



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA ENERGETICA

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

ANALISI E SVILUPPO DI INTERVENTI FINALIZZATI AL RISPARMIO  
ENERGETICO E ALLA MINIMIZZAZIONE DELL'IMPATTO  
AMBIENTALE IN UN IMPIANTO DI DISTILLAZIONE PER LA  
PRODUZIONE DI ALCOLICI

Relatori: Prof.ssa Anna Stoppato e Prof.ssa Giovanna Cavazzini  
Dipartimento Di Ingegneria Industriale

Correlatore: Ing. Giovanni Bartucci  
Studio Bartucci S.R.L.

Laureando: Matteo Stevanella

Anno Accademico: 2012 -2013



***"Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs".***

---

The Report of the Brundtland Commission: "Our Common Future".



## Indice

Sommario.....	1
Introduzione.....	3
CAPITOLO 1 .....	5
Il meccanismo dei certificati bianchi.....	5
1.1. La legge 308/82 .....	5
1.2. La legge 10/91 .....	6
1.3. I decreti gemelli 24 Aprile 2001.....	6
1.4. I Titoli di Efficienza Energetica (TEE).....	6
1.5. L'articolazione.....	7
1.6. Il meccanismo dei TEE .....	8
1.7. I vantaggi .....	10
1.8. Metodi di valutazione.....	10
1.8.1. Metodi di valutazione standardizzata.....	12
1.8.2. Metodi di valutazione analitica.....	13
1.8.3. Metodi di valutazione a consuntivo.....	14
1.9. Tipologia di TEE.....	16
CAPITOLO 2 .....	19
Il settore della distillazione .....	19
2.1. Nozioni storiche.....	19
2.2. La distillazione oggi.....	23
CAPITOLO 3 .....	27
Distilleria Bonollo Umberto S.p.A. e relativo ciclo produttivo.....	27
3.1. Presentazione della ditta.....	27
3.2. L'approvvigionamento della materia prima: la vinaccia .....	27
3.2.1. Raccolta e trasporto .....	29
3.2.2. Conservazione e insilamento.....	30
3.3. La distillazione della vinaccia.....	30
3.3.1. La disalcolazione.....	31
3.3.1.1. Gli apparecchi discontinui utilizzati nella disalcolazione.....	31
3.3.1.2. Gli apparecchi continui utilizzati nella disalcolazione .....	32
3.3.2. La Deflemmazione .....	35
3.3.3. La rettificazione .....	36

3.3.4.	La colonna di distillazione .....	37
3.4.	I condensatori .....	38
3.5.	Estrazione tartrato .....	38
3.6.	Trattamento borlande .....	39
3.7.	Generazione di vapore ed essiccazione .....	39
CAPITOLO 4.....		41
Analisi dei flussi energetici .....		41
4.1.	Introduzione.....	41
4.2.	Situazione attuale .....	41
4.2.1.	Sistema di misura.....	44
4.2.2.	Generatore di vapore.....	51
4.2.3.	Cogeneratore ed essiccatore .....	52
4.3.	Analisi del combustibile e dei fumi .....	53
4.3.1.	Generatore di vapore.....	53
4.3.1.1.	Calcoli di combustione .....	54
4.3.1.2.	Calcolo del contenuto energetico dei fumi.....	56
4.3.2.	Cogeneratore .....	56
4.3.3.	Essiccatore .....	57
4.4.	Sistemi di abbattimento delle emissioni.....	64
4.4.1.	I cicloni .....	64
4.4.2.	Il lavatore fumi .....	64
4.4.3.	Proteste contro la distilleria.....	68
4.5.	Analisi dei consumi .....	69
4.5.1.	Combustibile: vinaccia e biogas .....	69
4.5.2.	Energia elettrica .....	72
4.5.3.	Consumi d'acqua.....	73
CAPITOLO 5.....		77
Proposte d'intervento .....		77
5.1.	Recupero termico per produzione di potenza frigorifera.....	77
5.2.	Recupero del calore dai vapori alcolici .....	80
5.3.	Possibilità di riduzione dell'impatto ambientale dei fumi al camino.....	83
5.4.	Una soluzione d'avanguardia con vantaggi per l'intero sistema .....	85
5.4.1.	La tecnologia dell'essiccazione a vapore surriscaldato .....	86

5.4.2.	L'applicazione potenziale presso la distilleria Bonollo .....	92
5.4.2.1.	Recupero del vapore .....	94
5.4.2.2.	Configurazioni d'impianto .....	97
CAPITOLO 6 .....		103
Analisi dei risparmi conseguibili.....		103
6.1.	Risparmi dal recupero termico per la produzione di potenza frigorifera .....	103
6.2.	Risparmi dal recupero termico dei vapori alcolici .....	106
6.3.	Risparmi conseguibili con l'installazione di un essiccatore a vapore surriscaldato (SSD) a recupero diretto del vapore .....	107
6.3.1.	TEE e benefici economici dall'installazione del sistema SSD.....	107
6.3.2.	TEE e benefici economici dalla produzione di energia elettrica tramite ORC.....	112
6.4.	Conclusioni .....	115
Riferimenti bibliografici .....		117
Ringraziamenti .....		119



## Sommario

Il lavoro di tesi che segue è stato svolto con l'intento di fornire un esempio di sostenibilità economica ed ambientale per una categoria di interventi volti al miglioramento dell'efficienza energetica nel settore industriale. Per conseguire questi obiettivi si è usufruito dei servizi e della disponibilità di una nota Società di Servizi Energetici: Studio Bartucci S.r.l.. Di concerto, si è ritenuto utile sviluppare i concetti citati all'interno di una realtà impiantistica consolidata, sviluppando "sul campo" idee e proposte concrete. Di qui la scelta di concentrarsi su un impianto di distillazione di alcolici che cercava proprio questo tipo di analisi per migliorare i propri processi produttivi e risolvere alcuni aspetti legati all'impatto ambientale. Attraverso la disponibilità e il supporto di Giorgio Bonollo, titolare della distilleria Bonollo Umberto S.p.A. oggetto del lavoro di tesi, si sono analizzati i processi svolti all'interno dell'impianto. Successivamente si è cercato di ricostruire un bilancio energetico globale, considerando i consumi per un anno preso a riferimento. Da questa analisi si sono valutati i punti di processo meno efficienti e su cui si può intervenire per ottimizzare le risorse energetiche disponibili; di qui il confronto con le tecnologie attualmente disponibili sul mercato. Dallo studio effettuato, oltre a vari interventi di modesta entità, è emersa la possibilità di installare un sistema di essiccazione a vapore surriscaldato sfruttandone i vantaggi che si sposano perfettamente con la tipologia d'impianto studiata. L'applicazione di questo processo di essiccazione, in sostituzione alla tecnologia in vena d'aria attualmente utilizzata, è un esempio di innovazione e di implementazione di tecnologie oggi sfruttate in settori diversi da quello della distillazione di alcolici. La realizzazione dell'intervento sarebbe la prima in Italia in questo settore e permetterebbe un notevole risparmio di combustibile rispondendo anche alle esigenze di produzione di vapore, tipiche degli impianti di distillazione, e di sostenibilità ambientale. Per la distilleria Bonollo il sistema permetterebbe di soddisfare entrambe le necessità che stanno a cuore al titolare: incrementare l'efficienza energetica dell'impianto ed eliminare l'impatto ambientale creato dall'emissione dei fumi derivanti dall'essiccazione della vinaccia. Dai risparmi conseguiti per ogni tipo di intervento, si sono inoltre valutati i potenziali vantaggi economici connessi anche alla possibilità di usufruire dell'incentivazione prevista dal meccanismo dei titoli di efficienza energetica.



## Introduzione

Fare efficienza energetica significa adottare sistemi che, a parità di risultato ottenuto, presentano un minor dispendio energetico. Negli ultimi 40 anni il consumo mondiale di energia è raddoppiato ed è evidente che, in futuro, le problematiche relative alla limitata disponibilità delle risorse energetiche di origine fossile (petrolio e gas) e all'aumento delle emissioni dovuto al loro utilizzo, assumeranno un rilievo sempre maggiore. Per far fronte a queste evenienze sarà necessario essere sempre più efficienti nell'uso dell'energia. Ciò vuol dire che, per continuare a soddisfare i nostri bisogni, dovremo realizzare e utilizzare prodotti e servizi impiegando meno energia possibile. "Efficienza energetica" è quindi la capacità di riuscire a "fare di più con meno", adottando già ora le migliori tecnologie e tecniche disponibili sul mercato e un comportamento consapevole e responsabile verso gli usi energetici. Vuol dire sfruttare l'energia in modo razionale, eliminando sprechi e perdite dovuti al funzionamento e alla gestione non ottimale sia dei sistemi semplici che di quelli complessi. In sostanza, l'uso più efficiente riguarda e coinvolge l'intero Paese. La realizzazione di risparmi energetici significativi implica, da un lato, l'esigenza di sviluppare tecniche, prodotti e servizi a basso consumo di energia e, dall'altro, la necessità di modificare i comportamenti dei consumatori. Il progresso tecnologico ha permesso significativi incrementi dell'efficienza nella conversione delle fonti fossili in energia, riducendo le perdite e migliorando le prestazioni degli impianti, ma le tecnologie efficienti, da sole, non bastano a sfruttare tutto il potenziale di risparmio energetico disponibile. Altrettanto essenziale è il contributo che deve provenire dai fattori "non tecnologici", come l'organizzazione e la gestione ottimizzata delle imprese e il comportamento consapevole dei cittadini verso un uso più razionale dell'energia. Questi traguardi richiedono un grande impegno collettivo, ma i vantaggi economici, sociali e ambientali per l'intera comunità sono davvero consistenti. L'efficienza energetica in Italia è oggetto di crescente attenzione per l'importanza che essa riveste come componente essenziale della nuova strategia energetica nazionale. La realizzazione della strategia proposta consentirà un'evoluzione graduale ma significativa del sistema ed il superamento degli obiettivi europei 20-20-20, con i seguenti risultati attesi al 2020:

- Allineamento dei prezzi all'ingrosso ai livelli europei per tutte le fonti energetiche: elettricità, gas e carburanti.
- Riduzione di circa 14 miliardi di euro all'anno di fattura energetica estera (rispetto ai 62 miliardi attuali), con la riduzione dall'84 al 67% della dipendenza dall'estero.

- Riduzione di circa il 19% di emissioni di gas serra, superando gli obiettivi europei per l'Italia pari al 18% di riduzione rispetto alle emissioni del 2005.
- Riduzione di circa il 24% dei consumi primari rispetto all'andamento inerziale al 2020 (ovvero, -4% rispetto al 2010), superando gli obiettivi europei di -20%.

Questi risultati saranno accompagnati da benefici in termini di crescita economica ed occupazione primariamente per effetto del recupero di competitività nei settori a più elevata incidenza di consumi elettrici e di gas, del risparmio di risorse attualmente utilizzate per l'importazione di combustibili, degli importanti investimenti nel settore energetico e nell'indotto, e del rilancio della ricerca e dell'innovazione nel settore. Per il raggiungimento di questi la strategia crede nella promozione dell'Efficienza Energetica, strumento ideale per perseguire tutti gli obiettivi sopra menzionati, per la quale si prevede, come detto, il superamento degli obiettivi europei. Per disporre, infatti, a breve e medio termine di energia a costi ridotti, l'efficienza energetica rappresenta lo strumento più efficace dal punto di vista della praticabilità tecnica, finanziaria e socio-economica.

Proprio seguendo questo tracciato è stato svolto il seguente lavoro di tesi, incentrato sullo studio a sull'analisi di soluzioni innovative per l'incremento dell'efficienza energetica di un particolare caso studio: un impianto per la distillazione di alcolici. Il lavoro è stato svolto grazie agli strumenti messi a disposizione dalla società Studio Bartucci S.r.l., ESCo<sup>1</sup> accreditata presso l'"Autorità per l'energia elettrica e il gas".

---

<sup>1</sup>Energy Service Company, Società di servizi energetici: sono le società, comprese le imprese artigiane e le loro forme consortili, che alla data di avvio del progetto hanno come oggetto sociale, anche non esclusivo, l'offerta di servizi integrati per la realizzazione e l'eventuale successiva gestione di interventi. In particolare forniscono servizi energetici ovvero altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica nelle installazioni o nei locali dell'utente e, ciò facendo, accettano un certo margine di rischio finanziario. Il pagamento dei servizi forniti si basa, totalmente o parzialmente, sul miglioramento dell'efficienza energetica conseguito e sul raggiungimento degli altri criteri di rendimento stabiliti.

## CAPITOLO 1

### Il meccanismo dei certificati bianchi

#### 1.1. La legge 308/82

L'uso razionale dell'energia, in Italia, è stato incentivato a partire dagli anni '80 del secolo scorso. Il primo provvedimento adottato è stata infatti la *legge 29 maggio 1982 n° 308*, con la quale veniva promossa la prima vera campagna di incentivi per i settori dell'edilizia, dell'agricoltura e dell'industria. La legge si proponeva di incentivare il contenimento dei consumi energetici e l'utilizzazione delle fonti rinnovabili quali il sole, il vento, l'energia idraulica, le risorse geotermiche e la trasformazione dei rifiuti organici ed inorganici o di prodotti vegetali. Essa considerava fonte rinnovabile anche il calore di recupero negli impianti di produzione di energia elettrica nonché dai fumi di scarico di impianti termici e processi industriali. In edilizia venivano finanziati interventi quali la coibentazione degli edifici, l'installazione di nuovi generatori di calore ad alto rendimento, l'installazione di pompe di calore, di impianti fotovoltaici o altra fonte rinnovabile per la produzione di energia elettrica. Nell'industria e nell'agricoltura erano ammesse a contributo le iniziative che conseguivano un'economia non inferiore al 15% dei consumi iniziali di combustibile e di energia elettrica. L'erogazione degli incentivi era totale competenza delle regioni. Questi costituirono un forte traino per la realizzazione dei progetti che prospettavano per le imprese indicatori di redditività degli investimenti prossimi alla soglia di interesse; i due esempi di maggior successo furono il decollo dei programmi di teleriscaldamento delle aziende municipalizzate e, nel settore industriale, particolari innovazioni tecnologiche quali i forni a rulli, che sostituirono quelli a tunnel nel comparto ceramico. Gli interventi incentivati con la 308/82 generarono nel triennio 1985-1987 un risparmio medio annuo di circa 6 Mtep. Il risparmio totale ottenuto (113 Mtep) rappresentava circa il 7% del consumo energetico finale dell'anno 1987; in termini di energia primaria invece il risparmio ammontava a circa 8 Mtep, circa il 5% dei consumi primari per lo stesso anno. Tali risparmi hanno consentito una riduzione della fattura energetica nazionale di circa 1400 miliardi di lire, cioè di circa il 7,4%. Poiché il budget da destinare alle incentivazioni restava comunque limitato, fu introdotta una procedura per premiare gli interventi più meritevoli. Questa veniva effettuata sulla scorta di un indicatore definito dal rapporto tra il Valore Attuale Netto associato all'investimento ed il corrispondente investimento.

## **1.2. La legge 10/91**

A distanza di circa dieci anni venne emanata la *legge 9 gennaio 1991 n°10* con la quale veniva pressoché confermato l'impianto contributivo della precedente 308/82 con la fondamentale distinzione tra interventi a carico delle regioni e interventi a carico del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato. I primi riguardavano operazioni di efficienza minori, con potenze fino a 10 MW termici o 3 MW elettrici e comprendevano sia il settore edilizio, che l'industria e l'artigianato, che l'agricoltura. Riguardavano sia l'utilizzo di fonti rinnovabili, sia il miglioramento dei rendimenti delle macchine e delle apparecchiature che la sostituzione di idrocarburi con altri combustibili. Al ministero dell'Industria spettavano, invece, le funzioni relative ai progetti aventi maggior rilievo tecnico-economico (superiori a 10 MW termici o 3 MW elettrici). I contributi erano erogati per studi di fattibilità, progetti esecutivi e realizzazioni o modifica di impianti. Furono aggiunte nuove schede tecniche per la valutazione dei risparmi, mentre veniva introdotto anche un nuovo indicatore di merito, definito "Soglia di valutazione energetica capitale", dato dal rapporto tra l'energia risparmiata nella vita dell'intervento in termini di energia primaria (GJ) e l'investimento.

## **1.3. I decreti gemelli 24 Aprile 2001**

Il 24 Aprile 2001 sono stati emanati i decreti del ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato di concerto con il ministro dell'ambiente, *"Individuazione degli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico e sviluppo delle fonti rinnovabili"*, che definiscono un nuovo approccio normativo tendente all'incremento dell'efficienza energetica sul territorio nazionale. Tali decreti, riguardanti rispettivamente uno il gas ed uno l'elettricità, sono stati in seguito superati dai decreti 20 luglio 2004, *"Nuova individuazione degli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico e sviluppo delle fonti rinnovabili"* e dalle ulteriori modifiche e integrazioni apportate dal decreto ministeriale 21 dicembre 2007 e dal decreto legislativo 30 maggio 2008 n°115. Con questi è stato introdotto il sistema dei *Titoli di Efficienza Energetica (TEE)* denominati anche certificati bianchi, primo a livello mondiale ad essere realizzato in maniera vincolante e non volontaria.

## **1.4. I Titoli di Efficienza Energetica (TEE)**

I decreti del 2004 con le loro successive modifiche e integrazioni, come detto, hanno come scopo la realizzazione di interventi di miglioramento dell'efficienza energetica. Per efficienza energetica si intende, dalla definizione originale in lingua inglese della direttiva 2006/32/CE:

- *"energy efficiency": a ratio between an output of performance, service, goods or energy, and an input of energy.*

La versione tradotta in italiano della direttiva riporta:

- “efficienza energetica”: il rapporto tra i risultati in termini di rendimento, servizi, merci o energia, da intendersi come prestazione fornita, e l’immissione di energia.

La traduzione italiana di “efficienza energetica” risulta insufficiente a fronte del sintetico rigore della versione inglese. La questione nasce nell’aver voluto tradurre i termini “output” e “input”, sostantivi tra l’altro ormai consolidati nella lingua italiana, rispettivamente il primo con i termini “rendimento” e “prestazione”, ed il secondo con il termine “immissione”. Tra l’altro una tradizione scientifica ormai radicata in Italia individua con il termine “rendimento”, per esempio di un ciclo termodinamico, è il rapporto tra l’energia resa dal ciclo e l’energia fornita al ciclo stesso (tipicamente calore sviluppato dalla combustione di una fonte primaria di energia). La definizione comunitaria lascerebbe viceversa intendere per tale rapporto la definizione di efficienza (“a ratio between an output of [...] energy, and an input of energy”), e ciò potrebbe aver indotto il traduttore a fraintendimenti. Tuttavia il concetto operativo di “miglioramento dell’efficienza energetica” che si va consolidando presso gli operatori si riferisce alla possibilità di ottenere un livello di servizio finale uguale o superiore mediante l’impiego di una quantità di energia in ingresso inferiore. I diversi interventi sono stati singolarmente individuati dal legislatore e sono stati divisi in 15 grandi tipologie sia per il decreto “gas” che per quello “elettrico” che permettono di raggrupparli per settore di intervento e per tecnologia impiegata. Il passo importante fatto rispetto alle legislazioni precedenti sta nel far convivere lo spirito dell’obbligo con l’iniziativa volontaria: mentre in precedenza erano gli utenti finali a proporre gli interventi volontariamente sperando di poter accedere al contributo economico, ora alcuni soggetti sono obbligati a raggiungere obiettivi di risparmio energetico operando in prima persona o accedendo ai risparmi conseguiti, nell’ambito del meccanismo, da altre categorie di soggetti.

