'unità di massa del combustibile, quando sono raffreddati fino alla temperatura iniziale di ingresso dei reagenti (aria e combustibile). In termini più pratici è la quantità di energia che può essere ricavata dalla combustione completa di 1 kg di sostanza. I principali prodotti di una combustione com-

Tabella 2.2

	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	Cl (%)	H <sub>u</sub> (MJ/kg)
Abete	49,00	5,98	44,75	0,05	0,01	0,01	18,74
Pioppo	48,45	5,85	43,69	0,47	0,01	0,10	18,19
Faggio	51,64	6,26	41,45	-	-	-	18,63
Quercia	49,98	5,38	43,13	0,35	0,01	0,04	18,33
Miscanto	47,50	6,20	41,70	0,73	0,15	0,22	17,6
Paglia di frumento	43,20	5,00	39,40	0,61	0,11	0,28	16,49
Paglia di riso	41,78	4,63	36,57	0,70	0,08	0,34	15,34
Stocchi di mais	43,65	5,56	43,31	0,61	0,01	0,60	16,52
Potatura di vite	<b>47,14</b>	<b>5,82</b>	<b>43,03</b>	<b>0,86</b>	<b>0,01</b>	<b>0,13</b>	<b>17,86</b>
Gusci di mandorla	44,98	5,97	42,97	1,16	0,02	-	18,17
Noccioli di oliva	48,81	6,23	43,48	0,36	0,02	-	21,12
<i>Combustibili fossili per confronto</i>							
Carbone	72,50	5,60	11,00	1,30	0,94	<0,1	33,50
Gasolio	85-86	11-13	1-4	-	-	-	42,90
Metano	75	25	-	-	-	-	50,05

pleta di una sostanza sono:

- anidride carbonica (CO<sub>2</sub>)
- acqua (H<sub>2</sub>O)

L'acqua di reazione, che si crea nel processo dalla combinazione di ossigeno e idrogeno, può essere resa disponibile in uscita sia nello stato liquido che in quello gassoso. Sulla base di queste considerazioni si possono definire due tipi di potere calorifico:

- superiore (PCS o H<sub>s</sub>) riferito all'acqua di reazione allo stato finale di liquido nei prodotti di combustione;
- inferiore (PCI o H<sub>i</sub> o H<sub>u</sub>) riferito all'acqua di reazione allo stato finale di vapore nei prodotti di combustione.

Il potere calorifico superiore è poco interessante e, ai fini pratici, viene adoperato più comunemente quello inferiore, che si calcola sottraendo dal H<sub>s</sub> il calore di condensazione dell'acqua che si forma durante il processo di combustione. Per un dato valore del H<sub>s,0</sub> (sostanza secca), il H<sub>u,0</sub> (sostanza secca) si calcola a partire dal calore di condensazione dell'acqua  $r$  e dalla frazione massica di idrogeno  $H$  nella biomassa secca:

$$H_{u,0} = H_{s,0} - 9 \cdot H \cdot r$$

Il potere calorifico inoltre è strettamente legato al contenuto idrico in quanto parte dell'energia liberata dalla combustione viene spesa per l'evaporazione dell'acqua presente nel combustibile, e quindi non è utilizzata per l'uso termico desiderato. Ogni chilogrammo

di acqua evaporata “consuma” 2,44 MJ di energia.

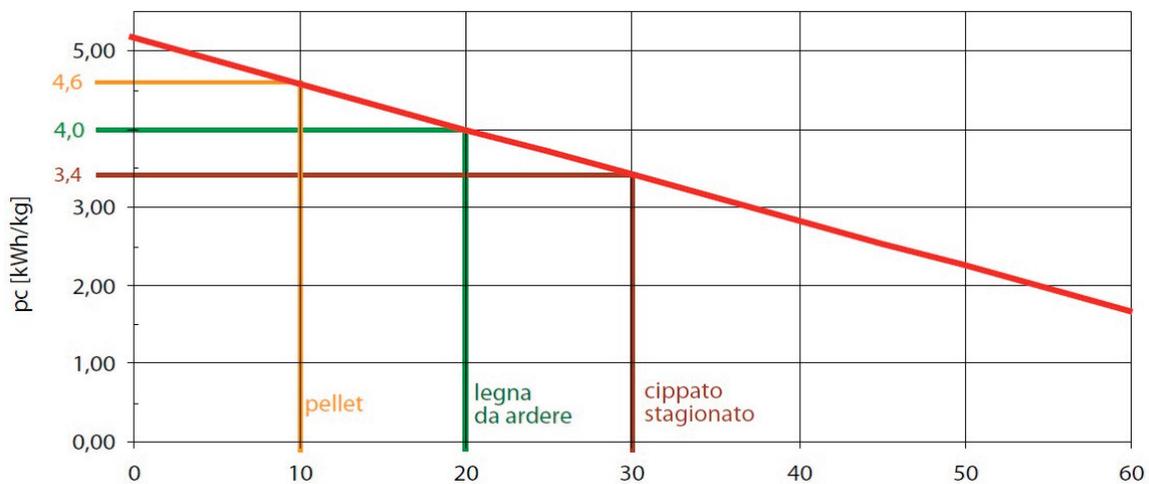
La formula per il calcolo del potere calorifico del legno in MJ/kg con un dato contenuto idrico M% è la seguente:

$$H_{u_M} = \frac{H_{u_0} \cdot (100 - M) - 2,44 \cdot M}{100}$$

dove  $H_{u_0}$  è il potere calorifico inferiore del legno anidro.

Nel corso della stagionatura, la diminuzione del contenuto idrico del 10% comporta un aumento del contenuto energetico di circa 2,16 MJ/kg (0,6 kWh/kg). In *figura 2.1* è rappresentato il diagramma che mostra la variazione del potere calorifico inferiore (nell'esempio  $H_{u_0}=5,14$  kWh/kg) in funzione del contenuto idrico M.

*Figura 2.1*



## 2.3 I SARMENTI DI VITE COME FONTE RINNOVABILE DI ENERGIA

La combustione di biomassa in Europa è attualmente dominata dall'utilizzo di combustibili legnosi; a causa della crescente domanda, oggi le quantità di legno disponibili sono sempre più scarse. Di conseguenza biomasse alternative, derivanti da residui agricoli (potature, paglia) stanno riscuotendo un crescente interesse come fonte di energia.

L'Italia è il primo produttore mondiale di vino con un raccolto stimato in 40,8 milioni di ettolitri nel 2012 (*Fonte: Coldiretti*). La superficie vitata italiana è pari a 664.296 ha, nel Veneto è di 77.701 ha e nella provincia di Verona 27.505 ha (*dati ISTAT 2010*).

Ogni anno, nel periodo invernale, si effettua la potatura dei vigneti con la produzione di un'ingente quantitativo di sarmenti da smaltire (in media circa 2 t/ha).

Normalmente lo smaltimento di tali residui prevede due soluzioni principali:

- trinciatura in campo e conseguente interrimento (*fig. 2.2*);
- bruciatura dei residui a bordo campo (*fig. 2.3*).



Figura 2.2



Figura 2.3

La prima soluzione può risultare vantaggiosa in presenza di vigneti completamente sani, portando un piccolo ritorno di sostanza organica al terreno. Nel caso, invece, di vigneti infetti da patologie come l'escoriosi, marciume radicale o mal d'esca (e in generale da tutte le malattie fungine) è una pratica dannosa per la loro diffusione. Quindi solitamente in questi casi l'interrimento viene evitato e si effettua la bruciatura a bordo campo. Allo stato attuale in molte regioni italiane questa pratica è vietata a causa dell'inquinamento prodotto dalla combustione incontrollata dei tralci, nonché dal pericolo di innesco di incendi. Il costo per tali operazioni è stimato a circa 60 €/ha per la trinciatura e a 150-200 €/ha per la bruciatura in campo.

La necessità di smaltimento di tali sostanze legnose ha portato già da qualche anno,

all'analisi di filiere per la loro valorizzazione energetica, trasformandole quindi da rifiuto a risorsa.

A livello nazionale gli studi più importanti sono stati nel 2006-2007 nella provincia di Gorizia con il progetto *Vitis Energetica*, e nel 2009 nella provincia di Treviso con *L'uso Energetico dei sarmenti di vite*. Anche a livello europeo è stato istituito uno studio (*mix-BioPells*) per la ricerca di pellet realizzati con materiali alternativi, soprattutto derivanti da scarti agricoli.

La classificazione normativa delle potature agricole ha subito alcune importanti modifiche nel corso degli anni. Ai sensi del dlgs 22/97 (decreto Ronchi) erano considerate rifiuto perché sostanza di cui ci si debba disfare; successivamente, prima con il dpcm (decreto del presidente del Consiglio dei ministri) dell'8 marzo 2002 e poi con il dlgs 152/06 sono state inserite fra le biomasse combustibili. Il successivo dlgs 205/10 ha modificato l'articolo 185 del precedente dlgs 152/06, per cui, allo stato attuale, le potature agricole non rappresentano né un rifiuto né un sottoprodotto, ma conferendo loro destinazione energetica (compravendita), con un semplice documento di trasporto, è possibile considerarle biomasse combustibili.

L'orientamento del recupero energetico dei sarmenti di vite, rispetto ad altre sostanze come paglie o stocchi di mais, è dato sia dall'alto potere calorifico inferiore di 4,5-4,7 kW/kg (M=10%), quindi paragonabile agli altri combustibili solidi legnosi presenti sul mercato, sia al contenuto relativamente basso di ceneri (intorno al 3%).

L'utilizzazione del legno derivante dalle potature ha dei vantaggi anche ambientali; infatti è una fonte di energia rinnovabile in quanto, considerando l'intero ciclo di vita, l'ap-



Figura 2.4 - Vigneto dopo la potatura

porto di anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) in ambiente è quasi nullo (di norma minore del 10%), legato solamente alle operazioni di raccolta, trasporto e lavorazione. In questo caso è fondamentale sottolineare l'importanza delle filiere corte, utili per ridurre la percentuale di gas serra emessi soprattutto durante le operazioni di trasporto.

I casi riportati nel presente studio fanno tutti riferimento a filiere corte, cioè a bacini di raccolta ed approvvigionamento della materia prima di raggio inferiore a 15-20 km.

Il materiale legnoso è un combustibile rinnovabile a tutti gli effetti, infatti si rigenera attraverso il processo di fotosintesi clorofilliana. Attraverso la clorofilla, ovvero il pigmento di colore verde che ricopre le foglie, la radiazione solare incidente attiva un meccanismo di conversione chimica che coinvolge fondamentalmente la reazione tra l'anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) presente nell'aria e l'acqua assorbita dal terreno attraverso le radici (oppure anch'essa assorbita dall'aria) per formare composti organici che andranno a costituire la struttura della pianta e l'ossigeno liberato nell'aria. Alla fine del ciclo di vita, per decomposizione o, come nel caso in analisi, mediante processi di combustione, la pianta restituisce all'ambiente l'energia e le sostanze che ha immagazzinato.

La fotosintesi, quindi, non è altro che un sofisticato processo naturale di immagazzinamento dell'energia inviata dal Sole sulla Terra, sottoforma di carbonio.

Il vantaggio di utilizzare le potature, in particolare quelle di vite, è che essendo uno scarto derivante dal settore agricolo, non vi è la necessità di occupazione di nuovi terreni per la produzione di legna né si procede ad operazioni di disboscamento o diradamento delle foreste.

Il recupero energetico dei sarmenti di vite avviene già da molti secoli con la combustione in camini o più recentemente in stufe. Attualmente possiamo contare delle solide tecnologie che massimizzano il rendimento e minimizzano il rilascio di sostanze nocive nell'ambiente, soprattutto di monossido di carbonio ( $\text{CO}$ ).

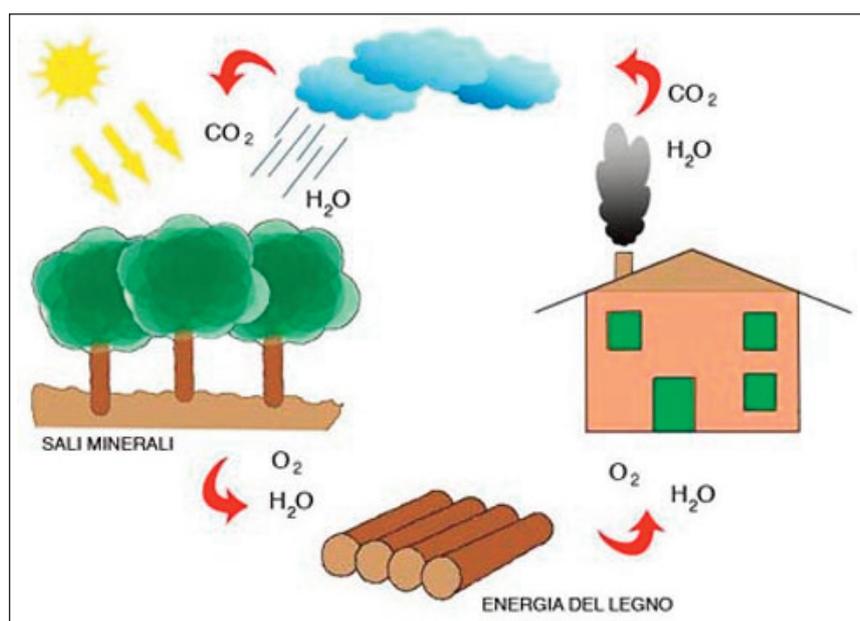


Figura 2.5

## 2.4 CENNI SUL TERRITORIO

Per lo studio di un ipotetico impianto a biomasse si è presa in considerazione l'area di Monteforte d'Alpone, collocata tra le provincie di Verona e Vicenza. Nel comune è preponderante la coltivazione della vite, che si estende su oltre 1600 dei 2000 ettari circa del territorio comunale ed è l'attività economica più importante del luogo. Infatti è il paese a più alta densità viticola d'Italia. Il disciplinare di produzione identifica in Monteforte due zone: quella pianeggiante di circa 800 ettari di vigneto per la produzione di vino Soave e quella collinare, detta storica, di altri 800 ettari circa per l'ottenimento del Soave Classico. La vocazione vitivinicola di Monteforte ha origini antichissime, favorita da un clima mite e temperato, dalla natura vulcanica del terreno e dall'esposizione delle colline che si allungano su quasi tutta la superficie del territorio comunale.



Figura 2.6 - Veduta dell'area di Monteforte d'Alpone

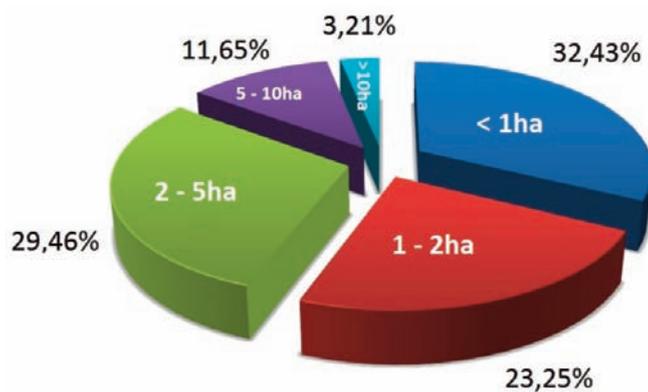
Per quanto riguarda la struttura e la dimensione aziendale media nell'ambito delle imprese che producono uve per il Soave è possibile analizzare i dati che emergono da un campione più che rappresentativo di 2.464 aziende (tab. 2.3).

Dai dati emerge che nel territorio di produzione del vino Soave, e quindi anche a Monteforte, l'85% delle aziende o dei privati possiede meno di 5 ettari di terreno. Pertanto lo studio di qualsiasi attività volta al recupero energetico dei sarmenti di vite dovrà essere svolto in forma consortile o mediante una cooperativa dedicata, la quale dovrebbe occuparsi della raccolta e della trasformazione del legno derivante dai tralci di vite in energia.

Tabella 2.3

Sup. vitate	n° aziende	%
< ettaro	799	32,43%
1 - 2 ettari	573	23,25%
2 - 5 ettari	726	29,46%
5 - 10 ettari	287	11,65%
> 10 ettari	79	3,21%
<b>Totale</b>	<b>2.464</b>	<b>100%</b>

Figura 2.7



Nel territorio comunale opera la *Cantina Sociale di Monteforte S.c.a.*, che conta attualmente ben 600 soci con 1300 ettari di vigneto di cui l' 80% è D.O.C., posti per la maggior parte sulle colline dei comuni di Monteforte d'Alpone, Soave, Montecchia e S.Giovanni Ilarione. In alcuni areali i vigneti si presentano a spalliera, ma nella maggior parte dei casi l'allevamento è a pergola veronese.



---

**3**

**PROVE IN CAMPO**

In letteratura il valore della produzione di sarmenti di vite varia da 1 a 4 t<sub>sf</sub>/ha (tonnellate di sostanza fresca per ettaro). Tale variabilità nella produzione di residui è legata a molteplici fattori, tra cui in particolare la metodologia di allevamento (pergola, spalliera ecc.), il tipo di varietà del vitigno, nonché l'ubicazione del fondo agricolo. Dato l'ampio range si è deciso di effettuare delle prove in campo sia per stimare la produzione di sarmenti derivanti dalla coltivazione della varietà di vite autoctona presente a Monteforte, la Garganega, sia per avere un'idea delle operazioni nella fase di raccolta. Successivamente si sono anche adoperati i dati riguardanti la produttività della macchina e il consumo di carburante per fare alcune considerazioni importanti per lo studio dei costi e dei tempi delle filiere.

Le prove sono state realizzate nei giorni 4-5 Marzo 2013 su tre appezzamenti diversi presenti nella pianura di Monteforte, al fine di aver un valore medio della disponibilità di materia prima. Tutti e tre i fondi sono caratterizzati dalla stessa qualità di vite coltivata (l'autoctona Garganega) e dallo stesso sistema di allevamento a pergola che è tipico della zona di produzione del vino Soave.

### 3.1 MACCHINE UTILIZZATE

La macchina raccoglitrice utilizzata per la raccolta è una trinciacaricatrice MAREV (fig. 3.1). Il modello in esame presenta una luce di raccolta di 150 cm che si adatta molto bene sia nei normali sestri d'impianto a pergola, e sia, per la sua ridotta larghezza, a filari coltivati a spalliera.

La macchina deve essere trainata, mediante l'attacco a tre punti, da un trattore agricolo. La trasmissione di potenza è effettuata mediante giunto cardanico attraverso la presa di forza posteriore e dal collegamento alla pompa idraulica.

I sarmenti di vite sono convogliati verso il centro da un rullo ad elica che minimizza, a differenza di rulli a pettine, la raccolta di terra e sassi, molto dannosi per l'aumento del contenuto di ceneri del prodotto. I tralci sono sminuzzati tramite un sistema brevettato formato da dei coltelli realizzati con un acciaio speciale che garantisce oltre alla spezzatura di pezzi grossi anche la durata e l'efficienza nel tempo del sistema di taglio. La sminuzzatura è grossolana (circa 10 cm) e realizza un taglio netto del tralcio senza sfiarlo, in modo da evitare successivi fenomeni di fermentazione che porterebbero alla perdita e al degrado della maggior parte del materiale raccolto. Questo si ripercuoterebbe in modo negativo sul potere calorifico del prodotto finale, nonchè aumenterebbe in modo sostanziale il contenuto di ceneri. La fermentazione è comunque da evitare in qualsiasi caso, in quanto il materiale si scalderebbe e potrebbero verificarsi dei fenomeni di auto-combustione del trinciato.

Una volta raccolto e spezzettato, il materiale viene inviato al serbatoio attraverso il trascinamento pneumatico di un potente getto d'aria realizzato da un ventilatore.



Figura 3.1 - Macchina raccoglitrice

Il serbatoio di accumulo del trinciato consiste in un cassone di circa 2 m<sup>3</sup> posto nella parte superiore della macchina. Esso ha la possibilità di scaricare il materiale mediante il suo innalzamento (*fig. 3.2*), il successivo ribaltamento e l'apertura della sponda posteriore. L'alzata massima del piano è di 2,4 m. I movimenti sono tutti realizzati da pistoni idraulici comandati da un distributore posto nella parte anteriore del mezzo, facilmente accessibile dal conducente senza scendere dal trattore. Il segnale di serbatoio pieno è dato all'operatore mediante il suono di un cicalino.

La macchina raccogliitrice deve essere trainata da un trattore agricolo avente alcune caratteristiche specifiche. Prima di tutto deve essere una tipologia da vigneto, senza cabina, in modo da poter passare in modo agevole sotto i filari a pergola, solitamente di altezza intorno ai 2 m. Deve altresì possedere una potenza adeguata (almeno 60 cv) per il funzionamento della macchina collegata. Nel caso in esame si è adoperato un modello di trattore isodiametrico Carraro 9400 TRX da 90 cv.

A seconda della filosofia della filiera scelta, si può decidere se scaricare il materiale raccolto in un mucchio a terra vicino all'appezzamento, oppure su un rimorchio.

Nel primo caso si avrà la necessità di passare successivamente con un rimorchio o un camion provvisti di braccio caricatore per prelevare il materiale depositato vicino ad ogni fondo. In questo modo si ha l'esigenza solamente di un operatore in campo durante la raccolta. Nel secondo caso invece, lo scarico del materiale trinciato si effettuerebbe direttamente sul rimorchio, così da impiegare necessariamente anche un trattore ed un operaio in più. Naturalmente questa seconda possibilità parrebbe la più svantaggiosa, ma si ritiene essere la più opportuna nel caso non si voglia acquistare un caricatore oppure non ci sia spazio sufficiente vicino ad ogni appezzamento per scaricare il materiale trinciato.

Nel caso in analisi si è adoperato un trattore supplementare con un rimorchio agricolo ribaltabile collegato ad esso, posto in vicinanza del luogo di raccolta.



*Figura 3.2 - Cassone della macchina raccogliitrice in alzata*

## 3.2 SVOLGIMENTO DELLE PROVE

Il primo giorno (4 Marzo 2013) la raccolta è cominciata di pomeriggio per due ore circa (dalle 16.00 alle 18.00). L'appezzamento, di 1,2 ha, ad una prima analisi visiva presentava una grande quantità di tralci in andana, dati anche dalla giovane età del vigneto.

Nei primi momenti il conduttore del trattore ha dovuto imparare ad utilizzare la macchina raccoglitrice in tutte le sue funzioni, soprattutto per quanto riguarda la regolazione in altezza, cercando di individuare il punto ottimale per eseguire una buona raccolta. L'au-

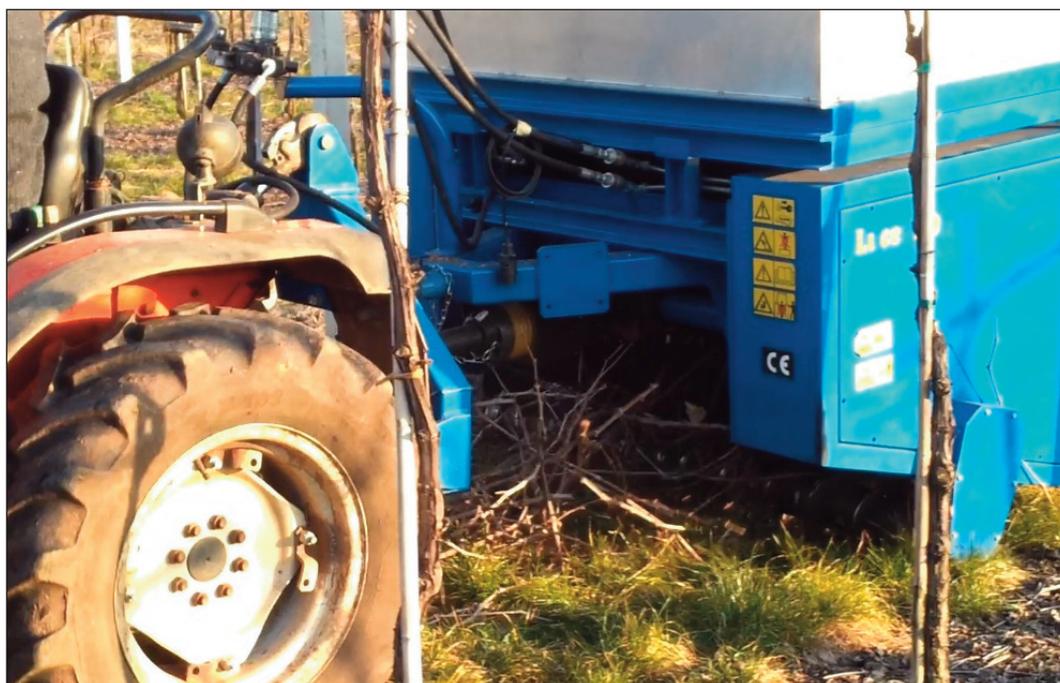


Figura 3.3 - Macchina raccoglitrice al lavoro

tonomia del serbatoio della macchina si è attestata intorno a 200 metri lineari di filare. Il tempo di raccolta in questo caso si è prolungato, oltre che per l'addestramento del conducente, anche per la ridotta lunghezza della prima decina di filari, che ha comportato un aumento di tempi morti dovuti alle continue svolte.

Lo scarico è avvenuto su un tipico rimorchio da uva ribaltabile a due assi, privo di sovrarponde in quanto l'altezza di scarico della raccoglitrice non era sufficientemente alta per consentirne lo svuotamento (fig. 3.4).

Finite le operazioni di raccolta della giornata, si è portato a scaricare il materiale trinciato in uno spazio dedicato nel piazzale della Cantina Sociale di Monteforte, dopo averne determinato la massa. La quantità di cippato di vite è risultato essere di circa 1,5t (15 quintali).

Il giorno seguente sono riprese le operazioni di raccolta nel medesimo appezzamento a partire dalle ore 9.00 del mattino, per evitare di raccogliere un materiale molto bagnato

a causa dell'umidità notturna.

In questa giornata il terzista ha predisposto un ulteriore trattore collegato ad un piccolo rimorchio alzabile e ribaltabile e quest'ultimo è stato posto direttamente in campo in prossimità della zona di scarico da parte di un altro operatore (*fig. 3.5*). In tale rimorchio



*Figura 3.4 - Scarico sul un rimorchio privo di sovrasponde*

si potevano scaricare 3 cassoni della macchina raccoglitrice ed esso, una volta pieno veniva scaricato a sua volta nel rimorchio più grande, stavolta dotato di sovrasponde, posto però un centinaio di metri di distanza dalla zona di raccolta. In questo modo sono stati ri-



*Figura 3.5 - Scarico su piccolo rimorchio ribaltabile*

dotti i tempi morti riguardanti le fasi di scarico. Alle ore 11.00 è stata conclusa la raccolta di sarmenti nel primo appezzamento e si è passati al secondo.

La raccolta nel secondo fondo, di circa 0,5 ha, è stata effettuata dalle 11.35 alle 12.00 e dalle 13.45 alle 14.20 ed è risultata abbastanza scarsa. Tale risultato non è solamante da imputare ad una minor vigoria del vigneto, ma anche a condizioni non ottimali del terreno e dal fatto che i sarmenti erano disposti in maniera disordinata all'interno dei filari.

A mezzogiorno si sono effettuate le operazioni di pesatura e scarico del trinciato nel piazzale della Cantina Sociale. La quantità risultante è stata di 2,12t (21,2 quintali). Nel pomeriggio si è proceduto a trasferire i macchinari nel terzo fondo, dove la raccolta è durata dalle 15.30 alle 17.45 circa, e dove è successo un piccolo inconveniente tecnico alla macchina prontamente riparato. In questo caso l'appezzamento era di 1 ettaro e presentava ad un'analisi visiva una quantità intermedia di sarmenti rispetto ai primi due fondi analizzati. Il terzo rimorchio condotto in Cantina aveva una massa di sarmenti circa uguale al secondo.

Durante il periodo di stoccaggio non avendo a disposizione un telo traspirante, si è provveduto a coprire il cumulo con un classico telone di nylon durante le giornate di pioggia. A questo proposito, anche se il materiale non è stato stoccato in maniera perfetta, la qualità del cippato ha impedito la fermentazione e, grazie alla granulometria ottimale ha reso possibile un passaggio uniforme dell'aria che lo ha essiccato portando il contenuto idrico nell'arco di meno di 4 mesi dal 40-45% al 12% anche se le condizioni metereologiche non sono state delle migliori (il telone ha ricoperto il cumulo per buona parte dei giorni di marzo e aprile). Stoccando il materiale sotto una tettoia ben ventilata si potrebbe raggiungere i valori ottimi per la pellettatura anche in 3 mesi.



*Figura 3.6 - Stoccaggio del materiale nel piazzale della Cantina Sociale di Monteforte*

### 3.3 RISULTATI OTTENUTI

La quantità totale di sarmenti verdi raccolta è stata di circa 5,64t (56,4 quintali), distribuiti su tre appezzamenti coltivati a con varietà Garganega su sestri d'impianto a pergola per un totale di 2,7 ettari.

La produttività totale risulta quindi:

$$produttività = \frac{5,64}{2,7} = 2,1 \text{ t}_{sf}/ha$$

Si può ipotizzare, considerando l'intero territorio, un aumento di tale valore di produttività per i seguenti motivi:

- inesperienza iniziale del conduttore;
- condizioni non ottimali del terreno (sprofondamento della macchina raccogliitrice sul suolo particolarmente delicato di uno degli appezzamenti);
- distribuzione disordinata dei tralci (nel secondo fondo);

Tale aumento comprende anche il fatto che dal mese di giugno a quello di settembre 2012 le precipitazioni molto scarse e le temperature giornaliere al di sopra dei 32° - 33°C hanno ostacolato l'attività vegetativa della vite e quindi la produzione di legno derivante dai sarmenti.

Presupponendo quindi di aumentare il dato della produttività, precedentemente ricavato dalle prove in campo, a causa dei fattori appena citati, di un 30% si può ricavare il nuovo valore:

$$produttività = \frac{7,33}{2,7} = 2,7 \text{ t}_{sf}/ha$$

Esso è da considerarsi più vicino alla realtà rispetto al precedente se venisse realizzata una filiera ed indentificato un anno tipo. Infatti si può indirizzarsi ad un valore del tutto analogo seguendo un'altra procedura illustrata nel seguito.

In *tabella 3.1* sono riportati alcuni dati riguardanti i vigneti posti nella pianura di Monteforte:

*Tabella 3.1*

Anno	Indice Ravaz	kg uva	kg legno
1995	9,23	6,15	0,67
1996	8,08	7,47	0,92
1997	11,21	8,93	0,8
2003	-	-	0,94

L'indice di Ravaz esprime il rapporto tra la massa d'uva e la massa di legno di potatura prodotti annualmente da un ceppo di vite.

Considerando il dato per l'anno 1995 poco significativo, la media degli altri tre anni risulta essere di 0,89 kg<sub>legno</sub>/ceppo. Avendo una media nel territorio considerato di circa 3000 ceppi/ha, la produttività ricavata sarà di:

$$produttività = (kg_{legno}/ceppo) \cdot (n^{\circ} \text{ ceppi/ha}) = 0,89 \cdot 3000 = 2,67 \text{ t}_{sf}/ha$$

valore del tutto analogo a quello calcolato in precedenza.

In totale la raccolta è durata 9 ore, comprendente anche molti tempi morti (istruzione conduttore, spostamento da un appezzamento all'altro, inconvenienti tecnici) con un consumo totale di gasolio di 30 litri (3,3 l/h).

Con i dovuti accorgimenti tecnici riguardanti le attività logistiche e di scarico del materiale, accoppiato ad una maggiore produttività della macchina raccogliitrice, si presume che i tempi di raccolta possano diminuire in maniera abbastanza evidente. Infatti si potrebbe passare dai 0,3 ha/h (facendo il rapporto tra 2,7 ha e le 9 ore) ai 0,6 ha/h, con un notevole aumento della resa di raccolta.

<b>Prima dell'ottimizzazione</b>	→	<b>Dopo l'ottimizzazione</b>
$\frac{2,7}{9} = 0,3 \text{ ha/h}$	→	$0,6 \text{ ha/h} = \frac{2,7}{4,5}$
$\frac{7,3}{9} = 0,8 \text{ t/h}$	→	$1,6 \text{ t/h} = \frac{7,3}{4,5}$

### 3.4 ANALISI DI LABORATORIO

In data 6 Marzo 2013 sono stati prelevati 3 campioni dal mucchio di tralci raccolti e il giorno seguente sono stati portati al “Laboratorio analisi biocombustibili di origine agricola e forestale” del Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali dell’Università di Padova. Ogni campione è stato identificato con un numero ed affiancato al “Certificato di campionamento e Ordine di analisi” (fig. 3.6).