### **1.5. L’articolazione**

A grandi linee, l’articolazione dell’intero sistema prevede i seguenti capisaldi:

1. l’Autorità per l’energia elettrica ed il gas (AEEG) è l’ente preposto alla implementazione dell’intero sistema;
2. il miglioramento dell’efficienza energetica è realizzato presso gli utenti finali;
3. sono stabiliti obiettivi nazionali di incremento dell’efficienza energetica;
4. i grandi distributori di gas ed elettricità sono i soggetti obbligati al raggiungimento dei predetti obiettivi;

5. il miglioramento dell'efficienza energetica viene certificato tramite l'emanazione da parte del GME (gestore dei mercati energetici) di Titoli di Efficienza Energetica (TEE), detti anche "certificati bianchi";
6. ogni TEE corrisponde ad 1 [tep<sup>2</sup>] di energia risparmiata a seguito di interventi di efficientamento realizzati dai soggetti obbligati o da soggetti volontari che possono partecipare al meccanismo;
7. le proposte per l'ottenimento dei titoli sono sottoposte ad un'istruttoria tecnico-amministrativa condotta da ENEA;
8. viene avviato un mercato dei suddetti titoli in base a contrattazioni bilaterali e accesso alla borsa dei TEE;
9. è previsto un contributo tariffario a favore delle aziende di distribuzione obbligate a parziale copertura dei costi da sostenere per il raggiungimento degli obiettivi;
10. vengono irrogate sanzioni a carico dei soggetti obbligati nei casi di inadempienza.

Si sottolinea che la nuova normativa incentivante, contrariamente alle leggi precedenti, interviene esclusivamente (o quasi) sugli usi finali dell'energia, e la metodologia di verifica e certificazione dei risparmi non mira a determinare una graduatoria con cui distribuire gli incentivi, ma individua e premia tutti i risparmi per i quali l'istruttoria ha dato parere positivo.

### **1.6. Il meccanismo dei TEE**

Il sistema dei certificati bianchi è abbastanza complesso, ed il termine "meccanismo" rende il concetto del processo che vede coinvolti diversi attori, i quali devono attivarsi e realizzare attività di propria competenza in sincronismo con attività a carico di altri soggetti. L'intero processo viene schematizzato in Figura 1. Il cuore del meccanismo consiste nella responsabilizzazione di attori particolari, le aziende distributrici di gas e/o di energia elettrica, le quali si vedono assegnato un obiettivo di miglioramento dell'efficienza energetica da conseguirsi presso i propri clienti finali. Costoro diventano "soggetti obbligati" se hanno un parco di almeno 50.000 clienti; annualmente viene loro assegnato un obiettivo di risparmio energetico di cui dovranno dimostrare il conseguimento. L'obiettivo sarà soddisfatto se il distributore dimostrerà all'AEEG, entro il 31 maggio di ogni anno, di

---

<sup>2</sup> Un "tep" (tonnellata equivalente di petrolio) corrisponde all'energia sviluppata dalla combustione di una tonnellata di petrolio, energia assunta convenzionalmente pari a 41,868 GJ, corrispondenti a 11.627,907 kWh (oppure a 10.000.000 kcal). Stante la precedente definizione, 1 tep corrisponde in termini di unità fisiche energetiche:

- assumendo per il gas naturale un potere calorifico inferiore di 35.588 kJ/Sm<sup>3</sup>, a circa 1.176 Sm<sup>3</sup> di gas naturale
- assumendo un rendimento medio di produzione elettrico sulla rete nazionale del 46% (così come stabilito dalla delibera 03/08 dell'AEEG), a circa 5.349 kWh.

aver in proprio possesso un numero adeguato di TEE a valere per l'anno precedente. L'obiettivo che deve essere raggiunto dal singolo distributore in un dato anno è definito come il prodotto dell'obiettivo nazionale per quell'anno moltiplicato per il rapporto tra la quantità di gas (o elettricità) distribuita dall'impresa e la quantità globale di gas (o elettricità) distribuita sul territorio nazionale dalle imprese soggette all'obbligo, quantità riferite all'annualità 1 gennaio - 31 dicembre di due anni prima. Per raggiungere il proprio obiettivo, i distributori hanno diverse alternative cui poter ricorrere:

- realizzare essi stessi o tramite società controllate, presso gli utenti finali, interventi in grado di generare titoli, e/o
- lasciare che gli interventi siano realizzati da altri soggetti, ed acquisendone i relativi titoli riconosciuti tramite contrattazione bilaterale, e/o
- acquisire i titoli in borsa, ossia sul mercato appositamente organizzato dal GME.

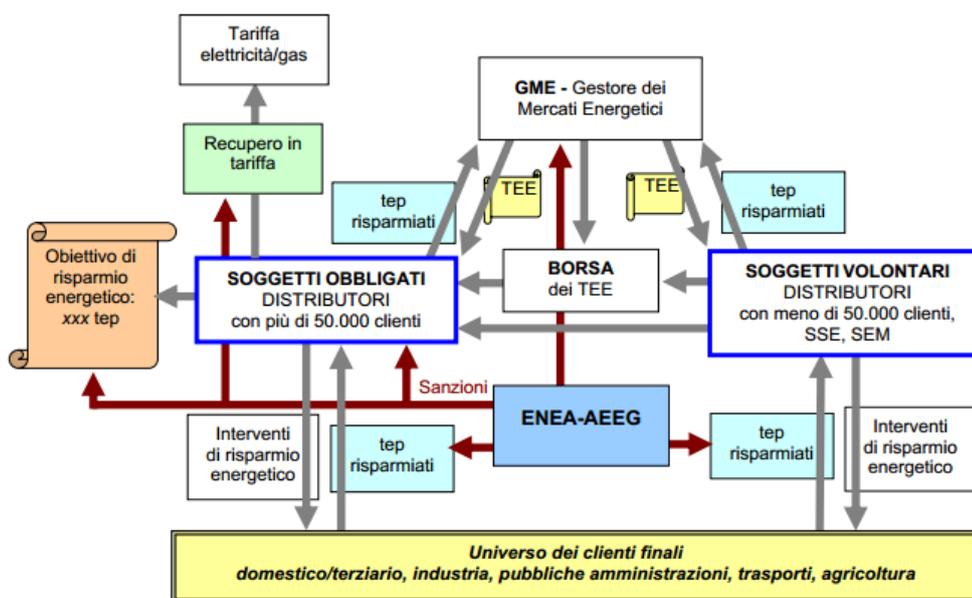


Figura 1 - Meccanismo di produzione e riconoscimento dei certificati bianchi (Fonte: ENEA).

Oltre ai soggetti obbligati, altri operatori possono accedere al meccanismo individuando, realizzando ed ottenendo titoli di efficienza energetica. Questi sono:

- società di servizi energetici (ESCO) e società controllate dai soggetti obbligati
- distributori di energia elettrica e gas con meno di 50.000 clienti finali
- soggetti con energy manager.

La figura dell'energy manager è stata introdotta nel panorama normativo italiano dall'art. 19 della legge n.10/91, il quale stabilisce che soggetti caratterizzati da rilevanti consumi energetici, e precisamente:

- 10.000 tep per il settore industriale
- 1.000 tep per gli altri settori (tipicamente il settore terziario e la pubblica amministrazione)

hanno l'obbligo di nominare il "tecnico responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia".

### **1.7. I vantaggi**

Partecipare al meccanismo dei certificati bianchi può comportare i seguenti vantaggi per i diversi attori:

- 1) le ESCo conseguono un ricavo dalla vendita dei titoli ottenuti su attività coerenti con il loro core business;
- 2) i soggetti che operano nei settori industriale, civile, terziario e dei trasporti, che hanno provveduto alla nomina dell'energy manager, possono richiedere i titoli per gli interventi di miglioramento di efficienza energetica realizzati, conseguendo una diminuzione dei consumi energetici ed un beneficio economico derivante dalla vendita dei titoli;
- 3) le aziende fornitrici di prodotti e servizi collegati all'efficienza energetica possono accreditarsi presso l'AEEG e ottenere successivamente i certificati bianchi a valere sui prodotti e servizi offerti;
- 4) le Regioni possono avere un importante ruolo di pianificazione energetica;
- 5) gli utenti finali (esclusi quelli con obbligo di nomina dell'energy manager), non possono partecipare direttamente al sistema; tuttavia hanno la possibilità di beneficiare in via indiretta dei ricavi conseguiti dalle SSE (negoziando con queste ultime una percentuale di partecipazione) e in via diretta beneficiando del risparmio in bolletta a seguito della realizzazione dei progetti.

### **1.8. Metodi di valutazione**

Il meccanismo dei certificati bianchi prevede tre metodi per la valutazione delle proposte:

1. metodi di valutazione standardizzata;
2. metodi di valutazione analitica;
3. metodi di valutazione a consuntivo.

Riguardo gli interventi incentivabili, si è stabilito che non sono ammissibili i progetti orientati al miglioramento dell'efficienza energetica relativi agli impianti di

generazione di energia elettrica. Simili attività sono talvolta interessate dall'analogo meccanismo dei certificati verdi, i quali premiano la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, ed il legislatore ha voluto che i due ambiti di intervento restassero distinti e senza sovrapposizioni. Per evitare la dispersione di risorse espletando istruttorie su proposte di entità irrisoria, viene consentito al richiedente di accorpare più interventi all'interno di uno stesso progetto. Gli elementi peculiari del meccanismo dei TEE sono descritti di seguito:

La vita utile **U**, pari al periodo di incentivazione, è stabilita pari a:

- 8 anni, per gli interventi per l'isolamento termico degli edifici, il controllo della radiazione entrante attraverso le superfici vetrate durante i mesi estivi, le applicazioni delle tecniche dell'architettura bioclimatica, del solare passivo e del raffrescamento passivo;
- 5 anni, negli altri casi.

La vita tecnica **T** di un intervento è definita come "il numero di anni successivi alla realizzazione dell'intervento durante i quali si assume che gli apparecchi o dispositivi installati funzionino e inducano effetti misurabili sui consumi di energia". Il concetto di "vita tecnica" è importante poiché i TEE vengono riconosciuti per l'intera sua durata, seppur erogati nel corso della vita utile.

La data in cui si può considerare che l'intervento sia stato realizzato, in cui cioè sia stata ultimata l'installazione dei macchinari-impianti-apparecchiature coinvolti, e questi siano stati avviati e siano regolarmente funzionanti, viene denominata "data di prima attivazione". Ad essa ci si riferirà in seguito, quando si dovrà definire il periodo di rendicontazione. Poiché la data di prima attivazione è fondamentale per definire la tempistica della proposta, di essa va fornita l'evidenza tramite l'invio di apposita documentazione associata all'avvio dell'iniziativa.

Il coefficiente di durabilità **τ**, è un coefficiente moltiplicatore del risparmio annuo funzione della vita utile **U**, della vita tecnica **T**, e di un tasso di decadimento dei risparmi  $\delta$  (assunto pari al 2% annuo). La sua definizione analitica è:

$$\tau = \frac{RNI}{RNC} = \frac{\sum_{n=1}^{T-1} (1-\delta_n)^n}{U} = 1 + \frac{RNa}{RNC} = 1 + \frac{\sum_{n=U}^{T-1} (1-\delta_n)^n}{U}$$

dove il **RNI** è il risparmio netto integrale, cioè il risparmio che si stima venga conseguito nell'arco della vita tecnica (**T**) dell'intervento pari alla somma del risparmio netto contestuale (**RNC**), conseguito nel corso della vita utile (**U**), e del risparmio netto anticipato (**RNa**), conseguito dal termine della vita utile al termine della vita tecnica.

Il coefficiente di addizionalità  $\alpha$ :

$$\alpha = \text{RN/RL compreso tra } 0 \text{ e } 100\%$$

rappresenta la quota percentuale dei risparmi energetici che si stima **non** si sarebbero verificati per effetto dell'evoluzione tecnologica, normativa e di mercato. Per valutare l'addizionalità il richiedente deve immaginare un contesto in assenza di meccanismo incentivante e domandarsi quale soluzione avrebbe implementato in una simile condizione: tale soluzione costituisce la "baseline", uno scenario impiantistico rappresentativo della "media" del mercato, ovvero una situazione ante-intervento di riferimento. Possono presentarsi quindi due casi:

1. Situazione ante-intervento coincidente o prestazionalmente superiore alla baseline:  $\alpha = 100\%$
2. Situazione ante-intervento prestazionalmente inferiore alla baseline:  $\alpha < 100\%$  proporzionalmente alla distanza tra baseline e situazione ante-intervento.

### **1.8.1. Metodi di valutazione standardizzata**

Questo primo metodo è stato mutuato dalle esperienze delle precedenti leggi di incentivazione 308/82 e 10/91. La valutazione standardizzata viene effettuata sulla base di schede tecniche deliberate dall'AEEG. La caratteristica del metodo è che i risparmi associati allo specifico intervento sono determinati esclusivamente in funzione del numero di unità fisiche di riferimento (**UFR**) oggetto dell'intervento elementare stesso (per esempio il numero di motori elettrici o di condizionatori ad aria esterna, i metri quadrati di pannelli solari ecc.). È il metodo più immediato e semplice da adottarsi poiché non vengono richieste al proponente misure o rilievi in corso d'opera ai fini della certificazione dei risparmi.

Il calcolo del risparmio netto integrale è dato dalla:

$$\text{RNI} = \text{UFR} * \text{RSL} * \tau * \alpha$$

dove il risparmio specifico lordo (RSL) è dato dalle apposite schede tecniche a seconda della tipologia di intervento. A inizio dell'anno 2012 sono disponibili 20 schede tecniche di valutazione standardizzata, così come riportate nella Tabella 1. Una volta calcolato il Risparmio Netto Integrale, in termini di tep risparmiati all'anno, questo persiste per un numero di anni pari alla vita utile dell'intervento.

Tabella 1- Schede tecniche standardizzate

Numero	Titolo	$\tau$
02T	Sostituzione di scaldacqua elettrici con scaldacqua a gas	2,65
03T	Installazione di caldaia unifamiliare a 4 stelle di efficienza alimentata a gas naturale e di potenza termica nominale non superiore a 35 kW	2,65
04T	Sostituzione di scaldacqua a gas con scaldacqua a gas più efficienti	2,65
05T	Sostituzione di vetri semplici con doppi vetri	2,91
06T	Isolamento delle pareti e delle coperture	2,91
07T	Impiego di impianti fotovoltaici di potenza < 20 kW	3,36
08T	Impiego di collettori solari per la produzione di acqua calda sanitaria	2,65
09T	Installazione di sistemi elettronici di regolazione di frequenza (inverter) in motori elettrici operanti su sistemi di pompaggio con potenza inferiore a 22 kW	2,61
11T	Installazione di motori a più alta efficienza	2,65
15T	Installazione di pompe di calore elettriche ad aria esterna in luogo di caldaie in edifici residenziali di nuova costruzione o ristrutturati	2,65
17T	Installazione di regolatori di flusso luminoso per lampade a vapori di mercurio e lampade a vapori di sodio ad alta pressione negli impianti adibiti ad illuminazione esterna	1,87
19T	Installazione di condizionatori ad aria esterna ad alta efficienza con potenza frigorifera inferiore a 12 kWf	2,65
20T	Isolamento termico delle pareti e delle coperture per il raffrescamento estivo in ambito domestico e terziario	2,61
23T	Sostituzione di lampade semaforiche a incandescenza con lampade semaforiche a LED	1,87
24T	Sostituzione di lampade votive a incandescenza con lampade votive a LED	1,18
27T	Installazione di pompa di calore elettrica per produzione di acqua calda sanitaria in impianti domestici nuovi ed esistenti	2,65
28T	Realizzazione di sistemi ad alta efficienza per l'illuminazione di gallerie autostradali ed extraurbane principali	1,87
29Ta	Realizzazione di nuovi sistemi di illuminazione ad alta efficienza per strade destinate al traffico motorizzato	2,65
29Tb	Installazione di corpi illuminanti ad alta efficienza in sistemi di illuminazione esistenti per strade destinate al traffico motorizzato	1,87

### 1.8.2. Metodi di valutazione analitica

Tramite tale metodo viene quantificato il risparmio energetico sulla scorta di un algoritmo specifico per ogni scheda tecnica pertinente. L'algoritmo, in questo caso, viene alimentato con pochi parametri caratterizzanti lo stato di funzionamento e di assorbimento energetico dell'apparecchiatura oggetto dell'intervento. Di conseguenza il proponente si deve impegnare a trasmettere tali dati all'AEEG anno per anno, per vedersi riconosciuti i corrispondenti titoli di efficienza. Contrariamente dunque al metodo standardizzato, che prevedeva il persistere nel

tempo del risparmio certificato al primo anno, nel caso del metodo analitico tale risparmio va ricostruito anno per anno, proprio sulla scorta dell'entità dei parametri trasmessi di volta in volta dal richiedente. All'inizio del 2012, sono disponibili 5 schede tecniche di valutazione analitica, riportate nella Tabella 2.

**Tabella 2 - Schede tecniche analitiche**

Numero	Titolo	$\tau$
10T	Recupero di energia elettrica dalla decompressione del gas naturale	3,36
16T	Installazione di sistemi elettronici di regolazione di frequenza (inverter) in motori elettrici operanti su sistemi di pompaggio con potenza superiore o uguale a 22 kW	2,65
21T	Applicazione nel settore civile di piccoli sistemi di cogenerazione per la climatizzazione invernale ed estiva degli ambienti e la produzione di acqua calda sanitaria	3,36
22T	Applicazione nel settore civile di sistemi di teleriscaldamento per la climatizzazione ambienti e la produzione di acqua calda sanitaria	3,36
26T	Installazione di sistemi centralizzati per la climatizzazione invernale e/o estiva di edifici ad uso civile	3,36

Analogamente alle schede standardizzate, vige il passaggio dal risparmio lordo al risparmio netto tramite il coefficiente di addizionalità, che tiene in conto i risparmi che si sarebbero in ogni caso verificati grazie all'evoluzione della tecnica e del mercato. Se comunque non esplicitamente previsto nell'algoritmo di calcolo, il coefficiente non è applicato (è pari al 100%).

### **1.8.3. Metodi di valutazione a consuntivo**

Una proposta che ricade nella valutazione a consuntivo prende il nome di Proposta di Progetto e Programma di misura (PPPM). Il metodo a consuntivo viene applicato alle proposte:

- 1) per le quali non sono disponibili schede tecniche di valutazione standardizzata o analitica
- 2) comprendenti interventi eterogenei per metodo di valutazione, da realizzarsi presso un unico cliente.

Inoltre, dato un certo intervento, in mancanza di una apposita scheda tecnica, standardizzata o analitica, si deve ricorrere necessariamente al metodo a consuntivo, ma non è escluso il contrario: in presenza di una scheda tecnica coerente con l'intervento, si può decidere anche di ricorrere ad una PPPM. La natura del metodo a consuntivo, in sostanza "aperto", comporta un'istruttoria da parte dell'ENEA molto più approfondita e complessa rispetto ai metodi

standardizzati e analitici. A livello industriale, le categorie d'intervento generali in cui occorre collocare la PPPM sono le seguenti:

**IND-T ) Processi industriali: generazione o recupero di calore per raffreddamento, essiccazione, cottura, fusione, ecc.**

Esempi d'intervento	$\tau$
Recupero energetico nei sistemi di rigassificazione del GNL Dispositivi per la combustione delle fonti energetiche non rinnovabili - Interventi per la sostituzione di dispositivi esistenti con altri a più elevata efficienza Essiccazione con dispositivi a microonde e radiofrequenza Fusioni e cotture con forni a conduzione e irraggiamento Dispositivi per la riqualificazione termodinamica del vapore acqueo attraverso compressione meccanica Utilizzo di calore di recupero Impiego di impianti alimentati a biomassa per la produzione di calore	3,36

**IND-GEN ) Processi industriali: generazione di energia elettrica da recuperi o da fonti rinnovabili o cogenerazioni**

Esempi d'intervento	$\tau$
Utilizzo di calore di recupero per la generazione di energia elettrica Generazione di energia elettrica dalla decompressione del gas naturale	3,36

**IND-E ) Processi industriali: sistemi di azionamento efficienti (motori, inverter, ecc.), automazione e interventi di rifasamento**

Esempi d'intervento	$\tau$
Rifasamento presso l'utenza finale Installazione di sistemi elettronici di regolazione in frequenza Installazione motori e meccanismi di trasmissione della forza motrice a più alta efficienza Misure di efficientamento energetico nel settore della distribuzione idrica Applicazione di sistemi informatici hardware e software per l'automazione industriale Uso delle tecnologie delle comunicazioni ai fini del risparmio energetico	2,65

**IND-FF ) Processi industriali: interventi diversi dai precedenti, per l'ottimizzazione energetica dei processi produttivi e dei layout d'impianto finalizzati a conseguire una riduzione oggettiva e duratura dei fabbisogni di energia finale a parità di quantità e qualità della produzione**

Esempi d'intervento	$\tau$
Integrazione di più fasi della linea produttiva, al fine di limitare le necessità di raffreddamento e riscaldamento dei prodotti Ridisposizione degli impianti al fine di ridurre le perdite di energia connesse con il trasporto dei fluidi Coibentazioni atte a ridurre i fabbisogni di riscaldamento e raffreddamento	3,36

Può accadere che l'azione di efficienza energetica non sia riconducibile univocamente ad una delle categorie suddette; in quel caso occorre valutare il  $\tau$  "pesando" opportunamente la collocazione dell'intervento e fornendo le necessarie motivazioni sulla scelta effettuata. Sono presenti altre categorie per quanto riguarda i settori civili e l'illuminazione pubblica.

Per il riconoscimento dei titoli di efficienza, tutte le proposte devono garantire il raggiungimento di una soglia minima di risparmio energetico. L'attuale configurazione può essere rappresentata dalla tabella 3 seguente:

**Tabella 3 - Dimensioni minime dei progetti**

Tipo di progetto	Dimensione minima del progetto [tep/anno]	
	Con $\tau$	Senza $\tau$ (2,65)
Standardizzato	20	7,5
Analitico	40	15
A consuntivo	60	23

### **1.9. Tipologia di TEE**

A seconda del tipo di energia risparmiata si possono avere cinque tipi di titoli riconosciuti:

1. titoli di tipo I, attestanti il conseguimento di risparmi di energia primaria attraverso una riduzione dei consumi di energia elettrica;
2. titoli di tipo II, attestanti il conseguimento di risparmi di energia primaria attraverso una riduzione dei consumi di gas naturale;
3. titoli di tipo III, attestanti il conseguimento di risparmi di forme di energia primaria diverse dall'elettricità e dal gas naturale non destinate all'impiego per autotrazione;
4. titoli di efficienza energetica di tipo IV, attestanti il conseguimento di risparmi di forme di energia primaria diverse dall'elettricità e dal gas naturale, realizzati nel settore dei trasporti e valutati con le modalità previste dall'articolo 30 del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28;
5. titoli di efficienza energetica di tipo V, attestanti il conseguimento di risparmi di forme di energia primaria diverse dall'elettricità e dal gas naturale, realizzati nel settore dei trasporti e valutati attraverso modalità diverse da quelle previste per i titoli di tipo IV.

Per consentire ai soggetti obbligati, i grandi distributori di gas e elettricità, di poter recuperare in tutto o in parte gli oneri sostenuti per la realizzazione degli interventi e per entrare in possesso dei TEE, è stata prevista l'istituzione di una componente a gravare sulle tariffe di distribuzione di energia elettrica e gas naturale: il cosiddetto "recupero in tariffa" o contributo tariffario. All'inizio dell'attivazione del sistema dei certificati bianchi, tale componente fu fissata a 100 euro per ogni [tep] consegnato dal soggetto obbligato all'AEEG. L'applicazione di una formula di aggiornamento messa a punto dall'AEEG ha portato a determinare il valore di contributo unitario pari ai valori riportati in Tabella 4 per i vari anni d'obbligo.

**Tabella 4 - Contributi tariffari negli anni (Fonte: ENEA).**

Anno	Contributo tariffario (€/tep)
2004-08	100,00
2009	88,92
2010	92,22
2011	93,68
2012	86,98

I costi che i distributori obbligati devono sostenere per raggiungere gli obiettivi annuali di risparmio energetico possono essere coperti attraverso risorse di varia natura: quote di partecipazione dei clienti partecipanti, finanziamenti statali, regionali, locali, comunitari, ricavi dalla vendita dei titoli di efficienza energetica, recupero in tariffa (che trova copertura attraverso le tariffe di trasporto e distribuzione dell'energia elettrica e del gas naturale in base a criteri stabiliti dall'AEEG). L'utente finale, grazie all'intervento di efficientamento realizzato, ottiene una riduzione dei consumi, cui seguirà un risparmio sulle fatture di energia elettrica, gas naturale o altri combustibili, e accederà eventualmente a finanziamenti esterni (contributi regionali, ad esempio) per i quali è consentita la cumulabilità. Egli dovrà poi girare al distributore o alla SSE una certa quota annua, a copertura parziale dell'investimento iniziale ed eventualmente dei costi di gestione e manutenzione (a seconda dell'eventuale contratto stipulato). L'analisi economica delle proposte è influenzata dal coefficiente di conversione [kWh/tep], esprimente la quantità di energia primaria che occorre utilizzare a livello di sistema elettrico nazionale per produrre il singolo [kWh]. La delibera AEEG 03/08 ha fissato tale coefficiente pari a  $0,187 \times 10^{-3}$  [tep/kWh] considerando un rendimento di conversione elettrica del 46 %. Il valore raggiunto dai titoli sul mercato è riportato in Tabella 5, relativa all'anno 2010. Il valore puntuale dei vari titoli può essere monitorato in tempo reale sul sito web del Gestore dei Mercati Energetici-GME.

Tabella 5 - Valore di mercato dei diversi tipi di TEE per l'anno 2010 (Fonte: ENEA).

<b>TEE</b>	<b>Quantità (tep)</b>	<b>Controvalore (€)</b>	<b>Prezzo medio (€/tep)</b>	<b>Prezzo minimo (€/tep)</b>	<b>Prezzo massimo (€/tep)</b>
Tipo I	625.860	54.727.593	87,44	75,25	98,62
Tipo II	352.017	30.468.566	86,55	73,28	98,75
Tipo III	52.297	4.705.685	88,44	72,04	98,37
<i>Totali</i>	<i>1.030.084</i>	<i>89.901.844</i>	<i>87,19</i>	<i>72,04</i>	<i>98,75</i>

## CAPITOLO 2

### Il settore della distillazione

L'analisi di efficienza energetica svolta in questa tesi riguarda il particolare settore della distillazione di alcolici; a questo scopo è utile fornire una descrizione dei processi coinvolti considerando anche l'evoluzione storica del settore.

#### 2.1. Nozioni storiche

Le prime notizie certe sull'acquavite intesa come bevanda superalcolica in senso moderno risalgono al XIV secolo, questo non toglie però che fosse prodotta e usata anche molto prima; la distillazione, infatti, è un'arte antichissima. Il ritrovamento, durante gli scavi archeologici di Tepe Gaura in Mesopotamia settentrionale, di un reperto raffigurante un apparecchio per la distillazione di sostanze organiche aromatiche e probabilmente alcoliche, risalente a non meno di 3500 anni a.C. e, la recentissima scoperta di resti distillatori risalenti all'età minoico-micenea durante una missione del C.N.R. (Consiglio Nazionale delle Ricerche) a Cipro, ne sono la testimonianza. Altre antiche prove in questo senso provengono da reperti archeologici delle regioni del Caucaso dove si produceva un'acquavite dal latte fermentato. Anche i cinesi consumavano bevande distillate già molti anni prima di Cristo; un editto del 144 a.C. attesterebbe che la distillazione era praticata regolarmente. Sicuramente pure gli Egizi, che coltivarono largamente le arti e le scienze, conobbero e adottarono un sistema per estrarre l'alcol, probabilmente da un fermentato di datteri, avendone ricevuta notizia probabilmente dall'oriente, dopo aver iniziato i primi commerci con l'India, la Babilonia e la Siria. Proprio dagli Egiziani proviene la prima testimonianza scritta che riguarda un alambicco: un certo "Cleopatra" - non tragga in inganno l'omonimia con la celebre regina – costui, uomo di scienza e forse sacerdote, in un suo manoscritto del II sec a.C. descrive un apparecchio che passerà alla storia con il nome di "Crisopea". Si trattava probabilmente di un alambicco elementare che veniva però utilizzato per ottenere balsami ed essenze necessari per la mummificazione e la cosmetica. Dall'Egitto le conoscenze tecniche passarono poi ai Greci ed ai Romani anche se non sembra che essi praticassero molto intensamente la distillazione. I cenni a questa tecnica, nella letteratura, infatti, sono piuttosto rari. Sappiamo tuttavia che con Aezio misero a punto un distillatore e che Ipazia, donna dotata di supremo ingegno e custode della scienza pagana che faceva capo alla Biblioteca di Alessandria d'Egitto, perfezionò nella sua prestigiosa scuola una vera e propria apparecchiatura per la distillazione. Un'ulteriore testimonianza ci arriva da Aristotele, il quale evoca questa tecnica nella

sua Meteorologia e da Plinio il Vecchio, il quale a sua volta, intorno al 77 d.C., ci lascia una chiara traccia della distillazione riferendo che essa aveva luogo usando un procedimento molto semplice: la sostanza da distillare veniva posta in recipienti coperti da pelli di animali che venivano strizzate quando erano imbevute di vapori, ottenendo così il distillato. Oltretutto il processo di distillazione fu intuito, già nel I sec a.C. in maniera empirica da Dioscoride Pedanio, un medico greco che esercitò anche a Roma ai tempi dell'imperatore Nerone. Egli capì che distillare era come "imitare il sole che evapora l'acqua e la restituisce in pioggia". Nonostante questa sua intuizione, non perfezionò alcun macchinario, ma elaborò un semplice vaso a punta che chiamò "Ambix", alla cui sommità condensavano le gocce di vapore. Un merito particolare deve tuttavia essere riconosciuto agli Arabi che nel periodo in cui conquistarono il bacino del Mediterraneo, diedero all'arte della distillazione un apporto fondamentale e contribuirono alla divulgazione della sua conoscenza. Secondo alcuni va a loro attribuita la paternità stessa del processo, poiché il termine alcool deriva dall'arabo "al-khul" ovvero "polvere impalpabile", nome con il quale gli egiziani indicavano un ombretto per gli occhi (il "khol"). Tuttavia gli arabi preferivano il termine "al raki" (sudore) per indicare l'alcol. Inoltre, anche il nome dato all'utensile per la distillazione è di origine araba ("Al-Ambiq"). Allo stesso modo viene dimostrato il fatto che gli arabi stessi si ispirarono agli studi greci presenti nella Biblioteca d'Alessandria, infatti, come detto; Dioscoride, secoli prima aveva coniato il termine "Ambix". È molto probabile che prima di distruggere la biblioteca (il che avvenne tre secoli dopo la prima distruzione del 319 d.C. ad opera dei cristiani) gli Arabi si siano impossessati di alcuni libri trattanti la distillazione e in tal modo riuscirono negli anni a venire a perfezionare la tecnica, creando un moderno alambicco intorno al 650 d.C. Infatti, solo con il perfezionamento degli alambicchi, grazie al movimento filosofico alchemico arabo (denominato "Al Kimiya" dal greco "Chimos" cioè linfa, essenza) avremo i primi esempi di alcool commestibile e la conseguente codifica del procedimento di distillazione. Tali alcoli, oltre che dannosi per la salute, soprattutto per il sistema epatico, veicolavano anche odori sgradevoli al risultato finale. Tali imperfezioni del distillato saranno presenti per lungo tempo e determineranno la nascita delle aromatizzazioni con frutta e spezie per coprire tali imperfezioni. L'invenzione del primo alambicco moderno, come noi lo conosciamo, la si attribuisce ad un adepto del suddetto movimento filosofico, il fisico Jabir Ibn Hayyan, che spese la sua vita alla ricerca della quinta essenza (quinto elemento) dopo Aria, Acqua, Terra e Fuoco, indicati da Empedocle come i principi fondamentali dell'Universo; mentre il processo fu perfezionato grazie ad un altro fisico alchimista, Al-Kindy, che raggiunse standard qualitativi e metodologia che saranno poi utilizzate dai futuri distillatori europei della scuola di Salerno. Con Maometto, però, si ebbe un cambiamento epocale, dal momento che, come

sappiamo, proibì l'uso dell'alcool presso le sue popolazioni. Tuttavia ciò non impedì, soprattutto a queste due figure, di sviluppare le conoscenze legate alla distillazione e al suo utilizzo per la preparazione di rimedi legati all'erboristeria. Infatti Maometto non proibì l'uso medico e tali preparati continuarono ad essere usati negli ospedali della capitale Baghdad, al tempo fra i più importanti al mondo. La tecnica di distillazione araba si diffuse poi nell'Italia meridionale. Qui inizialmente l'alcol veniva distillato dal vino e la condensazione dei vapori passava in un tubo di vetro tortuoso (serpentino) immerso in acqua fredda corrente. Durante tutto il Medioevo le ricerche riguardanti la distillazione subirono una stasi non indifferente. Tuttavia, anche in questo periodo sono stati elaborati numerosi apparecchi per distillare. In origine essi consistevano essenzialmente di tre parti distinte: la caldaia di terra cotta smaltata o di metallo detta "bikos" e più tardi "cucurbita"; il condensatore detto "cappello" applicato al collo della cucurbita e munito di un canaletto interno per convogliare il distillato; la terza parte era denominata "fiala" o "bocca" e serviva per raccogliere il distillato. Ruolo importante in Italia lo ebbe la Scuola Salernitana che intorno all'anno mille codificò le regole per la concentrazione dell'alcol attraverso la distillazione e ne prescriveva l'impiego per svariate patologie umane. A Salerno, infatti, risiedeva il famosissimo "Istituto Superiore delle Scienze" che veniva considerato la culla di tutte le facoltà di medicina in Europa. Le informazioni più precise le abbiamo da Arnaldo di Villanova, medico, alchimista, filosofo catalano e docente universitario a Montpellier (1235-1311) il quale curò alcuni papi e regnanti somministrando terapie a base di grappa. Nel suo "Liber de vinis" dà ampie notizie sull'acquavite di vino e la definisce "essenza meravigliosa, vera acqua dell'immortalità" dandole per questo motivo il suggestivo nome di "Aqua vitae", acqua della vita. In effetti, una delle sue scoperte più sensazionali fu proprio che dai residui del vino si poteva ottenere una sostanza liquida che del vino non aveva più né il colore né il sapore ma che sembrava possedere eccezionali virtù. Nei secoli che vanno dal 1200 al 1400, la grappa viene consigliata per alcune malattie, come elisir e, addirittura come afrodisiaco, se aromatizzata con erbe, e come digestivo. Nel 1500, l'allora noto medico e botanico senese Pietro Andrea Mattioli, continuò con successo gli studi sulla macerazione in alcol di alcune erbe medicinali. Famosissimo il suo "Commentarii Pedacii discordis Anazarbei de Materia Medica" dove tratta anche la distillazione delle acque e delle piante e il modo di conservarne profumi e odori.



Figura 2 - Idra dalle sette teste

Sempre alla metà del Cinquecento risale la magistrale opera "de distillationibus libri IX" del napoletano Gian Battista Della Porta. Si trovano qui descritti diversi metodi di distillazione come ad esempio la "destillatio per solis calorem", la "destillatio per descensum" oltre a numerosi apparecchi quali il "doppio pellicano" e la famosa "idra dalle sette teste"<sup>3</sup>. Anche Leonardo Da Vinci si dedicò all'ars distillandi, lasciandoci così il disegno di un doppio alambicco con contenitore refrigerante per la "serpentina" riprendendo il lavoro del Mattioli e sviluppandolo. Fu Caterina De Medici a introdurre in Francia le conoscenze sull'arte del distillare, dopo aver incoraggiato la produzione di liquori nella sua Firenze. Sposando Enrico Duca D'Orleans (divenuto poi re Enrico II) condusse con se alla corte parigina scienziati fiorentini abili distillatori di liquori e profumi. Ed è proprio in Francia che nel 1514 venne costituita la prima Comunità dei distillatori di acquavite. Similmente in Italia nel 1601 nacque la corporazione degli "acquavitari" a Venezia, dove le fabbriche e le botteghe di queste bevanda erano numerose. Dall'esperienza raggiunta da italiani e francesi, l'arte della distillazione si sviluppò anche tra i paesi che non producevano vino, che dovevano però ingegnarsi per trovare il modo per



Figura 3 - Sistema per la distillazione da bucce di cedro di inizio secolo scorso tipico delle isole greche. Si distinguono la caldaia, il collo di cigno e il condensatore.

conservare un prodotto di qualità elevata durante il trasporto. Una testimonianza giunta ed utilizzata tuttora è la parola brandy, l'acquavite distillata dal vino, che deriva dall'olandese "brandwijn", ossia vino bruciato. Oltre agli olandesi anche gli inglesi si specializzarono distillando direttamente dove si produceva il vino, sia in Francia che in Italia (un classico esempio è il Marsala, prodotto inizialmente da inglesi che aggiungevano mosto cotto e acquavite di vino per conservare il vino durante il trasporto sulle navi). Con il Rinascimento si assiste ad un progressivo abbandono delle regole dell'alchimia a favore della chimica come vera e propria scienza codificata. Su questa scia anche

---

<sup>3</sup> Si tratta di un apparecchio che permette di ottenere acquavite con un'unica distillazione, può essere considerato il primo prototipo delle moderne colonne di distillazione.

l'alambicco, si va via via modificando grazie all'introduzione di nuovi materiali derivati dall'industria dei metalli. Nascono così apparecchiature più complesse ed efficienti che consentono capacità di distillazione sempre maggiori fino ad arrivare ai primi distillatori con funzionamento continuo. Nel '700 si diffusero i venditori di grappa ambulanti (i più famosi erano di Roma e Torino), i quali sul finire del secolo, rendendo esempio da Bortolo Nardini che aprì la sua distilleria nel 1779 vicino allo storico ponte di Bassano, aprirono delle botteghe. A partire dai primi decenni del 1800, grazie a ricercatori appassionati, la tecnica della distillazione fece rapidi progressi fino a raggiungere le conoscenze attuali. Dal primo alambicco importante costruito dal Parmentier derivarono altri alambicchi sempre più sofisticati. Nella seconda metà del 1800 il Comboni ne mette a punto uno in cui le vinacce, poste in un cilindro tronco conico, vengono distillate tramite il vapore prodotto da una caldaia posta direttamente sotto il contenitore delle vinacce. Nello stesso periodo, Andrea Da Ponte costruisce un apparecchio a vinacce emerse in cui i vapori idroalcolici vanno a borbottare in un cilindro bollitore e salgono in una colonna di deflemmazione per poi passare nel refrigerante dove vengono condensati. Contemporaneamente compaiono anche i primi alambicchi mobili che andavano di cascina in cascina a distillare le vinacce. La grappa assunse una notorietà nazionale soprattutto a partire dalla Grande Guerra. Durante l'epico ma nefasto periodo bellico, scaldava e rincuorava soldati di ogni parte d'Italia. Ci vorranno ancora circa trent'anni (fine anni '70) affinché la grappa passi dai centri operai per salire ai salotti buoni delle città, ed entrare così anche in rinomate enoteche e in ristoranti famosi, di cui moltissimi stellati. Ancora oggi, in parallelo allo sviluppo industriale del settore che è comunque ancora saldamente in mano alle famiglie dei mastri distillatori, resta viva in tutti i paesi mediterranei la tradizione della "distillazione casalinga", sebbene vietata.