CERTIFICATO DI CAMPIONAMENTO E ORDINE DI ANALISI							
I dati forniti nella presente dichiarazione sono a esclusivo uso interno del Laboratorio Una sua attenta compilazione assicura al Laboratorio le informazioni necessarie per l'esecuzione corretta delle analisi richieste							
Codice campione (a cura del Laboratorio)							
Analisi richieste (riportare i codici presenti nel tariffario)							
Committente							
Indirizzo							
Telefono							
Fax							
e-mail							
Prodotto <sup>1</sup>							
Materiale di origine <sup>2</sup> e specie							
Marca e modello della cippatrice/trituratrice <sup>3</sup> , vaglio utilizzato <sup>4</sup>							
Massa all'origine del campione				Massa del cumulo/fornitura			
Estremi del fornitore <sup>5</sup>							
Tipo di campionamento <sup>6</sup>	Materiale fermo	→	Cassone		Cumulo		Altro
	Materiale in moto	→	Caduta		Nastro		Altro
Campionamento:							
Luogo							
Data							
Ora							
Nominativo e contatti del campionatore							
Firma del committente							
<p><sup>1</sup> cippato, legno tritato, pellet, legna, briquette</p> <p><sup>2</sup> inserire il codice che meglio descrive l'origine del campione come da tabella (UNI EN 14961-1:2010) riportata sul retro</p> <p><sup>3</sup> quando utilizzata</p> <p><sup>4</sup> quando utilizzato (dimensioni dei fori in cm)</p> <p><sup>5</sup> nel caso il committente non sia produttore e si rifornisca da terzi</p> <p><sup>6</sup> evidenziare con una X (UNI EN 14778-1:2006)</p>							

Figura 3.6 - Certificato di campionamento

Nel retro del certificato era posta una tabella che mostrava la classificazione di origine dei biocombustibili solidi, data dalla UNI EN 14961-1:2010 (tab. 3.2). È stata selezionata la voce che descriveva meglio il tipo di biomassa conferita, corrispondente a “Legno da giardini, parchi, alberature, vigneti e frutteti”.

I risultati della analisi effettuale sui tre campioni prelevati sono stati riportati nella tabella 3.2.

Tabella 3.2

Classificazione di origine dei biocombustibili solidi (Parte 1 - Biomasse legnose UNI EN 14961-1:2010)					
1. BIOMASSA LEGNOSA	1.1 FORESTE, PIANTAGIONI E ALTRO LEGNO VERGINE	1.1.1 Pianta intera senza radici	1.1.1.1	Latifoglie	
			1.1.1.2	Conifere	
			1.1.1.3	Ceduo a turno breve	
			1.1.1.4	Cespugli	
			1.1.1.5	Miscugli intenzionali o meno	
		1.1.2 Pianta intera con radici	1.1.2.1	Latifoglie	
			1.1.2.2	Conifere	
			1.1.2.3	Ceduo a turno breve	
			1.1.2.4	Cespugli	
			1.1.2.5	Miscugli intenzionali o meno	
		1.1.3 Fusto	1.1.3.1	Latifoglie	
			1.1.3.2	Conifere	
			1.1.3.3	Miscugli intenzionali o meno	
		1.1.4 Residui di utilizzazione	1.1.4.1	Latifoglie fresche (con foglie)	
			1.1.4.2	Conifere fresche (con aghi)	
			1.1.4.3	Latifoglie pre-essiccate	
			1.1.4.4	Conifere pre-essiccate	
			1.1.4.5	Miscugli intenzionali o meno	
	1.1.5 Ceppaie/Radici	1.1.5.1	Latifoglie		
		1.1.5.2	Conifere		
		1.1.5.3	Ceduo a turno breve		
		1.1.5.4	Cespugli		
		1.1.5.5	Miscugli intenzionali o meno		
	1.1.6 Corteccia (da utilizzazioni forestali)				
	1.1.7 Legno da giardini, parchi, alberature, vigneti e frutteti				
	1.1.8 Miscugli intenzionali o meno				
	1.2 LEGNO PROVENIENTE DA PRODOTTI E RESIDUI DELLE LAVORAZIONI INDUSTRIALI	1.2.1 Residui di legno non trattato chimicamente	1.2.1.1	Latifoglie senza corteccia	
			1.2.1.2	Conifere senza corteccia	
			1.2.1.3	Latifoglie con corteccia	
			1.2.1.4	Conifere con corteccia	
			1.2.1.5	Corteccia da processi industriali	
		1.2.2 Residui di legno trattato chimicamente, fibre e costituenti del legno	1.2.2.1	Senza corteccia	
			1.2.2.2	Con corteccia	
1.2.2.3			Corteccia da processi industriali		
1.2.2.4			Fibre e costituenti del legno		
1.2.3 Miscugli intenzionali o meno					
1.3 LEGNO USATO	1.3.1 Legno non trattato chimicamente	1.3.1.1	Senza corteccia		
		1.3.1.2	Con corteccia		
		1.3.1.3	Corteccia		
	1.3.2 Legno trattato chimicamente	1.3.2.1	Senza corteccia		
		1.3.2.2	Con corteccia		
		1.3.2.3	Corteccia		
	1.3.3 Miscugli intenzionali o meno				
1.4 Miscugli intenzionali o meno					
2. BIOMASSA ERBACEA (da specificare)					
3. BIOMASSA DA RESIDUI DI FRUTTA (da specificare)					

Tabella 3.3

Caratteristiche	Campione 1	Campione 2	Campione 3	Media
Contenuto idrico del campione tal quale (M)	36,7	37,8	40,3	<b>38,3</b>
Contenuto di ceneri sul secco (A)	3,07	3,07	3,18	<b>3,12</b>
Potere calorifico superiore sul secco (MJ/kg)	18,90	18,79	18,85	<b>18,85</b>
Potere calorifico inferiore stimato sul tal quale (MJ/kg)	10,23	9,95	9,49	<b>9,89</b>

Dal valore medio del potere calorifico superiore è possibile calcolare il potere calorifico inferiore della sostanza secca (con la formula  $H_{u,0} = H_{s,0} - 9 \cdot H \cdot r$ ) che risulta di 17,6 MJ (4,9 kWh).

Considerando un contenuto idrico maggiore di quello riportato in tabella, dato che le analisi sono state fatte qualche giorno dopo la raccolta, pari a  $M=45\%$ , il dato finale relativo alla produzione di legna derivante dai sarmenti di vite Garganega risulta:

**produttività = 2,7 t/ha con M = 45%**

che corrisponde ad una produttività di 3 t/ha con un contenuto idrico del 50%.

Sulla base di questo importante risultato derivante dalle sperimentazioni in campo si faranno nel seguito tutte le considerazioni riguardanti le quantità totali per la realizzazione delle filiere proposte.





---

# 4

## **FILIERA PER LA PRODUZIONE DI BIOCOMBUSTIBILI SOLIDI**

## 4.1 PRODUZIONE DI BIOCOMBUSTIBILI SOLIDI

I biocombustibili solidi attualmente più interessanti sia dal punto di vista del potere calorifico sia dall'alta concentrazione energetica per unità di volume, sono il pellet e i bricchetti.

Il pellet di legno nasce nel 1973 in Idaho negli Stati Uniti, quando, a seguito della crisi petrolifera, un ingegnere mise a punto questo nuovo tipo di combustibile legnoso. Ideato inizialmente per l'impiego industriale, ben presto venne immesso sul mercato delle caldaie domestiche che stavano registrando una rapida espansione. Questa tipologia di combustibile legnoso si è affermata anche in Europa ove, in alcuni paesi come l'Austria, la sua diffusione è già molto ampia; si pensi, ad esempio, che a Salisburgo il 30% delle nuove abitazioni sono riscaldate con caldaie a pellet, anche per effetto di sovvenzioni statali che coprono i maggiori costi per l'installazione di centrali termiche a biomasse.

Il pellet è un combustibile ricavato dalla segatura di legno essiccata di varia natura come scarti di segherie, manutenzione dei boschi, coltivazioni dedicate, nonché scarti di potatura e successivamente compressa in forma di piccoli cilindri con un diametro di alcuni millimetri, tipicamente 6-8 mm. La capacità legante della lignina, contenuta nella materia prima e rilasciata durante la fase di compressione, permette di ottenere un prodotto compatto senza aggiungere additivi e sostanze chimiche estranee al legno. Si ottiene, quindi, un combustibile naturale ad alta resa. L'umidità del materiale deve essere compresa in uno stretto intervallo (contenuto idrico minore del 15%) per garantirne una corretta pressatura.

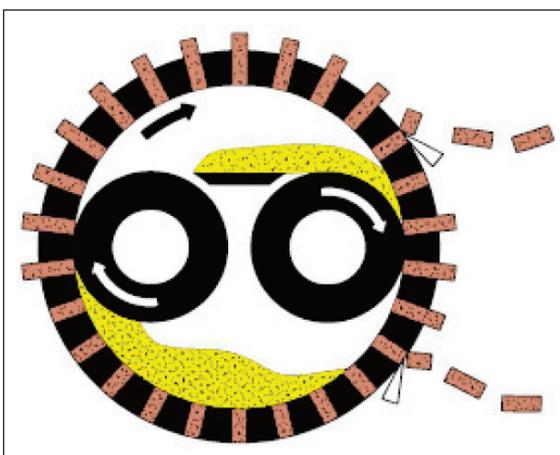


Figura 4.1 - Principio di pellettatura



Figura 4.2 - Trafila di una pellettatrice

La combustione del pellet di legno produce biossido di carbonio (anidride carbonica) e inquinanti tipici della combustione delle biomasse solide. Residuo tipico sono gli incombusti, ed in particolare le ceneri, la cui quantità è strettamente dipendente dalla tipologia di biomassa (circa 3% per il legno, 9-15% per la paglia).

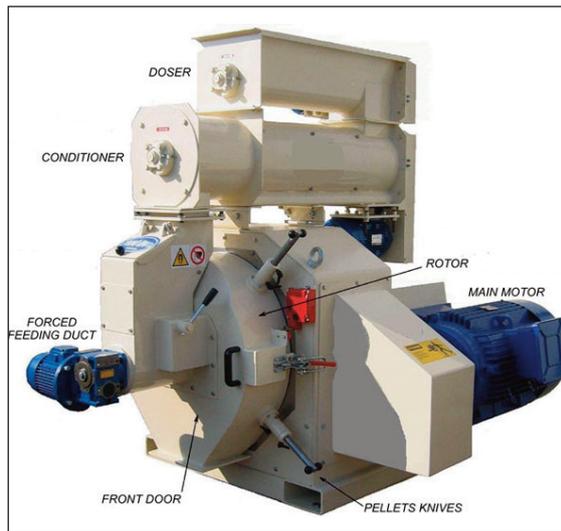


Figura 4.3 - Particolare di una pellettatrice    Figura 4.4 - Pellettatrice completa

Grazie alla pressatura il potere calorifico del pellet, è più elevato rispetto alla normale legna da ardere, anche per il minore tenore di umidità presente.

Il pellet di legno è utilizzato come combustibile per stufe e caldaie di ultima generazione che si stanno diffondendo sempre di più in Italia negli ultimi anni in sostituzione delle tradizionali caldaie a metano e gasolio. Il grande interesse che sta suscitando il pellet risiede nel fatto che esso permette un elevato tasso di automazione degli apparecchi e/o impianti e ne avvicina le modalità di impiego a quelli alimentati da olio combustibile e persino a quelli a gas naturale. Questa importante proprietà del pellet è dovuta alla particolare forma, dimensione e omogeneità dei suoi minuscoli elementi, i quali possono venir convogliati facilmente alla camera di combustione per mezzo di semplici congegni meccanici (coclee), con tutti i conseguenti vantaggi in fatto di regolazione automatica, dosatura e alimentazione continua. Tale combustibile deve rispettare delle standardizzazioni per essere immesso sul mercato e per essere utilizzato da apparecchi di qualsiasi marca.

Solitamente i cilindretti di pellet per caldaie domestiche presentano queste caratteristiche che li contraddistinguono (a seconda della normativa di riferimento alcuni valori possono essere leggermente diversi):

- diametro di 6-8 mm
- lunghezza compresa tra  $5 < L < 30$  mm
- contenuto idrico  $< 10\%$
- densità  $650 \text{ kg/m}^3$
- potere calorifico  $> 4,6 \text{ kWh/kg}$

Il valore energetico di 2 kg di pellet corrisponde a quello di 1 litro di olio combustibile. La figura 4.5 mostra l'equivalenza energetica in termini di volumi di stoccaggio rispetto

alla legna o al cippato.

Tale equivalenza è significativa per capire gli alti volumi di stoccaggio che richiedono il cippato e la legna da ardere per l'accumulo stagionale. Data l'alta densità energetica del pellet esso può essere utilizzato anche da chi non ha a disposizione grandi luoghi per il suo immagazzinamento.



Figura 4.5

Per poter definire le concrete possibilità di utilizzo del pellet derivante dalle potature di vite è necessario conoscere le caratteristiche chimico-fisiche del biocombustibile. Nella *tabella 4.1* sono state confrontate le caratteristiche del pellet di vite con quelle indicate dalla nuova normativa europea UNI EN 14961-2, che divide il pellet in tre classi di qualità:

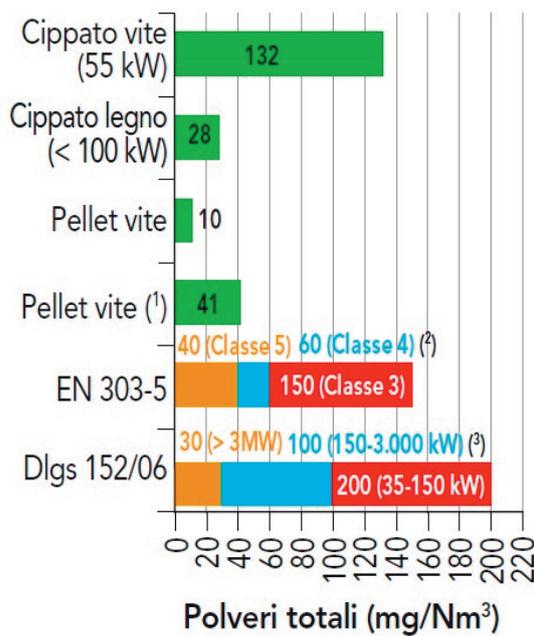
Tabella 4.1

Parametro	Pellet di vite	Classi di qualità previste dalla EN 14961-2		
		A1	A2	B
Contenuto idrico (M) (% t.q.)	8.39	≤ 10		
Ceneri (A) (% s.s.)	2.8	≤ 0.7	≤ 1.5	≤ 3.0
Durabilità meccanica (DU) (%)	98	≥ 97.5		≥ 96.5
Particelle fini (<3,15 mm) (%)	-	≤ 1		
Potere Calorifico inferiore (Q) (MJ/kg t.q.)	16.5	16.5 ≤ Q ≤ 19	16.3 ≤ Q ≤ 19	16.0 ≤ Q ≤ 19
Densità apparente (BD) (kg/m³)	627	≥ 600		
Azoto (N) (% s.s.)	0.39	≤ 0.3	≤ 0.5	≤ 1.0
Zolfo (S) (% s.s.)	0.02	≤ 0.03		≤ 0.04
Cloro (Cl) (% s.s.)	0.02	≤ 0.02		≤ 0.03
Arsenico (As) (% s.s.)	0.09	≤ 1		
Cadmio (Cd) (% s.s.)	< 1	≤ 0.5		
Cromo (Cr) (% s.s.)	1.7	≤ 10		
Rame (Cu) (mg/kg)	18	≤ 10		
Piombo (Pb) (mg/kg)	1.8	≤ 10		
Mercurio (Hg) (mg/kg)	< 0.01	≤ 0.1		
Nickel (Ni) (mg/kg)	-	≤ 10		
Zinco (Zn) (mg/kg)	24.7	≤ 100		
Punto di fusione delle ceneri (DT) (°C)	> 1450	≥ 1200	≥ 1100	

Fonte: Supplemento a L'Informatore Agrario 5/2012

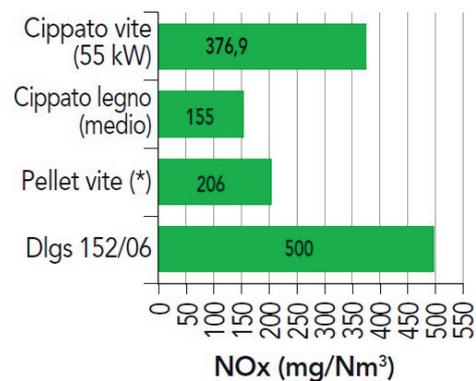
A1, A2 e B. Mentre la classe A1 è destinata esclusivamente al pellet di alta qualità bruciabile nelle stufe domestiche, la classe A2 e soprattutto la B sono rivolte al pellet con qualità più bassa destinato all'uso in caldaie. Sulla base dei dati attualmente disponibili si vede che i valori di ceneri e azoto per il pellet di vite sono superiori a quelli delle classi A1 e A2, ma rientrano in quelli della classe B. L'unico parametro che non rientra in quelli fissati dalla norma è il contenuto di rame (Cu) il quale deriva principalmente dai trattamenti fitosanitari a cui è sottoposta la vite.

Dallo studio coordinato dalla Fondazione Mach condotto dal Cnr Ivalsa e la Fondazione Bruno Kessler e dal progetto Vitis Energetica condotto da Aiel, emerge che le emissioni derivanti dalla combustione di pellet di vite in moderne caldaie di piccola potenza, rientra nei limiti imposti dalla normativa nazionale (dlgs 152/06) per l'emissione di polveri totali (fig. 4.6), ossidi di azoto (fig. 4.7) e di metalli pesanti (fig. 4.8). Quindi tale combustibile di origine naturale può essere liberamente bruciato senza il rischio di rilascio in atmosfera di agenti pericolosi per la salute dell'uomo.



(¹) Analisi condotta nel progetto Vitis Energetica Aiel. (²) Classi di qualità. (³) Limiti in base alla potenza termica dell'apparecchio.

Figura 4.6



(\*) Analisi condotta nel progetto Vitis Energetica Aiel.

Figura 4.7

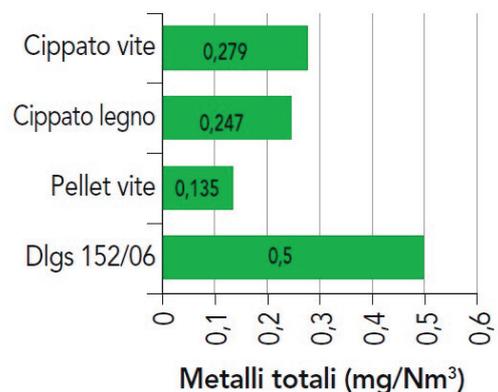


Figura 4.8

Le moderne caldaie a pellet coniugano contemporaneamente il vantaggio di utilizzare un combustibile rinnovabile a basso costo con la praticità e l'autonomia di una caldaia a metano.



Figura 4.9 - Pellet di vite



Figura 4.10 - Bricchetti cilindrici

Per chi è in possesso di caldaie, stufe o caminetti a legna può alimentare i propri dispositivi con i bricchetti (o tronchetti), che consistono in segatura compressa avente varie forme, solitamente cilindriche (fig. 4.10). I bricchetti, come il pellet, possono essere realizzati mediante segatura di diversa tipologia, compresa quella derivante dalle potature di vite. La macchina che li produce comprime la materia prima tramite un pistone o una vite senza fine (fig. 4.11).

Il vantaggio di bruciare questo tipo di combustibile densificato rispetto alla legna sta nella maggior durata all'interno della camera di combustione e dal minore ingombro rispetto alla legna. Anche i tronchetti infatti hanno un'alta densità energetica.

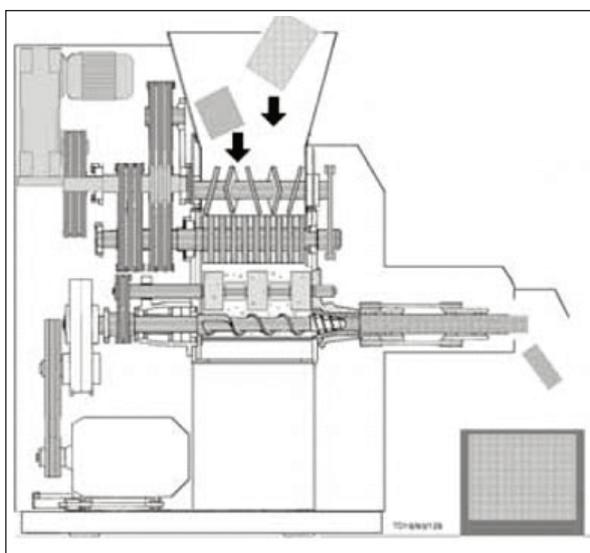


Figura 4.11 - Bricchettatrice, sezione



Figura 4.12 - Bricchettatrice

Considerazioni del tutto analoghe si possono fare per quanto riguarda le emissioni, dato che si sta considerando che i bricchetti siano realizzati sempre mediante sarmenti di vite.

## 4.2 ANALISI DELLA FILIERA

Per valutare la reale fattibilità economica, energetica ed ambientale di una filiera per la produzione di biocombustibili occorre analizzare con attenzione tutte le fasi del processo per individuare i macchinari e le metodologie adeguate per la raccolta e la trasformazione dei sarmenti di vite, adatte per il territorio ove si prevede di inserire un impianto di questo tipo.

L'analisi economica è affiancata anche ad un'analisi di tipo energetico, per valutare l'incidenza del consumo energetico primario per la raccolta e la trasformazione delle potature di vite rispetto all'energia posseduta dal prodotto finale. Infine un'analisi di impatto ambientale valuta le emissioni derivanti dalla combustione di pellet di vite (limitatamente legate alle operazioni di raccolta e trasformazione) rispetto al gas naturale.

### 4.2.1 Metodologie di raccolta

Lo studio della filiera parte con l'analisi della raccolta del materiale, che avviene durante il periodo invernale (indicativamente tra novembre e marzo) per mezzo di macchine trinciacaricatrici o imballatrici leggere.

Le trinciacaricatrici (*fig. 4.13*) sono macchine che procedono contemporaneamente alla raccolta ed alla sminuzzatura del materiale, evitandone la successiva cippatura. Solitamente sono collegate all'attacco a tre punti di un trattore da almeno 60 cv e dotate di ruote proprie necessarie ad evitare l'impennamento della motrice dovuta al peso della macchina a pieno carico. Esse presentano un pick-up di raccolta del materiale, il quale viene convogliato verso un rotore a martelli o a coltelli che provvede allo sminuzzamento dei tralci evitando il sollevamento di terra e sassi. Il trinciato viene poi convogliato nel serbatoio di raccolta applicato sopra o dietro la macchina generalmente con un volume di 1,5-2 m<sup>3</sup> alzabile e ribaltabile all'interno di rimorchi agricoli oppure all'interno di big-bag che vengono lasciate lungo i filari e recuperate successivamente.

Sul mercato si possono trovare anche trinciacaricatrici trainate di grosse dimensioni con un cassone molto più capiente delle precedenti (5-8 m<sup>3</sup>). Quest'ultime sono utilizzate per di più per la raccolta di potature di uliveti, in quanto sono piuttosto ingombranti da manovrare all'interno dei filari di vite (*fig. 4.14*).



Figura 4.13 - Trinciacaricatrici



Figura 4.14 - Trinciacaricatrice con ampio cassone

Inoltre esistono anche delle tipologie di macchine raccogliatrici prive di cassone per la raccolta. In questo caso il materiale trinciato viene convogliato verso un rimorchio che può essere posto nel filare adiacente e quindi trainato da un'altro trattore oppure collegato direttamente nella parte posteriore della macchina (fig. 4.15). Tale apparecchiatura può operare esclusivamente in sesti d'impianto a spalliera, nel caso di coltivazioni di vite, oppure essere utilizzata per la raccolta di potature di olivo.



Figura 4.15

La scelta della macchina più opportuna per le proprie esigenze va fatta seguendo prevalentemente due fattori:

- l'utilizzo finale del materiale
- dimensione dei sestri d'impianto.

Se l'utilizzo del materiale è, come nel caso in esame, volto alla produzione di biocombustibili, sono da prediligere le macchine che raccolgono il materiale privo di terra e che non vadano a sfibrare il legno raccolto, onde evitare processi di fermentazione.

L'altra tipologia di macchina che può prestarsi alla raccolta dei sarmenti di vite è l'imballatrice. Sul mercato se ne possono trovare sia di leggere che di pesanti. Le imballatrici leggere (*fig. 4.16*) sono state studiate e progettate appositamente per la raccolta di potature di vite. Durante tale operazione i sarmenti vengono prelevati da terra e riempiono progressivamente la camera di compressione a rulli. Le balle formate sono a "cuore tenero" cioè in grado di garantire un uniforme passaggio dell'aria. Quando la camera di compressione è riempita un segnale acustico avvisa il trattorista di arrestare il mezzo per consentire l'operazione di imballatura, rilegatura e rilascio della balle. Essa viene legata tramite rete in pvc oppure con spago sisal (realizzato in fibra naturale biodegradabile). La grandezza delle balle di sarmenti è di modeste dimensioni, generalmente di 40 cm di



Figura 4.16 - Imballatrici leggere

diametro e 60-100 cm di larghezza, con un peso variabile da 20 a 50 kg a seconda del modello (fig. 4.17). La raccolta delle balle lasciate inizialmente lungo i filari può avvenire in un momento successivo mediante caricamento manuale su un rimorchio, con il semplice ausilio di un operatore date le ridotte dimensioni e il peso abbastanza contenuto.



Figura 4.17

Il costo di questa tipologia di imballatrice varia, a seconda dei modelli e dei marchi, da circa 12.000 a 18.000 €.

Le imballatrici di medie o grosse dimensioni (fig. 4.18) possono operare solamente in sesti d'impianto a spalliera (quindi con nessun ingombro in altezza) e con filari sufficientemente larghi (>2,5m); sono indicate qualora si abbiano grandi appezzamenti coltivati a vite (con una grandezza media >5-10 ettari). La potenza richiesta è maggiore di 40kW e le balle prodotte hanno un diametro variabile in base al modello da 120-160cm, larghezza di 100-120cm e massa di 300-400kg (fig. 4.19). Per la rimozione e il caricamento delle balle è necessario l'ausilio di un trattore dotato di caricatore frontale o muletto a forche. Il loro prezzo risulta essere abbastanza elevato rispetto alle precedenti, intorno ai 35.000 €.

Nel caso in esame sono da escludere a priori per la zona di Monteforte dove i sesti d'impianto e le forme di allevamento della vite non consentirebbero lo scaricamento delle balle in quanto il portellone in apertura risulterebbe essere troppo alto.



Figura 4.18 - Imballatrice pesante



Figura 4.19

## 4.2.2 Stoccaggio del materiale per l'essiccazione

Successivamente alla raccolta il materiale necessita di un periodo di essiccazione (generalmente da 3-4 mesi) sotto una tettoia ventilata oppure in cumuli coperti da teli di materiale traspirante ma impermeabile. Questa fase permette di risparmiare i notevoli costi di essiccazione che normalmente devono sopperire i tradizionali impianti che producono pellet. Infatti tali impianti lavorano tutto l'arco dell'anno e mediante la combustione di combustibili fossili come gas naturale o della stessa biomassa realizzano l'essiccazione, con alti costi operativi.



*Figura 4.20 - Stoccaggio di piccole balle di sarmenti*



*Figura 4.21 - Stoccaggio di trinciato di sarmenti*

Con questa metodologia il contenuto idrico ( $M$ ), definito come:

$$M = \frac{m_{acqua}}{m_{tal\ quale}}$$

cioè il rapporto tra la massa di acqua e la massa di sostanza fresca, scende dal 45-50% circa del momento della raccolta, fino a valori nell'ordine di 10-15%, in modo del tutto naturale.

Tale processo di essiccazione è essenziale per la pellettizzazione o bricchettatura del trinciato di vite (e in genere di qualsiasi altra sostanza legnosa), infatti un contenuto idrico superiore al 15% impedirebbe la formazione e l'assemblamento dei cilindretti.

L'essiccazione avviene subito dopo la raccolta dove il materiale trinciato viene disposto in cumuli, mentre, nel caso di rotoballe, vengono disposte in cataste.

Nel caso di cumuli di trinciato è bene precisare che il processo necessita di almeno una mescolatura del materiale per evitare che la parte sottostante rimanga con un'umidità più elevata rispetto alla zona più periferica. Bisogna inoltre evitare che il suolo dove sono posti i sarmenti possa essere oggetto di ristagni d'acqua ma sia drenante, nel caso in cui non sia sotto una tettoia.

Una volta terminato il periodo di stagionatura del materiale è preferibile cominciare fin da subito la sua trasformazione in pellet o bricchetti, questo per migliorarne la stabilizzazione chimica ed evitare che riacquisti umidità precedentemente persa. Una volta convertito in biocombustibile, il materiale lo si può stoccare direttamente all'interno di capannoni ed utilizzarlo nell'arco di qualche anno.

### 4.2.3 Trasformazione finale

Il processo di pellettatura del materiale legnoso attraverso un impianto di tipo industriale, avviene mediante una serie di procedure di lavorazione.

Dopo l'essiccazione il materiale viene cippato, qualora fosse stato raccolto in rotoballe, con l'ausilio di una cippatrice. Quest'ultima deve essere provvista di una bocca di alimentazione abbastanza larga per poter accogliere la balla di sarmenti. Generalmente per diametri della balla di 30-40 cm sono sufficienti cippatrici di media potenza, mentre le rotoballe con diametri >1 m necessitano di cippatrici di grosse dimensioni:

#### Media potenza

prezzo: 15.000-75.000 €  
 diametro lavorabile: 30 cm  
 consumo orario: 10-14 l  
 produttività: 4-7 t/h



Figura 4.22 - Cippatrice media potenza

#### Elevata potenza

prezzo: 31.000-250.000€  
 diametro lavorabile: >30 cm  
 produttività: 13-20 t/h  
 consumo orario: 34-38 l  
 costo orario: 150-190 €



Figura 4.23 - Cippatrice elevata potenza

Considerando uno studio di filiera per la zona di Monteforte, si era inizialmente esclusa la raccolta in rotoballe di grandi dimensioni, quindi ora si esclude anche la necessità di adoperare una cippatrice relativamente grande. Ci si orienta quindi verso quella di medie dimensioni che può essere dotata di un motore proprio oppure collegata a trattori agricoli mediante albero cardanico. Entrambe le macchine hanno il compito di tritare grossolanamente il materiale per renderlo manovrabile tramite coclee o nastri trasportatori. Naturalmente questo passaggio è rivolto solamente se la raccolta effettuata viene effettuata mediante rotoimballatrici.



Figura 4.24 - Raffinatore



Figura 4.25 - Materiale raffinato

La fase successiva consiste nella raffinazione, cioè un'ulteriore macinazione dove il materiale viene portato tutto alla granulometria di circa 6-7 mm così da avere omogeneità e uniformità di prodotto. Tale processo avviene con un raffinatore a martelli o coltelli (chiamato anche mulino) collegato ad un motore elettrico di elevata potenza. A seconda della qualità e della granulometria del cippato di partenza è possibile che ci siano due raffinazioni in serie. Tra le due raffinazioni di norma il materiale viene passato attraverso una piastra magnetica che ha la funzione di intercettare eventuali tracce di metalli. Questa è necessaria per ottenere poi un prodotto finale con il minore contenuto possibile di metalli ferrosi, i quali potrebbero creare dei problemi nei sistemi di combustione con l'aumento delle ceneri.

Il materiale raffinato attraversa poi un ciclone decantatore che ha la funzione di separare le parti più fini della segatura. Successivamente i trucioli di legno vengono avviati verso la produzione del pellet che avviene tramite una cubettatrice mediante la compressione del materiale fine attraverso la pressione esercitata da appositi rulli contro una trafilata forata (con fori da 6 o 8 mm). Il pellet in uscita viene tagliato alla lunghezza desiderata ed avviato verso il sistema di depolverazione tramite dei ventilatori. La realizzazione di bricchetti, invece, avviene con una bricchettatrice che, mediante un pistone o una vite senza fine comprime il materiale formando questi tronchetti che possono avere varie forme. Quest'ultimi non necessitano di essere depolverati e possono essere confezionati subito dopo l'uscita dalla pressa.

Le polveri captate dai ventilatori vengono solitamente reimmesse nel ciclo di produzione.

Sia la pellettatrice che la bricchettatrice sono movimentate da un motore primario di grossa potenza: insieme al raffinatore sono le macchine più energivore di un impianto a pellet per quanto riguarda l'assorbimento di energia elettrica.

L'ultima fase consiste nel confezionamento del prodotto finito in appositi sacchi di polietilene da 15 o 25 kg impilati in pallet formando una massa di circa 1 tonnellata (fig. 4.26). Tale sistema di insacco può essere gestito manualmente da un operatore o in modo



Figura 4.26 - Pellet in sacchetti da 15 kg



Figura 4.27 - Big bags

automatico.