## **2.2. La distillazione oggi**

Anche in Italia, naturalmente, il consumo di acquaviti si diffonde e la loro varietà si amplia. Paese vinicolo per eccellenza, l'Italia si specializza nelle acquaviti da materie prime viniche, da vino (brandy) e da vinaccia (grappa). Ma non solo: si distillano acquaviti di frutta e si sperimenta molto. Ultimamente si va provando quasi qualsiasi cosa, e qualche distillatore di avanguardia ha cercato, con successo, di produrre acquaviti dai frutti più impensati, dai melograni alle arance, ai fichi d'india, e via sperimentando. Uno sviluppo notevole, nell'ultimo decennio del Novecento, è l'emergere della grappa come acquavite di pregio: nata come utilizzo di una materia prima di scarto, ossia le vinacce residue della vinificazione, la grappa si trasforma negli alambicchi e si carica di una vasta gamma di aromi primari della buccia dell'uva, che si perdevano con le precedenti tecniche distillatorie, meno raffinate e meno mirate al consumatore alto. La grappa diventa così l'acquavite di bandiera

dell'intero comparto eno-gastronomico nazionale. Tra gli scopi che hanno determinato l'istituzione dell'Organizzazione Comune del mercato<sup>4</sup> vinicolo nell'ormai lontano 1987, c'è stata, accanto alla possibilità di disporre di un meccanismo flessibile atto a far fronte alle diverse situazioni di mercato dei vini da tavola, la necessità di tutelare e garantire la qualità dei vini. Per tali ragioni, è stata istituita la consegna obbligatoria alla distillazione delle fecce e delle vinacce derivanti dalla vinificazione, stabilendo un prezzo minimo di acquisto dei sottoprodotti da parte del distillatore ed un conseguente aiuto alla distillazione. Nel lavoro di riforma dell'OCM vino, sfociato con l'emanazione del "Regolamento CE 1493 del 1999", è stata verificata la bontà del sistema delle distillazioni obbligatorie sia per i positivi effetti riscontrati in termini di tutela della qualità dei vini sia per i benefici ottenuti dal punto di vista ambientale, posto che il distillatore, attraverso il ritiro dei sottoprodotti, sostenga gli ingenti costi di depurazione in luogo dei produttori di vino, assolvendo in tal modo ad una importante funzione di riduzione dell'impatto ambientale di prodotti che, sottratti al regime dei rifiuti, subiscono un ulteriore processo di trasformazione industriale. Il ruolo strategico ed imprescindibile delle distillazioni all'interno dell'OCM viti-vinicola non si esaurisce con l'articolo 27, relativo appunto alle "distillazioni obbligatorie", ma trova conferma anche nei successivi articoli 29 e 30. L'articolo 29 prevede, infatti, le cosiddette "distillazioni facoltative" dei vini da tavola, da un lato per "sostenere" il mercato viti-vinicolo e dall'altro per favorire la continuità delle forniture dei prodotti della distillazione del vino nei mercati in cui l'utilizzo di tale alcole è tradizionale. Il regolamento vino prevede, tra l'altro, che l'alcole derivante dalle distillazioni facoltative possa essere acquistato dagli organismi d'intervento pubblici qualora venga poi riutilizzato nell'ambito di progetti nazionali di bio-carburazione. Ultima distillazione prevista dal regolamento viti-vinicolo è quella di cui all'articolo 30, ovvero la "distillazione di crisi", anch'essa volta a risolvere turbative del mercato viti-vinicolo, generate in questo caso da eccedenze di vino sul mercato o da problemi di qualità del vino. Come è facile evincere da questa breve analisi dei diversi tipi di distillazione previste dalla regolamentazione comunitaria, sembra consolidata ormai l'importanza dell'istituto delle distillazioni viniche, sia in assoluto (favorevole impatto ambientale, rurale ed occupazionale) che in relazione alle produzioni del vino (evitare frodi, stabilizzare il mercato, prevenirne turbative). Parallelamente a questi sviluppi, l'ultimo secolo ha assistito anche alla crescita dell'utilizzazione industriale degli alcoli. Con il progredire della tecnologia, ci si è accorti che gli alcoli possono essere utilizzati per una molteplicità di destinazioni,

---

<sup>4</sup> Organizzazioni comuni di mercato (OCM), varate all'interno del processo di revisione della Politica agricola comune (PAC), noto come riforma Fischler, che dal 2003, in più tappe progressive, ha determinato il rinnovamento della quasi totalità delle misure settoriali a sostegno dei mercati.

oltre agli usi "da bocca": sono ottimi solventi, e li si utilizza in una gamma grandissima di produzioni industriali, dalle vernici alla profumeria, alla farmacologia; producono calore, e non lasciano residui tossici alla combustione, poiché l'unico residuo della combustione dell'alcol etilico è acqua pura; si scopre che l'alcole etilico è un'ottima materia prima per la produzione del polietilene<sup>5</sup>, dalla vastissima versatilità industriale. E, non ultimo, l'alcole etilico è un efficacissimo disinfettante: dopo la scoperta dei microrganismi causa delle infezioni, ad opera di Louis Pasteur, nella seconda metà dell'Ottocento, la disinfezione con alcole diventa un'operazione fondamentale per la cura delle ferite, e preliminare per le mani di medici ed infermieri prima di qualsiasi intervento. Si verifica, così, un forte ritorno della distillazione di alcole etilico per la produzione, sotto altra veste, di una nuova salvifica "aqua vitae". Vale la pena di concludere questa breve storia della distillazione con un ultimo paragrafo dedicato ad un'utilizzazione per ora futuribile: dopo l'"aqua vitae" medicinale, dopo le bevande per il nostro piacere sensoriale, la distillazione si sta ora volgendo alla produzione di energia. Nell'alcole carburante è probabilmente una parte importante del futuro dell'industria distillatoria mondiale. E' una storia ancora da scrivere, anche se in altri paesi ne sono già stati redatti i primi capitoli: l'alcole etilico di origine agricola costituisce una fonte rinnovabile di energia, alternativa alle fonti di materie prime fossili, sia direttamente come combustibile a residuo inquinante zero, sia, indirettamente, per la produzione di eteri alto-ottanici e di idrogeno, altro carburante futuribile a residuo inquinante zero. Una realizzazione già concreta è l'ETBE, un anti-detonante utilizzato nelle benzine al posto del piombo tetra-etile (fortemente tossico), che si produce con l'alcole etilico. Quest'ultimo è stato anche utilizzato tal quale come carburante per autotrazione (in Brasile c'è stata una produzione in serie di autoveicoli con motore a scoppio funzionante ad alcole puro derivato dalla lavorazione della canna da zucchero), oppure, previa anidrifazione<sup>6</sup>, addizionato in miscela con i carburanti tradizionali di origine fossile. Gli industriali distillatori italiani sono già pronti da tempo, con tecnologie e strutture industriali, a dare il loro contributo alla tutela dell'ambiente naturale con la produzione di una fonte di energia rinnovabile ed ecologica, quale è l'alcole etilico distillato da materie prime agricole.

---

<sup>5</sup> Resina termoplastica, si presenta come un solido trasparente (forma amorfa) o bianco (forma cristallina) con ottime proprietà isolanti e di stabilità chimica. Gli usi più comuni sono come isolante per cavi elettrici, film per l'agricoltura, borse e buste di plastica, contenitori di vario tipo, tubazioni, strato interno di contenitori asettici per liquidi alimentari ("Tetra Brik Aseptic") e molti altri.

<sup>6</sup> Eliminazione dell'acqua tramite solventi liquidi.



## **CAPITOLO 3**

### **Distilleria Bonollo Umberto S.p.A. e relativo ciclo produttivo**

#### **3.1. Presentazione della ditta**

La famiglia Bonollo inizia a sperimentare l'arte centenaria della produzione di grappa già nell'Ottocento sulle Prealpi Vicentine. Le prime testimonianze dell'attività professionale di distillatori risalgono al 1908, anno a cui si riconduce la più antica denuncia di produzione di cui si ha copia. E' in quell'anno infatti che Giuseppe Bonollo, il capostipite della più importante dinastia di Grappa oggi esistente, partì con gli allora innovativi alambicchi a vapore, che consentivano di produrre una grappa dalle caratteristiche organolettiche migliori rispetto a quella tradizionale. Già allora, la famiglia Bonollo era apripista nell'impiego di moderne tecnologie. Dal 1951 il figlio, Umberto Bonollo, decide di continuare l'attività del padre per conto proprio e con i suoi figli, eleggendo a sede dell'azienda il Padovano, una zona geografica con una profonda tradizione nella produzione di grappa e al contempo un bacino particolarmente ricco di materia prima di alto livello qualitativo. L'azienda, ancora saldamente in mano alla famiglia, è costituita da due stabilimenti: la distilleria di Conselve, in cui vengono ottenute grappe, acquaviti d'uva e brandy, e la sede di Mestrino in cui avviene la produzione di liquori e l'imbottigliamento dei distillati aziendali che vengono commercializzati nel mercato nazionale ed internazionale. Negli ultimi trent'anni la Bonollo di Padova ha acquisito i marchi ed il know-how di due rinomate distillerie venete: Modin di Ponte di Brenta (PD), azienda formata nel 1842, e Dalla Vecchia di Malo (VI), azienda fondata nel 1980.

La distilleria lavora i prodotti ed i sotto-prodotti della vinificazione quali vinacce, fecce e vino. Dalla lavorazione di queste materie vengono estratti alcool, acquaviti di vino, grappa, semi di vinacciolo, tartrato di calcio e buccetta essiccata.

#### **3.2. L'approvvigionamento della materia prima: la vinaccia**

La vinaccia è il residuo della prima lavorazione dell'uva; dal punto di vista tecnico comprende: i graspi, ossia la parte legnosa, i vinaccioli, ossia i semi dell'uva, e le bucce degli acini. La definizione corrispondente in ambito di legislazione comunitaria si trova nel regolamento citato relativo all'organizzazione comune del mercato vitivinicolo: è "il residuo della torchiatura delle uve fresche, fermentato o no". Le vinacce utilizzate per la distillazione sono generalmente frutto dei diversi

processi di lavorazione dei grappoli per la produzione di vino: i principali sono la vinificazione in bianco e la vinificazione in rosso. Il vino bianco necessita una rapida separazione del mosto dai raspi mediante diraspatrice<sup>7</sup> o, come avviene attraverso macchinari più moderni, mediante la pigio-diraspatrice che, tramite pressione, separa il succo dalle bucce e dai raspi, le vinacce così ottenute non restano molto tempo a contatto con il mosto. Il vino rosso, invece, è tale perché prende il colore tipico durante la macerazione del mosto che viene a contatto con le bucce, contenenti sostanze coloranti. I raspi vengono eliminati, mentre i vinaccioli e le bucce rimangono a contatto col mosto dai 4 giorni per i rossi più leggeri, alle 4 settimane per i vini più tannici<sup>8</sup> e concentrati destinati all'invecchiamento. A seconda del tipo di vinificazione la vinaccia può essere definita vergine, semi-fermentata o fermentata. La vinaccia vergine è separata dal mosto appena dopo la pigiatura, secondo le modalità tipiche della vinificazione in bianco. Gli zuccheri che contiene non si sono ancora trasformati in alcool, per cui è necessaria un'attenta e corretta conservazione in silos o contenitori adatti affinché avvenga la fermentazione che permetterà poi la distillazione. La vinaccia semi-fermentata è stata a contatto col mosto solo per breve tempo, deriva sia da uve bianche che da uve nere e normalmente è frutto della produzione di vini rosati. Si può distillare immediatamente, sacrificando gli zuccheri non ancora trasformati in alcole, oppure far loro completare la fermentazione. La vinaccia fermentata, è rimasta a contatto col mosto fino al momento in cui questo è divenuto vino, normalmente è frutto della vinificazione in rosso. Essendo avvenuta la completa trasformazione degli zuccheri in alcole è possibile distillarla immediatamente. Quindi per vinaccia si intende la parte solida, cioè l'insieme delle bucce e dei vinaccioli che rimangono dopo la spremitura dell'uva destinata alla produzione del vino. Da un punto di vista quantitativo si ha che da 100 kg d'uva si ricavano 80 – 85 l di mosto, 9 – 12 kg di bucce, 3 – 4 kg di vinaccioli e 3 – 4 kg di raspi.

Con una spremitura soffice degli acini si dà origine a una grappa di qualità superiore. Questa esigenza dei distillatori viene indirettamente garantita dal già citato regolamento 1493/1999 sull'OCM vino che, per evitare una eccessiva produzione di vino e incentivare la qualità impone degli obblighi ai produttori tra i quali il divieto di "sovrappressione delle uve, pigiate o non, e la pressatura delle fecce di vino. È parimenti vietata la rifermentazione delle vinacce per scopi diversi dalla distillazione". La problematica principale odierna riguarda la necessità per i

---

<sup>7</sup>Macchina impiegata per la diraspatura meccanica dell'uva.

<sup>8</sup> Vini ricchi di tannino. Il tannino è uno dei componenti del vino, responsabile della sensazione astringente, localizzato nelle bucce e nei vinaccioli dell'uva. Viene trasmesso al vino nella fase della pigiatura. Con il tempo le sostanze contenute nel tannino si ossidano e passano dal giallo al rosso bruno, dando colorazione al vino. Il tannino può essere trasmesso al vino anche dal legno delle botti di maturazione o di invecchiamento.

distillatori di acquisire vinacce fermentate che posseggano una resa ed una qualità superiore, tuttavia i nuovi metodi di vinificazione in rosso permettono l'estrazione delle vinacce quando non è stata ancora completata la fermentazione. La conservazione e la fermentazione delle vinacce in ambiente esterno (come già ricordato sopra, avviene oggi generalmente in silos), non a contatto con il mosto, è problematica, non vanno sovrapposte all'ossigeno per cui devono essere pressate per evitare il più possibile l'azione di batteri e lieviti selvaggi che ne alterano le qualità organolettiche. La grappa qualitativamente migliore proviene quindi da vinacce fresche, intendendo per fresche quelle ottenute in poche ore dalla separazione del vino.

### **3.2.1. Raccolta e trasporto**

Da quanto descritto precedentemente, si capisce come nell'organizzazione della raccolta della vinaccia sia essenziale la rapidità con la quale venga consegnata alla distilleria, in particolare per la vinaccia già fermentata. Infatti il prolungato contatto con l'aria ne provoca il riscaldamento, facilitando l'evaporazione dell'alcol se non addirittura l'acetificazione con perdita completa di alcol. Inoltre le vinacce acetiche possono trasmettere l'infezione anche a quelle sane con cui vengono a contatto nei silos. È pertanto sconsigliato il trasporto per ferrovia, preferendo quello tramite autocarri permettendo la consegna in giornata anche di piccole quantità. Essendo ubicata nel centro del Veneto, una delle regioni a più elevata vocazione vinicola, la Bonollo può disporre di un bacino di raccolta molto ricco e vario di materia prima. La centralità della sua localizzazione consente di trasportare la vinaccia in distilleria in condizioni di massima freschezza, entro qualche ora da quando viene separata dal mosto o dal vino. Il principale bacino di raccolta delle vinacce si sviluppa secondo una linea orizzontale che va da Venezia a Verona ed una verticale che, procedendo da nord a sud, congiunge idealmente Conegliano con Este, a sud dei Colli Euganei. La localizzazione aziendale e l'ampiezza del bacino di raccolta permette, infatti, di abbracciare agevolmente quasi la totalità delle zone circoscritte dai disciplinari DOC e DOCG del Veneto: Valdadige, Valpolicella, Bardolino, Soave, Gambellara, Conegliano, Piave, Pramaggiore, Bagnoli e Colli Euganei. Una volta giunta in distilleria la vinaccia viene sottoposta ad un'analisi a campione del laboratorio chimico per la determinazione delle caratteristiche chimiche ed organolettiche. La temperatura della vinaccia deve essere prossima a quella ambiente: una temperatura più bassa indica un precedente lavaggio della stessa o che sia povera di alcol, una temperatura superiore, invece, indica che si tratta di vinaccia in fermentazione. Considerato che la distillazione si svolgerà anche a mesi di distanza dalla consegna delle vinacce occorre predisporre una corretta conservazione e insilamento delle stesse.

### **3.2.2. Conservazione e insilamento**

La vinaccia viene insilata, solitamente, in vasche di cemento interrato e rivestite di resine epossidiche<sup>9</sup> per uso alimentare, queste vasche posizionate in un ampio piazzale esterno vengono attualmente utilizzate dalla Bonollo. Più recentemente si sono sviluppati recipienti di superficie quali vasche in vetroresina o serbatoi d'acciaio con coperchio mobile o semplici contenitori pallettizzabili di cui si doterà la distilleria in esame in seguito ad un ampliamento dello stabilimento, provvedendo così ad un insilamento completamente interno limitando gli odori e le emissioni che provengono dallo stoccaggio della materia prima.

Nel caso di vinaccia fermentata si ha solo un insilamento temporaneo in attesa della distillazione. In questo caso va evitato innanzitutto lo sviluppo di acido acetico negli strati superficiali attraverso un'adeguata protezione dall'aria con appositi teli di nylon compressi da uno strato di sabbia. In secondo luogo va inibita l'insorgenza di ulteriori alterazioni batteriche, dovute ai residui ancora in atto della fermentazione, limitando il periodo di sosta prima della distillazione. Naturalmente prima di questa viene controllata la presenza di acescenza al fine di regolare il taglio di testa e di coda<sup>10</sup> per asportare rispettivamente l'odore di aceto dovuto all'acetato di etile e l'acido acetico che causa bruciore alla degustazione del distillato. La particolare cura che si deve prestare alle altre due tipologie di vinaccia, quella vergine e quella parzialmente fermentata, è soprattutto legata al favorirne, rispettivamente, la corretta fermentazione o l'esaurimento della stessa tramite aggiunta di attivanti della fermentazione come il solfato biammonico, assicurando in questo modo la dominanza della fermentazione alcolica su altri meccanismi chimici di trasformazione degli zuccheri.

### **3.3. La distillazione della vinaccia**

La distillazione è quell'operazione che consente di separare due composti aventi volatilità diversa mediante la trasformazione degli stessi in vapore e la loro successiva condensazione. Nel caso della vinaccia le cose sono più complicate in quanto il composto da distillare è allo stato solido e presenta una disomogeneità di struttura elevata oltre al fatto che sono racchiuse al suo interno centinaia di sostanze diverse da selezionare attentamente per la qualità del prodotto finale. Il processo si divide quindi in due fasi principali: la disalcolazione e la distillazione vera e propria che possono realizzarsi entrambi con processo continuo o discontinuo. In entrambi i casi si tratta di processi piuttosto energivori che sfruttano diverse fonti primarie, a seconda della tipologia d'impianto, prima per il riscaldamento e in seguito per il brusco raffreddamento necessario alla condensazione. All'interno di

---

<sup>9</sup> Resine per la protezione delle pareti in cemento dall'usura.

<sup>10</sup> Operazioni svolte nel processo di distillazione spiegato successivamente.

questi due macro-processi avvengono quasi sempre altri due processi importanti: la deflemmazione e la rettificazione che verranno descritti in seguito.

### **3.3.1. La disalcolazione**

La disalcolazione della vinaccia consiste più che altro in un'estrazione e separazione delle sostanze volatili contenute all'interno del composto solido per formare un liquido detto "flemma" che generalmente ha una gradazione alcolica oscillante tra i 10 e i 20°. Il processo discontinuo consiste nell'intermittente alimentazione dell'apparecchio di frazionamento con una quantità prestabilita di materia prima e nell'intermittente estrazione del prodotto distillato. Gli apparecchi discontinui si dividono in: apparecchi a fuoco diretto, a bagnomaria e a vapore con netta prevalenza per gli ultimi due sistemi. I processi continui, sviluppatosi negli ultimi anni, permettono migliori efficienze ed economie di esercizio.

#### **3.3.1.1. Gli apparecchi discontinui utilizzati nella disalcolazione**

Nell'alambicco discontinuo a fuoco diretto, come suggerisce il nome, il recipiente contenente la vinaccia è posto direttamente sul fuoco vivo. Il rischio di questo tipo di lavorazione è dovuto alla possibile presenza di odori di cotto o di fumo nella flemma e quindi nel distillato finale. Infatti, essendo la vinaccia una materia prima solida rischia di aderire al fondo e di bruciarsi. Questa tipologia è oggi raramente utilizzata per la produzione industriale di grappa, ma la semplicità di costruzione e di utilizzo l'ha resa famosa negli anni nel settore artigianale. Un alambicco semplice discontinuo di questo tipo è composto principalmente da quattro parti: una caldaia dove è messa la materia prima a riscaldare; il capitello (detto "elmo" o "duomo") a collo di cigno che chiude ermeticamente la caldaia nella parte superiore; il serpentino, collegato al capitello mediante il collo di cigno ed infine la vasca refrigerante ove è immerso il serpentino, necessaria per creare una differenza di temperatura necessaria alla condensazione.

Gli apparecchi a bagnomaria si possono considerare come il passaggio tra gli apparecchi a fuoco diretto e quelli a vapore e sono caratterizzati dall'aver la caldaia, contenente la vinaccia, inserita in un'altra caldaia contenente acqua. Il riscaldamento dell'acqua viene effettuato a fuoco diretto e quando questa raggiunge l'ebollizione, il vapore si raccoglie nella parte superiore della caldaia e da essa, per mezzo di un



Figura 4 - Apparecchio per la disalcolazione della vinaccia a bagnomaria presso la distilleria Bonollo Umberto.

tubo, viene portato sul fondo dove è contenuta la vinaccia.

Gli apparecchi a vapore, invece, hanno la caratteristica di utilizzare il vapore prodotto in apposita caldaia, consentendo una lavorazione intermittente ma a tempi ristretti e con afflusso di vapori alcolici nella successiva colonna di distillazione più regolare. L'apparecchio più diffuso in Italia settentrionale è quello tipo Erba. Esso è costituito da tre o più alambicchi di forma tronco-conica collegati in serie in modo tale che il vapore alcolico che si sviluppa dal primo di essi possa essere inviato nel fondo del secondo alambicco e da questo, dopo averlo attraversato, arrivare alla colonna deflemmatrice. Questo doppio passaggio di vapore consente di esaurire al massimo le vinacce, producendo vapori più concentrati e meno impurità. Infatti i vapori che escono dal primo alambicco in via di esaurimento, a contatto con la vinaccia "fredda" del secondo alambicco, condensano in parte, per differenza di temperatura, e vengono eliminate le sostanze a più bassa volatilità. È quindi la vinaccia stessa che opera una prima deflemmazione. L'impianto può essere implementato con altri gruppi di tre alambicchi in modo tale che, sfalsando i tempi di distillazione, si ha un flusso costante di vapori in colonna.

### **3.3.1.2. Gli apparecchi continui utilizzati nella disalcolazione**

Nelle moderne distillerie industriali gli impianti maggiormente utilizzati sono quelli di tipo continuo che permettono una lavorazione costante, una buona efficienza ed elevata produttività oltre ai minori costi di manodopera e agli elevati standard di qualità ottenuti. I sistemi di disalcolazione continui oggi utilizzati sono sostanzialmente di tre tipi, tutti funzionanti a vapore diretto in pressione che deve essere prodotto da generatori ausiliari.

Il disalcolatore Berti, detto anche Frilli, è costituito da una serie di cilindri orizzontali collegati tra loro da giunti di raccordo. All'interno di ognuno di essi è inserita una coclea che aiuta il rimescolamento e l'avanzamento della vinaccia attraverso i cilindri. Nella parte superiore è presente una tramoggia di carico anch'essa dotata di coclea rotante per l'immissione della vinaccia. In controcorrente all'avanzamento della vinaccia attraverso i cilindri giuntati, viene iniettato vapore che la esaurisce della frazione alcolica e aromatica. I vapori alcolici che si sviluppano proseguono fino al condensatore che è generalmente posto sulla sommità dell'apparecchio, la flemma in uscita dal condensatore è quindi pronta per lo stoccaggio e la conseguente distillazione. La vinaccia esausta viene invece scaricata dal basso tramite l'estrattore dedicato.

Le due tipologie di disalcolatori seguenti sono, invece, quelle adottate presso la distilleria Bonollo oggetto degli interventi.

Il disalcolatore Padovan è costituito da un grosso cilindro verticale con la sommità a forma di tronco di cono come illustrato in Figura 5. La vinaccia viene trasportata dallo stoccaggio esterno ad un nastro elevatore che la convoglia all'interno della tramoggia di carico posta sempre alla sommità dell'apparecchio. Da qui viene immessa all'interno della camera di disalcolazione attraverso un cono dosatore che, tramite movimento verticale variabile, regola la quantità di materia prima da introdurre. La vinaccia scende poi per gravità all'interno della camera di disalcolazione dove, attraverso l'ausilio di un rimescolatore ad asse verticale, si stratifica su una piastra di arresto per poi distribuirsi sulla sottostante piastra forata. La massa uniforme di vinaccia accumulata su questa piastra viene riscaldata e disalcolata dal vapore ascendente che, immesso alla base dell'apparecchio, passa attraverso i fori e attraversa tutto il cumulo delle vinacce. I vapori idroalcolici che si formano vengono quindi convogliati tramite un collettore al condensatore e inviati al polmone di raccolta della flemma. La vinaccia esausta, invece, viene rimossa dalle spatole rotanti che provvedono a scaricarla nei sottostanti estrattori a coclea. Di seguito, in Figura 5, uno schema dell'apparecchio descritto.

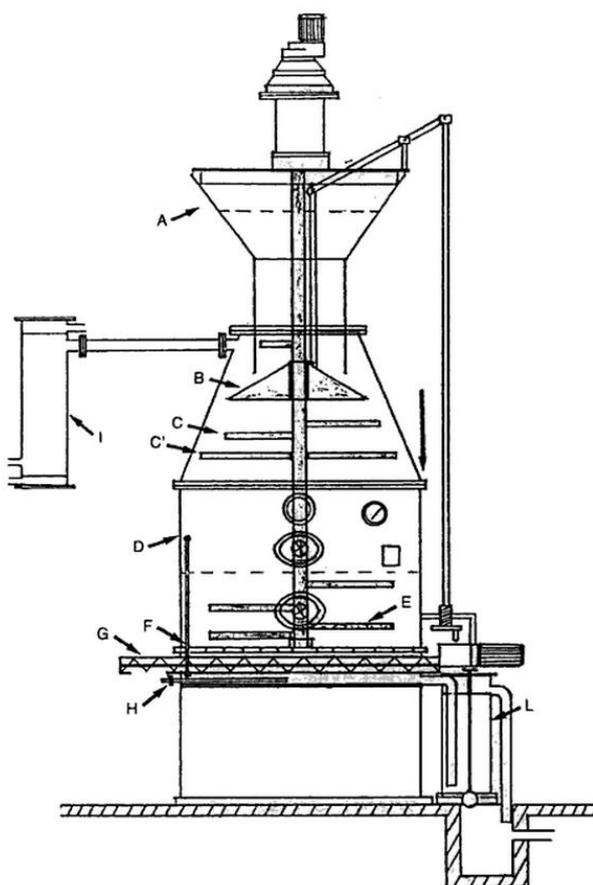


Figura 5 - Disalcolatore Padovan (Fonte: P. e G. de Vita "Corso di meccanica enologica"); A: tramoggia di carico; B: cono di alimentazione; C, E: rimescolatore; F: piastra forata; G: estrattore vinaccia esausta; H: iniettore vapore; I: condensatore; L: sifone di scarico liquidi di percolazione.

Il disalcolatore Cadalpe, Figura 6, è anch'esso costituito da due elementi verticali, di cui uno superiore tronco-conico e uno inferiore cilindrico. In questo apparecchio, però, l'elemento superiore è collegato lateralmente, a circa metà della sua altezza, con la tramoggia di carico e la relativa coclea di alimentazione. Anche in questo caso è presente sulla sommità un agitatore ad asse verticale alimentato da un motore elettrico che provvede a mantenere mescolate le vinacce entranti, mentre nella zona inferiore è installata una coclea per lo scarico delle vinacce esauste. Alla fine del cono è situata la piastra forata che funge da base di accumulo della vinaccia introdotta che viene disalcolata dal vapore proveniente in controcorrente dalla sottostante camera di vaporizzazione. Sul fondo del sistema è presente un dispositivo di scarico borlande<sup>11</sup> che provvede a scaricare il liquido di percolazione.

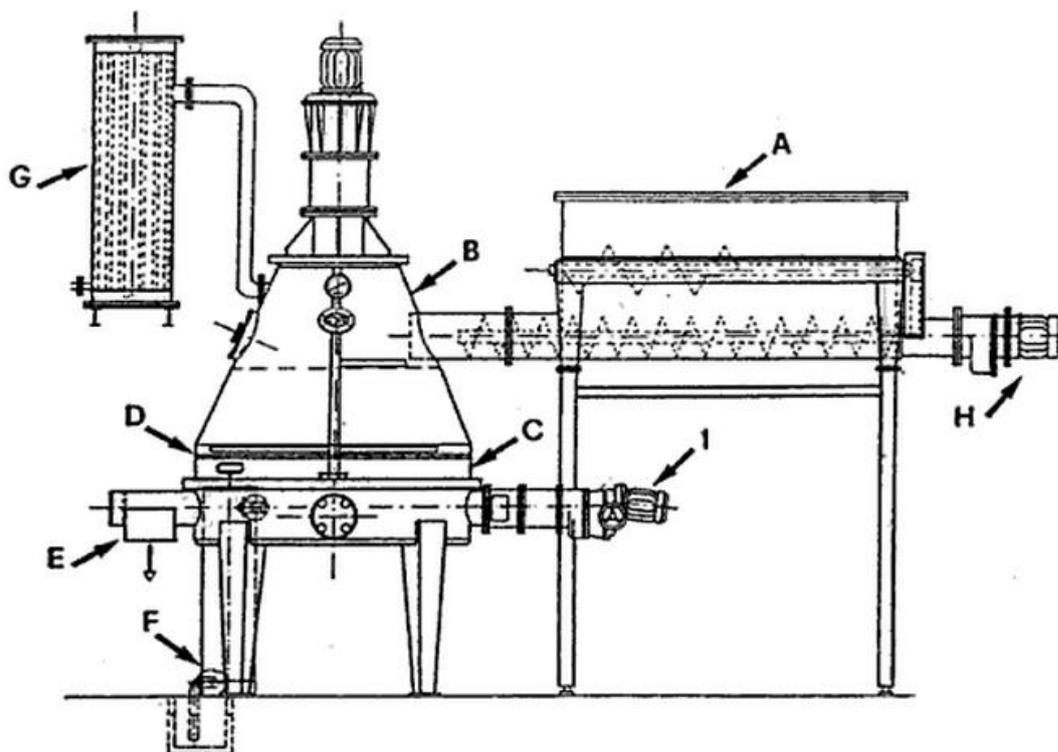


Figura 6 - Disalcolatore Cadalpe (Fonte: P. e G. de Vita "Corso di meccanica enologica"); A: tramoggia di carico; B: camera di disalcolazione; C: camera di vaporizzazione; D: piastra forata di accumulo vinaccia; E: scarico vinacce esauste; F: scarico borlande; G: condensatore vapori; H: motore coclea di alimentazione; I: motore coclea di scarico.

Di seguito un'immagine relativa agli impianti continui di disalcolazione delle vinacce presenti nella distilleria Bonollo (Figura 7). Si distinguono le tipologie di apparecchi appena descritte con le tubazioni di ingresso del vapore proveniente dalla caldaia, le tubazioni superiori dirette ai condensatori e i nastri elevatori di trasporto della

<sup>11</sup>Residuo della distillazione dei mosti alcolici fermentati detta anche broscia . Contiene alcune sostanze utilizzabili (per es., glicerina, sali potassici, cellulosa) che in alcuni casi è conveniente recuperare.

vinaccia dall'accumulo esterno. Come sarà spiegato in dettaglio nei capitoli successivi, gli interventi per aumentare l'efficienza energetica riguarderanno soprattutto questi apparecchi e questa fase del processo dove eventuali modifiche impiantistiche non andrebbero a turbare più di tanto l'equilibrio e il sincronismo degli apparati riguardanti i processi strettamente legati al prodotto finale e alla sua qualità.



Figura 7 - Impianti di disalcolazione installati presso la distilleria Bonollo Umberto

### 3.3.2. La Deflemmazione

La flemma è un liquido poco alcolico, acquoso ed impuro frutto della prima fase della distillazione della vinaccia. La deflemmazione è necessaria per separare mediante evaporazione e condensazione i vapori meno alcolici (che costituiscono poi la flemma) da quelli maggiormente alcolici (che danno lo spirito o l'alcole). E' necessario avere un apparecchio che permetta la condensa dei vapori meno alcolici e il passaggio dei vapori alcolici e che quindi abbia un sistema refrigerante. Questa operazione viene già svolta, in parte, all'interno dei disalcolatori

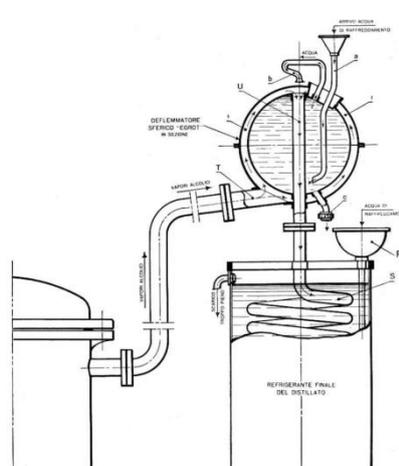


Figura 8 - Schema del deflemmatore di Egrot (fonte: G: Meloni, "L'industria dell'alcole").

quando la vinaccia "fredda" incontra il vapore in controcorrente e ne fa condensare una parte (contenente acqua e sostanze con punto di ebollizione maggiore dell'alcol) detta borlanda di scarico. La deflemmazione viene poi eseguita in appositi apparecchi, per esempio la "sfera di Egrot". Questo dispositivo è composto essenzialmente da due sfere concentriche: quella interna viene riempita di acqua fredda che la mantiene a bassa temperatura, mentre all'interno dell'intercapedine tra le due sfere transitano i vapori alcolici provenienti dalla disalcolazione. Questi entrano nella parte inferiore della sfera quindi, essendo la via d'uscita posizionata sulla sommità, sono costretti a lambire l'intera superficie a bassa temperatura. La frazione di vapori a più alto punto di ebollizione condensa, mentre i più leggeri, e quindi più alcolici, proseguono lungo il condotto d'uscita fino ad arrivare al condensatore. Di seguito un'immagine del dispositivo installato presso la distilleria Bonollo.

Figura 9 - Deflemmatore di Egrot installato presso la distilleria Bonollo.



### 3.3.3. La rettificazione

Se con la deflemmazione si separano i vapori meno alcolici da quelli maggiormente alcolici, ma non si interviene sulla tipologia di sostanze presenti, con la rettificazione si opera un processo di purificazione del condensato, che mira a separare la parte pura dalle impurità. Questa avviene generalmente mediante distillazione frazionata, ossia raccogliendo il liquido frutto dell'evaporazione e la successiva condensazione

di composti diversi che hanno differenti temperature di ebollizione. Negli impianti discontinui la rettificazione può essere fatta manualmente, mediante il taglio delle teste e delle code. Fondamentale in questo caso è l'arte del mastro distillatore. Le teste sono le parti che hanno un punto di ebollizione più basso dell'alcol etilico,



Figura 10 - Impianti di rettificazione discontinui presso la distilleria Bonollo.

come ad esempio l'acetato di etile che conferisce un odore acetoso. Il corpo o cuore contiene i componenti che hanno un punto di ebollizione tra i 78,4 °C ed i 100 °C e che costituiscono la parte a gradazione alcolica maggiore della distillazione. I composti presenti conferiscono la peculiarità alla grappa prodotta. Le code contengono gli elementi meno volatili, i più pesanti ed i più ricchi di impurità costituiti prevalentemente da acidi che hanno infatti un punto di ebollizione elevato ossia superiore a 100 °C. In effetti, mediante distillazione non si superano i 100 °C, ma certe sostanze chimiche sono solubili in vapori alcolici caldi o vengono in parte trascinati anche se non solubili, da qui la necessità del taglio e dell'impossibilità di ottenere un'alcove totalmente privo di queste sostanze.

### 3.3.4. La colonna di distillazione

I due processi appena descritti vengono realizzati, oltre che in specifici apparecchi, anche all'interno delle colonne di distillazione. Queste portano quindi la flemma ad un grado alcolico più elevato fino ad arrivare al prodotto finale desiderato. Anche le colonne si dividono in quelle a funzionamento continuo e quelle a funzionamento discontinuo. Le prime vengono normalmente utilizzate per la produzione di alcol

etilico puro, mentre quelle discontinue sono dedicate alla produzione di grappa e regolano in maniera più raffinata le fasi di rettificazione e deflemmazione per ottenere le caratteristiche peculiari di ogni prodotto. In entrambi i casi le colonne presenti alla Bonollo sono alimentate dal vapore prodotto in caldaia principale, la stessa che alimenta i disalcolatori. La colonna solitamente è costituita da piatti posizionati a varie altezze, il vapore alimenta i vari livelli termici a cui è sottoposto il liquido da distillare. Questo è introdotto in prossimità del piatto più alto e scendendo lungo i piatti si esaurisce fino a raggiungere la base da dove viene poi scaricato ormai privo di alcol e con tutte le impurità presenti (sotto forma di borlanda). I vapori alcolici, invece, in seguito a opportune rettifiche escono dalla sommità della colonna e saranno condensati ottenendo il distillato voluto. Varie configurazioni, passaggi e ricircoli di vapore e condensato costituiscono le tipicità costruttive degli impianti che fanno parte del bagaglio di conoscenza che contraddistingue ogni distilleria.



Figura 11 - Colonna di distillazione discontinua installata presso la distilleria Bonollo.

### **3.4. I condensatori**

I condensatori utilizzati in distilleria sia lato disalcolatori, che lato colonne di distillazione, sono tutti del tipo a fascio tubiero con liquido refrigerante costituito da acqua. Alcuni modelli sono anche artigianali, costruiti su misura e adattati al particolare funzionamento da svolgere in relazione al tipo di colonna o apparecchio a cui sono accoppiati. L'acqua utilizzata nei condensatori viene tutta convogliata alle torri evaporative dove viene raffreddata alla temperatura voluta come descritto nel capitolo di analisi dei dati.

### **3.5. Estrazione tartrato**

Le vinacce esauste in uscita dal processo di disalcolazione sono sottoposte a lavaggio con acqua per la produzione di un sottoprodotto avente un contenuto di acido tartarico del 2% circa. Da tale sottoprodotto, stoccato in appositi tini, viene estratta la materia tartarica mediante aggiunta di appositi precipitanti (cloruro e carbonato di calcio). Dal processo di lavaggio vinacce viene prodotta, inoltre, ulteriore borlanda, avviata al relativo processo di trattamento.

### 3.6. Trattamento borlande

Dal deposito di stoccaggio la borlanda viene avviata a digestione anaerobica per la produzione di biogas, il quale viene utilizzato come combustibile negli impianti termici della distilleria che verranno descritti nei prossimi capitoli. Dal processo di digestione anaerobica viene inoltre prodotto digestato,



Figura 12 - Digestori anaerobici per la produzione di biogas presso la distilleria Bonollo.

sottoposto a flottazione per la separazione di fanghi (successivamente ispessiti mediante disidratazione con centrifuga e avviati a smaltimento) e refluo liquido. Quest'ultimo viene quindi sottoposto a depurazione aerobica per la produzione di un refluo liquido scaricabile in pubblica fognatura ed un fango ri-destinabile alla digestione anaerobica o alla disidratazione.