Un'alternativa di confezionamento che attualmente sta suscitando molto interesse consiste nell'utilizzo di big-bag, cioè dei grossi sacconi che possono contenere, a seconda delle dimensioni, da 800 a 1200 kg di pellet, simili a quelli che normalmente si utilizzano per i concimi (fig. 4.27). Per il pellet di vite sarebbe opportuno utilizzare il sistema delle big-bag, così da ridurre i costi nella fase di insaccamento, oltre a ridurre anche il consumo di plastica dato che in questo modo i sacconi possono essere riutilizzati più volte. I bricchetti possono essere commercializzati in scatole di cartone da 20 kg oppure essere posti direttamente su un pallet e ricoperti da un film plastico (fig. 4.28).



Figura 4.28 - Pallet di bricchetti

Un processo di produzione di questo tipo necessita di alte potenze elettriche installate. Per esempio per un impianto completo con una produzione di 500kg/h vengono impiegate potenze anche superiori ai 100 kW. In figura 4.29 è rappresentata la schematizzazione di una piccola linea di pellettatura a partire da un materiale già cippato e macinato contenuto in un silos. Tale impianto è caratterizzato dalla pellettatura di un materiale già precedentemente essiccato e il confezionamento del pellet avviene manualmente in sacchetti da 15 kg tramite l'ausilio di un operatore.

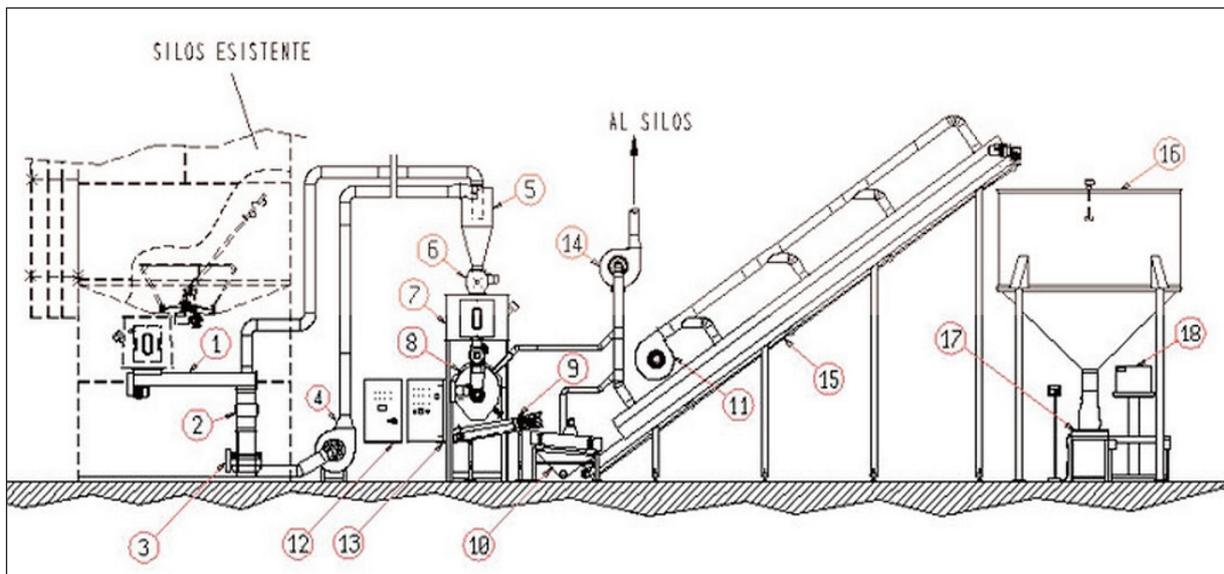


Figura 4.29 - Layout di un impianto di pellettatura

- 1 - Coclea
- 2 - Magnete separatore
- 3 - Raffinatore
- 4 - Ventilatore di trasferimento
- 5 - Ciclone decantatore
- 6 - Valvola stellare
- 7 - Dosatore
- 8 - Pressa cubettatrice
- 9 - Nastro trasportatore
- 10 - Vaglio vibrante
- 11 - Ventilatore per estrazione polveri
- 12 - Quadro elettrico impianto
- 13 - Quadro elettrico pressa cubettatrice
- 14 - Ventilatore per raffreddamento pellet
- 15 - Nastro trasportatore
- 16 - Contenitore pellet con livello di troppo pieno
- 17 - Bilancia elettrica
- 18 - Termosaldatrice

Un modello di impianto come quello appena descritto rappresenta una soluzione di tipo industriale, con il beneficio di avere un'alta autonomia nelle varie fasi di lavorazione ma dei costi di installazione abbastanza elevati. Una soluzione che può essere valutata quando si ha una media quantità di biomassa da trattare (1000-2000 t), in quanto avente costi minori, è quella di adoperare dei raffinatori e delle pellettatrici a cardano, alimentate quindi con l'ausilio di uno o più trattori agricoli (investimento che deve essere necessariamente fatto per la fase di raccolta). Queste soluzioni sono più economiche non solo per l'investimento iniziale, ma anche nelle condizioni operative dato che tali macchine

se alimentate da motori elettrici, necessitano di alte potenze installate che fanno alzare i costi della bolletta energetica. Mentre impiegando per esempio due trattori da 50 kW si riesce a realizzare una macinazione e una pellettatura anche superiore ai 500 kg/h. Di contro però esse richiedono la presenza continua di almeno un paio di operatori durante le fasi di cubettatura e hanno un'affidabilità complessiva minore rispetto ad un impianto completo alimentato dalla rete (se si guasta un trattore si deve fermare la produzione).



*Figura 4.30 - Raffinatore mobile alimentato dalla presa di forza di un trattore agricolo attraverso un cardano.*



*Figura 4.31 - Pellettatrice mobile alimentata dalla presa di forza di un trattore agricolo attraverso un cardano.*

### 4.3 MERCATO E PREZZI DEL PELLET DI VITE

Attualmente esistono pochissime realtà che producono pellet derivanti da legni diversi da faggio e abete. Per vendere questa tipologia di pellet, quindi, bisogna crearsi un mercato puntando sulla pubblicizzazione dei vantaggi relativi all'utilizzo di tale prodotto.

Come già sottolineato, il pellet in questione è meno pregiato di quello normalmente presente sul mercato, in quanto possiede un contenuto di ceneri leggermente superiore alla norma, corrispondente a circa 3% rispetto all'1% del pellet tradizionale. Questo parametro è l'unico limitante per utilizzare il pellet di vite in quanto è necessario disporre di una tipologia di caldaia atta a bruciare un combustibile con questo quantitativo di cenere (*cf. cap. 4.4*). Solitamente le caldaie al di sopra di 50 kW sono tutte dotate di questo tipo di tecnologie che consentono la perfetta combustione di materiali con alto contenuto di ceneri (anche pellet fino all'8-10%). Mentre al di sotto di 50 kW apparecchi che gestiscono materiali con ceneri alte sono un comparto di nicchia per le aziende italiane, mentre è ampio il mercato delle aziende tedesche ed austriache.

Il prezzo del pellet di vite è stato ipotizzato di 200 €/t (3,00 € per un sacchetto da 15kg, iva esclusa) che risulta molto competitivo rispetto al prezzo che mediamente si trova presso i rivenditori locali, variabile durante l'anno dai circa 230 €/t nella stagione estiva ai 300 €/t durante i picchi invernali. Un risparmio medio quindi di 50-60 €/t. In *tabella 4.2* sono elencati i prezzi (IVA e trasporto esclusi) per diverse tipologie di forniture di pellet nel mese di Gennaio 2013 (*fonte AIEL*).

Tabella 4.2

	€/t	€/MWh	Range (€/MWh)
Sacchi 15 kg (ingrosso)	238	50	44-55
Sacchi 15 kg	272	57	54-58
Autobotte	248	52	46-60

Le tariffe applicate per le spese di trasporto del pellet sono (*fonte AIEL*):

- pellet in sacchi: 20 €/t per consegne entro 30 km;
- pellet in autobotte: 5 €/t per consegne entro 80 km.

I clienti a cui è rivolto principalmente questo tipo di combustibile rinnovabile possono essere molteplici:

- scuole;
- piccole e medie aziende;
- edifici pubblici in generale;
- condomini e grandi edifici residenziali;
- abitazioni autonome;
- serre e vivai;
- qualsiasi luogo che necessita di calore per riscaldamento o processo.

L'ideale sarebbe disporre di un numero abbastanza limitato di grossi clienti, in modo

da poter fornire il pellet di vite in sacconi da 1-1,2 t (big-bags) oppure sfuso tramite rimorchio agricolo a cassone da 6-8 t o camion.

Per quanto riguarda invece i tronchetti di vite, essi possono venire utilizzati in tutti gli apparecchi alimentati a legna, sia di piccola che di grande potenza. Il vantaggio risiede principalmente nel minor spazio di stoccaggio richiesto dai bricchetti rispetto alla legna, nonché dalla comodità di alimentazione della caldaia o della stufa un numero minore di volte durante il giorno. Questo è dovuto al fatto che tale combustibile presenta un potere calorifico maggiore rispetto alla legna, legato principalmente al minore contenuto idrico. Inoltre non rilasciano schegge o frammenti di corteccia, garantendo una miglior pulizia nel luogo di stoccaggio.

Il prezzo di vendita dei tronchetti di vite si può ipotizzare di 200 €/t (come il pellet di vite) anch'esso concorrenziale con i prezzi attualmente sul mercato di bricchetti di legno tradizionali. Anche in questo caso i possibili clienti sono molteplici, dal piccolo appartamento dotato di stufa alla grande abitazione dotata di caldaia.

## 4.4 TIPOLOGIE DI CALDAIE PER LA COMBUSTIONE DI AGRIPellet

Il ricorso alla pellettizzazione del cippato di vite, oltre a portare dei vantaggi legati al minor spazio di stoccaggio, è utile per limitare o azzerare alcune emissioni di agenti inquinanti in atmosfera. Come già discusso in precedenza (*cf. cap. 4.1*), la combustione del pellet di vite, se avviene in apposite caldaie, determina emissioni che rientrano nei limiti di legge. La combustione di un combustibile omogeneo infatti risulta essere migliore e presenta meno problematiche tecniche. La *tabella 4.3* mostra i dati ricavati all'interno del Progetto BIOTEC i quali evidenziano le emissioni in alcune prove di combustione di una caldaia da 50 kW alimentata da diverse tipologie di combustibili (cippato di legno, cippato di sarmenti, pellet di legno, pellet di sarmenti). Essi sono stati confrontati con la normativa italiana (D.Lgs. 152/2006) ed europea (EN 303-5). Tale caldaia è stata dotata di un elettrofiltro per la riduzione delle polveri. Le prove dimostrano che la combustione di pellet di vite, rispetto al cippato di vite, limita le emissioni di tutti i parametri considerati, anche senza l'ausilio dell'elettrofiltro.

*Tabella 4.3*

*Note: Test condotti nel corso del progetto Biotec - Gianni Picchi (CNR-IVALSA), Andrea Cristoforetti e Silvia Silvestri (Fondazione Edmund Mach), Giuseppe Toscano (CTI)*

[mg/Nm <sup>3</sup> ]	cippato di legno		cippato di sarmenti di vite		pellet di legno	pellet di sarmenti di vite	Limiti normativa italiana	Limiti normativa europea
	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF		
<b>Elettrofiltro</b>	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF		
<b>Polveri</b>	37,6	9,6	131,8	96	8,9	10,4	200	150
<b>Carbonio Organico Totale (COT)</b>	2,1	1,5	6,1	2,1	1,1	1	30	-
<b>CO</b>	484,5	394,8	>1000	>1000	200	208,7	350	2.500
<b>NO<sub>2</sub></b>	213,4	294,2	376,9	443,2	86,3	77,7	500	-
<b>SO<sub>2</sub></b>	8,1	13,9	41	24,7	5	2,1	200	-

Le caratteristiche dell'agripellet sono tali da non poter essere bruciato in semplici stufe o caldaie a pellet tradizionali. Esse infatti sono idonee alla combustione di un pellet con un contenuto di ceneri solitamente minore dell'1%, mentre il pellet di vite presenta mediamente un contenuto di ceneri compreso tra il 2,5% e il 3% della sostanza secca. Tale valore è da imputare prevalentemente alla maggior presenza di corteccia nel materiale di partenza. Dalle analisi condotte negli ultimi anni nell'ambito di alcuni progetti di ricerca emerge che il pellet di vite è idoneo ad essere utilizzato solamente in moderne caldaie, fornite di specifiche dotazioni:

- iniezione di aria primaria, secondaria e coclea di carico del combustibile regolati da

sonda Lambda, la quale permette di regolare in automatico i parametri di combustione analizzando i fumi in uscita;

- braciere autopulente dotato di estrazione automatica delle ceneri e delle eventuali scorie prodotte dalla fusione delle ceneri;
- dispositivo per la pulizia automatica dello scambiatore di calore fumi/acqua;
- estrattore della cenere e cassetto di raccolta di dimensioni adeguate.

Nell'ambito del progetto "Vitis Energetica" condotto nel 2006 in provincia di Gorizia, si sono effettuate delle prove di combustione in due diverse caldaie. La prima era una normale caldaia a pellet da 25 kW a griglia fissa, mentre la seconda una caldaia da 15 kW con mini griglia mobile orizzontale caratterizzata inoltre da sonda Lambda e agitatore meccanico per l'eliminazione degli incombusti e scorie di fusione. Mentre la caldaia a griglia fissa ha avuto dei problemi con il sistema di pulitura della griglia per l'accumulo di depositi, combustione incompleta e formazione di scorie di fusione, la caldaia a griglia mobile ha funzionato senza problemi per l'intero periodo di prova (49 ore) con una combustione più continua ed ottimale.

Una corretta combustione oltre a portare un miglior utilizzo del combustibile, porta anche a delle minori emissioni di inquinanti in atmosfera. La *tabella 4.4* mostra il confronto tra i due test precedenti con la normativa europea (EN 303-5) ed italiana (D.Lgs. 152/2006) in materia di emissioni.

Dai test emerge come il pellet di vite possa essere tranquillamente bruciato in apposite caldaie dà origine ad emissioni che rispettano i limiti di legge fissati dalle normative di settore.

#### Tabella 4.4

Note: Test condotti dall'Austrian Bioenergy Centre (GbmH)

Fonte: Francescato Valter, Antonini Eliseo, Paniz Annalisa, Grigolato Stefano (2007). Vitis Energetica.

Emissioni rilevate [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Pellet di vite		Normativa italiana (D.Lgs. 152/2006)		Normativa europea (EN 303-5)	
	Test caldaia 25kW griglia fissa	Test caldaia 15kW griglia mobile	Potenza 35-150kW	Potenza 150-3000kW	Potenza 0-50kW	Potenza 50-150kW
Polveri totali	108-131	41-54	200	100	150	150
CO	380-640	64	350	300	3.000	2.500
NOx	190-204	206	500	500	-	-
SOx	-	12	200	200	-	-

Anche alcune tipologie di caldaie a griglia fissa possono essere idonee a bruciare agripellet. In tal caso le ceneri sono estratte in modo automatico con una coclea oppure, nel caso di alimentazione laterale, attraverso l'ausilio di un agitatore meccanico che fa cadere le ceneri in un cassetto posto nella zona sottostante (*fig. 4.32*).

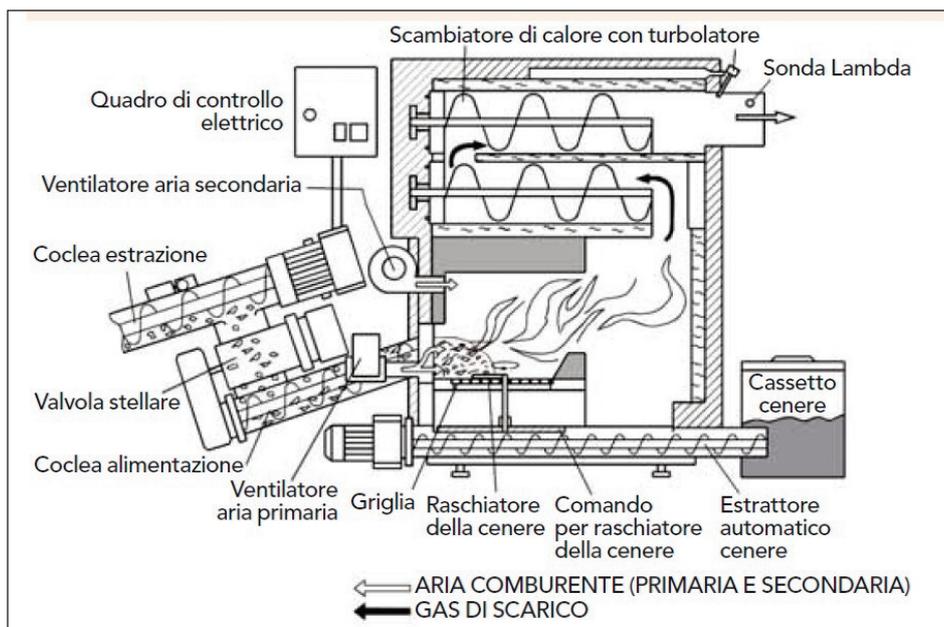


Figura 4.32 - Componenti di una moderna caldaia a biomasse con griglia fissa ed estrazione automatica delle ceneri

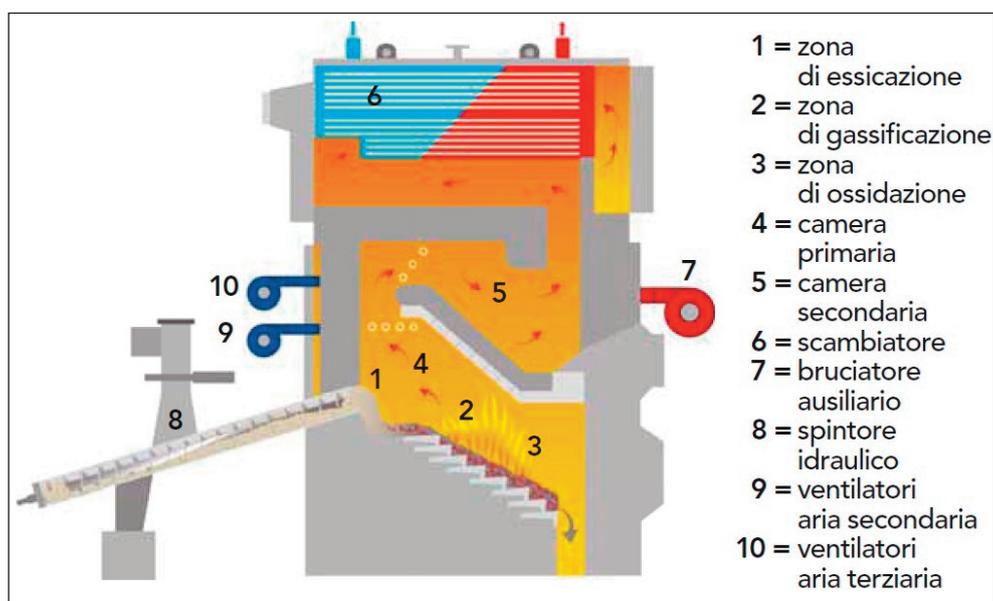


Figura 4.33 - Caldaia a griglia mobile inclinata

Attualmente poche aziende italiane si sono rivolte alla produzione di questo tipo di caldaie a pellet. In paesi come l'Austria e la Germania invece ci sono molte realtà industriali che producono caldaie che possono bruciare pellet con alto contenuto di ceneri.

La figura 4.34 (fonte Termocabi) mostra una caldaia appositamente studiata per la combustione di agripellet ma naturalmente essa può bruciare anche il pellet tradizionale. Tale sistema lavora attraverso la gassificazione del combustibile, un processo chimico di degradazione termica che avviene ad alte temperature ( $>700^{\circ}\text{C}$ ) in presenza di una percentuale sotto-stechiometrica di ossidante. La miscela gassosa risultante rappresenta anch'essa un combustibile che viene bruciato subito dopo con alte efficienze e permettendo la riduzione di emissioni pericolose.

Tale impianto prevede serbatoio di accumulo per l'aria compressa che ha la funzione di fornire tutta l'aria necessaria per la pulizia del bruciatore. Altre soluzioni prevedono l'installazione del solo bruciatore a pellet in caldaie a legna o gasolio preesistenti.

In commercio si trovano altri sistemi che montano unità complete di riscaldamento all'interno di un container il quale contiene la caldaia, il serbatoio di accumulo dell'acqua calda, il serbatoio di stoccaggio del pellet e tutti i collegamenti idraulici (fig. 4.35).



Figura 4.34 - Caldaia ad agripellet

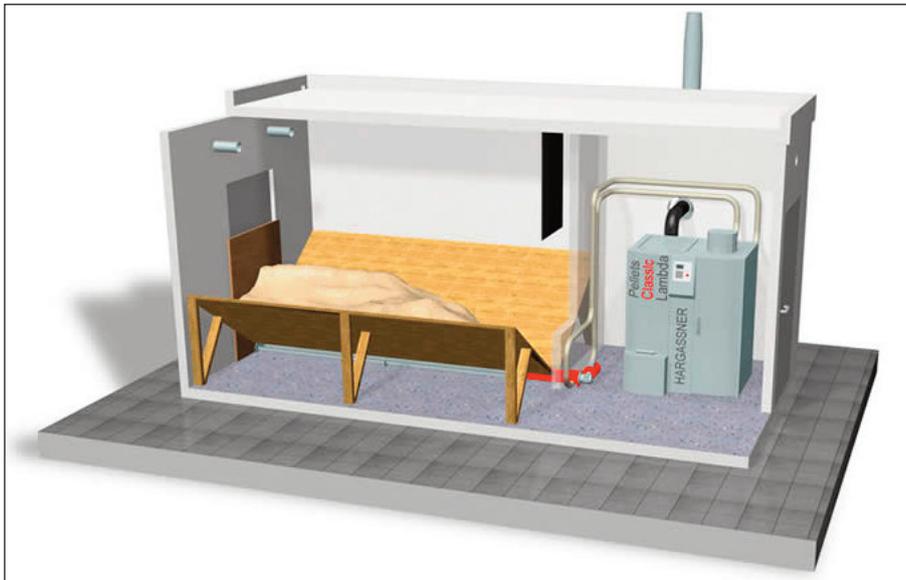


Figura 4.35 - Sistema completo (caldaia-serbatoio) all'interno di un container

Un importante aspetto da considerare è che nel corso dei primi mesi del 2013 è entrato in vigore il *Conto Termico*, cioè un decreto incentivante che coinvolge sia l'efficienza energetica sia la produzione di energia termica da fonti rinnovabili, per pubbliche amministrazioni e per privati. Sul fronte della produzione di energia termica le tecnologie prese in considerazione riguardano:

- pompe di calore elettriche, a gas e geotermiche fino a 1000 kW;
- collettori solari termici, anche in abbinamento a sistemi di solar cooling con superficie fino a 1000 m<sup>2</sup>;
- apparecchi domestici a biomasse fino a 35 kW e caldaie a biomasse fino a 1000 kW.

Le risorse finanziarie, che trovano copertura avvalendosi di una componente tariffaria

sul gas naturale, ammontano a 900 milioni di euro/anno, dove 200 milioni sono destinati alla pubblica amministrazione e i restanti 700 milioni ai soggetti privati (come persone fisiche, condomini, soggetti titolari d'impresa o reddito agrario). L'incentivazione non è basata sull'investimento bensì è calcolata sulla base del calore prodotto; in questa prima fase non è previsto un sistema di misurazione diretto ma forfettario, sulla base delle diverse fasce climatiche. Nel caso di aziende agricole la possibilità di ottenere gli incentivi è rivolta non solo per la sostituzione delle caldaie esistenti alimentate a gasolio, olio combustibile o carbone, ma anche per installazioni di caldaie a biomassa ex novo.

Il decreto prevede l'erogazione di incentivi:

- per 2 anni nel caso di stufe o termocamini alimentati a legna o pellet con potenza inferiore a 35 kW (tabella 4.5);
- per 5 anni nel caso di impianti a biomassa da 35 kW a 1000 kW di potenza (tabella 4.6).

Tabella 4.5 - Calcolo dell'incentivo cumulato in 2 anni per installazioni di termocamini o stufe (fonte: Supplemento Energie Rinnovabili - Informatore Agrario n. 48/2012)

Luogo dell'installazione	Fascia climatica	Potenza installata											
		5 kW			10 kW			15 kW			24 kW		
		Ce 1	Ce 1,2	Ce 1,5	Ce 1	Ce 1,2	Ce 1,5	Ce 1	Ce 1,2	Ce 1,5	Ce 1	Ce 1,2	Ce 1,5
Palermo, Catania, Messina	B	367	440	550	524	629	787	620	740	925	724	869	1.086
Napoli, Cosenza, Cagliari, Bari	C	475	570	711	679	815	1.018	798	958	1.197	937	1.124	1.405
Roma, Genova, Firenze, Pescara	D	604	725	906	864	1.037	1.296	1.016	1.219	1.524	1.192	1.431	1.789
Milano, Arezzo, Bologna, Verona, Torino, Trento, Udine	E	733	880	1.100	1.049	1.259	1.574	1.234	1.480	1.851	1.448	1.737	2.172
Belluno, Cuneo, Cortina, Brunico, Tolmezzo	F	776	932	1.165	1.111	1.333	1.666	1.306	1.568	1.960	1.533	1.840	2.300

Ce = è un coefficiente moltiplicativo che tiene conto delle migliori performance per quanto riguarda le emissioni (polveri totali).  
 Nella fascia climatica B l'installazione di una stufa con una potenza di 5 kW con buoni livelli di efficienza energetica gode di un incentivo che può arrivare a 550 euro; questo valore in zone climatiche più fredde, come ad esempio la F, può arrivare fino a 1.165 euro.

Tabella 4.6 - Calcolo dell'incentivo cumulato in 5 anni per installazioni di caldaie oltre i 35 kW<sub>t</sub> (fonte: Supplemento Energie Rinnovabili - Informatore Agrario n. 48/2012)

Luogo dell'installazione	Fascia climatica	Potenza installata											
		50 kW			150 kW			400 kW			500 kW		
		Ce 1	Ce 1,2	Ce 1,5	Ce 1	Ce 1,2	Ce 1,5	Ce 1	Ce 1,2	Ce 1,5	Ce 1	Ce 1,2	Ce 1,5
Palermo, Catania, Messina	B	4.250	5.100	6.375	12.750	15.300	19.125	34.000	40.800	51.000	42.500	51.000	63.750
Napoli, Cosenza, Cagliari, Bari	C	5.500	6.600	8.250	16.500	19.800	24.750	44.000	52.800	66.000	55.000	66.000	82.500
Roma, Genova, Firenze, Pescara	D	7.000	8.400	10.500	21.000	25.200	31.500	56.000	67.200	84.000	70.000	84.000	105.000
Milano, Arezzo, Bologna, Verona, Torino, Trento, Udine	E	8.500	10.200	12.750	25.500	30.600	38.250	68.000	81.600	102.000	85.000	102.000	127.500
Belluno, Cuneo, Cortina, Brunico, Tolmezzo	F	9.000	10.800	13.500	27.000	32.400	40.500	72.000	86.400	108.000	90.000	108.000	135.000

Ce = è un coefficiente moltiplicativo che tiene conto delle migliori performance per quanto riguarda le emissioni (polveri totali).  
 Un intervento di sostituzione con caldaia da 150 kW in zona climatica F può ottenere un incentivo che va da 27.000 a 40.500 euro.

Oltre a questa nuova forma di incentivazione, il Governo ha prorogato fino alla fine del 2013 la detrazione del 50% per le ristrutturazioni edilizie e quella del 55% (innalzata al 65%) per la riqualificazione energetica, le quali includono entrambe anche la detrazione per interventi di sostituzione di vecchie caldaie con nuovi apparecchi ad alta efficienza, comprese le caldaie a pellet.

## 4.5 ANALISI ECONOMICA

Il sistema utilizzato per valutare l'investimento di un impianto per la produzione di pellet e bricchetti di vite è quello di considerare il Valore Attuale Netto (in italiano abbreviato VAN, in inglese NPV da Net Present Value, con simbolo  $w$ ). Tale sistema viene generalmente usato per valutare tutti gli investimenti di carattere energetico. Il valore attuale netto è una metodologia tramite cui si definisce il valore attuale di una serie attesa di flussi di cassa non solo sommandoli contabilmente ma attualizzandoli sulla base del tasso di rendimento (costo opportunità dei mezzi propri). Il VAN tiene conto dei costi opportunità (cioè le mancate entrate derivanti dall'uso alternativo delle risorse). Presuppone l'esistenza del mercato perfetto nel quale gli azionisti abbiano libero accesso a un mercato finanziario efficiente in modo da poter calcolare il costo opportunità del capitale. Risulta quindi definito come:

$$w = \sum_{k=0}^n \frac{C_k}{(1+c)^k}$$

dove:

$k$ : scadenze temporali;

$C_k$ : flusso finanziario (positivo o negativo) al tempo ;

$c$ : Costo medio ponderato del capitale;

$\frac{1}{(1+c)^k}$  : fattore di attualizzazione

Per capire i vantaggi di un'economia di scala si valuta ora la convenienza economica di due filiere considerando tre estensioni di raccolta differenti. Si considerano superfici rispettivamente di 250, 500 e 1000 ettari. Non si supera quest'ultima estensione in quanto si rischia di non operare più con il concetto di *filiere corta*. Si confronterà poi il tempo di ritorno (in inglese Payback Time, PBT) di tutti e tre i casi. Inoltre si calcola l'indice di profitto ( $Ip$ ) definito come il rapporto tra il valore del flusso di cassa attualizzato e il valore attuale dell'investimento. Nel caso in esame si suppone che l'investimento ( $I_0$ ) sia fatto nell'anno 0 e sia unico. Pertanto l'indice di profitto risulta:

$$Ip = \frac{VAN + I_0}{I_0}$$

Si ricorda che è stato supposto un costo nullo della materia prima e un costo trascurabile del trasporto del cippato al sito di stoccaggio. La filosofia che sta alla base di tutte e tre le valutazioni è quella di creare una cooperativa o comunque una piccola azienda che si occupi di tutte le operazioni, dalla raccolta dei sarmenti alla produzione e vendita dei biocombustibili. Verranno considerati i tre casi senza nessun tipo d'incentivo (regionale, statale o europeo). Durante le prove in campo effettuate è risultato un consumo effettivo di gasolio durante la raccolta di circa 3,3 litri/h, mentre nei casi di simulazione è stato considerato un consumo di 4 litri/ora per restare in favore di sicurezza e per tenere in considerazione anche i brevi spostamenti per il trasporto del materiale.

### 4.5.1 Superficie da 250 ettari

In questo primo caso si analizzerà una raccolta su una superficie coltivata a vigneto con un'estensione di circa 250 ettari sia adottando una produzione di tipo industriale che una di tipo "artigianale". Si elencano ora una serie di costi legati alle attrezzature, al consumo di carburante, alla forza lavoro, divisi per fasi di lavorazione, che si ipotizzano per una produzione di tipo industriale.