### 3.7. Generazione di vapore ed essiccazione

Vengono solo accennati in questa sede i processi termici che coinvolgono il ciclo produttivo per chiarire la comprensione del flusso e dell'evoluzione dei prodotti all'interno dell'impianto come mostrato in Figura 13. Il vapore necessario al processo di disalcolazione delle vinacce e alla distillazione della flemma in colonna viene prodotto da un generatore di vapore mediante combustione di bucce e raspi essiccati e, in caso di necessità, di una piccola quota di biogas. I fumi di scarico del generatore, essendo caratterizzati da un elevato calore specifico, come si vedrà più in dettaglio nella trattazione del flusso dei fumi, vengono quindi interamente riutilizzati come flusso di processo all'interno dell'essiccatoio. Questo presenta anch'esso un bruciatore dedicato per raggiungere la necessaria portata di fumi secchi ad alta entalpia. Dall'essiccatoio vengono quindi estratte le vinacce essiccate che, mediante passaggio in apposito sparti-seme, vengono separate tra vinaccioli (venduti sul mercato) e bucce e raspi, utilizzati come combustibili.

In Figura 13 è mostrato lo schema completo del processo produttivo e l'interconnessione delle varie fasi analizzate.

Analisi e sviluppo di interventi finalizzati al risparmio energetico e alla minimizzazione dell'impatto ambientale in un impianto di distillazione per la produzione di alcolici

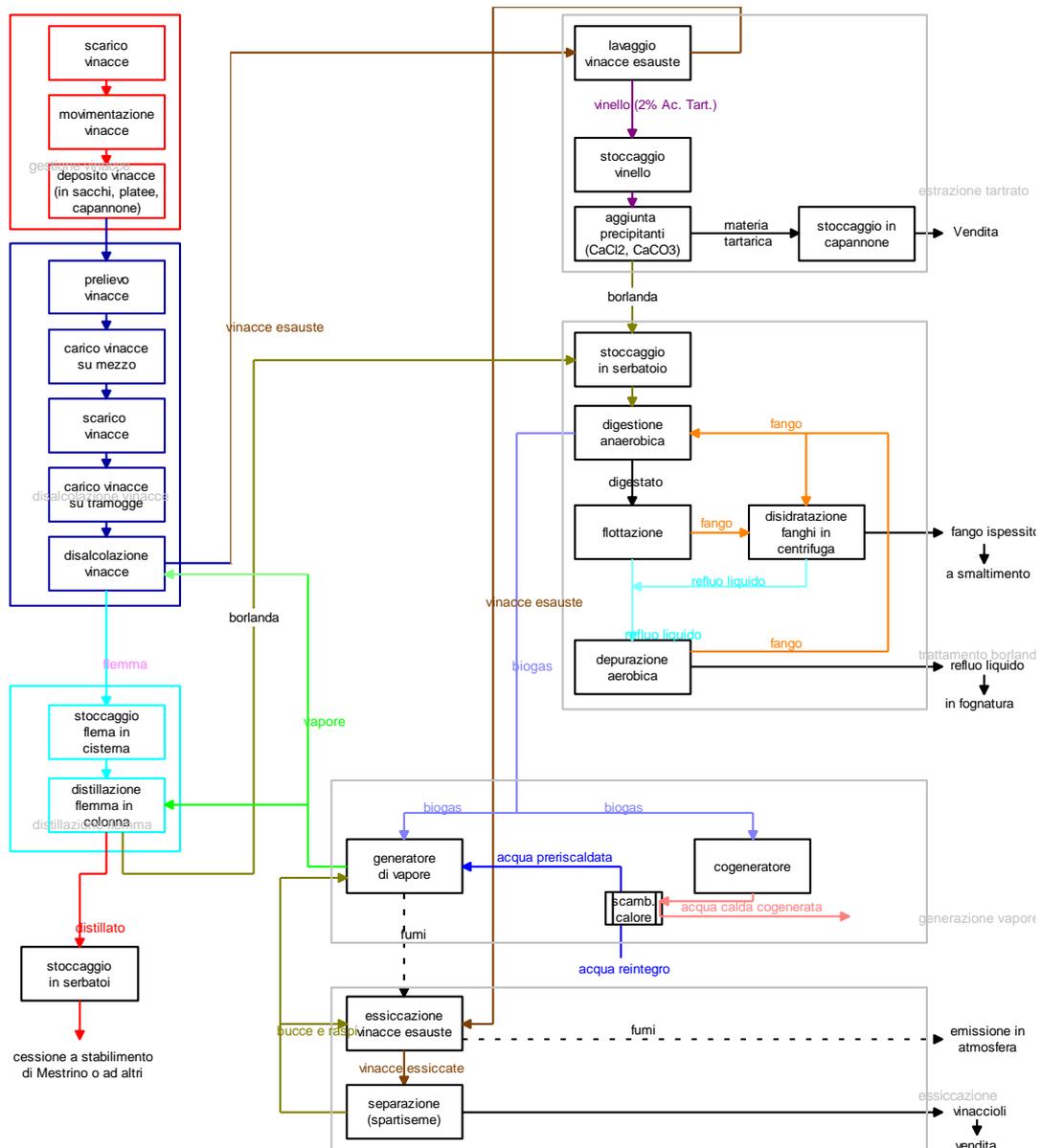


Figura 13 - Schema completo del ciclo produttivo all'interno della distilleria Bonollo.

## CAPITOLO 4

### Analisi dei flussi energetici

#### 4.1. Introduzione

Per cercare di sviluppare soluzioni adeguate di efficienza energetica e per la riduzione degli impatti della distilleria, si è partiti da un'analisi completa della situazione attuale, in modo da definire la "baseline" di riferimento. Va detto fin d'ora che, assieme al miglioramento dei processi energetici coinvolti nell'impianto, lo scopo dell'intervento è anche di tipo ambientale. Infatti durante l'ultimo anno di funzionamento in particolare, sono nati diversi gruppi e comitati contro la distilleria a causa degli odori che vengono percepiti nelle zone adiacenti e a causa del pennacchio di vapore al camino che risulta molto visibile (Figura 14). Nonostante i limiti di legge per le emissioni siano ampiamente rispettati, e il pennacchio sia essenzialmente costituito da solo vapore d'acqua in condizioni sature, gli effetti della sua diffusione, visibile anche in lontananza, hanno portato a una serie di proteste organizzate. Si intende quindi cercare di risolvere questo problema insieme ad una migliore gestione energetica dell'impianto attraverso più interventi congiunti o proponendo una soluzione che possa adoperarsi contemporaneamente su entrambi gli aspetti.

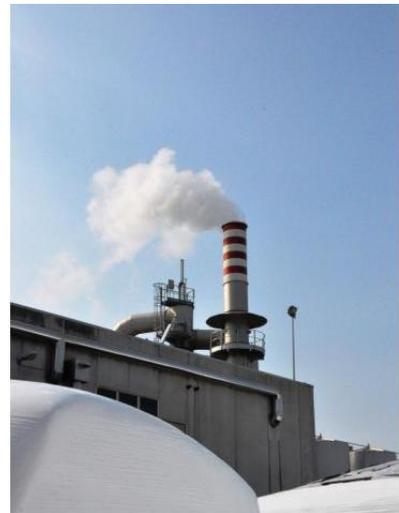


Figura 14 - Vista del pennacchio dei fumi al camino oggetto delle proteste.

#### 4.2. Situazione attuale

Il fabbisogno di energia termica richiesto dal processo produttivo è costituito da:

- Generazione di vapore per i processi di disalcolazione e distillazione
- Essiccazione della vinaccia esausta<sup>12</sup>

Nel primo caso è utilizzato un generatore di vapore fisso a tubi d'acqua. La potenzialità termica della caldaia è di 9.844 kW con una producibilità nominale di 15 t/h di vapore saturo a 8.5 bar di pressione. Le capacità produttive massime arrivano fino a 18,25 t/h di vapore a 27,5 bar di pressione. Il combustibile utilizzato è costituito dalle stesse vinacce esauste dopo adeguata essiccazione. La combustione

<sup>12</sup> Vinaccia in uscita dai disalcolatori e carica di umidità.

viene prodotta all'interno di un avanforno e il calore sviluppato provvede a riscaldare l'acqua da vaporizzare contenuta in un insieme di tubi attraverso cui avviene lo scambio termico. Raggiunta la temperatura di ebollizione l'acqua bolle generando vapore e mantenendo, a pressione costante, la temperatura di saturazione pari a 173 °C. L'alimentazione dell'acqua avviene attraverso due elettropompe centrifughe, mentre un piccolo bruciatore ausiliario provvede all'accensione iniziale della combustione.

Per il processo di essiccazione della vinaccia è utilizzato invece un datato generatore di calore, sempre alimentato dalla vinaccia essiccata, della potenzialità di 9.304 kW termici. Come si intuisce dalla Figura 15 si tratta di un forno a griglia fissa i cui fumi della combustione vengono utilizzati, previo passaggio in una camera di miscelazione, all'interno di un essiccatore a tamburo rotante in controcorrente con la vinaccia umida in ingresso.



Figura 16 - Vista della camera di combustione del generatore di calore per l'essiccazione della vinaccia

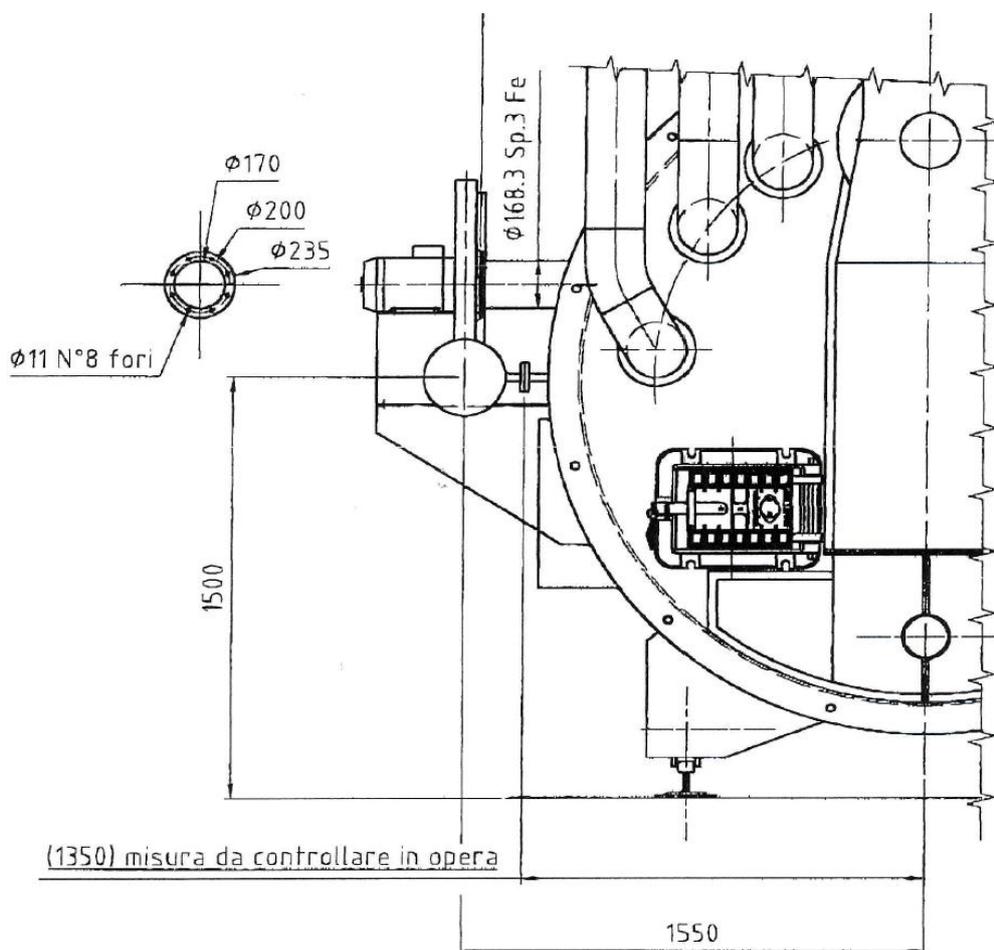


Figura 15 - Vista frontale del generatore di calore per l'essiccazione della vinaccia.

Oltre ai due gruppi termici descritti è presente anche un gruppo cogenerativo. Si tratta di un motore “GE Jenbacher” endotermico a 4 tempi e 12 cilindri e alimentato dal biogas prodotto nei digestori anaerobici della borlanda. Le potenzialità nominali del gruppo sono le seguenti:

- Potenza elettrica: 625 kW
- Potenza termica recuperata sotto forma di acqua calda: 337 kW
- Potenza termica dispersa: 112 kW
- Rendimento elettrico: 40 %

La potenza termica dal circuito di raffreddamento del motore viene utilizzata per preriscaldare la portata d’acqua in ingresso al generatore di vapore, mentre i fumi vengono convogliati nella camera di miscelazione a monte dell’essiccatore delle vinacce per contribuire al fabbisogno di energia termica ad alta entalpia.



Figura 17 - Gruppo di cogenerazione a biogas.

La camera di miscelazione raccorda i fumi provenienti da tutti e tre gli impianti, inviandoli all’essiccatore rotante delle vinacce. Da qui i fumi, carichi di umidità e delle sostanze organiche volatili che vengono inevitabilmente asportate dalla biomassa, vengono inviati tramite apposito ventilatore estrattore al sistema di abbattimento.

Lo schema complessivo dei flussi considerati è quello rappresentato in Figura 18 :

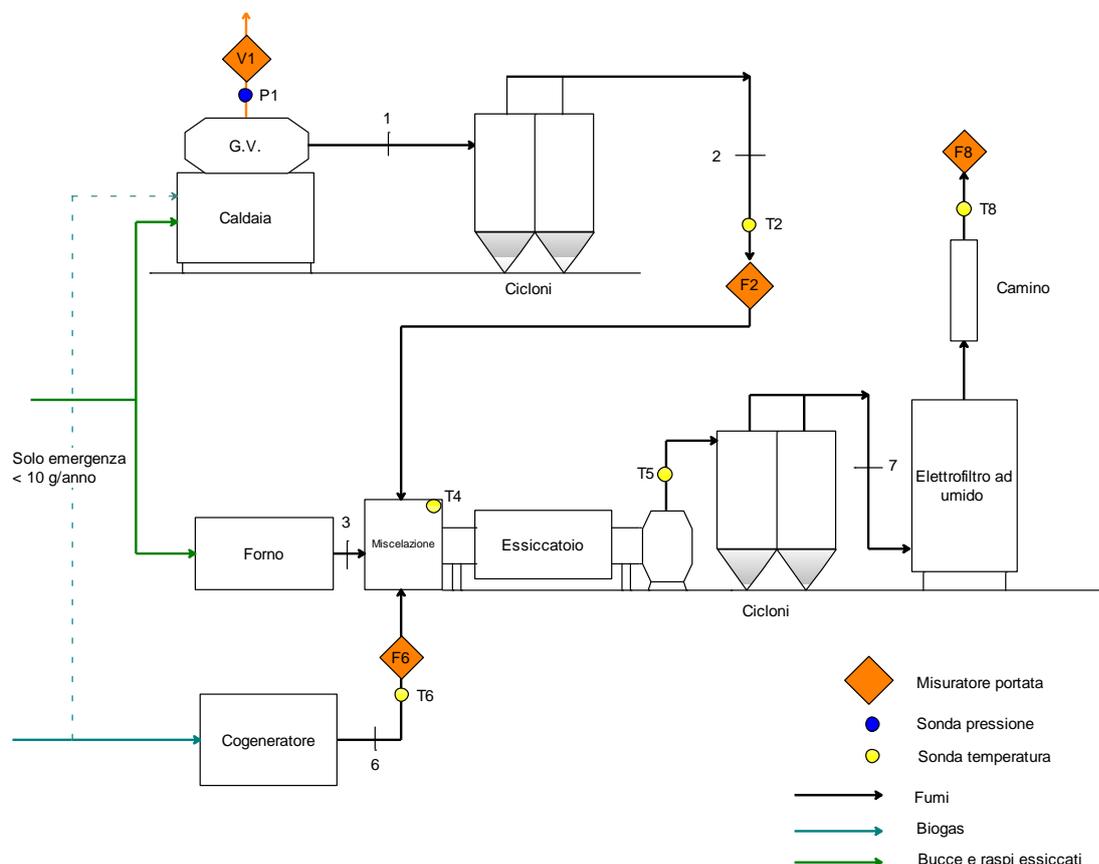


Figura 18 - Schema di flusso dei fumi.

#### 4.2.1. Sistema di misura

Il sistema di misurazione in continuo è integrato nel controllore logico programmabile (PLC) dell'impianto permettendo un monitoraggio completo di tutti i valori. Vengono analizzati gli andamenti dei parametri misurati nell'anno 2010 preso come riferimento anche per lo stato attuale dell'impianto.

Per la misurazione del vapore è installato un misuratore a vortice fluttuante (V1 in Figura 18) che opera secondo il principio di Karman: quando un fluido scorre ed incontra un ostacolo, si formano in alternanza dei vortici, che si distaccano da entrambi i lati con senso di rotazione opposto.

Ogni vortice genera una bassa pressione locale. Le fluttuazioni di pressione sono rilevate dal sensore e convertite in impulsi elettrici. I vortici sono generati con regolarità entro i limiti applicativi del misuratore. La formazione di questi vortici avviene regolarmente con frequenza che è direttamente proporzionale al volume del flusso che transita:

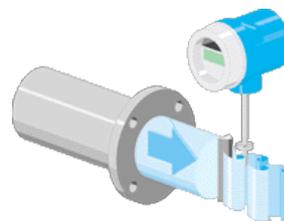


Figura 19 - Misuratore di portata del vapore (V1)

$$K = \frac{\text{impulsi}}{\text{unità volumetrica [dm}^3\text{]}}$$

Il fattore K dipende solamente dalla geometria dell'apparecchio. È quindi indipendente dalla velocità del fluido e dalle sue proprietà quali viscosità e densità. In questo modo si ha la completa indipendenza dal tipo di fluido misurato. Vicino al sensore volumetrico è installata anche una termocoppia (Pt 100) per la rilevazione della temperatura del fluido e per convertire la portata volumetrica in portata di massa. Il misuratore è posto subito a valle del generatore di vapore e misura quindi sia la portata diretta ai disalcolatori, che quella inviata alle colonne di distillazione. La pressione viene rilevata da un altro apposito trasduttore di pressione con sensore in ceramica, anch'esso integrato nel PLC.

La misurazione dei fumi, nelle sezioni F2, F6 ed F8, viene effettuata da un sistema che rileva simultaneamente la portata e la temperatura dei gas. La portata volumetrica viene ricavata dalla velocità dei fumi, attraverso la temperatura viene poi calcolata la portata volumetrica normalizzata. La velocità è calcolata misurando il ritardo di transito di un impulso ad ultrasuoni attraverso la portata dei gas. Le unità di ricezione e invio degli impulsi sono montate alle estremità della tubazione con un certo angolo rispetto alla direzione del flusso, come si nota dalla figura 18. Queste unità trasmettenti/riceventi contengono trasduttori ad ultrasuoni piezoelettrici che funzionano alternativamente come trasmettitori e ricevitori. La differenza dei tempi di transito degli impulsi sonori è tanto maggiore quanto maggiore è la velocità del gas e minore è l'angolo rispetto alla direzione di flusso. La velocità del gas  $v$  viene quindi calcolata con la differenza tra entrambi i tempi di transito, indipendentemente dalla velocità del suono:

$$v = \frac{L}{2 \cos(\alpha)} \left( \frac{1}{t_v} - \frac{1}{t_r} \right)$$

Con  $v$  in [m/s],  $L$  è la distanza di misura in [m],  $\alpha$  è l'angolo d'inclinazione in [°],  $t_v$  è il tempo di transito del segnale in direzione della portata di gas e  $t_r$  è il tempo di transito del segnale in direzione opposta alla portata di gas.

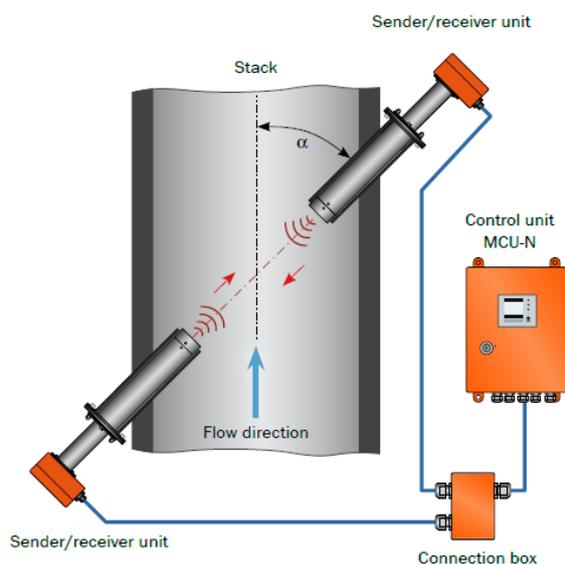


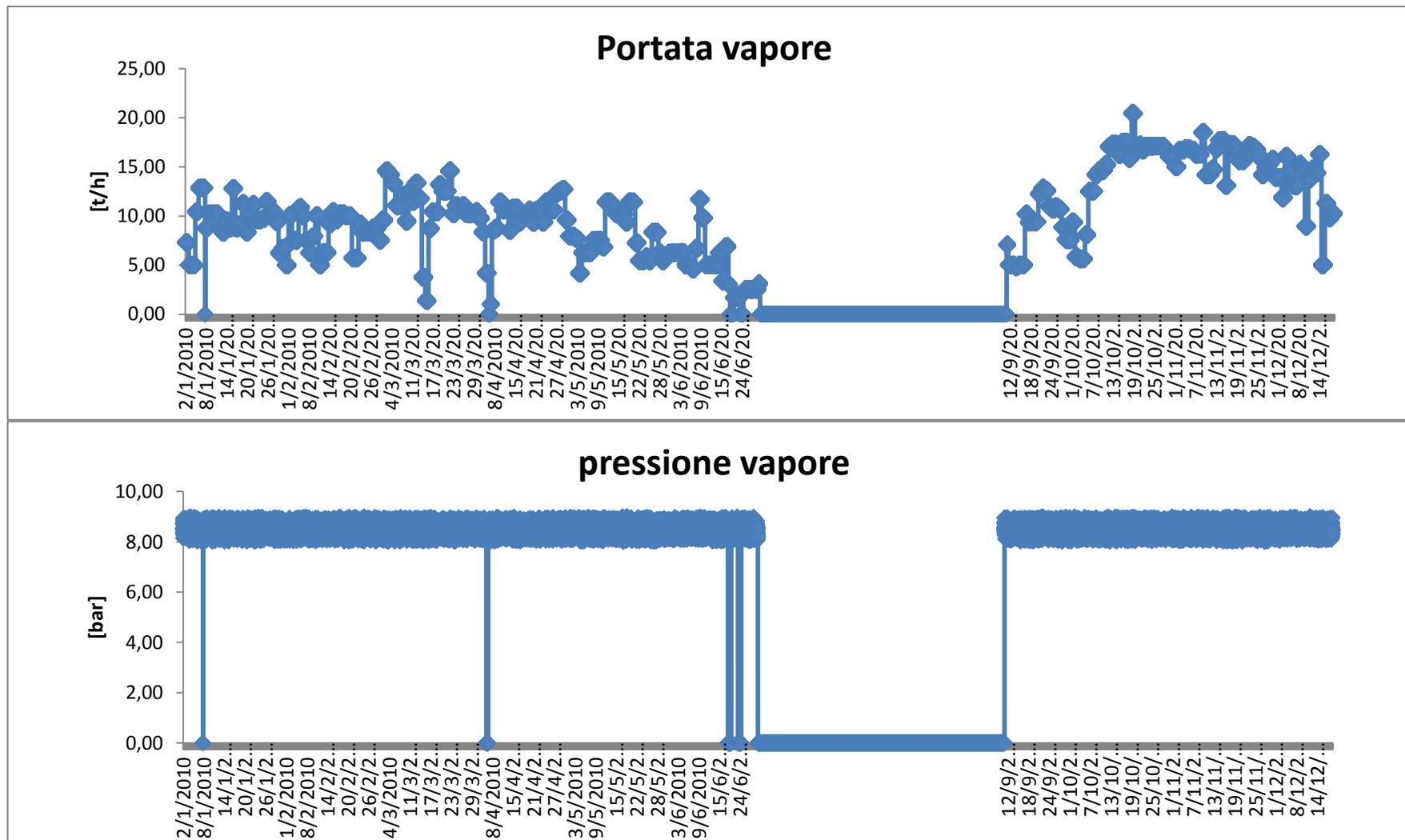
Figura 20 - Schema del sistema di misura ad ultrasuoni utilizzato nei punti F1, F2 ed F4.

Dalla velocità misurata e dalla sezione nota della tubazione viene calcolata la portata volumetrica  $Q$  istantanea, da questa si ricava la portata in condizioni normali secondo la relazione:

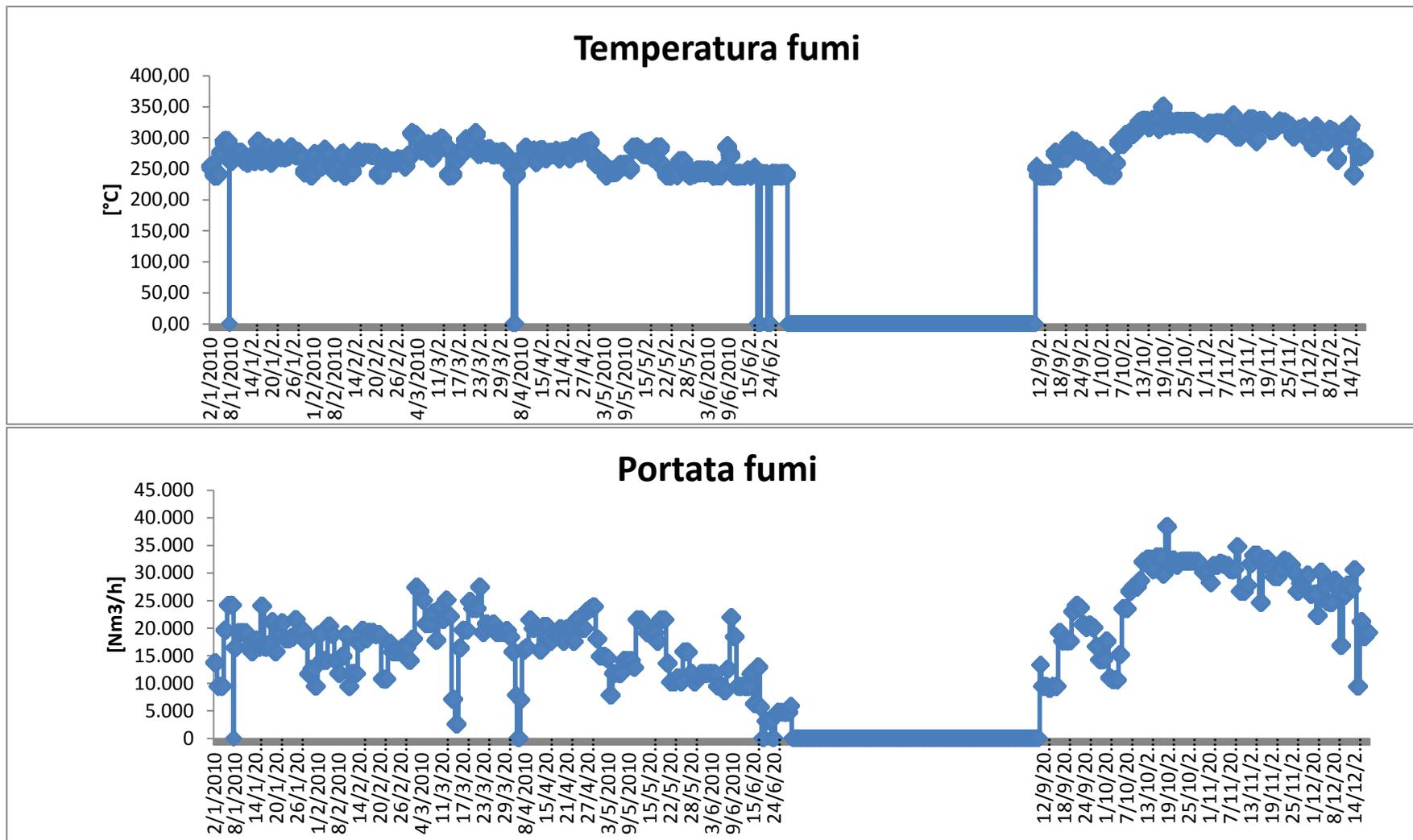
$$Q_n = Q \frac{100 - U\%}{100} \left( \frac{p_c}{p_n} * \frac{T_n}{T_c} \right)$$

dove  $U\%$  è la percentuale di umidità nei fumi,  $p_c$  e  $T_c$  sono la pressione e la temperatura nel condotto di misurazione e  $p_n$ ,  $T_n$  sono pressione e temperatura delle condizioni normalizzate (1,013 [bar] e 273,15 [K]).

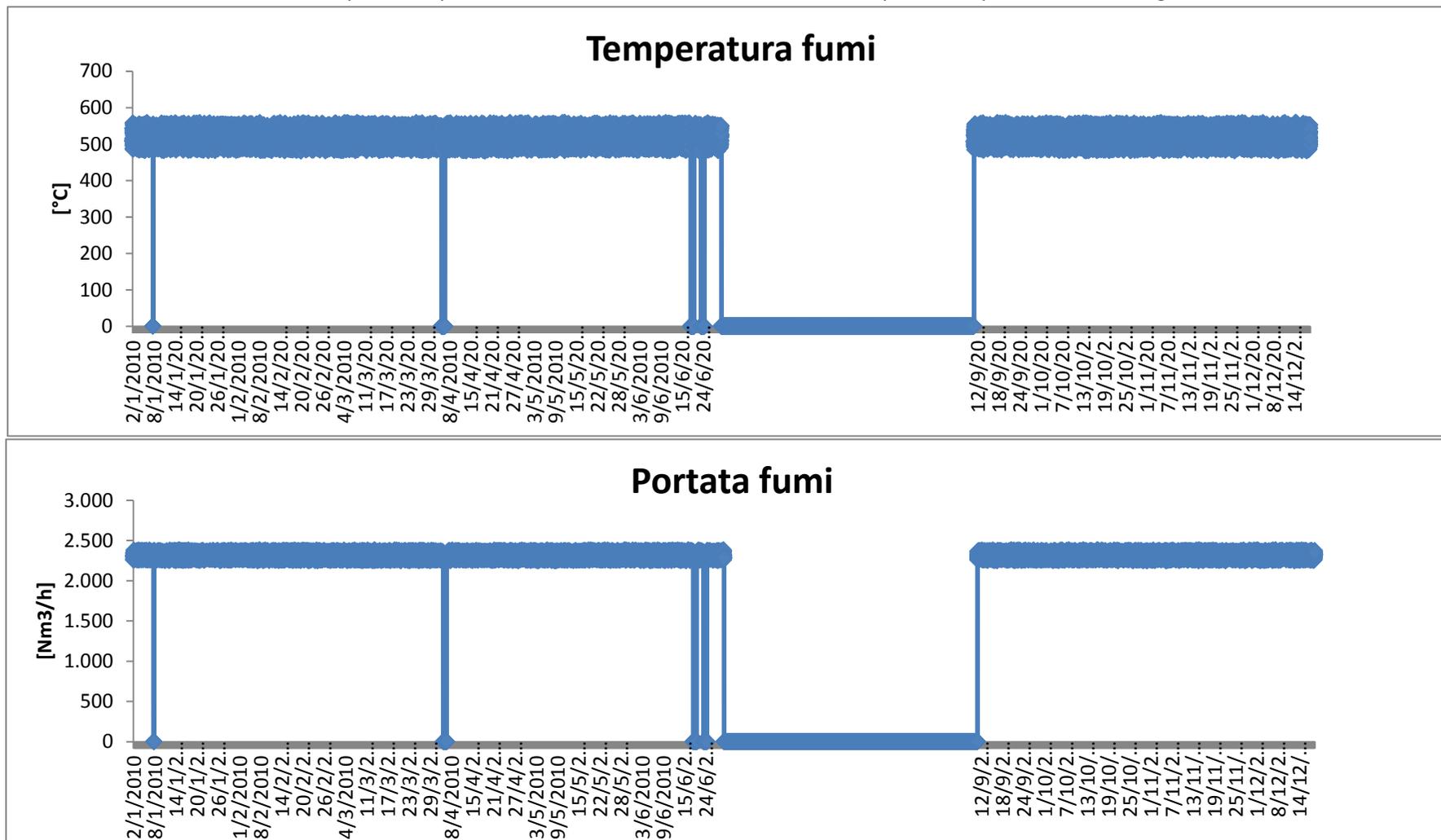
Dati acquisiti per il periodo di riferimento dal misuratore vapore: V1 e P1



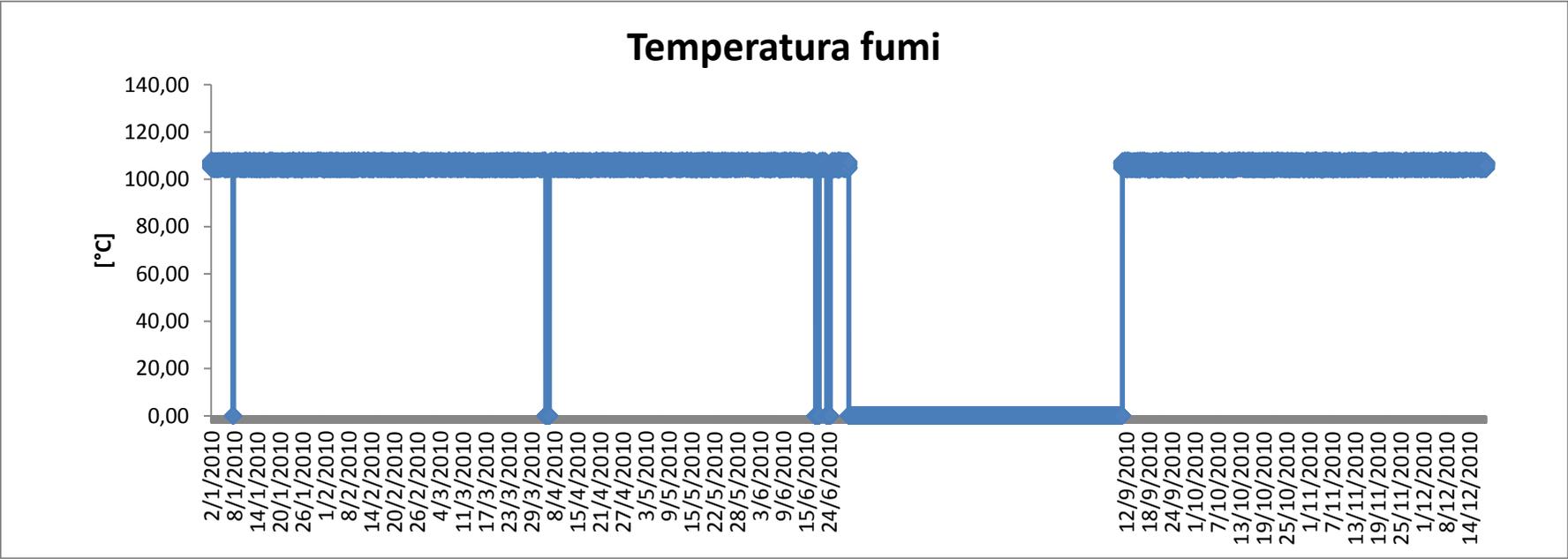
Dati acquisiti per il periodo di riferimento dal misuratore F2 e T2 per i fumi provenienti dal generatore di vapore:



Dati acquisiti nel periodo di riferimento dal misuratore F6 e T6 per i fumi provenienti dal cogeneratore:



Dati acquisiti nel periodo di riferimento dal misuratore T5 della temperatura dei fumi in uscita dell'essiccatore:



Dagli andamenti rappresentati si nota che le ore di funzionamento annuali sono 6.500, durante i due mesi estivi di Luglio e Agosto l'impianto è completamente fermo, mentre durante l'anno ci sono alcune fermate pianificate.

#### **4.2.2. Generatore di vapore**

L'andamento della portata dei fumi del generatore di vapore ha naturalmente lo stesso andamento del vapore generato ed è legato alle variazioni di carico date dal periodo di produzione. Si possono individuare, già visivamente, tre cicli annuali che rispecchiano le tre fasi di produzione:

1. Primo periodo (2.363 ore): da Settembre (accensione impianto) fino al 31 Dicembre, i mesi della vendemmia e quelli subito successivi. In questo periodo l'impianto presenta il massimo carico di produzione; sono infatti in funzione i 4 disalcolatori continui, le 6 colonne di distillazione continue e anche le 6 colonne di distillazione discontinue. La produzione di vapore dovrà soddisfare contemporaneamente queste esigenze. Le caratteristiche di produzione del generatore di vapore sono:
  - Portata fumi media: 25.669 [Nm<sup>3</sup>/h]
  - Temperatura media: 299,5 [°C]
  - Portata vapore prodotto: 13,65 [t/h]
  - Pressione vapore: 8,50 [bar]
2. Secondo periodo (2.759 ore): dal 1 Gennaio fino al 30 Aprile si è in condizioni di carico intermedio dato che oltre ai disalcolatori e alle colonne continue funzionano soltanto 2 colonne discontinue dedicate alla distillazione dell'amarone. I dati medi di questo periodo sono:
  - Portata fumi media: 17.980 [Nm<sup>3</sup>/h]
  - Temperatura media: 268,4 [°C]
  - Portata vapore prodotto: 9,57 [t/h]
  - Pressione vapore: 8,46 [bar]
3. Terzo e ultimo periodo (1.380 ore): dal 30 Aprile fino al 30 Giugno. In questi due mesi, prima della fermata estiva, la produzione di vapore diminuisce ancora in quanto sono in funzione solo i 4 disalcolatori continui e le 6 colonne di distillazione continue. I valori rilevati sono quindi:
  - Portata fumi media: 11.892 [Nm<sup>3</sup>/h]
  - Temperatura media: 243,1 [°C]
  - Portata vapore prodotto: 6,33 [t/h]
  - Pressione vapore: 8,21 [bar]

Vengono rappresentati graficamente i tre periodi in figura 17.