<b>Investimento iniziale</b>	
Trattori (2 unità da 15.000 €)	30.000 €
Macchina raccolta	16.000 €
Rimorchio agricolo	8.000 €
Impianto pellet (da 300 kg/h)	100.000 €
<b>Totale investimento</b>	<b>154.000 €</b>
<b>Raccolta</b>	
Numero operai	2
Costo orario operai	€ 12,00
Superficie giornaliera di raccolta	5 ha
Ore di raccolta	400 ore
Costo gasolio	1,00 €/l
Consumo specifico medio trattore	0,25 kg/kWh
Potenza media impiegata trattore	16 kW
Gasolio impiegato (circa 4 l/h)	1600 l
<b>Totale costi di raccolta</b>	<b>11.200 €</b>
<b>Produzione</b>	
Numero operai	2
Costo orario operai	€ 12,00
Portata elaborata dall'impianto	300 kg/h
Ore di produzione	1375 ore
Potenza impiegata	50 kW
Energia elettrica annua	55.000 kWh
Costo energia elettrica annuo	€ 16.500
Costo operai produzione	€ 16.500
<b>Costi di Produzione</b>	<b>€ 33.000</b>
<b>Altri costi</b>	
Olio e lubrificanti per trattore (30% costo gasolio)	€ 480
Assicurazione, bollo, manutenzione ordinaria	€ 1.000
Affitto capannone (circa 500 m <sup>2</sup> )	€ 9.600
<b>Vendita</b>	
Resa per ettaro (M=45%)	2,7 t/ha
Resa per ettaro legno stagionato (M=10%)	1,65 t/ha
Produzione annuale di pellet/bricchetti di vite	413 t
Prezzo medio di vendita	200 €/t
<b>Ricavi totali dalla vendita</b>	<b>€ 82.600</b>

Per l'estensione di raccolta considerata si è ipotizzato un investimento che comprende

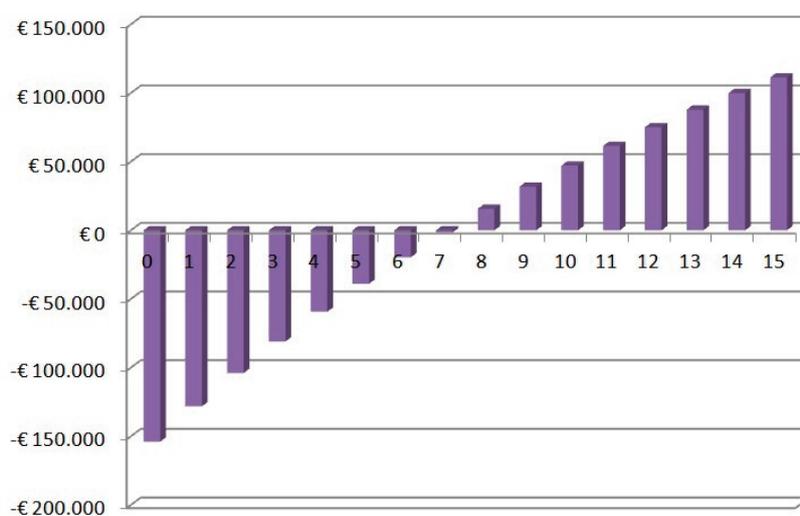
due trattori (anche usati), una macchina raccogliatrice, un rimorchio agricolo e un impianto completo da 300 kg/h. L'impianto completo di cubettatura è supposto di una potenza complessiva di 50 kW e l'energia consumata è stata calcolata moltiplicando la potenza per il numero di ore e per un fattore di utilizzazione pari a 0,8.

Per la raccolta è stato supposto l'ausilio di due operai con una superficie giornaliera elaborata pari a 5 ettari (8 ore al giorno). Il costo del gasolio agricolo è stato considerato pari a 1 €/l (secondo la tariffa agevolata per contoterzisti e agricoltori), mentre il costo di energia elettrica pari a 0,30 €/kWh (comprendente sia la quota di energia sia la quota riguardante i costi fissi).

Tabella 4.5

ANNO z	$(1+i)^{-z}$	Flusso di cassa $\Delta F_z$ ( $F_{in}-F_{out}$ )	Flussi attualizzati $\Delta F_d$ $\Delta F_z (1+i)^{-z}$	Integrale cumulado $\Sigma \Delta F_d$
0	1,00000	-€ 154.000	-€ 154.000	-€ 154.000
1	0,94340	€ 27.320	€ 25.774	-€ 128.226
2	0,89000	€ 27.320	€ 24.315	-€ 103.912
3	0,83962	€ 27.320	€ 22.938	-€ 80.973
4	0,79209	€ 27.320	€ 21.640	-€ 59.333
5	0,74726	€ 27.320	€ 20.415	-€ 38.918
6	0,70496	€ 27.320	€ 19.260	-€ 19.659
7	0,66506	€ 27.320	€ 18.169	-€ 1.489
8	0,62741	€ 27.320	€ 17.141	€ 15.652
9	0,59190	€ 27.320	€ 16.171	€ 31.822
10	0,55839	€ 27.320	€ 15.255	€ 47.078
11	0,52679	€ 27.320	€ 14.392	€ 61.469
12	0,49697	€ 27.320	€ 13.577	€ 75.047
13	0,46884	€ 27.320	€ 12.809	€ 87.855
14	0,44230	€ 27.320	€ 12.084	€ 99.939
15	0,41727	€ 27.320	€ 11.400	€ 111.339

Figura 4.36



Considerando un tasso di interesse annuo pari a  $i = 0,06$  (6%) e un tempo di vita dell'impianto pari a 15 anni, si calcolano dapprima i fattori di attualizzazione poi i flussi di

cassa, i flussi attualizzati e l'integrale cumulato.

Da questa simulazione si vede che il tempo di ritorno dell'investimento (Pay Back Time) è all'8° anno. Un tempo così lungo è certamente dovuto agli alti costi iniziali dell'investimento e ai pochi ricavi della vendita dei biocombustibili legati ad un bacino di approvvigionamento abbastanza limitato. Il Valore Attuale Netto dopo quindici anni è pari a 111.300 €. Il grafico a torta mostra la suddivisione del costo totale annuo, tranne il costo legato all'ammortamento dell'impianto:



Sommando tutte le voci di costo di un anno, tranne la quota d'investimento, si ha un valore di 55.280 € che, diviso per il pellet prodotto (413 t), porta ad un costo totale di produzione di circa 134 €/t.

L'indice di profitto  $I_p$  è dato da:

$$I_p = \frac{VAN + I_0}{I_0} = \frac{111.300 + 154.000}{154.000} = 1,72$$

Si considera ora una tipologia di produzione del pellet di tipo più artigianale, dato che il mercato attualmente offre soluzioni di impianto indicate per bacini di approvvigionamento limitati che integrano anche in un'unica macchina cippatore e pellettatrice (fig. 4.37). In questo modo i costi di investimento relativi all'impiantistica di produzione



Figura 4.37 - Pellettatrici di tipo artigianale

del pellet si riducono anche della metà con una forte riduzione dell'energia consumata.

Mantenendo inalterati tutti gli altri costi si ha un ritorno economico al 5° anno con un VAN al 15° anno di circa 168.000 €. Le spese annuali di raccolta, produzione ed altri costi ammontano a 51.165 €, quindi il costo finale del pellet è di 124 €/t. Infine l'indice di profitto è:

$$I_p = \frac{VAN + I_0}{I_0} = \frac{168.000 + 114.000}{114.000} = 2,47$$

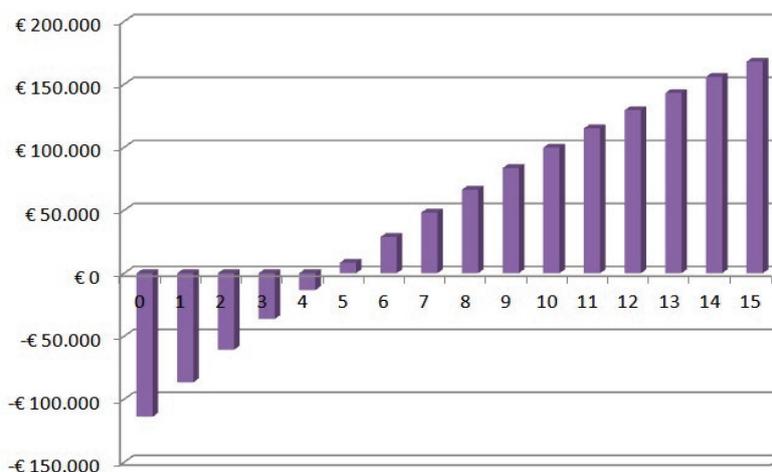
Investimento iniziale	
Trattori (2 unità da 15.000 €)	30.000 €
Macchina raccolta	16.000 €
Rimorchio agricolo	8.000 €
Impianto pellet (da 200 kg/h)	60.000 €
<b>Totale investimento</b>	<b>114.000 €</b>
Produzione	
Numero operai	1
Costo orario operai	€ 12,00
Portata elaborata dall'impianto	230 kg/h
Ore di produzione	1793 ore
Potenza impiegata	18 kW
Energia elettrica annua	32.274 kWh
Costo energia elettrica annuo	€ 9.685
Costo operai produzione	€ 19.200*
<b>Costi di Produzione</b>	<b>€ 28.885</b>

\* Operaio che lavora per 1.600 ore

Tabella 4.6

ANNO z	$(1+i)^{-z}$	Flusso di cassa $\Delta F_z$ ( $F_{in}-F_{out}$ )	Flussi attualizzati $\Delta F_d$ $\Delta F_z (1+i)^{-z}$	Integrale cumulado $\Sigma \Delta F_d$
0	1,00000	-€ 114.000	-€ 114.000	-€ 114.000
1	0,94340	€ 29.035	€ 27.392	-€ 86.608
2	0,89000	€ 29.035	€ 25.841	-€ 60.767
3	0,83962	€ 29.035	€ 24.379	-€ 36.389
4	0,79209	€ 29.035	€ 22.999	-€ 13.390
5	0,74726	€ 29.035	€ 21.697	€ 8.307
6	0,70496	€ 29.035	€ 20.469	€ 28.776
7	0,66506	€ 29.035	€ 19.310	€ 48.086
8	0,62741	€ 29.035	€ 18.217	€ 66.303
9	0,59190	€ 29.035	€ 17.186	€ 83.489
10	0,55839	€ 29.035	€ 16.213	€ 99.702
11	0,52679	€ 29.035	€ 15.295	€ 114.997
12	0,49697	€ 29.035	€ 14.430	€ 129.427
13	0,46884	€ 29.035	€ 13.613	€ 143.040
14	0,44230	€ 29.035	€ 12.842	€ 155.882
15	0,41727	€ 29.035	€ 12.115	€ 167.997

Figura 4.38



## 4.5.2 Superficie da 500 ettari

In questa seconda simulazione si valuta la filiera (solo produzione di tipo industriale) se si avessero a disposizione circa 500 ettari di terreno coltivati a vite. In questo modo si avrà senz'altro un beneficio economico dato da un'economia di scala che porta ad un aumento del capitale investito, ma ad una maggiore crescita delle entrate derivanti dalla vendita. Ecco l'elenco delle attrezzature ed i relativi costi:

<b>Investimento iniziale</b>	
Trattore (2 unità da 25.000 €)	50.000 €
Macchina raccolta	16.000 €
Rimorchio agricolo	10.000 €
Impianto pellet (da 500 kg/h)	200.000 €
<b>Totale investimento</b>	<b>276.000 €</b>
<b>Raccolta</b>	
Numero operai	2
Costo orario operai	€ 12,00
Superficie giornaliera di raccolta	5 ha
Ore di raccolta	800 ore
Costo gasolio	1,00 €/l
Consumo specifico medio trattore	0,25 kg/kW
Potenza media impiegata trattore	16 kW
Gasolio impiegato (circa 4 l/h)	3.200 l
Costo gasolio	3.200 €
<b>Totale costi di raccolta</b>	<b>22.400 €</b>
<b>Produzione</b>	
Numero operai	2
Costo orario operai	€ 12,00
Portata elaborata dall'impianto	500 kg/h
Ore di produzione	1650 ore
Potenza impiegata	90 kW
Energia elettrica annua	118.800 kWh
Costo energia elettrica annuo	€ 35.640
Costo operai produzione	€ 19.800*
<b>Costi di Produzione</b>	<b>€ 59.400</b>
<b>Altri costi</b>	
Olio e lubrificanti per trattore (30% costo gasolio)	€ 1.000
Assicurazione, bollo, manutenzione ordinaria	€ 2.000
Affitto capannone (circa 750 m <sup>2</sup> )	€ 18.000

\* 1 operaio che lavora per 1650 ore

Vendita	
Resa per ettaro (M=45%)	2,7 t/ha
Resa per ettaro (M=10%)	1,65 t/ha
Produzione annuale di pellet/bricchetti di vite	825 t
Prezzo medio di vendita	200 €/t
<b>Ricavi totali dalla vendita</b>	<b>€ 165.000</b>

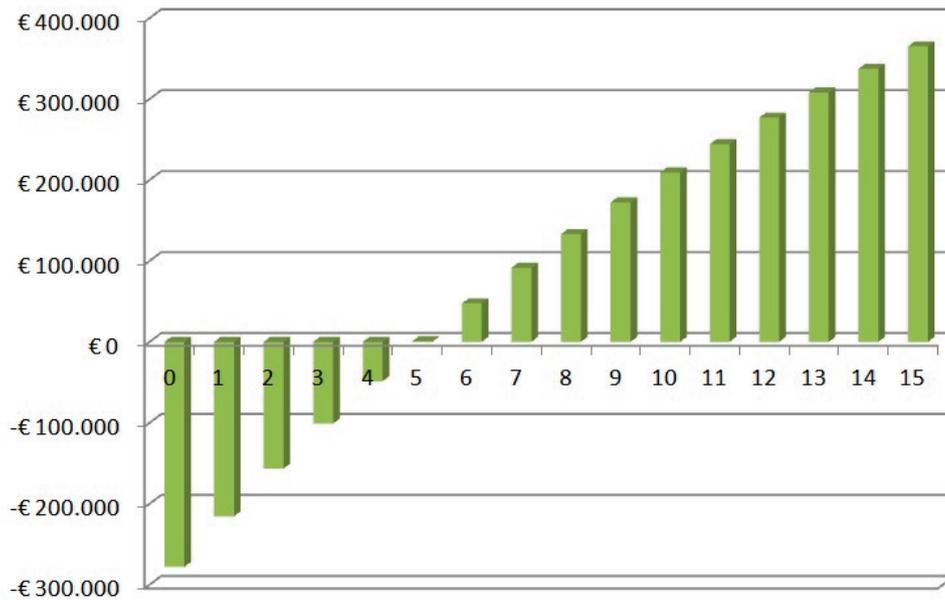
Per questa seconda simulazione si è ipotizzato l'ausilio di due trattori, uno dedicato esclusivamente alle operazioni di raccolta ed uno solamente al trasporto. L'impianto di produzione del pellet elabora 500 kg/h con una potenza installata di 90 kW. Il calcolo dell'energia è stato realizzato moltiplicando la potenza per il numero di ore per il fattore di utilizzazione pari a 0,8. L'impianto è ipoteticamente collocato in un capannone di circa 750 m<sup>2</sup>, con un affitto pari a 1.500 € mensili. Tutte le altre voci sono rimaste pressochè invariate.

Tabella 4.7

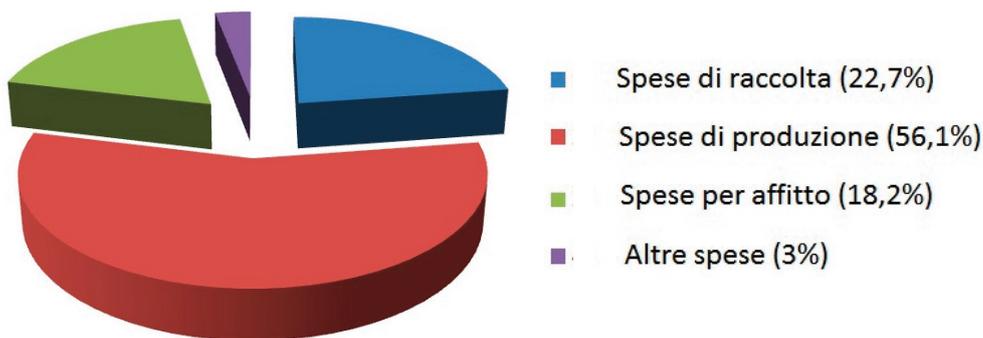
ANNO z	$(1+i)^{-z}$	Flusso di cassa $\Delta F_z$ ( $F_{in}-F_{out}$ )	Flussi attualizzati $\Delta F_d$ $\Delta F_z (1+i)^{-z}$	Integrale cumulato $\Sigma \Delta F_d$
0	1,00000	-€ 276.000	-€ 276.000	-€ 276.000
1	0,94340	€ 66.200	€ 62.453	-€ 213.547
2	0,89000	€ 66.200	€ 58.918	-€ 154.629
3	0,83962	€ 66.200	€ 55.583	-€ 99.047
4	0,79209	€ 66.200	€ 52.437	-€ 46.610
5	0,74726	€ 66.200	€ 49.468	€ 2.858
6	0,70496	€ 66.200	€ 46.668	€ 49.527
7	0,66506	€ 66.200	€ 44.027	€ 93.554
8	0,62741	€ 66.200	€ 41.535	€ 135.088
9	0,59190	€ 66.200	€ 39.184	€ 174.272
10	0,55839	€ 66.200	€ 36.966	€ 211.238
11	0,52679	€ 66.200	€ 34.873	€ 246.111
12	0,49697	€ 66.200	€ 32.899	€ 279.010
13	0,46884	€ 66.200	€ 31.037	€ 310.048
14	0,44230	€ 66.200	€ 29.280	€ 339.328
15	0,41727	€ 66.200	€ 27.623	€ 366.951

Come si nota dalla *tabella 4.7* e dal grafico di *figura 4.39*, in questo caso il tempo di ritorno si è ridotto a 5 anni rispetto al caso precedente (facendo riferimento solo all'impianto industriale). Il VAN dopo quindici anni di attività è di 367.000 €. Tali valori sono dovuti principalmente al fatto che l'investimento è aumentato di poco più del 70% a fronte di un raddoppio delle entrate (+100%) per la vendita dei biocombustibili.

Figura 4.39



Il grafico seguente mostra la suddivisione del costo totale annuo, tranne il costo legato all'ammortamento dell'impianto:



Sommando tutte le voci di costo di un anno, tranne la quota d'investimento, si ha un valore di 102.800€ che, diviso per il pellet prodotto (825 t), porta ad un costo totale di produzione di 125€/t.

L'indice di profitto  $I_p$  è dato da:

$$I_p = \frac{VAN + I_0}{I_0} = \frac{367.000 + 276.000}{276.000} = 2,33$$

Per una quantità di biomassa come quella derivante da questa quantità di terreno, si può pensare anche di utilizzare una pellettatrice a cardano da 500 kg/h (fig. 4.30) accoppiata ad mulino raffinatori, anch'esso collegato alla presa di forza del trattore tramite cardano (figg. 4.30-4.31).

### 4.5.3 Superficie da 1000 ettari

Nel terzo caso si simula di avere a disposizione di un bacino di approvvigionamento di circa 1000 ettari di terreno coltivati a vite. Rispetto alle due situazioni precedenti, si ipotizza in questo caso di operare con due macchine raccogliatrici, per poter svolgere le operazioni di raccolta entro il mese di marzo ed effettuare la trasformazione in pellet e/o bricchetti mediante un impianto industriale.

<b>Investimento iniziale</b>	
Trattore (3 unità da 25.000€)	€ 75.000
Macchina raccolta (2 unità da 16.000€)	€ 32.000
Rimorchio agricolo (2 unità da 10.000€)	€ 20.000
Impianto pellet (da 500 kg/h)	€ 200.000
<b>Totale investimento</b>	<b>€ 327.000</b>
<b>Raccolta</b>	
Numero operai	3
Costo orario operai	€ 12,00
Superficie giornaliera di raccolta	5 ha + 5 ha
Ore di raccolta	1600 ore
Costo gasolio	1,00 €/l
Consumo specifico medio trattore	0,25 kg/kW
Potenza media impiegata trattore	16 kW
Gasolio impiegato (circa 4 l/h)	6400 l
<b>Totale costi di raccolta</b>	<b>€ 64.000</b>
<b>Produzione</b>	
Numero operai	2
Costo orario operai	€ 12,00
Portata elaborata dall'impianto	500 kg/h
Ore di produzione	3300 ore*
Potenza impiegata	90 kW
Energia elettrica annua	237.600 kWh
Costo energia elettrica annuo	€ 71.280
Costo operai produzione	€ 79.200**
<b>Costi di Produzione</b>	<b>€ 150.480</b>
<b>Altri costi</b>	
Olio e lubrificanti per trattore (30% costo gasolio)	€ 2.000
Assicurazione, bollo, manutenzione ordinaria	€ 3.000
Affitto capannone (circa 750 m <sup>2</sup> )	€ 24.000

\* Impianto che lavora per 15 ore al giorno per 220 giorni

\*\* 2 operai che lavorano per 1760 ore (8 ore al giorno per 220 giorni)

<b>Vendita</b>	
Resa per ettaro (M=45%)	2,7 t/ha
Resa per ettaro (M=10%)	1,65 t/ha
Produzione annuale di pellet/bricchetti di vite	1650 t
Prezzo medio di vendita	200 €/t
<b>Ricavi totali dalla vendita</b>	<b>€ 330.000</b>

La raccolta deve essere terminata possibilmente entro il mese di Marzo, per agevolare gli agricoltori con le operazioni successive alla potatura. Due macchine raccogliatrici sono necessarie per fare in modo di restare entro i tempi stabiliti.

L'impianto di pellettatura è stato considerato uguale al caso precedente (500 kg/h) perchè impianti di portata superiore oltre ad essere più costosi, impiegano una potenza elettrica molto grande. Nel caso in esame le operazioni di pellettatura e bricchettatura impiegheranno un numero superiore di ore di lavorazione rispetto al caso precedente. D'altronde queste tipologie di impianti sono realizzate per lavorare durante tutto l'anno, quindi non ci sono problemi a riguardo.

Per il luogo di pellettatura è stato considerato un capannone di circa 1000 m<sup>2</sup> in affitto per 2000€ mensili.

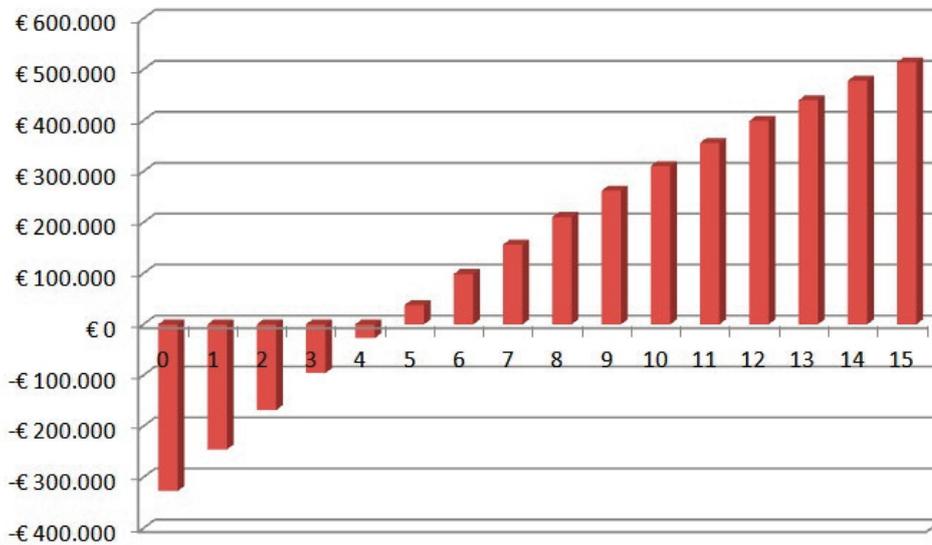
Tabella 4.8

ANNO z	$(1+i)^{-z}$	Flusso di cassa $\Delta F_z$ ( $F_{in}-F_{out}$ )	Flussi attualizzati $\Delta F_d$ $\Delta F_z (1+i)^{-z}$	Integrale cumulato $\Sigma \Delta F_d$
0	1,00000	-€ 327.000	-€ 327.000	-€ 327.000
1	0,94340	€ 86.600	€ 81.698	-€ 245.302
2	0,89000	€ 86.600	€ 77.074	-€ 168.228
3	0,83962	€ 86.600	€ 72.711	-€ 95.517
4	0,79209	€ 86.600	€ 68.595	-€ 26.922
5	0,74726	€ 86.600	€ 64.713	€ 37.791
6	0,70496	€ 86.600	€ 61.050	€ 98.840
7	0,66506	€ 86.600	€ 57.594	€ 156.434
8	0,62741	€ 86.600	€ 54.334	€ 210.768
9	0,59190	€ 86.600	€ 51.258	€ 262.027
10	0,55839	€ 86.600	€ 48.357	€ 310.384
11	0,52679	€ 86.600	€ 45.620	€ 356.003
12	0,49697	€ 86.600	€ 43.038	€ 399.041
13	0,46884	€ 86.600	€ 40.601	€ 439.642
14	0,44230	€ 86.600	€ 38.303	€ 477.946
15	0,41727	€ 86.600	€ 36.135	€ 514.081

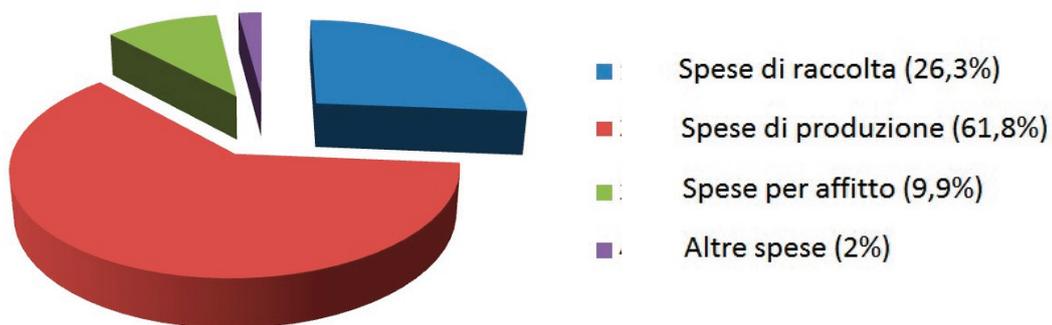
Dalla tabella 4.8 si vede che il ritorno dell'investimento è al quinto anno, come nel caso precedente. Questo perchè aumentando ancora di più la superficie da trattare si sono

dovute acquistare più macchine che hanno reso maggiori i costi di investimento. Il VAN dopo quindici anni risulta essere il 155% dell'investimento iniziale (circa 514.000€).

Figura 4.40



Il grafico a torta mostra la suddivisione del costo totale annuo, escludendo il costo annuo legato all'ammortamento dell'impianto:



Anche per questo caso, si calcola il costo specifico di produzione sommando tutte le voci di costo di un anno, tranne la quota d'investimento, ottenendo un valore di 243.480 € che, diviso per il pellet prodotto (1650 t), porta ad un costo totale di produzione di 148 €/t, circa come il primo caso studiato.

L'indice di profitto  $I_p$  è dato da:

$$I_p = \frac{VAN + I_0}{I_0} = \frac{514.000 + 327.000}{327.000} = 2,57$$

In questo terzo caso è necessario dotarsi di un ampio piazzale di almeno 3000 m<sup>2</sup> per lo stoccaggio del materiale durante il periodo di essiccazione.

## 4.6 PROVE DI PELLETTATURA E ANALISI DEL PELLET DI VITE

Il giorno 28 Giugno 2013 si sono effettuate le prove di pellettatura dei tralci di vite presso la ditta Costruzioni Nazzareno di Vacil di Breda di Piave (TV). Prima di effettuare la prova è stata misurata l'umidità dei sarmenti raccolti nel mese di marzo con la trinciacaricatrice Marev. Il contenuto idrico è risultato del 12,25%.

L'impianto, è composto da un raffinatore da 400-500 kg/h e una pellettatrice da 180-200 kg/h. Il materiale è caricato manualmente con l'ausilio di una forca all'interno di una tramoggia la quale ha il compito di portare la biomassa all'imboccatura del raffinatore tramite due piccole coclee. Successivamente il materiale raffinato è inviato ad un contenitore cilindrico in cui si accumula la segatura (dato che il raffinatore ha una capacità produttiva maggiore della pellettatrice impiegata). Il raffinato, tramite un'altra coclea dosatrice, viene infine inviato alla pellettatrice, la quale tramite la pressione esercitata da dei rulli in una trafilatura a spirale forma i cilindretti di pellet, che, in uscita presentava un'elevata temperatura (intorno ai 70°C) favorendo ulteriormente l'essiccazione del prodotto finale.

Le operazioni di cubettatura si sono svolte nell'arco di 3 ore (537 kg di materiale in ingresso). La prima cosa notata alla fine del procedimento è stata la notevole differenza di volumetria tra il materiale di partenza (7 cassoni) rispetto al materiale pellettato (2 cassoni scarsi). La quantità di pellet, pesata al ritorno in Cantina Sociale, è stata di 382 kg. Questo evidenzia una riduzione in massa rispetto al materiale di partenza dato dall'ulteriore



Figura 4.41 - Caricamento manuale della tramoggia



Figura 4.42 - Vista d'insieme della pellettatrice

asciugatura durante la pellettatura, da perdite durante il processo e dal prelievo dei campioni per le analisi. L'evidente riduzione di volume è comunque uno dei principali vantaggi del pellet, ossia avere un piccolo spazio di stoccaggio rispetto alla legna o al cippato (a parità di energia posseduta). In questo caso specifico la riduzione di volume del cippato di vite rispetto al pellet di vite è stato di 3,5 volte.



Figura 4.43 - Pellet di vite

Dalla massa totale sono stati prelevati due campioni di pellet e portati in giornata al "Laboratorio analisi biocombustibili di origine agricola e forestale" del Dipartimento TESAF dell'Università di Padova seguendo la stessa procedura delle analisi effettuate nel mese di marzo sui tralci spezzettati di vite appena raccolti (cfr. cap. 3.4). La tabella 4.9 evidenzia le caratteristiche emerse dalle analisi ed un confronto con i limiti stabiliti dalla norma EN14961-2 per il pellet di classe B.

Tabella 4.9

Caratteristiche		Campione 1	Campione 2	Media	EN14961-2 classe B
Dimensioni:	Diametro [mm]	6,11	6,10	<b>6,11</b>	6 ± 1
	Lunghezza [mm]	15,95	15,68	<b>15,82</b>	3,15 < L < 40
Contenuto idrico del campione tal quale (M)		7,5 %	8,0 %	<b>7,8 %</b>	<10
Massa volumica sterica (BD) [kg/m <sup>3</sup> <sub>stero</sub> ]		660,0	650,0	<b>655,0</b>	> 600
Massa volumica del pellet tal quale [g/cm <sup>3</sup> ]		1,36	1,40	<b>1,38</b>	-
Durabilità meccanica (DU)		98,6	98,6	<b>98,6</b>	> 96,5
Contenuto in particelle fini (F)		1,43 %	0,98 %	<b>1,21 %</b>	< 1,0
Contenuto in ceneri sul secco (A) [% sul secco]		3,41 %	3,66 %	<b>3,54 %</b>	< 3,0
Potere calorifico superiore sul secco [MJ/kg]		19,36	19,29	<b>19,33</b>	-
Potere calorifico inferiore stimato tal quale (Q) [MJ/kg]		16,51	16,36	<b>16,44</b>	16,0 ≤ Q ≤ 19

I risultati ottenuti mostrano che le caratteristiche del pellet di vite sono allineate con quelle del pellet tradizionale, con alcune considerazioni. Il contenuto idrico è diminuito dal 12,25% al 7,8% a seguito della cubettatura. Il contenuto in particelle fini è elevato in quanto durante la pellettatura non è stato utilizzato un setaccio, quindi il risultato è poco significativo. La massa volumica è in media di 655 kg/m<sup>3</sup> rispetto ai 600 kg/m<sup>3</sup> come valore minimo richiesto dalla normativa. Il potere calorifico inferiore è stato stimato (quindi non valutato a partire dal contenuto di idrogeno) e risulta di 16,44 MJ/kg (circa 4,6 kWh/kg), un valore alto visto che si sta considerando un materiale di scarto. Il valore del contenuto di ceneri sul secco è risultato stranamente superiore a quello rilevato con le precedenti analisi sui tralci di vite (3,12% di media). In questo caso, con opportune accortezze sia durante la raccolta che durante lo stoccaggio, è possibile portare tale indice a valori anche inferiori al 3%, rientrando quindi con il pellet di vite nei parametri fissati dalla normativa N14961-2 per il pellet di classe B.

## 4.7 ANALISI ENERGETICA ED AMBIENTALE

Dalle analisi di laboratorio effettuate (cfr. cap. 4.6) il potere calorifico inferiore sul tale quale del pellet di vite è in media di 16,44 MJ/kg, corrispondente a 4,6 kWh/kg. Con questo dato è possibile calcolare la totale energia derivante dal pellet prodotto (energia primaria).

Per valutare l'incidenza delle fasi di raccolta e produzione, è necessario considerare la totale energia spesa in queste fasi sottoforma di energia primaria. Il gasolio per autotrazione possiede un potere calorifico di 11,92 kWh/kg, corrispondenti a 10,49 kWh/l (dato che la densità è di 0,88 kg/d<sup>3</sup>). Per quanto riguarda l'energia elettrica, invece, si considera che per un kWh<sub>el</sub> siano necessari circa 2,56 kWh di energia primaria (considerando che per le centrali italiane si considera il valore medio di 2200 kcal/kWh<sub>el</sub>). Da questi dati si può calcolare per ogni quantità di terreno analizzata sia l'energia primaria che si può ricavare dal biocombustibile, sia quella spesa nelle fasi di lavorazione del prodotto lungo tutta la filiera.

Tabella 4.10

Terreno	Quantità pellet [t]	Energia totale [MWh]	Energia primaria spesa [MWh]	Incidenza dell'energia primaria spesa sul totale
250 ha*	413	1.900	156,4	<b>8,2 %</b>
250 ha**	413	1.900	111,1	<b>5,8 %</b>
500 ha*	825	3.800	337,7	<b>8,9 %</b>
1000 ha*	1650	7.600	675,4	<b>8,9 %</b>

\* impianto di tipo industriale

\*\* impianto di tipo artigianale

La *tabella 4.10* evidenzia anche la percentuale d'incidenza dell'energia spesa rispetto alla totale energia posseduta dal materiale raccolto. Dai calcoli emerge che questa incidenza, per le filiere industriali, è minore del 9%, all'incirca la quota che solitamente si attribuisce alle biomasse quando si parla di filiera corta ed è pertanto un dato che indica che consumando un chilogrammo di questo pellet si adopera un 91% di energia rinnovabile ed al massimo un 9% di energia fossile (quest'ultima valutazione è stata fatta considerando che tutta l'energia immessa nella rete italiana provenga da fonte fossile). Per la filiera di tipo artigianale l'indice si abbassa al 6%. Esso è molto importante per le biomasse in quanto solitamente si comprano grandi quantità di biocombustibili in luoghi molto lontani a basso prezzo. In questo modo incide di più la quota di energia primaria legata al trasporto che fa alzare quel 9% calcolato nel nostro caso a valori molto più elevati.

Una considerazione del tutto simile si può fare per le emissioni di anidride carbonica. Sapendo infatti che ogni litro di gasolio consumato produce circa 2.650 g di CO<sub>2</sub> (fonte: Quattroruote) è possibile calcolare l'emissione globale sapendo il consumo di carburante durante la fase di raccolta. Per quanto riguarda la fase di produzione dei biocombustibili,

ci si riferisce al valore di  $\alpha_{CO_2}$ . Tale parametro rappresenta l'emissione di anidride carbonica nel mix delle produzioni di energia elettrica di un paese per unità di energia elettrica resa disponibile all'utenza. Esso assume valori molto differenziati nei diversi paesi o aree geografiche del mondo. Per l'Italia, il valore di riferimento attuale, utilizzato nelle analisi TEWI e LCCP, è  $\alpha_{CO_2} = 0,53 \text{ kg}_{CO_2}/\text{kWh}_e$ .

Tabella 4.11

Terreno	Emissioni di CO <sub>2</sub> derivanti dal gasolio [kg]	Emissioni di CO <sub>2</sub> dal consumo di E.E. [kg]	Emissioni Totali della filiera [kg]
250 ha*	4.240	29.150	33.390
250 ha**	4.240	17.105	21.345
500 ha*	8.480	62.964	71.444
1000 ha*	16.960	125.928	142.888

\* impianto di tipo industriale

\*\* impianto di tipo artigianale

In *tabella 4.11* si evidenziano le emissioni totali per le filiere costituite dai tre diversi bacini di approvvigionamento. Si può quindi stabilire che l'utilizzo di tutto il quantitativo di pellet e bricchetti prodotto ha un impatto ambientale non proprio nullo, come solitamente si considera, ma è dato dal valore di emissione di anidride carbonica legato alla raccolta e trasformazione della biomassa in biocombustibile.

Per il calcolo della CO<sub>2</sub> evitata si considera che tutta l'energia posseduta dal pellet sia prodotta da un combustibile fossile, il gas naturale. Sapendo che ogni MWh di energia termica prodotta da gas naturale produce un'emissione di 205 kg di CO<sub>2</sub> e considerando un rendimento medio stagionale del generatore di calore pari a  $\eta = 0,80$ , si ha un'emissione globale di circa 241 kg<sub>CO2</sub>/MWh.

La *tabella 4.12* mostra la quantità di anidride carbonica evitata utilizzando come combustibile esclusivamente i pellet o i bricchetti di vite raccolti con le filiere analizzate; le emissioni si riducono di oltre il 92% rispetto all'utilizzo di gas naturale. Se si considera poi le emissioni da gasolio o gpl che producono circa un 25% in più di CO<sub>2</sub> si avrebbero delle riduzioni ancora più significative.

Tabella 4.12

Terreno	Emissioni totali di CO <sub>2</sub> della filiera [kg]	Emissioni di CO <sub>2</sub> derivanti dal consumo di gas naturale [kg]	Emissioni di CO <sub>2</sub> evitata utilizzando i biocombustibili [kg]	Emissioni di CO <sub>2</sub> dei biocombustibili rispetto al gas naturale
250 ha*	33.390	457.900	<b>424.510</b>	<b>7,3%</b>
250 ha**	21.345	457.900	<b>436.555</b>	<b>4,7%</b>
500 ha*	71.444	915.800	<b>844.356</b>	<b>7,8%</b>
1000 ha*	142.888	1.831.600	<b>1.688.712</b>	<b>7,8%</b>

\* impianto di tipo industriale

\*\* impianto di tipo artigianale

Da questa analisi emerge che l'utilizzo delle biomasse, ed in particolare di quelle derivanti da scarti dell'agricoltura, è favorevole dal punto di vista energetico ed ambientale in maniera ancora più evidente adottando filiere corte.

## 4.8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dallo studio di fattibilità dei tre casi considerati si è potuto capire che nel primo caso (superficie da 250 ha) si ha un alto numero di anni in cui avviene il ritorno economico e un basso valore dell'indice di profitto. Questo è dovuto principalmente agli alti costi dell'investimento iniziale causati dall'acquisto di un impianto industriale per la produzione dei biocombustibili. Per ovviare a questo problema è stato preso in considerazione un impianto di tipo "artigianale" piuttosto che industriale, comprendente solamente una macchina che svolge sia le operazioni di cippatura che di pellettatura, limitando così anche la potenza installata e complessità dell'impianto nonché il consumo di energia elettrica. Per aumentare il livello di autonomia è possibile installare una vasca contenente il cippato (caricata con un muletto o con il caricatore frontale del trattore) che, tramite una coclea o un nastro trasportatore, porti i tralci in maniera automatica direttamente all'imboccatura della pellettatrice, limitando in questo modo le operazioni svolte dall'operatore.

Riguardo gli altri due casi, essi sono potenzialmente validi entrambi dato lo stesso valore del tempo di ritorno e gli alti valori dell'indice di profitto. Si potrebbe inizialmente considerare di avviare l'attività avendo a disposizione 500 ettari e, successivamente, ricorrere all'acquisto di un'altro trattore con macchina di raccolta per poter ampliare il bacino di approvvigionamento fino a 1000 ettari.

A proposito dei bricchetti di vite si può optare o per la produzione di un quantitativo limitato (10-20 % del totale) o mirare esclusivamente alla produzione di pellet dato che è il biocombustibile più richiesto e facilmente vendibile.

Tabella 4.13 - Riassunto

Terreno filiera	Investimento [€]	Tempo di ritorno [anni]	Costo produzione pellet [€]	VAN 15 anni [€]	Indice di profitto 15 anni
250 ha*	154.000	8	134	111.300	1,72
250 ha**	114.000	5	124	218.000	2,47
500 ha*	276.000	5	125	365.000	2,33
1000 ha*	327.000	5	148	510.000	2,57

\* impianto di tipo industriale

\*\* impianto di tipo artigianale

La tabella 4.13 evidenzia le principali caratteristiche della filiera analizzata considerando i diversi bacini di approvvigionamento.

La quantità di pellet prodotto dal terzo caso (500 ha), considerando i dati di produttività, si attesta attorno alle 825 t corrispondenti a 3.800 MWh di energia primaria equivalente a 327 tep (tonnellate equivalenti di petrolio). Tale quantità di energia può soddisfare il bisogno di circa 200 abitazioni (case da 100 m<sup>2</sup> di classe energetica E con consumo di 180

kWh/m<sup>2</sup> poste nella zona climatica E) per un totale di 20.000 m<sup>2</sup> di superficie riscaldata. Raddoppiando tutti i valori si ricavano i dati considerando 1000 ettari di superficie di raccolta.

La convenienza di questa tipologia di filiera risiede anche nel fatto che il costo dell'energia termica prodotta con il pellet di vite, ipotizzando un prezzo di vendita al netto dell'iva di 200 €/t, è fortemente inferiore rispetto agli attuali prezzi di gas naturale e gasolio. Questo invoglia l'utente finale a investire nell'acquisto di una nuova caldaia per riscaldare la propria abitazione o la propria attività.

In *tabella 4.14* si riporta un confronto tra il costo dell'energia derivante da fonti fossili e quello derivante dall'utilizzo di pellet di vite considerando i prezzi attuali dei combustibili. Dalla comparazione si nota la netta convenienza dell'uso del pellet di vite avente un costo di quasi la metà rispetto al gas naturale e quasi di un terzo rispetto al gasolio da riscaldamento.

*Tabella 4.14*

Tipologia combustibile	Prezzo	Costo energia
Gas naturale	0,908 €/m <sup>3</sup> <sup>(1)</sup>	86,5 €/MWh
Gasolio da riscaldamento	1447,63 €/m <sup>3</sup> (€/880 kg) <sup>(2)</sup>	137,9 €/MWh
Pellet di vite	220 €/t <sup>(3)</sup>	47,8 €/MWh

<sup>(1)</sup> Prezzo calcolato come media dei prezzi tra il III trimestre del 2012 e il II trimestre del 2013 (fonte: [www.autorità.energia.it](http://www.autorità.energia.it));

<sup>(2)</sup> Prezzo calcolato come media dei prezzi tra settembre 2012 e aprile 2013 (fonte: <http://dgerm.sviluppoeconomico.gov.it>)

<sup>(3)</sup> Prezzo impostato di 200 €/t con l'iva del 10%.

In generale, prima di intraprendere qualsiasi tipo di acquisto per una filiera energetica come quella analizzata è necessario avviare un'indagine per verificare la quantità di terreno reale che si andrà a raccogliere, in modo da realizzare un opportuno investimento in base alla quantità di materia prima da trattare. Se si ha a disposizione un grande bacino di approvvigionamento è possibile effettuare investimenti più elevati per avere una portata di lavoro e un'affidabilità delle macchine maggiori. Se invece si ha una piccola quantità di biomassa da elaborare è necessario l'acquisto di macchine più piccole.



---

**5**

**FILIERA PER LA PRODUZIONE DI  
ENERGIA ELETTRICA**

## 5.1 CICLI TERMODINAMICI DI RIFERIMENTO

### 5.1.1 Ciclo di Carnot

Il ciclo termodinamico di riferimento per la produzione di energia elettrica nell'ambito di cicli diretti a vapore è il ciclo di Carnot, composto da quattro trasformazioni termodinamiche reversibili, due isoterme e due isoentropiche (isobare):

- 1-2: nel generatore di vapore il fluido motore riceve calore a pressione  $p_1$  e temperatura  $T_1$  costanti evaporando completamente, con la variazione del proprio titolo da 0 (liquido saturo - punto 1) a 1 (vapore saturo secco - punto 2);
- 2-3: nella turbina il fluido si espande isoentropicamente dalla pressione  $p_1$  alla pressione  $p_0$ , con contestuale abbassamento di temperatura da  $T_1$  a  $T_0$ , cedendo il lavoro positivo di ciclo all'esterno e diminuendo il proprio titolo da 1 a  $x_3$ ;
- 3-0: il fluido cede calore all'esterno condensando parzialmente a pressione  $p_0$  e temperatura  $T_0$  costanti, diminuendo il titolo da  $x_3$  a  $x_0$ . Tale trasformazione avviene in uno scambiatore di calore chiamato condensatore; 0-1: dal punto 0 il fluido, avente la stessa entropia del punto 1, viene compresso isoentropicamente in un compressore fino allo stato 1, a pressione  $p_1$ , temperatura  $T_1$  e titolo  $x_1=0$ .

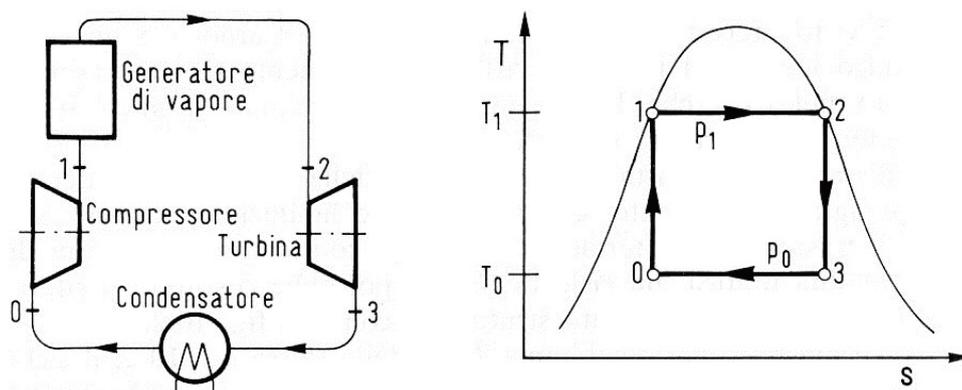
Nel ciclo ideale appena descritto si può ricavare il lavoro positivo di ciclo che avviene in turbina:

$$L_{23} = L^+ = h_2 - h_3 \quad ; \quad Q_{23} = 0$$

Il ciclo deve essere alimentato al generatore di vapore alla temperatura  $T_1$  con la fornitura di calore dall'esterno pari a:

$$Q_{12} = Q^+ = h_2 - h_1 \quad ; \quad L_{12} = 0$$

Figura 5.1 - Ciclo di Carnot



Il compressore, nella fase 0-1 richiede un lavoro pari a:

$$L_{01} = L^- = h_0 - h_1 \quad ; \quad Q_{01} = 0$$

Il calore ceduto all'esterno tramite l'acqua di raffreddamento nel condensatore è:

$$Q_{30} = Q^- = h_0 - h_3 \quad ; \quad L_{30} = 0$$

Il rendimento termico del ciclo di Carnot è definito come:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_0}{T_1}$$

Alcuni motivi pratici però fanno escludere il ciclo di Carnot a vapore dai possibili cicli ideali di riferimento di installazioni realizzabili:

- difficoltà pratica di controllare un processo di condensazione parziale, cioè nell'arrestare la condensazione all'opportuno valore di titolo  $x_0$ , in modo da ottenere liquido saturo nello stato 1 dopo la compressione;
- impossibilità tecnico-economica di realizzare, con un accettabile rendimento, un processo di compressione su un vapore saturo umido (quindi su un fluido bifase) con la trasformazione 0-1;
- difficoltà tecniche a far continuare l'espansione in turbina fino al punto 3, cioè con un fluido avente basso titolo di vapore, in quanto si creerebbero dei problemi di eccessiva usura delle palettature della turbina;
- il ciclo riceve tutto il calore dall'esterno alla temperatura  $T_1$ , quindi non è possibile neanche a livello teorico sfruttare eventuale calore a temperatura inferiore se resa disponibile da un fluido avente  $T < T_1$  (per esempio di un fluido che si raffredda).

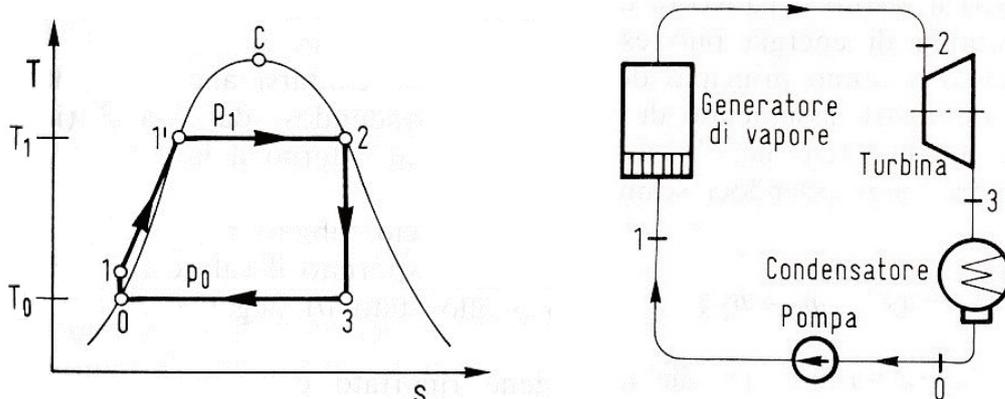
## 5.1.2 Ciclo Rankine a vapore saturo

Per risolvere gli aspetti negativi evidenziati con il ciclo di Carnot a vapore, si considera ora il ciclo di Rankine che apporta le seguenti modifiche al precedente:

- nel condensatore si procede alla completa condensazione del fluido motore sempre tramite un'isobara/isoterma, fino allo stato di liquido saturo (punto 0);
- la compressione del fluido, che avviene dopo la condensazione, è realizzata in questo caso da una pompa in quanto coinvolge un fluido monofase sottoraffreddato (0-1);
- nel generatore di vapore la trasformazione isobara è ora costituita dapprima da un riscaldamento del liquido da 1 a 1', poi dalla sua vaporizzazione completa fino al punto 2, stato di vapore saturo secco.

Con queste modifiche ora si ha un ciclo internamente reversibile composto da due trasformazioni isoentropiche (pompaggio 0-1 e espansione 2-3) e due isobare (riscaldamento ed evaporazione 1-2 e condensazione 3-0).

Figura 5.2 - Ciclo Rankine ideale



Lo schema dell'impianto è quello di *figura 5.2*, formato da un generatore di vapore (1-2) dove il fluido si riscalda e vaporizza scambiando con la sorgente esterna calore positivo di ciclo  $Q^+$ . Poi si trova la turbina ove il fluido si espande (2-3) cedendo all'esterno il lavoro positivo di ciclo  $L^+$ . Il vapore viene successivamente avviato verso il condensatore (3-0) dove viene asportato il calore negativo di ciclo  $Q^-$ . Infine il ciclo si chiude con la compressione del fluido condensato tramite una pompa (0-1) che scambia lavoro negativo  $L^-$ . Da notare che in quest'ultima fase essendo il processo adiabatico, il lavoro negativo è definito come:

$$L_{01} = L^- = h_0 - h_1 \approx -v_0 (p_1 - p_0)$$

Essendo il volume specifico nella fase liquida lungo la trasformazione di pompaggio molto minore che nella fase di vapore lungo la trasformazione di espansione, il lavoro negativo di ciclo risulterà in modulo molto minore di quello positivo.

Il rendimento termico è definito come il rapporto tra il lavoro netto ottenuto diviso il calore ceduto dalla sorgente, cioè:

$$\eta_t = \frac{L^+ + L^-}{Q^+} = \frac{(h_2 - h_3) - (h_1 - h_0)}{(h_2 - h_1)}$$

Il rendimento termico interno del ciclo Rankine è minore del corrispondente ciclo di Carnot tra  $T_1$  e  $T_0$ , in quanto si ha che il valore della temperatura media alla quale il fluido motore riceve il calore positivo di ciclo è minore della  $T_1$ . Infatti dato che si può definire il valore della temperatura media termodinamica come il rapporto  $T_m = \Delta h / \Delta s$ , si ha che:

$$T_{12m} = \frac{h_2 - h_1}{s_2 - s_1} \quad T_{30m} = T_0 = \frac{h_0 - h_3}{s_0 - s_3} \quad s_0 = s_1 \text{ e } s_2 = s_3$$

Il rendimento risulta pertanto:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_0}{T_{12m}}$$

Riguardo al fluido utilizzato, finora se n'è considerato uno (vapor d'acqua) per il quale la pendenza della curva limite superiore, cioè quella del vapore saturo secco, nel diagramma T-s è sempre negativa. Per queste tipologie di fluidi la trasformazione di espansione ha luogo sempre nel campo del vapore saturo umido, quindi sotto la "campana", con un titolo <1. Il limite minimo accettabile del titolo in questo punto è fissato a 0,88 (in una trasformazione reale), in quanto valori inferiori causerebbero oltre al crollo del rendimento isoentropico di espansione, anche un'inaccettabile erosione delle palettature della turbina ad opera della fase liquida che si separa da quella gassosa in forma non sufficientemente dispersa.

La figura 5.4 riporta l'andamento, in funzione della temperatura di vaporizzazione  $T_1$  e per quella di condensazione pari a  $T_3 = 29^\circ\text{C}$ , del titolo di vapore nello stato di fine espansione ideale  $x_3$  e il corrispondente valore del titolo nella trasformazione ideale ( $x_{3r}$ ) nell'ipotesi che essa sia adiabatica e con rendimento isoentropico pari a 0,85. Si nota che già per temperature di evaporazione maggiori di  $110^\circ\text{C}$  si ha che  $x_{3r} < 0,88$ . Ne risulta che anche questo ciclo non può essere usato a riferimento per fini pratici. Infatti nelle medie-grandi centrali che utilizzano vapore come fluido motore si utilizza il ciclo di

Figura 5.3 - Ciclo Rankine reale

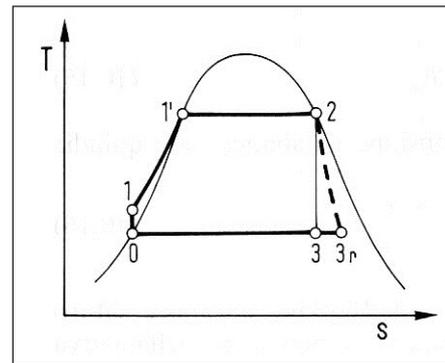
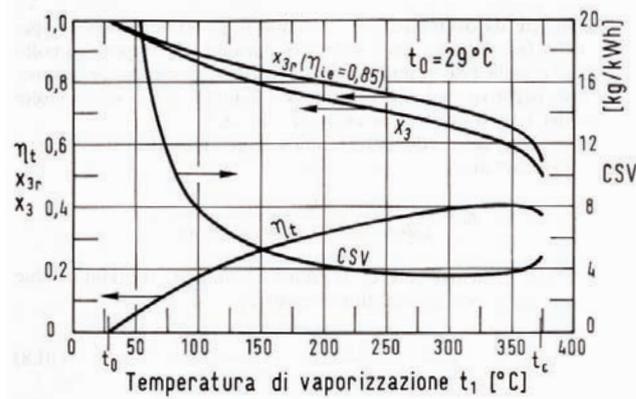


Figura 5.4



Hirn, cioè un ciclo Rankine a vapore surriscaldato e molte volte operando anche un risurriscaldamento.

Il ciclo Rankine semplice però può essere utilizzato se come fluido vettore se ne utilizza uno con la linea del vapore saturo secco a pendenza positiva. Si parla quindi di cicli operanti con fluidi organici.

## 5.2 CICLI RANKINE OPERANTI CON FLUIDO ORGANICO (ORC)

Un ciclo Rankine a vapor d'acqua richiede alte temperature per ottenere un rendimento accettabile, processo che impiega anche un elevato consumo di combustibili fossili nonché alti costi impiantistici dati da impiego di acciai speciali e tecnologie per alte pressioni. Per ridurre tale consumo o si complica l'impianto al fine di ottimizzarne il rendimento oppure si può ricorrere a combustibili di origine naturale, come la biomassa, per produrre energia elettrica anche con basse temperature di ciclo e quindi anche bassi costi di impianto.

L'utilizzo dell'acqua come il principale fluido vettore degli impianti di potenza è dato dalle sue caratteristiche fisiche-chimiche:

- elevata stabilità termica e chimica;
- viscosità molto bassa (minor lavoro di pompaggio);
- alti coefficienti di scambio termico dati dall'alto valore del calore latente;
- dannosità per ambiente ed esseri viventi nulla;
- economicità.

Tuttavia anche l'acqua presenta alcuni problemi:

- necessità di surriscaldare e risurriscaldare per ottenere un buon rendimento e un valore alto del titolo in uscita dalla turbina;
- alti livelli di pressione nell'evaporatore;
- turbine costose e complesse;
- alto volume specifico alla pressione di condensazione (comporta l'avere condensatori molto grandi).

Un ciclo Rankine che utilizzi fluidi organici come fluidi di lavoro viene chiamato Organic Rankine Cycle (ORC). Il vantaggio principale è dato dalla maggior attitudine ad adoperare calore a bassa o media entalpia, il che lo rende molto interessante per applicazioni che coinvolgono combustibili rinnovabili. Per fluido organico si intende un composto le cui molecole sono basate sugli atomi di carbonio, come per esempio i clorofluorocarburi (CFC), gli idrocarburi (HC) o i silossani ( $MD_xM$ ).

Un'attenta scelta delle proprietà termodinamiche può portare ad un alto rendimento e a sistemi a basso costo. Più nello specifico un fluido di lavoro è preferibile quando:

- la tossicità ed il pericolo di esplosione sono bassi,
- possiede caratteristiche di infiammabilità controllabili;
- ha buona stabilità al variare della temperatura;
- non è aggressivo verso i materiali impiegati per costruire l'impianto.

In particolare i fluidi organici presentano una serie di vantaggi:

- hanno un basso calore latente di vaporizzazione. In questo modo si riesce a recuperare più calore seguendo meglio la curva della sorgente termica (rilascio dei fumi in atmosfera ad una temperatura più bassa) (fig 5.5);

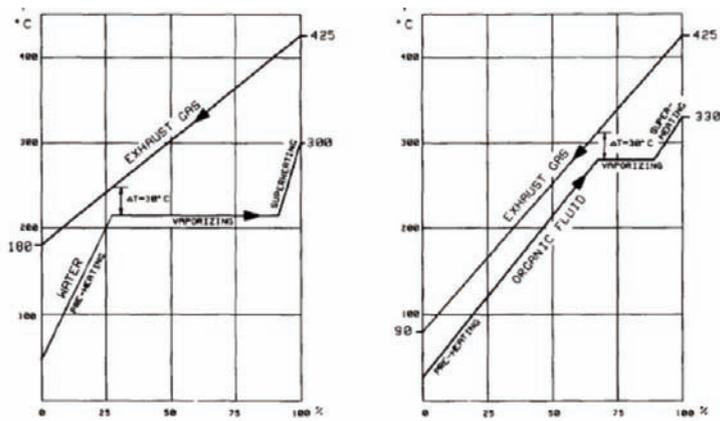


Figura 5.5 - Confronto scambio di calore tra fumi-acqua e fumi-fluido organico

- temperatura critica e pressione critica basse;

- si comportano come un fluido secco (dry). La curva del vapore saturo secco ha pendenza positiva (fig. 5.6); questo permette di evitare di surriscaldare il fluido per ottenere bassi titoli in turbina. Infatti a fine espansione si ha ancora il fluido nella regione di vapore con titolo 1; si azzerano dunque le possibilità di erosione della turbina date dalla presenza di goccioline di liquido.

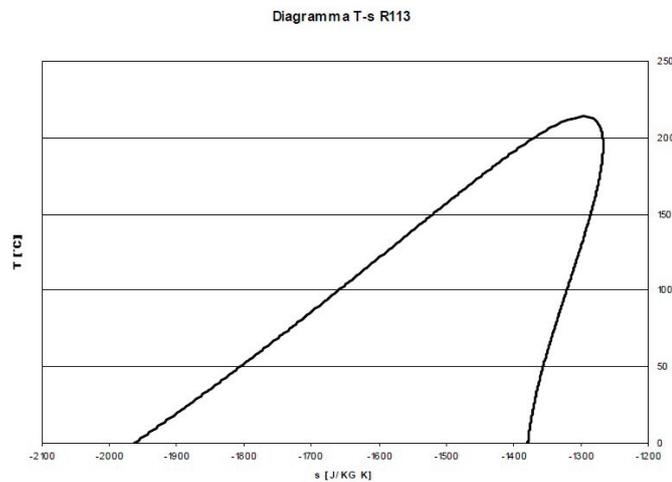


Figura 5.6 - Diagramma T-s di un fluido di tipo dry

- Alta massa molecolare. Grazie a questa caratteristica i fluidi organici hanno un flusso più “denso” ma più lento rispetto alle molecole più piccole del vapor d’acqua. Per questo motivo le turbine ORC possono essere composte anche da un singolo stadio, risultando più robuste ed economiche.

$$\Delta H = c_p \cdot \Delta T$$

per gas perfetti:

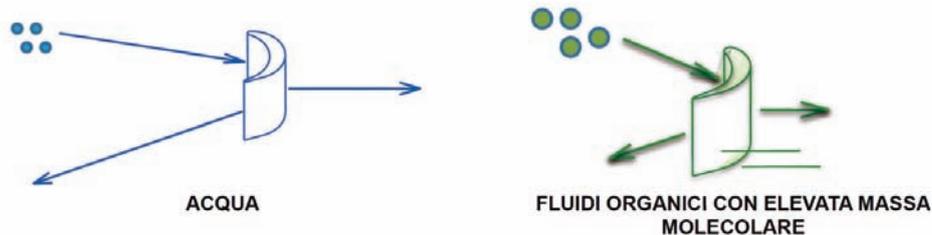
$$c_p = \frac{K}{K-1} \cdot R \quad \text{dove} \quad R = \frac{R^*}{MM}$$

$R^*$  è la costante universale dei gas pari a 8.314 J/(kmol K)

$$P = \dot{m} \Delta H \eta$$

Avendo un piccolo salto entalpico è possibile aumentare la portata  $\dot{m}$  dell'impianto, aspetto favorevole per impianti piccoli in quanto altrimenti da un lato si avrebbero macchine troppo miniaturizzate e dall'altro si ha una migliore possibilità di regolazione della portata per produrre basse potenze.

Inoltre la turbina presenta una sollecitazione meccanica ridotta data dalla modesta velocità periferica e, grazie al ridotto numero di giri, è possibile collegare direttamente la turbina al generatore elettrico senza riduttore di giri.



Per i motivi appena citati tali fluidi sono vantaggiosi sia per applicazioni di piccola taglia (compreso tra qualche decina di kW a qualche MW), sia nello sfruttamento di calore residuo derivante da altri processi.

La tecnologia ORC si presta efficacemente alla produzione di energia elettrica tramite biomassa, sia derivante da coltivazioni dedicate che da scarti agricoli o forestali. In questo caso si studierà una possibile applicazione per produrre elettricità con i residui di potatura della vite.

Gli impianti ORC alimentati a biomassa raggiungono mediamente temperature intorno ai 1000°C in caldaia; a tali livelli di temperatura i fluidi organici diventano chimicamente instabili, quindi si preferisce realizzare un ciclo binario in cui si sfrutta un fluido termovettore intermedio con alto punto di ebollizione, con vantaggi in termini di sicurezza perché il fluido, solitamente olio diatermico, non viene pressurizzato. Esso ha il compito di assorbire il calore della camera di combustione limitando la temperatura massima intorno ai 350°C (limite per garantire una lunga vita all'olio).

Un ciclo Rankine organico binario semplice funzionante con un fluido di tipo dry e da olio diatermico è composto da due sottocicli:

- **Primo ciclo**

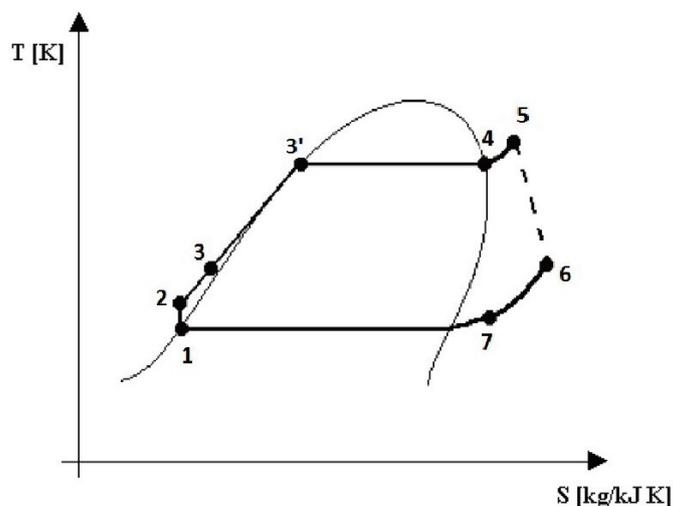
Il primo ciclo è costituito dalla caldaia ad olio diatermico alimentata con biomassa. I fumi di combustione scambiano calore con l'olio fino a portarlo a temperature nell'ordine di 300-350°C. Successivamente l'olio viene pompato ad un altro scambiatore di calore (evaporatore) dove avviene lo scambio termico con il fluido organico.

- **Secondo ciclo**

Il secondo ciclo è quello in cui scorre il fluido organico e dove avvengono le seguenti trasformazioni termodinamiche che portano alla produzione di energia elettrica:

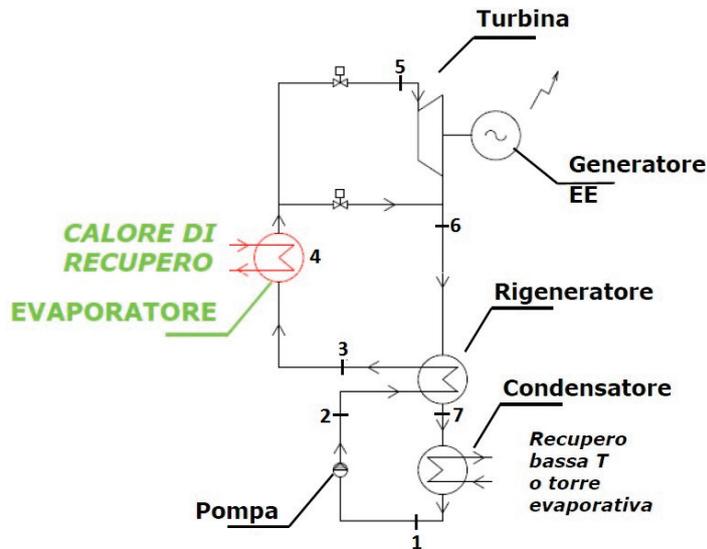
- 1-2 Il fluido organico allo stato liquido viene pompato alla pressione superiore di ciclo tramite l'ausilio di una pompa cedendo il lavoro negativo di ciclo  $L^-$ ;
- 2-3 Il fluido allo stato di liquido sottoraffreddato passa attraverso una serpentina dove avviene un primo riscaldamento da  $T_2$  a  $T_3$  utilizzando uno scambiatore rigenerativo sfruttando il calore di desurriscaldamento del tratto 6-7;
- 3-4 in uscita dal rigeneratore il liquido viene inviato verso lo scambiatore ad olio diatermico formato da un economizzatore (3-3') e da un evaporatore (3'-4) in cui avviene lo scambio del calore positivo di ciclo. Tale calore è fornito da una caldaia separata che brucia la biomassa e scalda l'olio ad una temperatura massima di 300-350°C;
- 4-5 a seguito dell'evaporazione può avvenire un piccolo surriscaldamento del fluido;
- 5-6 dal punto 5 parte l'espansione del fluido in turbina in cui avviene lo scambio di lavoro positivo di ciclo  $L^+$ . L'entità dell'espansione dipende dalla temperatura di condensazione. La turbina può essere direttamente collegata al generatore elettrico senza riduttore di giri;
- 6-7 a valle della turbina, il vapore contribuisce al preriscaldamento del liquido organico che avviene nel rigeneratore;
- 7-1 infine il fluido viene condensato con un liquido di raffreddamento all'interno del condensatore oppure con l'aria ambiente utilizzando una torre evaporativa.

Figura 5.7 - Diagramma T-s di un ciclo ORC



Il rendimento elettrico complessivo di impianti di questo tipo, chiamati anche ORC ad alta temperatura, si attesta intorno a 15-18%. Per portare il rendimento verso il 20% occorre "complicare" l'impianto predisponendo ulteriori scambiatori di calore che ottimizzino gli scambi termici del processo di riscaldamento del fluido diatermico. Per esempio è possibile inserire uno scambiatore gas-gas a matrice per preriscaldare l'aria comburente in ingresso alla caldaia. Con alcune accortezze è possibile sfruttare in maniera migliore tutto il potere calorifico della biomassa immessa in caldaia, aumentando a valori molto alti il rendimento di combustione. Scambiatori più efficienti richiedono un investimento più elevato, per cui si deve verificare di volta in volta la convenienza rispetto ad un au-

Figura 5.8 - Schema dei principali componenti di un ciclo ORC



mento di rendimento dell’impianto. In Italia si contano circa 50 applicazioni in un range di potenza elettrica compreso tra 500 kW e 1000 kW.

Una nuova soluzione impiantistica che sta prendendo piede in Italia consiste in un ciclo ORC chiamato a bassa temperatura (cfr. cap. 5.3.1). Il fluido termovettore principale è costituito da un fluido organico refrigerante (ecocompatibile), fatto evaporare a basse temperature (120-150°C).

La quasi totalità degli impianti ORC ha la possibilità di operare in cogenerazione, cioè produrre e rendere disponibili contemporaneamente energia elettrica e calore. Quest’ultimo solitamente viene recuperato dal calore di condensazione del fluido organico.

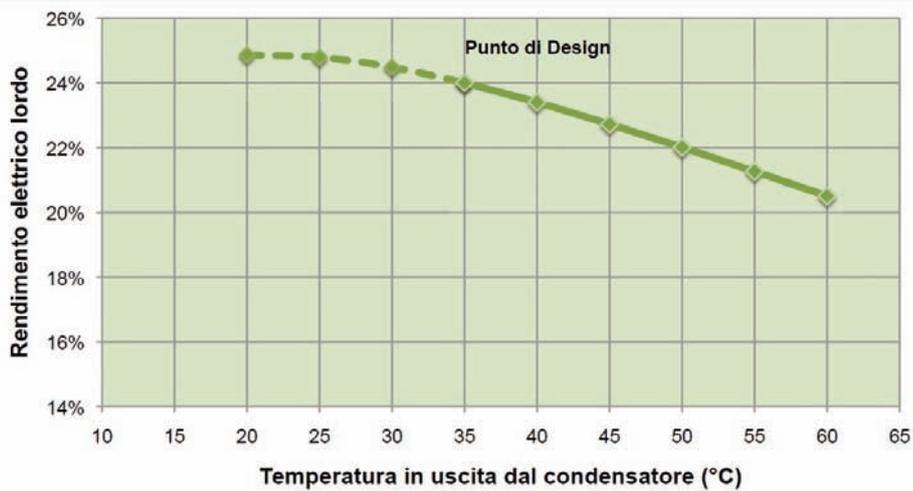


Figura 5.9: andamento del rendimento elettrico in funzione della temperatura di uscita del fluido dal condensatore di un impianto ORC della Turboden.

La temperatura a cui tale calore è reso disponibile dipende dalla pressione di condensazione: più è alta e più alta è la temperatura. Più si alza la pressione di condensazione però e più si diminuisce il lavoro meccanico elaborato dalla turbina e quindi minore è la potenza elettrica disponibile (fig. 5.7). Nel caso di reti di teleriscaldamento, dove l’acqua deve venir riscaldata fino a 85-90°C, la temperatura di condensazione viene tipicamente fissata a 110-120°C.

### 5.3 TECNOLOGIE PRESENTI SUL MERCATO

Attualmente sono presenti sul mercato diverse aziende che propongono impianti a ciclo ORC. La più importante azienda italiana del settore è la Turboden (Brescia), acquistata nel 2009 dal gruppo statunitense UTC ed inserita nella divisione Pratt & Whitney Power Systems. Essa produce cicli operanti con fluido organico da 400 kW a 10 MW elettrici. Operando sempre con la filosofia di filiera corta e quindi considerando un bacino di approvvigionamento di potature di vite di massimo 1500 ettari, si sono ricercate altre aziende che realizzino impianti di taglia inferiore, al di sotto dei 200 kW elettrici. L'attenzione è stata posta in particolare su quattro moduli orc:

- CLEAN CYCLE - WHG 125 e COMBI CYCLE 200;
- Freepower FP120;
- Triogen - 165kW;
- ZE-150-LT (Zuccato Energia).

### 5.3.1 Clean Cycle - WHG 125

Il Clean Cycle WHG 125 è un generatore a ciclo di Rankine a fluido organico modulare, prodotto in serie dalla General Electric Power & Water. Tale unità è commercializzata in Italia dalla Ingeco, società con sede a Silea, in provincia di Treviso, specializzata in studio, progettazione e costruzione di impianti per la produzione di energia termica ed elettrica, soprattutto derivante da fonte rinnovabile.

Il gruppo generatore proposto, oltre ad essere utile per il recupero di calore di scarto da processi industriali, è volto anche alla piccola generazione di energia elettrica utilizzando come combustibile biomasse di tipo residuale (forestali e agricole).

La sorgente di calore necessaria per poter alimentare il ciclo da 125 kW<sub>eI</sub> lordi al 100% è di 892 kW<sub>th</sub>, tipicamente ad una temperatura di 150°C. Il fluido organico utilizzato nel ciclo Rankine è il Pentafluoropropano tipo HFC-245fa (C<sub>3</sub>H<sub>3</sub>F<sub>5</sub>). Di seguito le caratteristiche generali del gruppo come descritte nel data-sheet:

#### ENERGIA TERMICA:

- Input: 892 kW a 150°C (con raffreddamento tramite torre evaporativa in condizioni ambiente standard secondo la ISO-2314);

#### ENERGIA ELETTRICA:

- Potenza elettrica lorda: 125 kW;
- Tensione elettrica di uscita: 380÷480 Vac;
- Frequenza: 50÷60 Hz;
- Dist. armonica totale: <5%;

#### FLUIDO MOTORE:

- Pentafluoropropano tipo HFC-245fa;
- Portata interna: 3,93 kg/s;
- Pressione massima in turbina: 19,3 bar;

#### GRUPPO TURBINA-GENERATORE:

- Turbina a singolo stadio a flusso radiale da 30.000 giri al minuto senza riduttori di giri meccanici e con supporti a levitazione magnetica controllati in corrente.

#### DATI GENERALI

- Rumore a 10m: < 72 dBa
- Lunghezza: 284 cm
- Profondità: 114 cm
- Altezza: 202 cm
- Peso (skid): 2600 kg



Figura 5.10 - Viste del modulo Clean Cycle WHG 125

La figura 5.11 mostra un esempio di ciclo completo abbinato al modulo Clean Cycle 125 con condensazione ad aria mediante torre evaporativa. Il Modulo di potenza integrato (IPM) è il cuore del ciclo e riesce a rendere l'impianto ORC di piccole dimensioni una soluzione tecnicamente fattibile ed economicamente vantaggiosa. Esso integra tre tecno-

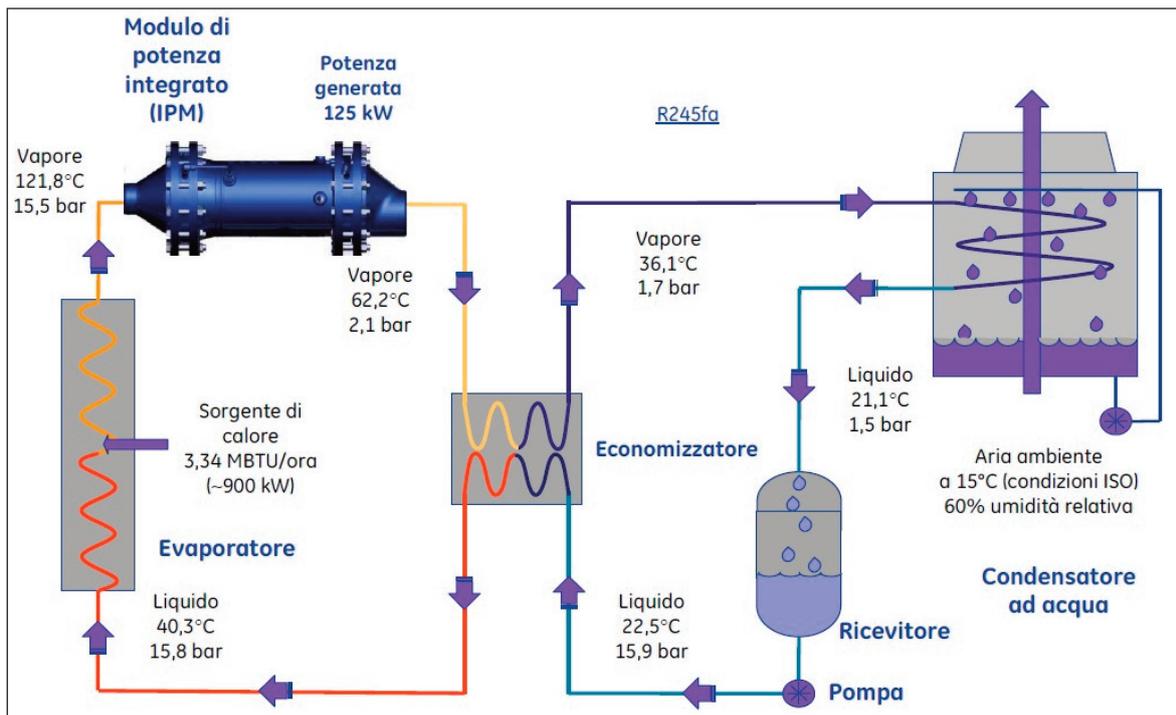


Figura 5.11 - Ciclo completo abbinato al modulo Clean Cycle 125

logie proprietarie:

- generatore a magneti permanenti ad alta velocità;
- cuscinetti magnetici;
- elettronica di potenza: il generatore elettrico, essendo collegato direttamente alla turbina, produce energia elettrica ad alta frequenza che viene portata a 50 Hz tramite degli inverter.



*Figura 5.12 - Torri evaporative di un impianto ORC*

Un esempio di installazione di questa tipologia di ciclo è data dalla società dei F.lli Boscaro in provincia di Biella, che ha scelto di riutilizzare gli scarti vegetali provenienti da potature, sfalci agro-forestali e verde pubblico per la produzione di energia elettrica e calore. L'impianto realizzato, che comprende una caldaia a cippato a griglia mobile ad acqua surriscaldata (150°C, 5 bar) abbinata a 2 Clean Cycle WHG125, consente di ottimizzare l'energia della biomassa producendo, oltre all'energia elettrica, anche calore ad alta temperatura (direttamente dalla caldaia) e a bassa temperatura (dal circuito di condensazione del ciclo ORC).

**DATI DELL'IMPIANTO F.LLI BOSCARO:**

- Potenza totale caldaia: 2400 kW termici;
- Potenza disponibile per gli ORC: 1800 kW termici;
- Disponibilità per riscaldamento: 600 kW termici;
- Unità orc installate: 2 unità da 125 kW elettrici (lordi);
- Potenza netta in uscita: 190 kW elettrici.

L'impianto è collegato ad una minirete di teleriscaldamento attualmente di 650 m, in fase di ampliamento, a servizio di 110.000 m<sup>3</sup> di edifici commerciali e residenziali e utilizza annualmente circa 8.000 t di biomassa di scarto derivante da potature urbane di bassa qualità energetica che dovrebbero altrimenti essere smaltite in discarica.



Figura 5.13 - Esterno della centrale F.lli Boscaro



Figura 5.14 - Caldaia F.lli Boscaro

Un'ulteriore tecnologia impiantistica distribuita sempre da Ingeco, è la COMBI CYCLE SYSTEM (fig 5.15). Nel settore delle biomasse agricole il gruppo ORC precedentemente illustrato può essere abbinato ad una caldaia ad acqua surriscaldata o a vapore saturo con una pressione massima di 24 bar. In quest'ultimo caso è possibile l'inserimento di una piccola turbina monostadio (da 60 kWe) che affianca uno o più generatori da 125 kWe preassemblati e montati su un piccolo pianale. Combi Cycle, infatti, è un Ciclo Combinato vapore+ORC che sfrutta al meglio le proprietà termodinamiche del vapore sulle alte temperature (150-220°C) e quelle del fluido organico più adatto alle basse temperature (<140°C). Espandendo quindi il vapore in questi campi di pressione (>5 bar) l'espansore produce quantità di energia interessanti facendo passare volumi di vapore abbastanza contenuti. Questo rende l'espansore stesso compatto ed economico. L'utilizzo di vapore saturo a pressioni non superiori a 24 bar, rende inoltre la caldaia semplice e poco costosa (a tubi di fumo come le caldaie ad acqua calda o surriscaldata).

Al contrario il Ciclo Rankine Organico, grazie alla bassa temperatura di evaporazione



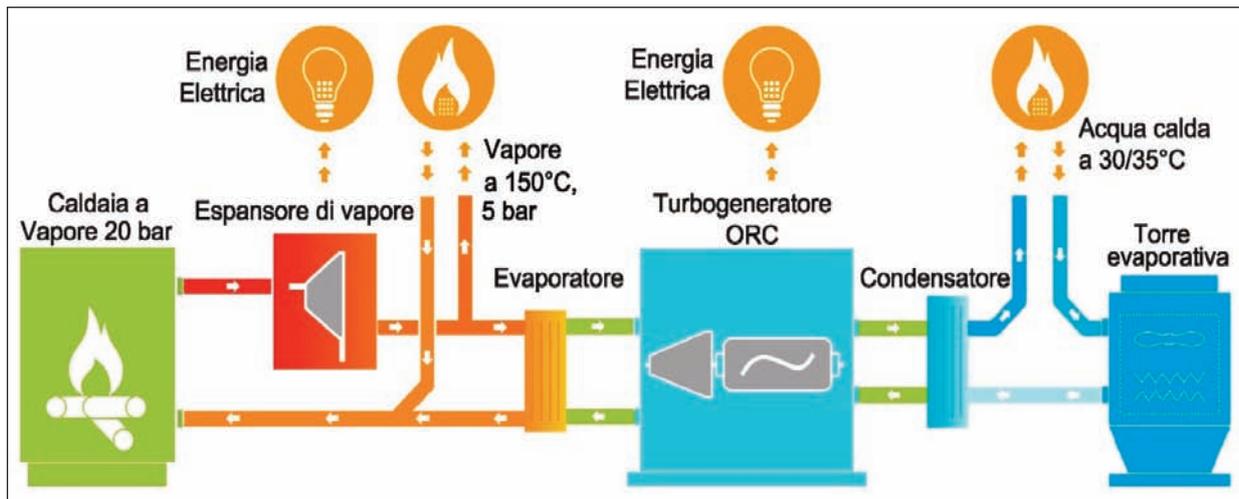


Figura 5.15 - Combi Cycle 200 CHP

del fluido, è adatto per temperature da 140°C in giù e non necessita del vuoto nel condensatore, perché a 20°C la tensione di vapore è circa 1,2 bar assoluti. Questo rende possibile l'utilizzo di turbine di piccole dimensioni ad alta velocità che modulano bene in termini di potenza (che è il caso del Clean Cycle 125 General Electric).

Il sistema è composto da una caldaia a vapore da 20 bar, turbina ad espansione di vapore (20 bar-5bar) in cascata con sistema ORC.

L'applicazione consente anche lo sfruttamento del calore in assetto cogenerativo a due livelli diversi di temperatura 150°C (in uscita dalla turbina a vapore), e 30-35°C (acqua di raffreddamento del condensatore). Nel caso di una caldaia a vapore saturo, infatti, dimensionando opportunamente il generatore e gli accumuli inerziali è possibile spillare parte del vapore per utilizzarlo in processi produttivi (per esempio essiccazione, sterilizzazione ecc.). Al condensatore l'acqua di raffreddamento in uscita è resa disponibile ad una temperatura di 30-35°C, utile per il riscaldamento di ambienti o di serre tramite pannelli radianti a pavimento.

Le caratteristiche generali di potenza dell'impianto COMBI CYCLE 200-CHP sono:

- produzione di energia elettrica con una potenza installata di 175kW (espansore di vapore da 60kW + ciclo ORC da 115kW);
- potenza termica resa alla caldaia: 1 MW;
- Il rendimento elettrico è quindi pari a circa 17,5%, relativamente alto vista la piccola taglia dell'impianto.

La Ingeco propone per questa tecnologia altre due configurazioni d'impianto:

- COMBI CYCLE 350: espansore di vapore da 120 kW + 2 ORC (115 kW ciascuno) per un totale di 350 kW elettrici con una potenza termica resa alla caldaia di 2,2MW;
- COMBI CYCLE 525: espansore di vapore da 180 kW + 3 ORC (115 kW ciascuno) per un totale di 525 kW elettrici con una potenza resa alla caldaia di 3,3 MW.

Nel corso di questo studio si considererà a titolo di esempio l'impianto da 175kW elettrici alimentato da cippato di sarmenti di vite.

### 5.3.2 Freepower FP120

Il modulo ORC Freepower FP120 è prodotto da un'azienda inglese, la Freepower, la quale è specializzata in impianti ORC a bassa e bassissima potenza; infatti commercializza anche moduli da 100 kW e da 85 kW.

Il modulo in questione è adatto sia per applicazioni di recupero termico da calore residuo proveniente da industrie o da altri cascami energetici oppure è l'ideale anche per lo sfruttamento energetico della biomassa legnosa.

Si riportano ora le principali caratteristiche dell' FP120:

#### ENERGIA TERMICA

- Energia termica input: 742 kW a circa 280°C;

#### ENERGIA ELETTRICA

- potenza elettrica in uscita: Lorda 130 kW, netta 120 kW;
- tensione di produzione: 380÷480 Vac
- frequenza di uscita: 50÷60 Hz;

#### GRUPPO TURBINA-GENERATORE

- turbina a flusso radiale a 30.000 g/min;
- rendimento elettrico del modulo: 17%;

#### FLUIDO ORGANICO

- Hydrocarbon

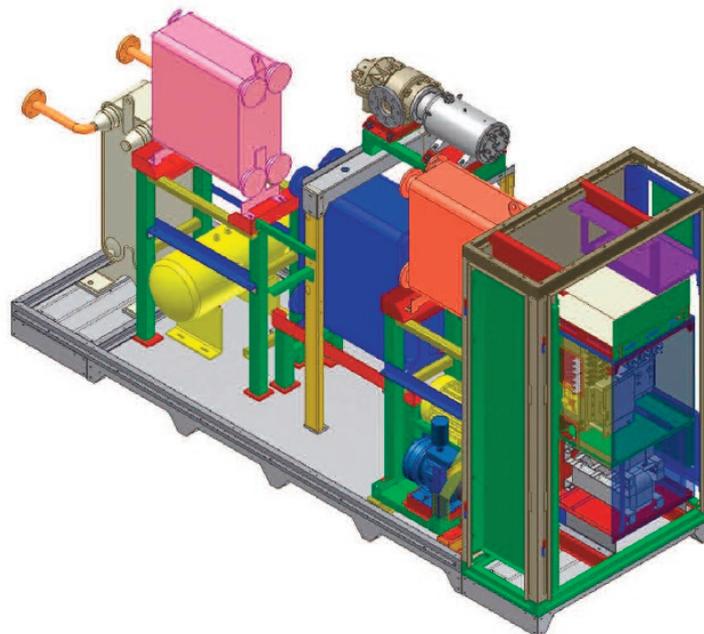


Figura 5.16 - Modulo Freepower FP120

La fornitura di calore può avvenire sia con una caldaia ad olio diatermico (temperatura massima 350°C) oppure con una caldaia ad acqua surriscaldata.

Con questo impianto si ha anche la possibilità di utilizzare il calore di condensazione

del fluido organico per la cogenerazione sfruttando ben 612 kW termici alla massima temperatura di 64°C. Nel caso questa possibilità non venga considerata bisogna predisporre una sorgente termica esterna per il raffreddamento, come un pozzo o una torre evaporativa.

Il modulo FP120 è montato su uno skid che misura 3,5 m di lunghezza, 2,1 m di altezza e 1,5 m di profondità, quindi è molto compatto e può essere fornito anche all'interno di un container in modo da ridurre l'emissione di rumore. Il costo della sola unità ORC è abbastanza ridotto, intorno a 60.000£ (sterline) equivalenti a circa 72.000 €.

### 5.3.3 Triogen - 165kW

Dal 2001 Triogen sviluppa e produce sistemi cogenerativi a Ciclo Rankine Organico (ORC) che convertono il calore residuo in elettricità ed acqua calda, utilizzabili sia dai gestori di rete elettrica che dagli utenti finali. L'azienda si trova nei Paesi Bassi ma è presente in Belgio, Germania, Francia, Italia, Repubblica Ceca e Portogallo.

Le principali caratteristiche del modulo fornite dall'azienda sono:

#### ENERGIA TERMICA

- Energia termica input: 900 kW a una temperatura >350°C;

#### ENERGIA ELETTRICA

- potenza elettrica in uscita: netta 165 kW;
- tensione di produzione: 400 Vac trifase;
- frequenza di uscita: 50 Hz;

#### GRUPPO TURBINA-GENERATORE

- turbina a flusso radiale a 25.000 g/min;
- rendimento elettrico del modulo: >18%;

#### FLUIDO ORGANICO

- Toluene

L'azienda garantisce un uso continuo anche per 8.500 ore all'anno. Inoltre grazie alle alte temperature del circuito di raffreddamento (55 °C fino a 80 °C), il generatore Triogen è adatto anche a diversi schemi di cogenerazione, non richiede torri evaporative e non risente di cali di prestazione nei mesi estivi. Triogen offre due versioni:

- il modello standard WB1 ottimizzato per la produzione di energia elettrica;
- la versione WB1-Vario, con la possibilità di utilizzare il calore di condensazione in cogenerazione, con temperature comprese tra 55 °C e 80 °C.

La scelta tra produzione elettrica e resa termica è regolabile dall'utente in funzione dell'effettivo fabbisogno di calore.

Il modulo ORC da 165 kW elettrici ha la caratteristica di essere alimentato direttamente con il calore derivante dai fumi di combustione (nel caso si tratti di un impianto a biogas o biomassa) senza l'ausilio quindi di un circuito intermedio ad olio diatermico o ad acqua surriscaldata (evaporatore ad evaporazione diretta). Questo fa rendere il sistema più efficiente, ne limita gli ingombri, i costi di manutenzione e di gestione.

Il modulo Triogen può essere abbinato a diversi bruciatori e caldaie a biomassa. Se è richiesta una potenza superiore ai 165 kW<sub>e</sub> nominali, è possibile una soluzione modulare con un singolo bruciatore a biomassa.



*Figura 5.17 - Modulo Triogen*

### 5.3.4 ZE-150-LT (Zuccato Energia)

Il modulo ORC ZE-150-LT è realizzato da una ditta 100% italiana, con sede a Verona, che si occupa di energia da fonti energetiche alternative. Progettato con sistemi di analisi matematica all'avanguardia, il modulo di produzione energetica ZE-150-LT di Zuccato Energia è una soluzione compatta ed efficiente per lo sfruttamento di fonti di calore a media temperatura. Operando ad acqua surriscaldata, rappresenta la soluzione ideale per impianti energetici di piccola taglia.

Le caratteristiche principali di questo modulo sono:

#### ENERGIA TERMICA

- Energia termica input: 1.100 kW (acqua surriscaldata  $T > 155^{\circ}\text{C}$ );

#### ENERGIA ELETTRICA

- potenza elettrica in uscita: lorda 170 kW, netta 150 kW;
- tensione di produzione: 400 Vac trifase;
- frequenza di uscita: 50 Hz;

#### GRUPPO TURBINA-GENERATORE

- turbina radiale, ad ugelli fissi, con accoppiamento diretto al generatore
- efficienza del sistema : 15%;

#### FLUIDO ORGANICO

- fluido organico atossico biodegradabile

Lo skid su cui è montato il modulo misura 4,8 m di lunghezza, 2,3 m di larghezza e 2,4 m di altezza e ha una massa di 6.000 kg. La potenza termica dissipata al condensatore è di  $690 \text{ kW}_t$  ( $t_{in}=29^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{out}=39^{\circ}\text{C}$ ).

La ditta commercializza anche un modulo di taglia inferiore (50 kW elettrici) operante sempre con ciclo ORC.



Figura 5.18 - Modulo ZE-150-LT

## 5.4 ANALISI DELLA FILIERA

Anche nel caso della filiera per la produzione di energia elettrica da biomasse è necessario procedere ad un'analisi dettagliata di tutte le fasi e di tutte le lavorazioni dalla raccolta all'immissione dell'energia in rete.

### 5.4.1 Metodologie di raccolta

L'analisi della filiera parte dalla raccolta della materia prima, cioè degli scarti di potatura della vite. Tale procedura è già stata descritta in modo dettagliato nella filiera precedente (*cf. cap. 4.2.1*) e non vi sono particolari differenze. L'unica considerazione che è possibile fare è che ora il materiale non viene utilizzato per la fabbricazione di un combustibile nobile come il pellet, ma il trinciato ricavato è direttamente bruciato in una grossa caldaia a biomassa, quindi il materiale potrebbe essere prelevato anche da macchinari più veloci e che non eseguono un perfetto taglio dei tralci. Da questo punto di vista però è sempre preferibile evitare i fenomeni di fermentazione della biomassa che andrebbero comunque a ridurre il potere calorifico.

Questo tipo di filiera è interessante anche per la valorizzazione di altra biomassa legnosa da integrare a quella dei sarmenti di vite. Infatti è da tener in considerazione l'opportunità di adoperare del materiale derivante da operazioni di potatura del verde urbano, di alvei fluviali, manutenzione di boschi e altri interventi mirati al recupero di sostanza ligno-cellulosica. Nel caso di questa opzione è necessario dotare il parco macchine dell'azienda oltre che con le macchine per la raccolta dei sarmenti, opportunamente scelte in base al tipo di territorio ed ai sestri d'impianto, anche di apparecchi per la cippatura in campo. Dispositivi di questo tipo ce ne sono molti sul mercato, ma quelle che si adattano maggiormente alle esigenze di questa filiera sono i modelli alimentati con la presa di forza del trattore e collegati all'attacco a tre punti. In questo modo si utilizza comunque parte dell'attrezzatura per la raccolta delle potature di vite (trattori, rimorchi) e l'investimento ulteriore è dato solo dall'acquisto del cippatore collegabile a trattori agricoli risparmiando cippatrici con motore proprio certamente più costose. Le cippatrici di fascia media hanno queste caratteristiche:

- potenza richiesta al trattore: 40-100 cv
- diametro massimo legno input: 14-30 cm
- produzione oraria cippato: 10-20 m<sup>3</sup>/h

Alcuni modelli montano anche dei bracci idraulici per facilitare le operazioni di caricamento dei tronchi. Il materiale cippato è convogliato attraverso un tubo direzionabile all'interno di un rimorchio (*fig. 5.19*) e successivamente portato al sito di stoccaggio. Anche



Figura 5.19 - Esempi di due cippatrici collegate a trattori

in questa filiera si considera un probabile bacino di approvvigionamento di raggio di 20 km. La fase di raccolta delle potature di vite avviene all'incirca tra i mesi di novembre e di marzo (durante il periodo invernale), mentre le operazioni di raccolta di manutenzione del verde pubblico e in generale di altre potature possono coprire il periodo tra marzo e novembre.

## 5.4.2 Stoccaggio

La biomassa alla raccolta ha un contenuto idrico solitamente compreso tra 40-50% per i sarmenti di vite e tra 40-60% per le altre piante. Il cippato deve essere necessariamente stoccato durante la fase di raccolta sotto ad una grande tettoia per venire successivamente bruciato da caldaie a griglia fissa. Si presume di far stagionare la biomassa legnosa per qualche mese prima della combustione, in modo da alimentare il generatore termico con una sostanza che abbia un contenuto idrico medio durante l'anno <30%. La biomassa rilascia la maggior parte della sua umidità nel primo mese di stagionatura, poi il rilascio si verifica più lentamente.

Il dimensionamento della tettoia o del piazzale di stoccaggio deve considerare che la maggior parte dello stoccaggio avviene durante il periodo invernale e che il cippato di vite ha un peso specifico di circa 250 kg/m<sup>3</sup>. Il problema principale di questa filiera sta proprio nel fatto che anche avendo una generazione modesta di energia elettrica (<200 kW) lo spazio necessario per l'immagazzinamento della biomassa per tutto l'anno deve essere necessariamente grande, dato che la raccolta dei residui di potatura avviene solamente per pochi mesi. La raccolta effettuata con rotoballe potrebbe, nel caso di questa filiera, essere la più adatta in quanto è possibile realizzare cataste di balle di sarmenti abbastanza alte (5-6 m) e limitare così la superficie necessaria anche perchè le rotoballe raggiungono una massa volumica superiore al cippato. In quest'ultimo caso non vi è nemmeno la necessità di avere una tettoia in quanto le balle possono stoccare anche all'aria aperta mediante copertura con tessuti traspiranti ma impermeabili. Nel caso si optasse per la raccolta dei sarmenti con trinciacaricatrici il cippato prodotto può essere stoccato anche in grandi tettoie o coperture prefabbricate (*fig. 5.20*).

Realizzando poche semplici operazioni si può arrivare a sapere il volume massimo di biomassa da dover stoccare nel piazzale adiacente alla centrale.

Ipotizzando:



*Figura 5.20 - Copertura prefabbricata utile per lo stoccaggio di sostanze legnose*

- Potenza termica caldaia: 1000 kW;
- Superficie di raccolta: 12 ettari al giorno (circa 2,1 t/ha con M=30%);
- Potere calorifico medio: 3,2 kWh/kg;
- Densità cippato di vite: 250 kg/m<sup>3</sup>;

la biomassa giornaliera consumata è di:

$$\text{consumo giornaliero} = \frac{(1000 / 3,2) \cdot 24}{1000} = 7,5 \text{ t} \rightarrow 30 \text{ m}^3$$

mentre la quantità di biomassa raccolta giornalmente nel periodo di raccolta è:

$$\text{raccolta giornaliera} = 12 \cdot 2,1 = 25 \text{ t} \rightarrow \text{circa } 100 \text{ m}^3$$

Costruendo un grafico che simula un anno tipo, cioè considerando circa 333 giorni di funzionamento dell'impianto, 5 giorni alla settimana dedicati alla raccolta per un totale di circa 100 giorni, si può facilmente sapere all'incirca la quantità massima di biomassa da gestire nel piazzale che, nel nostro caso risulta di quasi 5.900 m<sup>3</sup>.

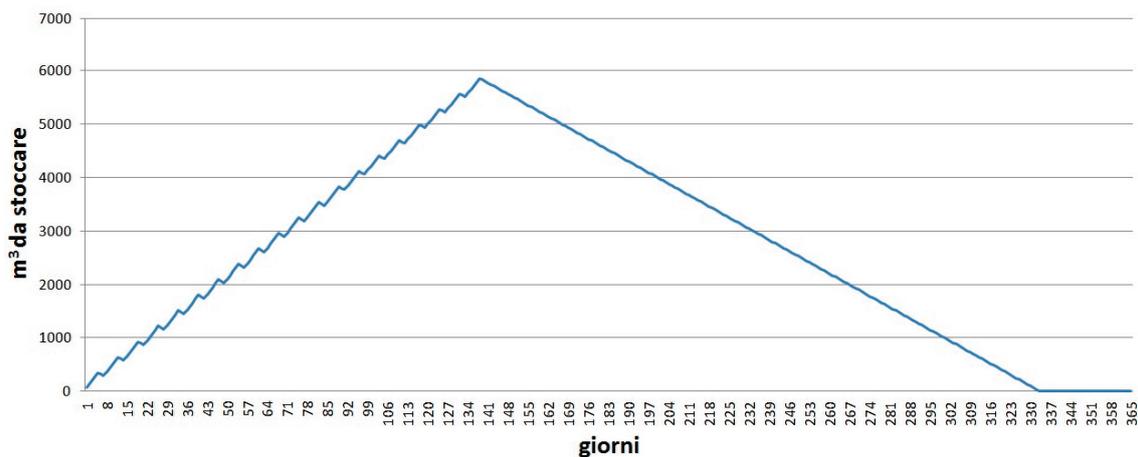


Figura 5.21

### 5.4.3 Produzione di energia elettrica

La produzione di energia elettrica da biomasse legnose è effettuata mediante le già consolidate tecnologie di mercato descritte al paragrafo 5.3. In questo studio si considera un impianto ORC.

Il ciclo di produzione parte dalla caldaia a biomassa che necessita di un'alimentazione continua del biocombustibile. Essa deve essere necessariamente dotata di un silo di stoccaggio che possa contenere la quantità di sostanza legnosa necessaria per il funzionamento dell'impianto per almeno 6-7 giorni così da fornirgli una certa autonomia di gestione e predisporre un solo giorno alla settimana per il carico del silo. Tale operazione prevede tempi correlati alla distanza tra il sito di stoccaggio e la centrale. Solitamente essi sono disposti uno di fianco all'altra in modo da semplificare e rendere meno onerose le procedure di trasporto. Data l'alta quantità di biomassa da movimentare è necessario prevedere una ruspa o un trattore con caricatore frontale che riempia un rimorchio, che successivamente viene svuotato all'interno del silo.

Considerando:

- una caldaia da 1 MW termico;
- potere calorifico inferiore medio del cippato di  $PCI=3,2$  kW/kg;
- densità del cippato di  $250$  kg/m<sup>3</sup>;
- 7 giorni di autonomia per 24 ore al giorno (funzionamento alla  $P_n$ );

si calcola il volume del silo di alimentazione:

$$\text{consumo orario} = \frac{P_n}{PCI} = \frac{1000}{3,2} = 312,5 \text{ kg/h}$$

$$\text{ore totali} = 7 \cdot 24 = 168 \text{ ore}$$

$$\text{massa combustibile} = \text{consumo orario} \cdot \text{ore} = 312,5 \cdot 168 = 52.500 \text{ kg} = 52,5 \text{ t}$$

$$\text{volume silo} = \frac{\text{massa combustibile}}{\text{densità cippato}} = \frac{52.500}{250} = 210 \text{ m}^3$$

Il silo deve essere munito di estrattore a rastrelli che, posto sul fondo, consente il trasporto della biomassa verso la caldaia (fig. 5.22).

La scelta del tipo di caldaia può ricadere sia su caldaie ad olio diatermico che su quelle ad acqua surriscaldata o vapore. Il calore fornito al fluido termovettore del primo ciclo (olio o acqua) verrà successivamente trasferito al fluido organico nel secondo ciclo, ove avviene la produzione di energia elettrica per mezzo di una turbina collegata ad un generatore. L'energia elettrica prodotta può essere immessa tutta nella rete nazionale e venduta al valore della tariffa onnicomprensiva oppure essere in parte o completamente



Figura 5.22 - Esempio di silo di stoccaggio munito di estrattore a rastrelli idraulico

autoconsumata nel caso in cui l'impianto venga installato da un'impresa o un'industria.

Per lo smaltimento del calore di condensazione si deve predisporre uno scambio termico attraverso un condensatore alimentato con acqua "fredda" proveniente da fiumi o falde, o più semplicemente utilizzando l'aria ambiente con una torre di raffreddamento evaporativa.

I fumi in uscita dal camino devono rispettare alcuni standard qualitativi per quanto riguarda le emissioni di sostanze inquinanti in atmosfera e di particelle fini. Si dovranno quindi predisporre dei sistemi di abbattimento a seconda della tipologia dei fumi in uscita dalla centrale, regolati da normative a livello nazionale. I principali sistemi di abbattimento per centrali a biomasse per la captazione delle polveri consistono in: precipitatori elettrostatici (ESP), filtri a maniche (FF) e filtri a umido (scrubbers).

Un'altro fattore da considerare è dato dallo smaltimento delle ceneri. Considerando una produzione di ceneri pari al 3% della sostanza secca, se l'impianto brucia 52,5 t di cippato alla settimana con  $M=30\%$  significa che la cenere da smaltire ogni sette giorni è pari a:

$$\text{sostanza secca} = 52,5 - (52,5 \cdot 0,3) = 36,75 \text{ t/settimana}$$

$$\text{ceneri} = 36,75 \cdot 0,03 = 1,1 \text{ t}_{\text{ceneri}}/\text{settimana}$$

I principali componenti della cenere di legna sono il calcio, il silicio, il potassio e il magnesio, presenti principalmente nella forma chimica di ossidi. La cenere di legna naturale contiene quindi importanti elementi di fertilità, in particolare il potassio e il fosforo: il riutilizzo agronomico delle ceneri consentirebbe pertanto la reale chiusura del ciclo della filiera "legna-energia", riportando al terreno le sostanze chimiche che la pianta aveva da questo assorbito durante la sua crescita. Al di là delle considerazioni di opportunità agro-

nomica, però, in Italia lo spandimento diretto su suolo agricolo o forestale di ceneri di combustione di biomassa non è consentito dalle norme vigenti (D.Lgs.22/1997) in quanto si tratterebbe dello smaltimento di un rifiuto. Fortunatamente, si fa sempre più strada la strategia di recupero delle ceneri come materia prima per la produzione di compost, sempre che la cenere derivi dalla combustione di materiale consentito (legna naturale, cippato e pellet).

A parte le accortezze legate al carico del silo ed allo smaltimento delle ceneri, queste tipologie di impianti operano con un'elevata autonomia non richiedendo la presenza continua di un operatore.

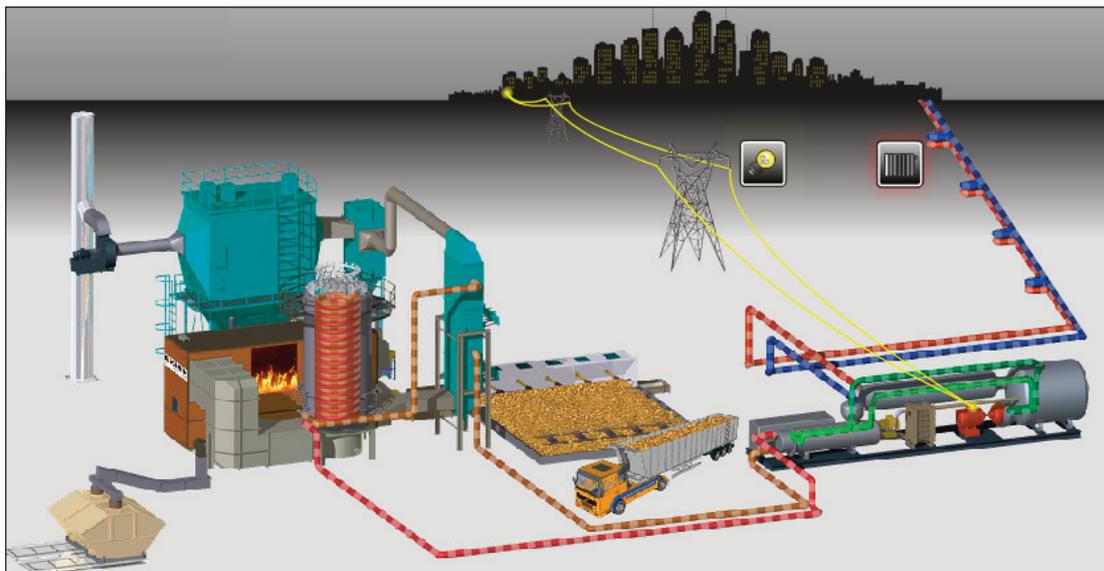


Figura 5.21 - Schema di una centrale elettrica a biomassa con teleriscaldamento

## 5.5 ANALISI ECONOMICA DI UN IMPIANTO

### 5.5.1 Considerazioni preliminari

Le tipologie d'impianti di piccola taglia analizzate in precedenza hanno numerosi vantaggi. Oltre al recupero energetico e l'utilizzo di fonte rinnovabile, essi sono caratterizzati da dimensioni ed ingombri ridotti e possono essere posti in piccoli capannoni da 200-300 m<sup>2</sup>, limitando le spese d'investimento o di affitto. Infatti, oltre al/i modulo/i ORC l'impianto deve essere dotato di caldaia a biomassa, condensatore o torre evaporativa, eventuali sistemi di abbattimento delle polveri e di tutte le tubazioni di collegamento. Nel caso di sistemi cogenerativi o trigenerativi, si devono predisporre opportuni scambiatori di calore e serbatoi di accumulo inerziali. Infine, all'interno o all'esterno della struttura si deve collocare il silo, cioè una grossa buca in cui si immette il cippato di vite dimensionata in modo che l'impianto abbia un'autonomia di almeno una settimana.

Le piccole unità di produzione di energia mediante ciclo ORC possono produrre energia elettrica per un alto numero di ore all'anno, orientativamente tra le 7500 e le 8000 ore, dato che gli interventi di manutenzione sono ridotti e l'affidabilità del ciclo e delle macchine impiegate è alta. L'elettricità prodotta può essere immessa nella rete nazionale e godere della tariffa d'incentivazione.

Le modalità d'incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti alimentati da fonti rinnovabili (esclusi gli impianti fotovoltaici) sono stabilite dal DM 6 luglio 2012. Possono accedere agli incentivi gli impianti di potenza non inferiore a 1 kW. Gli incentivi si applicano agli impianti nuovi, integralmente ricostruiti, riattivati, oggetto di intervento di potenziamento o di rifacimento che entrano in esercizio a partire dal 1° gennaio 2013. Gli incentivi sono riconosciuti sulla produzione di energia elettrica netta immessa in rete dall'impianto mentre quella autoconsumata non ha accesso agli incentivi.

In base alla potenza dell'impianto sono previsti due distinti meccanismi incentivanti:

- a) una tariffa incentivante onnicomprensiva ( $T_0$ ) per gli impianti di potenza non superiore a 1 MW calcolata secondo la seguente formula:

$$T_0 = T_b + Pr$$

( $T_b$ : tariffa incentivante base;  $Pr$ : ammontare totale degli eventuali premi)

- b) un incentivo ( $I$ ) per gli impianti di potenza superiore ad 1 MW e per quelli di potenza non superiore a 1 MW che non optano per la tariffa onnicomprensiva, calcolato come differenza tra un valore fissato (ricavo complessivo) e il prezzo zonale orario dell'energia (riferito alla zona in cui è immessa in rete l'energia elettrica prodotta dall'impianto).

$$I = T_b + Pr - P_z \quad (P_z: \text{prezzo zonale orario})$$

Il Decreto stabilisce che il costo indicativo cumulato di tutte le tipologie di incentivo riconosciute agli impianti a fonte rinnovabile, diversi dai fotovoltaici, non può superare complessivamente il valore di 5,8 miliardi di euro annui.

Il nuovo sistema d'incentivazione introduce anche dei contingenti annuali di potenza incentivabile, relativi a ciascun anno dal 2013 al 2015, divisi per tipologia di fonte e di impianto e ripartiti secondo la modalità di accesso agli incentivi prevista dal DM 6 luglio 2012 (Aste, Registri per interventi di nuova costruzione, integrale ricostruzione, riattiva-

Tabella 5.1 - Riepilogo del DM 6 Luglio 2012

Note					1	2	3	4	5	6	7	8
Fonte rinnovabile	Tipologia	Potenza	Vita utile	Tariffa incentivante base	CAR	CAR teleriscald.	Biomasse filiera tab 1b	Riduzioni gas serra	Emissioni	Rimozione azoto 60%	Recupero azoto 30%	Rimozione azoto 40%
		kW	anni	€/MWh	€/MWh							
Gas di discarica		1<P≤1000	20	99								
		1000<P≤5000	20	94								
		P>5000	20	90								
Gas residuati dei processi di depurazione		1<P≤1000	20	111								
		1000<P≤5000	20	88								
		P>5000	20	85								
Biogas	a) prodotti di origine biologica	1<P≤300	20	180	40					30	20	15
		300<P≤600	20	160	40					30	20	15
		600<P≤1000	20	140	40					30		
		1000<P≤5000	20	104	40					30		
		P>5000	20	91	40					30		
	b) sottoprodotti di origine biologica di cui alla Tabella 1-A; d) rifiuti non provenienti da raccolta differenziata diversi da quelli di cui alla lettera c)	1<P≤300	20	236	10					30	20	15
		300<P≤600	20	206	10					30	20	15
		600<P≤1000	20	178	10					30		
		1000<P≤5000	20	125	10					30		
		P>5000	20	101	10					30		
	c) rifiuti per i quali la frazione biodegradabile è determinata forfaitariamente con le modalità di cui all'Allegato 2	1<P≤1000	20	216	10					30		
		1000<P≤5000	20	109	10					30		
P>5000		20	85	10					30			
Bio-massa	a) prodotti di origine biologica	1<P≤300	20	229	40							
		300<P≤1000	20	180	40							
		1000<P≤5000	20	133	40							
		P>5000	20	122	40							
	b) sottoprodotti di origine biologica di cui alla Tabella 1-A; d) rifiuti non provenienti da raccolta differenziata diversi da quelli di cui alla lettera c)	1<P≤300	20	257	10	40				30		
		300<P≤1000	20	209	10	40			30			
		1000<P≤5000	20	161	10	40	20	10	30			
		P>5000	20	145	10	40			30			
	c) rifiuti per i quali la frazione biodegradabile è determinata forfaitariamente con le modalità di cui all'Allegato 2	1<P≤5000	20	174	10		20	10	30			
		P>5000	20	125	10				30			
Bioliquidi sostenibili		1<P≤5000	20	121	40							
		P>5000	20	110	40							

zione, potenziamento e ibridi; Registri per rifacimenti).

Il DM 6 luglio 2012 individua, per ciascuna fonte, tipologia d'impianto e classe di potenza, il valore delle tariffe incentivanti base (Tb) di riferimento per gli impianti che entrano in esercizio nel 2013 (*Tabella 5.1*).

I nuovi incentivi hanno durata pari alla vita media utile convenzionale della specifica tipologia d'impianto, indicata nell'Allegato 1 del Decreto (*Tabella 5.1*).

Le tariffe si riducono del 2% all'anno a partire dal 2014, fatte salve le eccezioni previste nel caso di mancato raggiungimento dell'80% della potenza del contingente annuo previsto per i registri e per le aste.

Il valore della tariffa incentivante base spettante è quello vigente alla data di entrata in esercizio dell'impianto. La tariffa omnicomprensiva o l'incentivo, calcolati dal valore della tariffa incentivante base, saranno erogati dal GSE a partire dalla data di entrata in esercizio commerciale.

Agli impianti che entrano in esercizio prima della chiusura del periodo di presentazione delle domande di partecipazione alle procedure di Registri o Asta, che risultino ammessi in posizione utile, viene attribuita la tariffa incentivante base vigente alla data di chiusura del periodo stesso.

Note (descrizioni degli incentivi premio):

1 - CAR: Premio previsto per impianti a biomasse, biogas e bioliquidi sostenibili operanti in cogenerazione ad alto rendimento. La tabella del decreto non chiarisce se il bonus di 10 €/MW è riconosciuto anche ai rifiuti non provenienti da raccolta differenziata e a quelli con frazione biodegradabile determinata forfaitariamente.

2 - CAR TELERISCALDAMENTO: Premio in alternativa a quello precedente per impianti a biomasse (tranne biogas) solo se da sottoprodotti di origine biologica ed esclusivamente se il calore cogenerato è utilizzato per il teleriscaldamento.

3 - BIOMASSE FILIERA: Le biomasse da filiera sono quelle indicate nella tabella 1-b del decreto. Il bonus è previsto solo per gli impianti con potenza tra 1 e 5 MW. Sono esclusi gli impianti inferiori a 1 MW e quelli a biogas.

4 - RIDUZIONE GAS SERRA: il bonus è limitato agli impianti con potenza tra 1 e 5 MW, sono esclusi quelli inferiori a 1 MW e a biogas. ENEA in collaborazione con il CTI provvederà entro 90 giorni a predisporre la procedura per il calcolo dei gas serra per determinare il diritto al bonus.

5 - EMISSIONI: Possono beneficiare del bonus gli impianti a biomasse provenienti da colture dedicate o da sottoprodotti, di qualsiasi potenza, anche oggetto di rifacimenti, purchè soddisfino i requisiti di emissioni in atmosfera di cui l'allegato 5 del decreto (*tab. 5.2*). I limiti di emissioni si riferiscono a NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, COT, Polveri. In particolare la soglia per le polveri è di 10 mg/Nm<sup>3</sup> per gli impianti con potenza termica nominale minore di 6 MW<sub>t</sub>. Sono esclusi dal bonus gli impianti a biogas.

Tabella 5.2

Inquinante	Valori (mg/Nm <sup>3</sup> )			
	PTN ≤ 6 MW <sub>t</sub>	6 < PTN ≤ 20MW <sub>t</sub>	20 < PTN ≤ 50MW <sub>t</sub>	PTN > 50MW <sub>t</sub>
NOx (espressi come NO <sub>2</sub> )	200	150	150	100
NH <sub>3</sub> <sup>(1)</sup>	5	5	5	5
CO	200	150	100	50
SO <sub>2</sub>	150	150	100	25
COT	30	20	10	10
Polveri	10	10	5	5

PTN = Potenza Termica Nominale

(1) Nel caso di utilizzo di una tecnica di abbattimento ad urea o ammoniaca (SCR, SNCR), negli impianti ove è previsto il controllo in continuo degli ossidi di azoto, dovrà essere installato lo specifico analizzatore di NH<sub>3</sub>.

6 - RIMOZIONE AZOTO 60%: Premio previsto per gli impianti alimentati a biogas operanti in regime di cogenerazione ad alto rendimento, senza limiti di potenza e che prevedono la rimozione dell'azoto dalle sostanze trattate con la finalità di produrre fertilizzanti;

7 - RIMOZIONE AZOTO 30%: Premio previsto in alternativa al precedente per gli impianti a biogas fino a 600 kW, operanti in assetto cogenerativo che attraverso la produzione di fertilizzante realizzano un recupero del 30% dell'azoto totale in ingresso all'impianto.

8 - RIMOZIONE AZOTO 40%: Premio previsto in alternativa ai precedenti per gli impianti a biogas fino a 600 kW, che attraverso la produzione di fertilizzante realizzano un recupero del 40% dell'azoto totale in ingresso all'impianto.

Nel caso in esame, la combustione di tralci di vite rientra nella parte evidenziata di giallo della *tabella 5.1*, dove i sottoprodotti di origine biologica comprendono anche i sottoprodotti e residui di campo delle aziende agricole. Scegliendo come metodo d'incentivazione quello della tariffa onnicomprensiva, si può aver diritto a dei premi, oltre alla tariffa base. Supponendo di accedere alla tariffa base di 257 €/MWh ed al premio per le emissioni di 30 €/MWh si ha in totale un incentivo di 287 €/MWh (valore che si userà in seguito per l'analisi d'investimento).

Il Decreto definisce inoltre tre diverse modalità di accesso ai meccanismi di incentivazione, a seconda della taglia di potenza e della categoria d'intervento :

- accesso diretto;
- iscrizione a Registri, in posizione tale da rientrare entro contingenti annui di potenza incentivabili;
- aggiudicazione degli incentivi a seguito di partecipazione a procedure competitive di Aste al ribasso.



Gli impianti alimentati a biomasse solide entro i 200 kW elettrici presentano un iter burocratico-amministrativo facilitato rispetto agli impianti di taglia superiore.

L'incentivo previsto in questo decreto è per gli impianti che si iscrivono ai registri del GSE e, nel caso delle biomasse, per il periodo 2013-2015 sono fissati dei contingenti annuali di potenza incentivabile in MW (*Tab. 5.3 - la riga evidenziata corrisponde alla tipologia di biomasse considerata in questo studio*).

Tabella 5.3

	2013	2014	2015
Biomasse di origine biologica, sottoprodotti di origine biologica (tab. 1-A del decreto), rifiuti non provenienti da raccolta differenziata, biogas, gas di depurazione e gas di discarica e bioliquidi sostenibili	170	160	160
Rifiuti per i quali la frazione biodegradabile è determinata forfettariamente	30	0	0

\*Il valore numerico (classe-P) è riferito alla dimensione della frazione di particelle (almeno per il 75% in peso) che passano attraverso le maglie con fori rotondi del setaccio

## 5.5.2 Esempio d'investimento

Considerando il Combi Cycle 200 (*cf. cap. 5.3.1*) prodotto dalla General Electric e distribuito in Italia dalla Ingeco, si valuta ora un possibile investimento a fronte di una tariffa incentivante di 287 €/MWh di energia elettrica immessa in rete.

L'analisi esamina un impianto che produce esclusivamente energia elettrica da vendere. Dettaglio dell'investimento necessario per la filiera:

<b>Impianto produzione di energia elettrica</b>	
Caldaia a vapore (1 MW):	350.000 €
Espansore di vapore:	130.000 €
Ciclo ORC:	330.000 €
Installazione:	70.000 €
Opere civili + cabina elettrica:	100.000 €
<b>Macchine per la raccolta dei sarmenti</b>	
Trattori (3 unità):	75.000 €
Macchine per raccolta (2 unità):	32.000 €
Rimorchio per trasporto:	13.000 €
<b>Totale investimento</b>	<b>1.100.000 €</b>
<b>Caratteristiche dell'impianto di produzione</b>	
Potenza termica richiesta in ingresso:	1000 kW
Potenza elettrica netta in uscita:	175 kW
Prezzo di vendita (tariffa onnicomprensiva)	287 €/MWh
Ore annue di produzione	8.000 ore
Energia termica richiesta in un anno:	8.000.000 kWh
Energia elettrica prodotta in un anno:	1.400.000 kWh

In riferimento all'energia termica richiesta annualmente si calcola il quantitativo di biomassa e la superficie viticola necessaria:

Potere calorifico inferiore medio dei tralci (M=30%)	3,2 kWh/kg
Resa per ettaro	2,7 t/ha (M=45%) 2,14 t/ha (M=30%)
Biomassa necessaria	2.500 t (M=30%)
Superficie viticola necessaria	1168 ha

Per il calcolo dei costi di raccolta si considerano le ipotesi fatte con il terzo caso (1000 ha) della precedente filiera:

<b>Raccolta</b>	
Numero operai	3
Costo orario operai	12,00 €
Superficie giornaliera raccolta	5 ha + 5 ha
Costo specifico gasolio	1 €/l
Consumo specifico medio	0,25 kg/kWh
Potenza media impiegata trattore	16 kW
Ore di raccolta	1867 ore
Gasolio impiegato	7.467 l
Costo totale gasolio	7.467 €
<b>Totale costi di raccolta</b>	<b>74.680 €</b>
<b>Altri costi</b>	
Olio e lubrificanti per trattore (30% costo gasolio)	2.240 €
Assicurazione, bollo, manutenzione ordinaria	3.000 €
Affitto capannone (circa 200 m <sup>2</sup> + piazzale)	18.000 €
Addetto impianto	30.000 €
Altro (es. smaltimento ceneri)	10.000 €
<b>Totale altri costi</b>	<b>63.240 €</b>

Altri costi comprendono le spese di assicurazione e bollo dei mezzi, le spese legate al consumo di lubrificante considerate pari al 30% del costo del gasolio, quelle legate all'affitto di un capannone da circa 200 m<sup>2</sup> con un grosso piazzale adiacente di almeno 3000 m<sup>2</sup> (1500 € mensili) e di un operaio che si occupi dell'impianto (8 ore al giorno per 250 giorni all'anno).

Le spese totali annue sono di 137.920 € mentre quelle legate ai costi di approvvigionamento e stoccaggio della biomassa si attestano intorno a circa 97.920 €/anno.

Si ricava ora il costo specifico del cippato di vite:

$$\text{costo cippato} = \frac{\text{costi di raccolta} + \text{costi legati alla raccolta}}{\text{quantità totale di biomassa raccolta}} = \frac{74.680 + (2.240 + 3.000 + 18.000)}{3150} = 31 \text{ €/t}$$

tale costo è del cippato di vite con umidità pari a M=45%. Il prezzo medio del cippato di categoria B rilevato da *Aiel* nel periodo agosto-settembre 2010 è stato di 53,9 €/t (M=50%, iva 20% esclusa). Risulta pertanto una rilevante convenienza economica l'auto-produzione di biomassa da sarmenti rispetto a centrali costrette all'acquisto.

Per la valutazione del Valore Attuale Netto dell'investimento, con un tasso del 6% annuo, si considera una durata di 20 anni legata all'erogazione dell'incentivo con la tariffa onnicomprensiva. L'anno 0 è l'anno dell'investimento (considerato unico) e della costruzione, quindi senza produzione e vendita di energia che avverrà a partire dall'anno 1; il calcolo è stato fatto senza la riduzione dell'incentivo del 2% annuo.

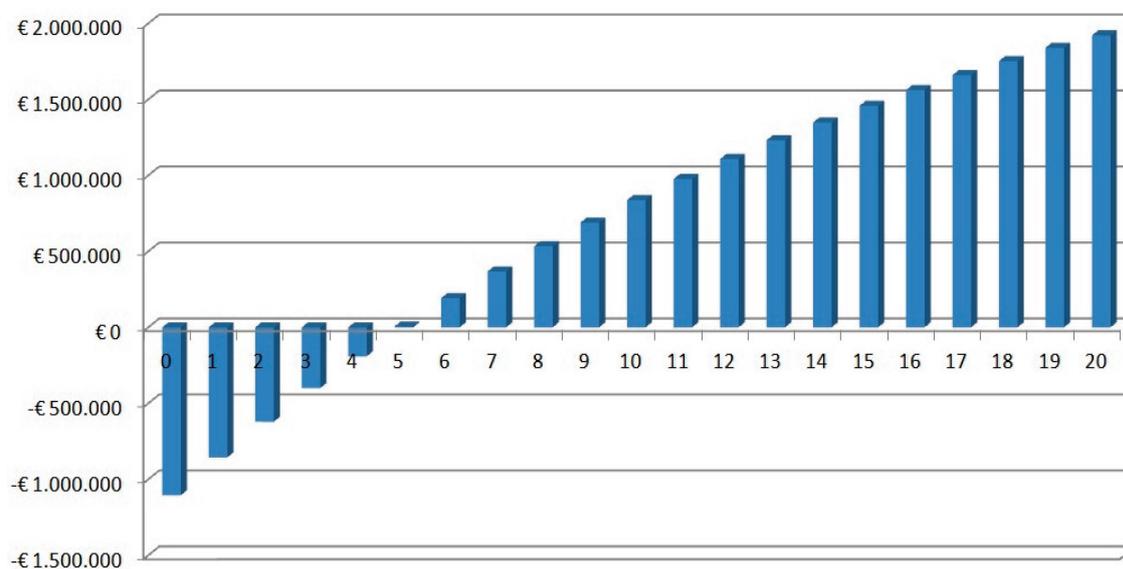
Tabella 5.4

ANNO z	$(1+i)^{-z}$	Flusso di cassa $\Delta F_z$ ( $F_{in}-F_{out}$ )	Flussi attualizzati $\Delta F_d$ $\Delta F_z (1+i)^{-z}$	Integrale cumulato $\Sigma \Delta F_d$
0	1,00000	-€ 1.100.000	-€ 1.100.000	-€ 1.100.000
1	0,94340	€ 263.893	€ 248.956	-€ 851.044
2	0,89000	€ 263.893	€ 234.864	-€ 616.180
3	0,83962	€ 263.893	€ 221.570	-€ 394.610
4	0,79209	€ 263.893	€ 209.028	-€ 185.582
5	0,74726	€ 263.893	€ 197.196	€ 11.615
6	0,70496	€ 263.893	€ 186.034	€ 197.649
7	0,66506	€ 263.893	€ 175.504	€ 373.153
8	0,62741	€ 263.893	€ 165.570	€ 538.723
9	0,59190	€ 263.893	€ 156.198	€ 694.921
10	0,55839	€ 263.893	€ 147.357	€ 842.278
11	0,52679	€ 263.893	€ 139.016	€ 981.294
12	0,49697	€ 263.893	€ 131.147	€ 1.112.441
13	0,46884	€ 263.893	€ 123.723	€ 1.236.164
14	0,44230	€ 263.893	€ 116.720	€ 1.352.884
15	0,41727	€ 263.893	€ 110.113	€ 1.462.998
16	0,39365	€ 263.893	€ 103.881	€ 1.566.878
17	0,37136	€ 263.893	€ 98.001	€ 1.664.879
18	0,35034	€ 263.893	€ 92.453	€ 1.757.332
19	0,33051	€ 263.893	€ 87.220	€ 1.844.553
20	0,31180	€ 263.893	€ 82.283	€ 1.926.836

Il ricavo annuale dalla vendita di 1.400 MWh di energia elettrica (funzionamento di 8.000 ore) a 0,287 €/kWh è di:

$$\text{Rincavo annuo} = 1.400.000 \cdot 0,287 = 401.800 \text{ €}$$

Figura 5.22



Come si nota dalla *tabella 5.4* il tempo di ritorno di un investimento energetico di questo genere è al 5° anno di attività, mentre il VAN al 20° anno è di 1.927.000 €. L'indice di profitto risulta:

$$Ip = \frac{VAN + I_0}{I_0} = \frac{1.927.000 + 1.100.000}{1.100.000} = 2,75$$

A conclusione di questo esempio di analisi si può affermare che l'investimento è molto promettente visto il basso tempo di ritorno e l'alto valore dell'indice di profitto. Tale progetto si scontra però con vincoli sia di carattere burocratico, date le molteplici autorizzazioni necessarie, sia di accettazione sociale. La costruzione di una centrale a biomassa infatti è da sempre vista con uno sguardo molto critico dalle associazioni di ambientalisti, anche se la combustione di legno vergine è considerata energia rinnovabile visto l'apporto quasi nullo di anidride carbonica in atmosfera.

La fattibilità economica risulterebbe ancora migliore se si considera l'opportunità di effettuare la cogenerazione (*cf. cap. 5.6.1*), cioè adoperare anche il calore rilasciato in ambiente durante la condensazione (l'analisi economica è stata realizzata senza considerare questa eventualità). Essa permetterebbe di avere un flusso di cassa positivo dato dal risparmio derivante dal riscaldamento oppure un incremento dell'incentivo della tariffa onnicomprensiva (premio per cogenerazione). Si ha anche la possibilità di produrre freddo, ma in questo caso c'è bisogno di calore di scarto ad una temperatura almeno di 90°-100°C (*cf. cap. 5.6.2*).

## 5.6 POSSIBILITÀ DI COGENERAZIONE E TRIGENERAZIONE

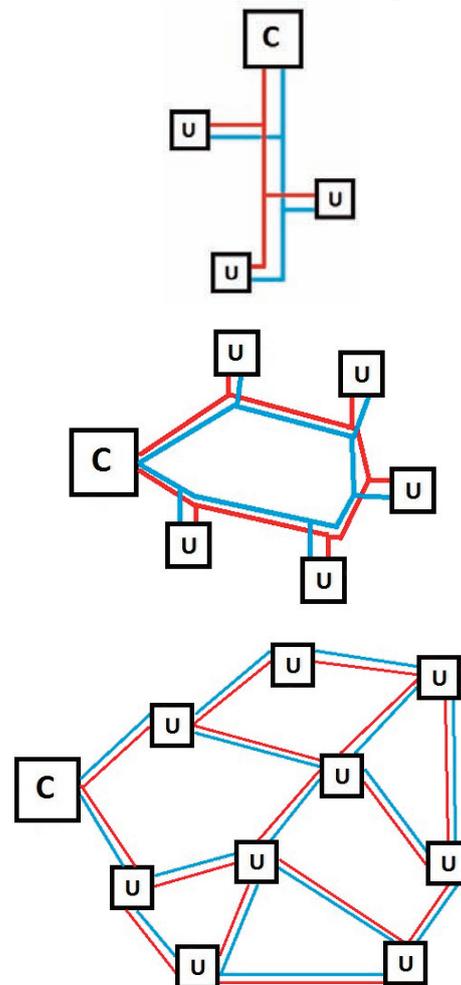
### 5.6.1 Cogenerazione per riscaldamento

Gli impianti operanti con ciclo Rankine a fluido organico sono solitamente funzionanti in assetto cogenerativo, cioè producono e rendono disponibili contemporaneamente energia elettrica e calore. Quest'ultimo deriva dal calore residuo di condensazione che andrebbe a finire nell'ambiente mentre in questo caso è utilizzato per la maggior parte in reti di teleriscaldamento, cioè in reti di tubazioni coibentate che trasportano il calore tramite un fluido termovettore dalla zona di produzione alle zone di utilizzo. Questa energia termica è di scarso valore termodinamico in quanto è a bassa temperatura, ma è ad un livello ottimale per effettuare la climatizzazione invernale.

Una rete di teleriscaldamento può essere di tre tipologie:

- ramificata, indicata quando si hanno poche e grosse utenze. Se avviene una rottura nel ramo principale non si possono più servire i clienti a valle prima della riparazione;
- ad anello, ideale per un numero medio di utenze. In caso di rottura si ha la possibilità di fornire parte della potenza termica dall'altro lato.
- magliata, ottima per un numero elevato di utenze. La rete è più complessa e costosa ma i disservizi per guasto sono ridotti al minimo in quanto ogni utenza è raggiungibile da più lati.

Figura 5.23



La scelta del fluido termovettore da utilizzare deve coniugare due caratteristiche fondamentali: essere sicuro (e non tossico) e trasportare più calore a parità di massa. La scelta ricade per la totalità dei casi nell'utilizzo di acqua nelle sue diverse forme:

- vapore: trasporta più calore per unità di massa ma può essere pericoloso per eventuali fughe;
- acqua calda (a pressione ambiente) o surriscaldata ( $p > p_{\text{ambiente}}$ ).

La fornitura di calore dipende soprattutto dalla differenza di temperatura  $\Delta T$  tra l'acqua in ingresso e quella in uscita dallo scambiatore posizionato in prossimità dell'utenza o delle utenze da servire:

$$P_{th} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{in} - T_{out})$$

dove  $\dot{m}$  è la portata e  $c_p$  il calore specifico del fluido ( $c_{p\_acqua} = 4,186 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ).

Nelle grandi reti di teleriscaldamento che utilizzano acqua calda derivante da calore di condensazione di impianti di produzione di energia elettrica si utilizza una temperatura di mandata di circa  $90^\circ\text{C}$ , ottenuta condensando il fluido organico a  $100\text{-}110^\circ\text{C}$ , rinunciando così ad un piccolo salto entalpico elaborato dalla turbina a vapore.

Per gli impianti di piccola potenza, come è quello considerato in questa trattazione, la cogenerazione potrebbe servire al riscaldamento attraverso la fornitura di calore a bassa temperatura, intorno ai  $30\text{-}40^\circ\text{C}$ , utilizzando pannelli radianti a pavimento.

Facendo un calcolo approssimativo, se si considera il calore a bassa temperatura che può essere reso disponibile per la cogenerazione da un impianto ORC come il Combi Cycle, si ottiene, utilizzando le percentuali:

Figura 5.24



Secondo lo schema di *figura 5.24* si avrebbero a disposizione circa 660 kW termici da destinare al riscaldamento radiante per esempio di capannoni industriali, uffici o serre nel periodo invernale.

### 5.6.2 Cogenerazione per raffreddamento

Nel caso in esame, vista la vocazione vitivinicola della zona di Monteforte, è possibile recuperare parte del calore di condensazione per adoperarlo prevalentemente per la produzione di energia frigorifera, utile per le operazioni di vinificazione. Per effettuare la produzione di energia frigorifera a partire da calore di scarto si utilizza una macchina ad assorbimento. Normalmente per produrre freddo si adopera una macchina frigorifera a compressione a ciclo inverso. Tale ciclo è formato da 4 trasformazioni:

- laminazione: il fluido frigorifero, partendo dallo stato di liquido saturo in 1, si espande (in modo internamente irreversibile) fino al punto 2;
- evaporazione: il fluido evapora a temperatura  $T_0$  e pressione  $p_0$  costanti in uno scambiatore ed assorbe dall'esterno il calore  $Q_0 = h_3 - h_2$  (è il calore utile);
- compressione: il fluido frigorifero allo stato di vapore saturo secco è compresso alla pressione superiore di ciclo  $p_1$  con un compressore. In questa fase il fluido si surriscalda ad un valore di temperatura  $T_4 > T_1$ ;
- condensazione: il fluido condensa a temperatura  $T_1$  e pressione  $p_1$  rilasciando all'ambiente esterno il calore  $Q_1 = h_4 - h_1$ .

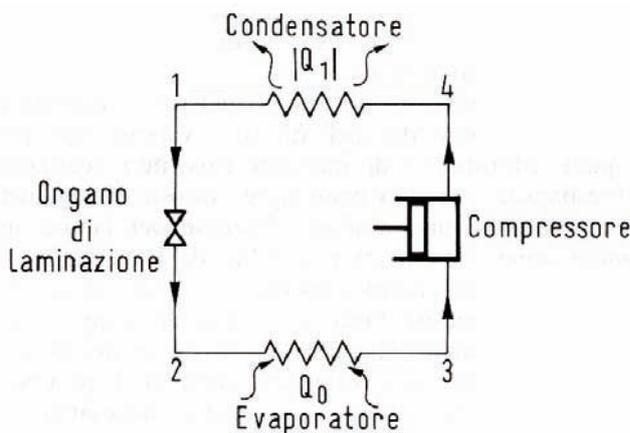


Figura 5.25 - Schema ciclo frigorifero semplice a compressione di vapori

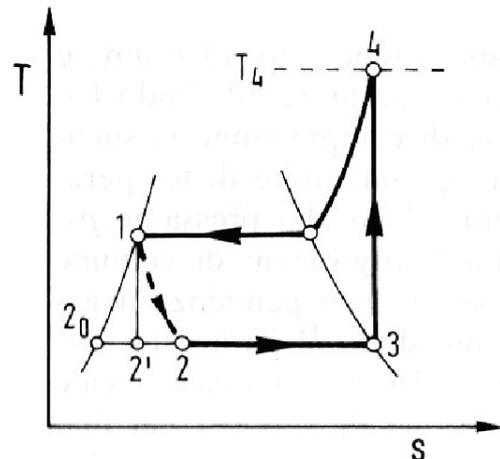


Figura 5.26 - Diagramma T-s del ciclo

Per il ciclo frigorifero in questione il coefficiente di effetto utile (COP) è:

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{|L_{34}|} = \frac{h_3 - h_2}{h_4 - h_3}$$

Si noti che il fluido esce dall'organo di laminazione ad un titolo  $x_2$  maggiore di  $x_2'$ , a cui uscirebbe se la laminazione fosse isoentropica. Ciò comporta una diminuzione dell'effetto frigorifero che si riduce a:

$$Q_0 = h_3 - h_2 = r \cdot (1 - x_2)$$

dove  $r$  è il calore di evaporazione alla temperatura  $T_0$ .

Considerando un ciclo frigorifero ad ammoniaca funzionante tra le temperature

$T_0 = 263 \text{ K } (-10^\circ\text{C})$  e  $T_1 = 298 \text{ K } (+25^\circ\text{C})$  il COP risulta:

$$\varepsilon = \frac{263}{298 - 263} = 7,5$$

mentre la lettura nel diagramma dell'ammoniaca dei punti corrispondenti porta ad un  $\varepsilon = 6,45$ .

Le macchine frigorifere appena descritte necessitano di energia meccanica per la compressione di un vapore o un gas (energia pregiata corrispondente ad alta exergia). Tale forma di energia è resa disponibile quasi esclusivamente dall'utilizzazione di motori elettrici. Una macchina ad assorbimento, invece, utilizza prevalentemente una fonte di calore esterna per compiere questo lavoro. In quest'ultima tipologia di macchina operano sempre due fluidi:

- il fluido frigorifero a più alta tensione di vapore (soluto);
- un opportuno fluido a tensione di vapore più bassa (solvente).

Le coppie di fluidi più utilizzate sono ammoniaca (soluto) - acqua (solvente) oppure acqua (soluto) - bromuro di litio (solvente).

Il funzionamento di una macchina ad assorbimento è descritta dalla *figura 5.27*. Si ha un generatore *G* alimentato da una miscela acqua-ammoniaca (7) ricca in ammoniaca; per mezzo della potenza termica  $q_g$  fornita dall'esterno ( $120-130^\circ\text{C}$ ), si ha la liberazione del componente più volatile (l'ammoniaca) che viene inviato nel condensatore, dove condensa cedendo all'esterno  $q_c$  (1-2); poi viene laminato a bassa pressione (2-3) ed inviato all'evaporatore dove vaporizza producendo la potenza frigorifera utile  $q_0$ . Il vapore di ammoniaca passa poi nell'assorbitore *A* dove giunge (dopo una laminazione) anche la soluzione povera di ammoniaca proveniente dal generatore (10); in questo componente si ha la dissoluzione dell'ammoniaca nella soluzione con processo esotermico necessitando un continuo asporto del calore  $q_a$  per il suo mantenimento. Dall'assorbitore infine la so-

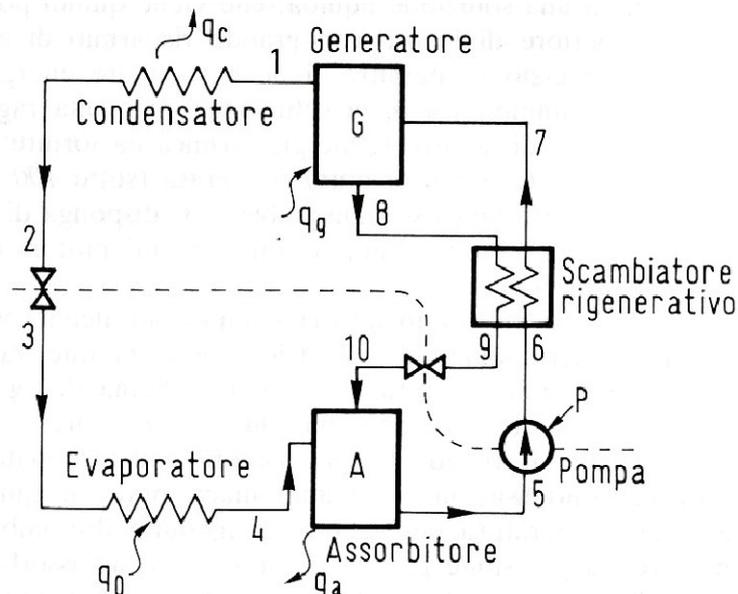


Figura 5.27 - Schema di principio di un ciclo frigorifero ad assorbimento

luzione ritorna al generatore alla pressione superiore di ciclo tramite una pompa. Uno scambiatore rigenerativo fa in modo di scaldare la miscela ricca di ammoniaca inviata al generatore a spese della miscela povera inviata all'assorbitore.

Il vantaggio nell'utilizzo di questo tipo di macchina per effettuare la produzione di freddo sta nel fatto che il lavoro di compressione avviene nella fase liquida con una pompa, risparmiando così un gran quantitativo di energia elettrica. Impianti di questo genere possono trovare applicazione qualora si abbiano grandi quantità di calore di scarto a temperature intorno ai 100°C (nel caso di macchine frigorifere a bromuro di litio e acqua), come il calore di condensazione di un ciclo ORC come il Clean Cycle semplice (cioè senza turbina a vapore). Tale ciclo prevede un'alimentazione primaria di circa 892 kW termici, produce circa 115 kW elettrici e considerando un 15% di perdite del calore residuo (135 kW termici) rimangono circa 640 kW termici. Il coefficiente di prestazione di una macchina frigorifera ad assorbimento commerciale è mediamente 0,7. Quindi l'energia frigorifera producibile quasi gratuitamente utilizzando solamente il calore di scarto derivante dal Clean Cycle e l'energia elettrica per alimentare la pompa, sarebbe di circa 450 kW. Per confronto, una macchina frigorifera commerciale da 416 kW che produce acqua refrigerata scambiando calore con l'aria ambiente assorbe una potenza di 140 kW elettrici (*modello Aermec NSI 1801*), con un COP di 2,97. Immaginando l'installazione di un impianto cogenerativo che renda disponibile calore per effettuare raffrescamento e supponendo di sostituire una macchina frigorifera tradizionale con una ad assorbimento, per un utilizzo di 2000 ore all'anno si risparmierebbero circa 56.000 € annui (con prezzo dell'energia elettrica di 0,2 €/kWh).

Da questo esempio si vede che applicazioni con macchine ad assorbimento sono molto convenienti solamente quando si hanno grandi quantità di calore di scarto da poter utilizzare a questo scopo.

### 5.6.3 Trigenerazione

Con il termine trigenerazione si indica la possibilità di produrre e rendere disponibile oltre all'energia elettrica anche energia termica sotto forma di energia frigorifera e calore. Si ha quindi che l'energia termica al condensatore dell'impianto viene adoperata praticamente per tutto l'anno aumentando notevolmente il fattore di utilizzazione della stessa e i benefici per l'utente che la adopera (in quanto risparmia sul condizionamento ambientale durante tutto l'anno). Nel caso di impianti che rendono disponibile calore ad una temperatura compresa tra 80-100°C è possibile quindi realizzare:

- il riscaldamento nel periodo invernale
- il raffrescamento nel periodo estivo

anche utilizzando la stessa rete di teleriscaldamento. Il raffrescamento viene realizzato anche in questo caso con gruppi frigoriferi ad assorbimento.

## 5.7 ANALISI ENERGETICA E AMBIENTALE

Il consumo di energia primaria della filiera è legato esclusivamente alla quantità di gasolio ( $H_u = 10,49$  kWh/l) utilizzato durante le procedure di raccolta (7.467 l). L'incidenza energetica di tale consumo sulla totale quantità di biomassa raccolta è minore dell'1%.

Tabella 5.5

Produzione annua di biomassa (M=30%)	2.500 t
Energia primaria della biomassa raccolta	8.000.000 kWh
Gasolio impiegato per la raccolta	7.467 l
Energia primaria del gasolio	78.330 kWh
Incidenza dell'energia del gasolio sull'energia della biomassa raccolta	0,98 %

La produzione di energia elettrica da biomasse è vantaggiosa soprattutto riguardo le emissioni di anidride carbonica in atmosfera, dato che si tratta di un combustibile rinnovabile. Ora si procederà ad un calcolo relativo all'effettivo risparmio di emissioni derivanti da CO<sub>2</sub> al netto della quantità rilasciata durante le operazioni di raccolta.

Ipotizzando che i sarmenti di vite siano raccolti con una macchina trinciacaricatrice e quindi non abbiano bisogno di una successiva cippatura, il rilascio di anidride carbonica è solamente legato alle operazioni di approvvigionamento della biomassa, trascurando la fase di trasporto dato che si sta operando in filiera corta (<20 km). Il calcolo delle emissioni durante la raccolta viene valutato dalla quantità di carburante consumato e sapendo che ogni litro di gasolio produce circa 2.650 g di CO<sub>2</sub> (*fonte: Quattroruote*). Sapendo inoltre che in media una centrale italiana emette 0,53 kg<sub>CO2</sub>/kWh<sub>e</sub> (*fonte: www.sunearthtools.com*) si riesce a calcolare il rilascio evitato (*tab. 5.6*). La valutazione è stata fatta considerando un impianto di produzione di energia elettrica da 175 kW operante per 8000 ore all'anno con un rendimento del 17%.

Tabella 5.6

Consumo annuo di biomassa (M=30%)	2.500 t
Produzione annua di energia elettrica	1.400.000 kWh
Gasolio impiegato per la raccolta	7.467 l
Rilascio di CO <sub>2</sub> durante raccolta	19.790 kg
Rilascio medio di CO <sub>2</sub> di una centrale italiana	742.000 kg
<b>CO<sub>2</sub> evitata</b>	<b>722.210 kg</b>

La produzione di anidride carbonica di una centrale di questo tipo, collegata esclusivamente alle operazioni di raccolta della biomassa, è poco più del 2% rispetto a quella rilasciata da una centrale italiana che produce la stessa quantità di energia elettrica. Quindi le emissioni legate alla raccolta della sostanza legnosa sono assolutamente trascurabili. Per un periodo di vita ipotizzato di 20 anni (è anche il periodo di durata dell'incentivo) la totale quantità di CO<sub>2</sub> evitata è di ben 14.444 tonnellate.



---

**6**

# **CONCLUSIONI**

## 6.1 CONSIDERAZIONI GENERALI E CONFRONTO DELLE FILIERE

In questo studio sono state analizzate due filiere agroenergetiche che hanno mostrato l'alto potenziale dei residui di potature della vite.

La differenza sostanziale tra una filiera e l'altra è che una mira alla produzione di biocombustibili destinati alla produzione di energia termica, mentre l'altra mira principalmente alla produzione di energia elettrica. Si è visto che per realizzare una filiera per l'alimentazione di una centrale elettrica è necessario avere a disposizione un bacino di approvvigionamento abbastanza ampio (>1000 ettari) rispetto alla superficie minima per produrre biocombustibili. In quest'ultimo caso la progettazione della filiera deve partire considerando la quantità di terreno che all'incirca si ha a disposizione in modo da investire in un impianto di produzione adatto alla quantità di materia prima da trattare ogni anno. Come è possibile comprendere le differenze stanno anche sull'accettazione sociale che, nel caso della creazione di una centrale a biomasse, porterebbe all'insorgere di numerose contrarietà nonostante si utilizzi un combustibile rinnovabile e le emissioni siano del tutto simili a quelle derivanti dalla combustione della normale legna da ardere.

Qualsiasi filiera si decida di realizzare è comunque da tener presente che si sta utilizzando un combustibile naturale disponibile sul territorio dove essa deve essere posta aumentando la disponibilità di energia in loco senza importarla da altri luoghi. C'è il bisogno sempre crescente non solo di limitare le importazioni di combustibili fossili ma anche di combustibili rinnovabili da paesi al di fuori dell'Italia, riutilizzando le risorse che si hanno a disposizione e che portano alla produzione di energia ad un costo inferiore, per esempio considerando la differenza di prezzo tra il pellet importato rispetto al pellet di vite.

L'utilizzo di risorse rinnovabili interne al paese è utile anche per centrare gli obiettivi energetici imposti al 2020 dalla Comunità Europea (Direttiva 2009/28/CE):

- Incremento del 20 % dell'efficienza energetica;
- Almeno il 20 % del consumo finale lordo coperto da fonti rinnovabili cioè per usi elettrici, termici e per il trasporto (17% per l'Italia);
- 20 % di riduzione delle emissioni di gas climalteranti rispetto al 1990.

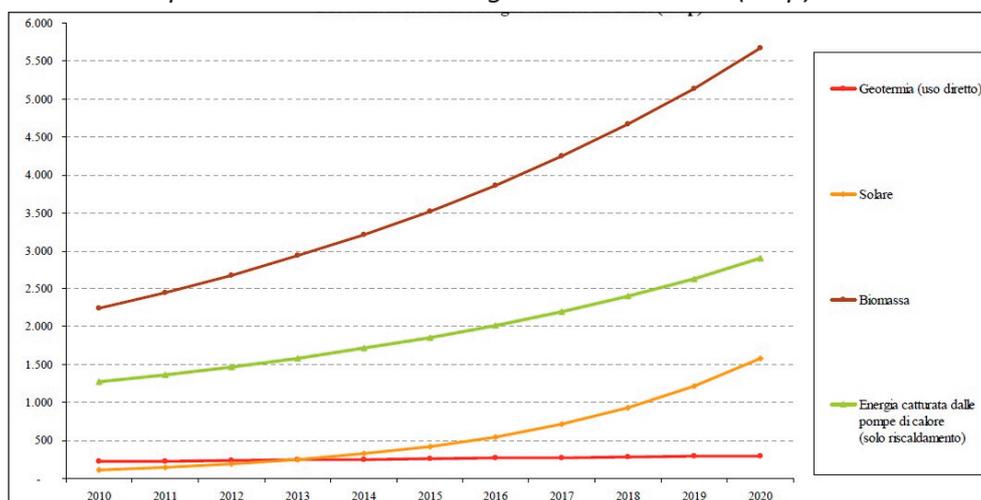
Il PAN (Piano Energetico Nazionale) varato dal nostro Paese a seguito della Direttiva europea ha stimato, anno per anno, partendo dai dati del 2005, i contributi delle varie fonti di energia (*tab. 6.1*).

Secondo uno studio della *CIA - Confederazione Italiana Agricoltori*, basterebbe sfruttare gli scarti del comparto agricolo per ottenere in cambio il 45% della quota energetica green richiesta da Bruxelles per la fine di questo decennio. Sfruttando al meglio le risorse agro-

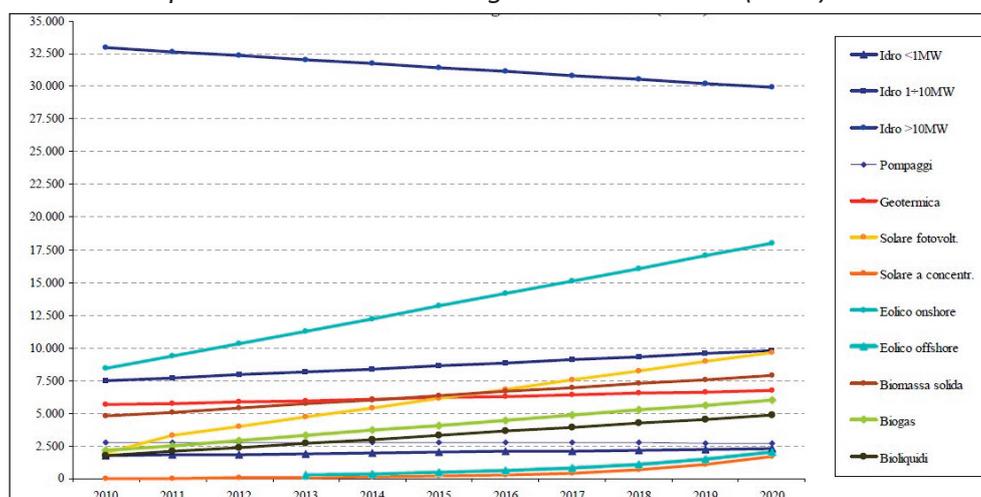
**Tabella 6.1 - Stima del contributo totale previsto per ciascuna tecnologia che utilizza energie rinnovabili in Italia (in ktep).**

	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Energia geotermica (escluso calore geotermico a bassa temperatura nelle applicazioni di pompe di calore)	213	226	232	239	246	253	260	268	275	283	292	300
Solare	27	113	148	192	250	326	424	552	719	936	1.218	1.586
Biomassa:	1.655	2.239	2.449	2.679	2.932	3.212	3.521	3.863	4.243	4.666	5.139	5.670
solida	1.629	2.206	2.406	2.624	2.862	3.121	3.404	3.713	4.050	4.417	4.817	5.254
biogas	26	26	33	41	52	66	83	105	132	167	211	266
bioliquidi (1)	0	7	10	14	18	25	33	45	61	82	111	150
Energia rinnovabile da pompe di calore:	21	1.273	1.368	1.473	1.588	1.715	1.857	2.016	2.195	2.398	2.631	2.900 *
— di cui aerotermica	16	1.127	1.204	1.285	1.373	1.466	1.566	1.672	1.786	1.907	2.037	2.175
— di cui geotermica	4	40	52	67	87	112	145	187	242	313	404	522
— di cui idrotermica	2	105	112	120	128	137	146	156	167	178	190	203
<b>Totale</b>	<b>1.916</b>	<b>3.851</b>	<b>4.196</b>	<b>4.583</b>	<b>5.016</b>	<b>5.506</b>	<b>6.062</b>	<b>6.698</b>	<b>7.432</b>	<b>8.283</b>	<b>9.280</b>	<b>10.456</b>
Di cui teleriscaldamento (2)	80	144	173	208	250	300	360	433	520	624	749	900
Di cui biomassa in nuclei domestici (3)	1.145	1.471	1.610	1.762	1.928	2.109	2.308	2.525	2.763	3.024	3.308	3.620

**Figura 6.1 - Stima produzione lorda di energia termica da FER (ktep)**



**Figura 6.2 - Stima produzione lorda di energia elettrica da FER (GWh)**



energetiche provenienti da campi e stalle italiane è possibile arrivare a risparmiare, nei prossimi dieci anni, 20 miliardi di euro di spesa per l'import di combustibili fossili, sottraendo all'ambiente 240 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub>. Basti pensare che utilizzando le pota-

ture di vite del Veneto (considerandone il 60% economicamente e tecnicamente raccogliabili) si potrebbero ottenere circa 57.000 di tonnellate all'anno di pellet, evitando il rilascio di 62.000 tonnellate di anidride carbonica ogni anno.

L'altro vantaggio principale è che utilizzando dei residui per la produzione di energia non si occupano nuovi terreni per la coltivazione di piante che andrebbero sottratti a coltivazioni alimentari (come nel caso del pioppo o della robina in *Short Rotation Forestry*). Le coltivazioni energetiche possono comunque essere adottate in appezzamenti abbandonati o periferici per l'integrazione di sostanza legnosa in centrali elettriche.

Dalla *figura 6.1* si capisce che nella stima di produzione di energia termica da FER è prevista una predominanza delle biomasse. Il Governo da parte sua dovrebbe finanziare ed incentivare filiere corte come quelle presentate, le quali porterebbero alcuni significativi vantaggi all'economia nazionale, come la formazione di nuovi posti di lavoro e l'aumento dell'indipendenza energetica.

Dallo studio effettuato emerge che nel territorio di Monteforte, e in generale nelle zone di produzione del vino Soave, la quantità di sarmenti prodotta ogni anno su un ettaro di superficie coltivata a vite, è di circa 1.500 kg di sostanza secca (M=0%) che, sulla base del potere calorifico, equivale a 7.350 kWh di energia primaria. Ciò significa che ogni anno 1 ettaro coltivato a vite produce l'equivalente di:

- 789 kg di carbone (Hu = 9,31 kWh/kg);
- 701 litri di gasolio (Hu = 10,49 kWh/l);
- 700 m<sup>3</sup> di gas naturale (Hu = 10,50 kWh/m<sup>3</sup>).

Tali equivalenze dovrebbero far riflettere sulla reale potenzialità di questo territorio e in generale ovunque si trovino biomasse legnose residuali facilmente raccogliabili (nel caso di sarmenti attualmente esistono molteplici soluzioni e macchinari per la raccolta).

La progettazione e la realizzazione di filiere che mirano alla produzione di biocombustibili o energia elettrica devono tener conto anche degli aspetti ambientali, in modo da garantire un'alta sostenibilità delle filiere stesse. Nello studio infatti sono stati analizzati questi aspetti che hanno rivelato un impatto minimo di entrambe le filiere, ed è stato compreso che per rendere efficienti tutte le operazioni bisogna progettare in maniera corretta l'intero processo soprattutto in relazione alla tipologia di territorio dove si decide di operare.

In conclusione, l'impiego sostenibile della materia prima che si ha a disposizione può contribuire a trasformare un problema e un costo di smaltimento in una risorsa in grado di procurare molteplici benefici sul piano economico, energetico, ambientale e occupazionale. In particolare, nel caso di produzione di pellet, i soggetti che trarrebbero immediato vantaggio sono:

- gli agricoltori: essi risparmierebbero i costi di trinciatura o smaltimento dei sarmenti di vite, beneficiando anche del vantaggio di una minore o addirittura assenza di proliferazione di tutte le malattie fungine, facilmente trasmissibili da un anno all'altro se si effet-

tua la trinciatura in campo;

- chiunque deciderà di adoperare il biocombustibile prodotto (sia nel settore pubblico che in quello privato) per il riscaldamento o per la produzione di calore per la propria attività, in quanto il costo al MWh è decisamente minore rispetto alle fonti tradizionali (*cf. tab. 4.12*) e leggermente minore rispetto al pellet che si trova attualmente in commercio.
- in generale l'economia del paese e l'ambiente in cui viene posta la filiera in quanto da un lato si ha la formazione di nuovi posti di lavoro e dall'altro si contribuisce alla salvaguardia del territorio avendo un'ingente riduzione del quantitativo di anidride carbonica immesso in atmosfera.



---

**7**

**BIBLIOGRAFIA**

**Testi e articoli consultati:**

L. Barella, A. Paniz, E. Antonini, *L'uso energetico dei sarmenti della vite - Valutazioni tecnico-economiche di filiere significative in provincia di Treviso*, Padova, 2010

M. Berton, *Soggetti e interventi ammessi ammessi dal nuovo Conto termico*, Energie Rinnovabili, supplemento a L'informatore Agrario N.48, 2012

V. Francescato, *Tutte le tecnologie per produrre energia da biomassa*, Energie Rinnovabili, supplemento a L'informatore Agrario N.48, 2012

A. Paniz, V. Francescato, *Produrre pellet e bricchetti da potature aziendali conviene*, L'informatore Agrario N.5, 2012

V. Francescato, E. Antonini, A. Paniz, S. Grigolato, *Vitis Energetica - Valorizzazione energetica dei sarmenti di vite in provincia di Gorizia - Insetto a L'informatore Agrario N.10*, 2007

A. Cavallini, L. Mattarolo, *Termodinamica Applicata*, Cleup Editore, Padova, 1992

D. Cocco, C. Palomba, P. Puddu, *Tecnologie delle energie rinnovabili*, Padova, 2010

G. Picchi, A. Cristoforetti, S. Silvestri, G. Toscano, *Combustione di sarmenti di vite e cippato forestale: emissioni da una caldaia da 50 kW dotata di elettrofiltro*, Progetto Biotec

V. Francescato, E. Antonini, L. Zuccoli Bergomi, *Manuale Pratico - Legna e cippato*, Padova 2009

A. Paniz, *Il mercato del pellets e del cippato in Italia*, Bolzano, 2010

E. Mescalchin, A. Cristoforetti, N. Magagnotti, S. Silvestri, R. Spinelli, *Utilizzo dei residui di potatura della vite a fini energetici*, Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige, 2009

A. Lorenzoni, P. Menapace, G. Verzè et al., *Le vigne del Soave*, Verona, 2002

F. Vizzotto, *Implementazione e studio di un modello di impianto a ciclo Rankine organico alimentato da biomassa*, Padova, 2012

A. Dorigati, *Applicazioni di cogenerazione di piccola taglia con l'ORC Clean Cycle 125 di General Electric*

A. Dorigati, *Clean Cycle - Generazione di energia da fonti rinnovabili e da calore di scarto*

---

*DM. 6 Luglio 2012*

M. Berton, *Come si applicano gli incentivi per la produzione di energia elettrica da impianti di gassificazione alimentati a biomasse legnose*, Brescia, 2013

*Piano di azione nazionale per le energie rinnovabili dell'Italia*, Roma, 2009

**Principali siti web consultati:**

[www.gse.it](http://www.gse.it)

[www.enea.it](http://www.enea.it)

[www.mixbiopells.eu](http://www.mixbiopells.eu)

[www.generaldies.com](http://www.generaldies.com)

[www.termocabi.it](http://www.termocabi.it)

[www.ingeco-enr.it](http://www.ingeco-enr.it)

[www.triogen.nl](http://www.triogen.nl)

[www.zuccatoenergia.it](http://www.zuccatoenergia.it)

**Foto e immagini:**

Saorin Alberto

Foto riprese dagli articoli citati

Immagini da internet

Tutti i marchi presenti appartengono ai rispettivi proprietari

---

## ***Ringraziamenti***

Desidero innanzitutto ringraziare la Professoressa Anna Stoppato per il tempo dedicato alla mia tesi e ai consigli che mi ha fornito.

Un ringraziamento particolare alla *Cantina Sociale di Monteforte*, nelle persone del Dr. Gaetano Tobin e Dr. Andrea Burato, che ha seguito e finanziato tutto il progetto.

Un grazie alla ditta MAREV nella persona di Claudio Bonamini per la macchina trinciacaricatrice utilizzata per le operazioni di raccolta dei sarmenti di vite e alla ditta Costruzioni Nazzareno che ha messo a disposizione il proprio impianto di pellettatura nella loro sede di Vacil di Breda di Piave (TV).

Infine desidero ringraziare tutta la mia famiglia che mi ha sempre sostenuto nel lungo percorso di studi dell'università.