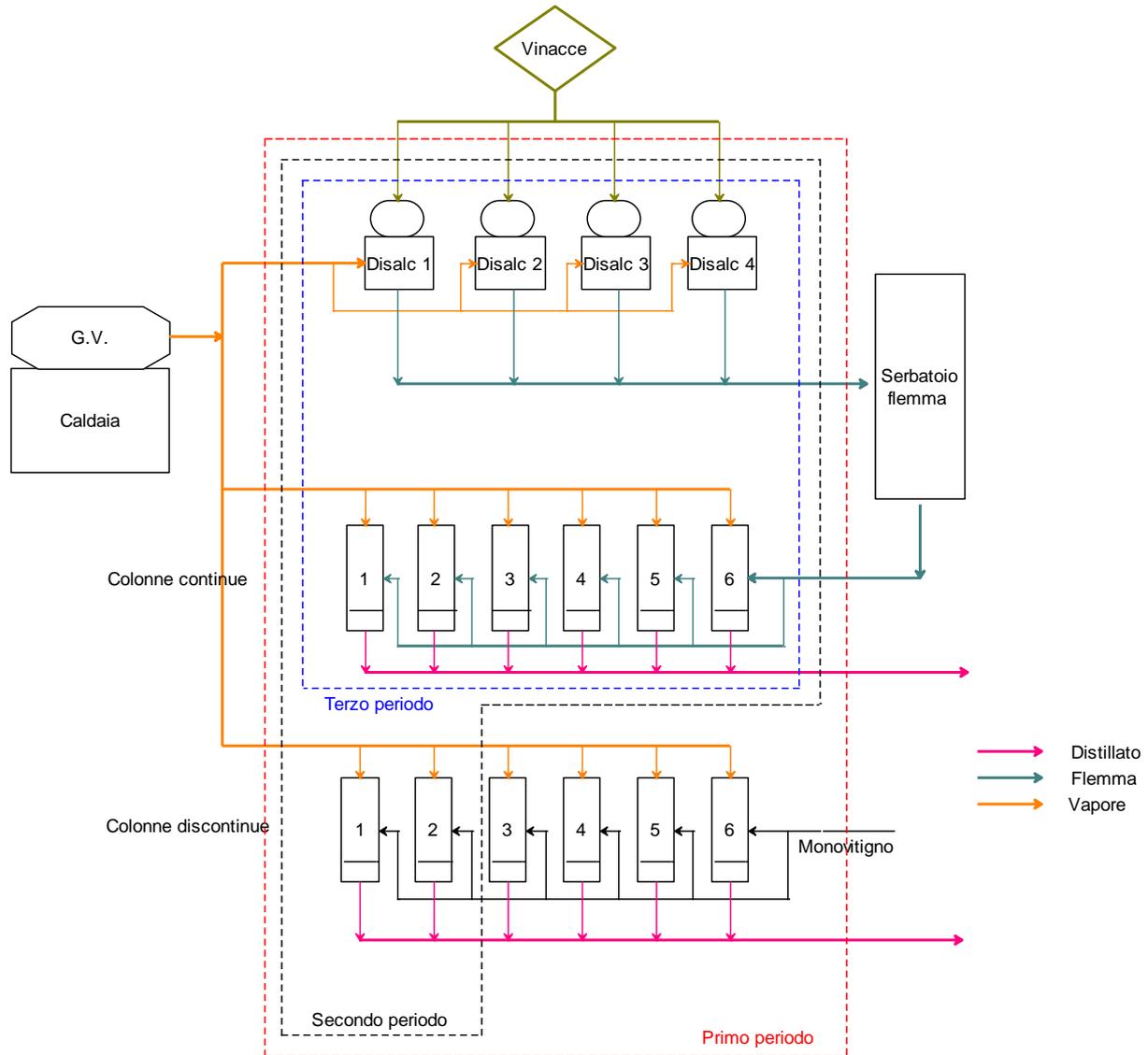


Figura 21 - Schema di flusso del vapore nei tre periodi di produzione durante l'anno.

#### 4.2.3. Cogeneratore ed essiccatore

Come si nota già dalle figure a pagina 48, il sistema di cogenerazione funziona tutto l'anno a regime nominale con ridotte variazioni di carico. I valori medi misurati nei tre periodi per le caratteristiche dei fumi sono:

1. Primo periodo:
  - Portata fumi media: 2.314 [Nm<sup>3</sup>/h]
  - Temperatura media: 520 [°C]

2. Secondo periodo:

- Portata fumi media: 2.293 [Nm<sup>3</sup>/h]
- Temperatura media: 515,6 [°C]

3. Terzo periodo:

- Portata fumi media: 2.233 [Nm<sup>3</sup>/h]
- Temperatura media: 501,8 [°C]

Non essendo previsto un sistema di misurazione della portata dei fumi della caldaia dedicata all'essiccatore rotante, si sono calcolati i parametri interessati procedendo nel modo seguente:

1. Determinazione del consumo energetico specifico per il processo di essiccazione attraverso l'analisi dei fumi e la portata rilevata istantaneamente al camino.
2. Bilancio energetico dei flussi di fumo e calcolo del fabbisogno specifico per la caldaia dell'essiccatore.

I dettagli del calcolo verranno mostrati nel paragrafo 4.3.3.

### **4.3. Analisi del combustibile e dei fumi**

Per descrivere in ogni punto d'impianto le condizioni termodinamiche dei fumi e determinare quindi i consumi di combustibile di ogni generatore di calore, si è partiti dall'analisi dei combustibili utilizzati.

#### **4.3.1. Generatore di vapore**

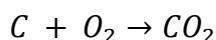
Come già introdotto, per il generatore di vapore e per il generatore di calore dell'essiccatore viene utilizzata come combustibile la vinaccia essiccata dopo la separazione dei raspi e delle buccette dai vinaccioli attraverso apposita macchina sparti-seme. Dai dati consegnati dalla distilleria risultano le seguenti caratteristiche:

Vinaccia essiccata	
Componente	Frazione massica
C	48.00%
H <sub>2</sub>	5.60%
S	0.21%
O <sub>2</sub>	32.48%
N <sub>2</sub>	2.10%
H <sub>2</sub> O	8.00%
Cl	0.01%
F	0.00%
Ceneri	3.60%
PCS = 20,35 MJ/kg	
PCI = 18,96 MJ/kg	

Conoscendo il tenore di ossigeno contenuto nei fumi a valle del generatore di vapore si è risaliti al valore di eccesso d'aria con cui opera il bruciatore:  $\epsilon = 150\%$ .

#### 4.3.1.1. Calcoli di combustione

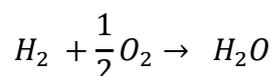
Si sono poi eseguiti i seguenti calcoli di combustione per la determinazione della composizione dei fumi:



Moltiplicando ambo i membri per i pesi molecolari dei componenti si ottiene il bilancio di massa:

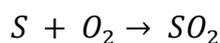
$$12 \text{ kg } C + 32 \text{ kg } O_2 = 44 \text{ kg } CO_2$$

per ogni kg di C sono quindi necessari  $32/12=2,67$  kg di O<sub>2</sub>.



$$2 \text{ kg } H_2 + 16 \text{ kg } O_2 = 18 \text{ kg } H_2O$$

Per ogni kg di H sono necessari  $16/2=8$  kg di O<sub>2</sub>, ma bisogna sottrarre l'idrogeno che andrà a formare l'HCl.



$$32 \text{ kg } S + 32 \text{ kg } O_2 = 64 \text{ kg } SO_2$$

$$1 \text{ kg } S + 32/32 \text{ kg } O_2 = 64/32 \text{ kg } SO_2$$

Per ogni kg di S sono necessari  $32/32=1$  kg di O<sub>2</sub>. Si sottrae poi l'ossigeno già presente nella composizione del combustibile O.

La formula per il calcolo della quantità di ossigeno stechiometrica risulta quindi:

$$m(O_2)_{STECH} = 2.67 C + 8 \left( H - \frac{1}{35,45} Cl \right) + S - O$$

Considerando inoltre la frazione di massa dell'ossigeno nell'aria comburente, pari al 23,2 %, si ricavano i seguenti valori:

$$m(O_2)_{STECH} = 1,41 \text{ [kg } O_2/\text{kg combustibile]}$$

$$m(aria)_{STECH} = 6,06 \text{ [kg aria/kg combustibile]}$$

$$m(aria) = (1 + \varepsilon) m(aria)_{STECH}$$

$$m(aria) = 15,16 \text{ [kg aria/kg combustibile]}$$

$$m(fumi) = m(aria) + 1 - \text{ceneri} \text{ [kg fumi/kg combustibile]}$$

$$m(fumi) = 16,12 \text{ [kg fumi/kg combustibile]}$$

Si sono quindi calcolate le composizioni in massa e in volume dei fumi:

$$m(N_2) = 0.768 m(aria) + N_2$$

$$m(O_2) = 0.232 [m(aria) - m(aria)_{STECH}]$$

$$m(CO_2)_{STECH} = m(CO_2) = 44/12 C$$

$$m(H_2O)_{STECH} = m(H_2O) = H_2O + 18/2(H - 1/35,45Cl)$$

$$m(SO_2)_{STECH} = m(SO_2) = 64/32S$$

Composizione fumi in massa		Composizione fumi in volume	
Componente	% m/m	Componente	% v/v
N2 =	72,34%	N2 =	75,049%
O2 =	13,09%	O2 =	11,88%
CO2 =	10,93%	CO2 =	7,21%
H2O =	3,62%	H2O =	5,84%
SO2 =	0,026%	SO2 =	0,012%
HCl =	0,00064%	HCl =	0,00051%

#### 4.3.1.2. Calcolo del contenuto energetico dei fumi

Una volta individuata la composizione dei fumi si sono calcolate le sue proprietà termodinamiche, riassunte nella tabella seguente:

Tabella 6 - Caratteristiche termodinamiche dei fumi secchi provenienti dal generatore di vapore.

Temperatura (1° periodo)	299,50	[°C]
Peso molecolare	29,73	[kg/kmol]
Calore specifico fumi secchi	1,04	[kJ/(kgK)]
Densità normalizzata	1,33	[kg/Nm <sup>3</sup> ]

Inoltre si è calcolata la variazione del calore specifico con la temperatura in modo da non considerare un valore medio per i diversi periodi di carico durante l'anno, e rendere i calcoli più precisi.

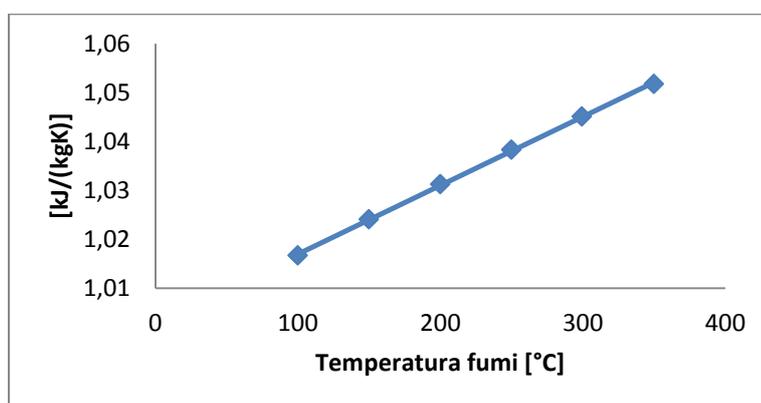


Figura 22 - Calore specifico dei fumi secchi provenienti dal generatore di vapore al variare della temperatura.

#### 4.3.2. Cogeneratore

Con lo stesso tipo di analisi svolta per il generatore di vapore, si sono determinati i parametri della combustione e dei fumi per l'impianto di cogenerazione che è alimentato dal biogas prodotto nell'impianto di digestione anaerobica. La composizione del combustibile è la seguente:

Biogas	
Componente	Frazione involume
<i>C</i>	60,00%
<i>H<sub>2</sub></i>	20,00%
<i>CO<sub>2</sub></i>	20,00%
<i>PCI = 25 MJ/Nm<sup>3</sup></i>	

Operando con un eccesso d'aria  $\varepsilon = 40\%$  si ottengono i seguenti parametri dei fumi:

$$V_{fumi\ secchi} = 6,55 [Nm^3_{fumi\ secchi}/kg_{combustibile}]$$

Composizione fumi in massa		Composizione fumi in volume	
Componente	% m/m	Componente	% v/v
N2 =	68,49%	N2 =	74,34%
O2 =	5,91%	O2 =	5,61%
CO2 =	23,22%	CO2 =	16,04%
H2O =	2,37%	H2O =	4,01%
SO2 =	0,000000%	SO2 =	0,000000%
HCl =	0,000000%	HCl =	0,000000%

Tabella 7 - Caratteristiche termodinamiche dei fumi secchi provenienti dal cogeneratore.

Temperatura (1° periodo)	520,00	[°C]
Peso molecolare	30,91	[kg/kmol]
Calore specifico fumi secchi	1,07	[kJ/(kgK)]
Densità normalizzata	1,38	[kg/Nm <sup>3</sup> ]

Considerato che il funzionamento del cogeneratore durante l'anno è sempre prossimo alle condizioni nominali si è assunto un valore costante per il calore specifico e pari a quello indicato in Tabella 7.

### 4.3.3. Essiccatore

Come già introdotto nei paragrafi precedenti, il processo di essiccazione della vinaccia serve a produrre la biomassa necessaria ad alimentare l'impianto termico di produzione del vapore per i processi. Una volta essicata la vinaccia è inoltre possibile separare, attraverso apposita macchina, i vinaccioli dalle bucce e i raspi. Questi costituiscono un sottoprodotto vendibile importante da cui si ricava un olio vegetale per usi alimentari.

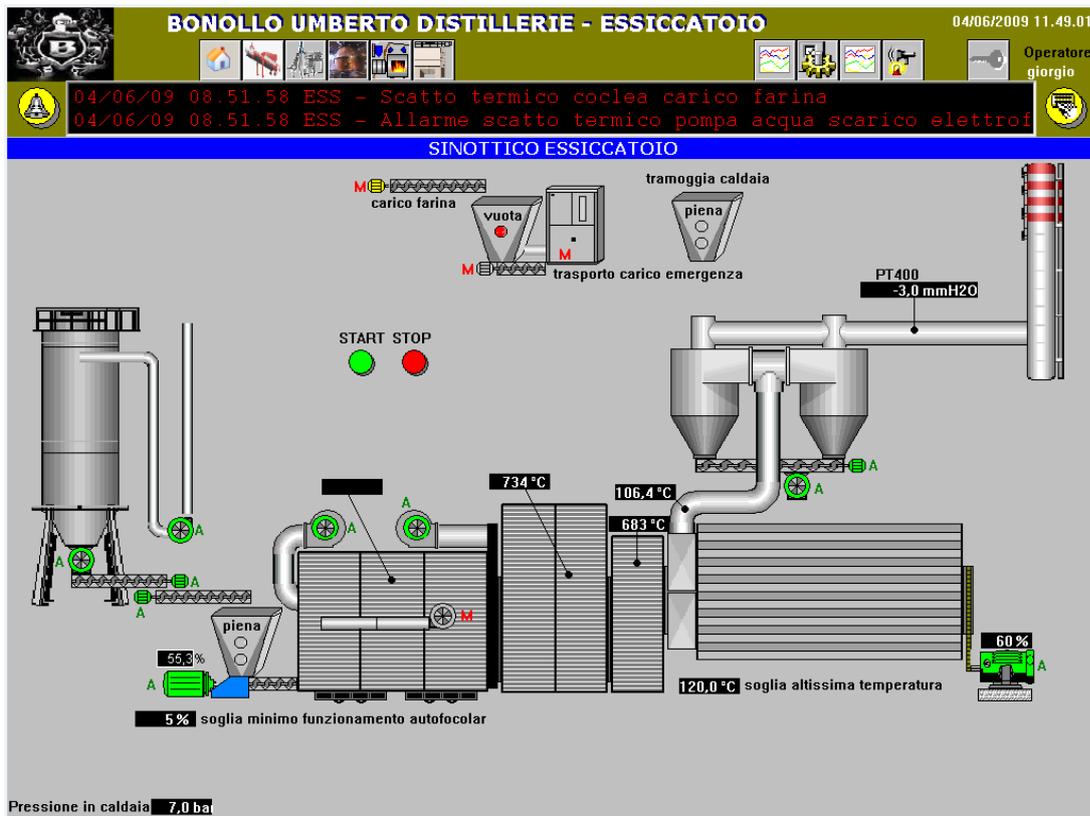


Figura 23 - Estratto dell'essiccatore dal PLC del sistema: si distinguono il bruciatore dedicato, la camera di miscelazione e il tamburo rotante.

L'essiccatore utilizzato è piuttosto datato (anni '80) e il processo non è energeticamente efficiente. Negli anni si è cercato di ridurre il fabbisogno di potenza termica generata appositamente per il processo di essiccazione sfruttando i fumi ancora caldi del generatore di vapore e, in seguito, anche del cogeneratore. Questi, miscelati in apposita camera con i fumi ad alta temperatura provenienti dal generatore dedicato soltanto al processo di essiccazione, anch'esso alimentato a biomassa da vinaccia, vengono convogliati all'interno del tamburo rotante in cui è immessa la vinaccia umida. La temperatura dei fumi all'ingresso è di circa 680 – 685 [°C], variabile però durante l'anno, mentre escono carichi di umidità sempre a circa 105 – 110 [°C]. Per il calcolo del consumo energetico specifico dell'essiccatore si sono prima analizzate le caratteristiche dei fumi del generatore di calore partendo dalla composizione del combustibile. Come detto questo è costituito dalla stessa vinaccia essiccata utilizzata nel generatore di vapore quindi, per le caratteristiche del combustibile si rimanda al paragrafo 4.3.1.

Dai calcoli di combustione si ottengono:

$$V_{fumi\ secchi} = 28,21 [Nm^3_{fumi\ secchi}/kg_{combustibile}]$$

Composizione fumi in massa		Composizione fumi in volume	
Componente	% m/m	Componente	% v/v
N <sub>2</sub>	74,87%	N <sub>2</sub>	77,35%
O <sub>2</sub>	18,83%	O <sub>2</sub>	17,03%
CO <sub>2</sub>	4,72%	CO <sub>2</sub>	3,10%
H <sub>2</sub> O	1,56%	H <sub>2</sub> O	2,51%
SO <sub>2</sub>	0,011%	SO <sub>2</sub>	0,0051%
HCl	0,00027%	HCl	0,00022%

Tabella 8 - Caratteristiche termodinamiche dei fumi secchi provenienti dal generatore di calore dell'essiccatore.

Temperatura	975,00	[°C]
Peso molecolare	29,21	[kg/kmol]
Calore specifico fumi secchi	1,12	[kJ/(kgK)]
Densità normalizzata	1,30	[kg/Nm <sup>3</sup> ]

I fumi risultanti dalla miscelazione delle tre sorgenti termiche analizzate hanno caratteristiche termodinamiche pesate sulle frazioni molari delle singole portate in ingresso:

Tabella 9 - Caratteristiche termodinamiche dei fumi secchi in ingresso all'essiccatore.

Temperatura media	674,49	[°C]
Peso molecolare	29,492	[kg/kmol]
Calore specifico fumi secchi	1,09	[kJ/(kgK)]
Densità normalizzata	1,32	[kg/Nm <sup>3</sup> ]

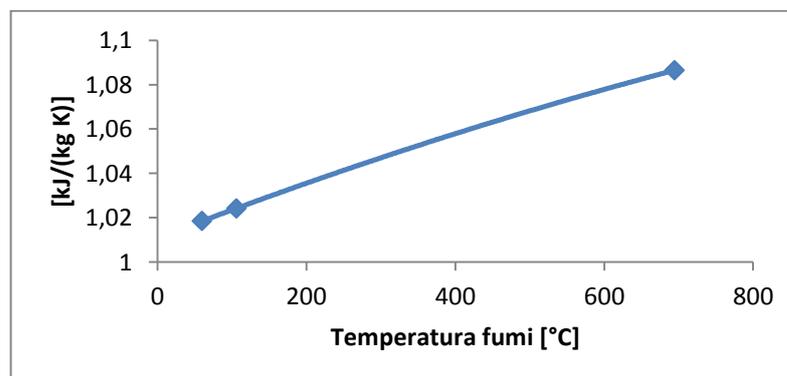


Figura 24 - Calore specifico dei fumi secchi inviati all'essiccatore rotante.

Con questa tecnologia la velocità e l'efficacia del sistema di essiccazione sono limitate dai cambiamenti nelle proprietà fisico-chimiche della miscela d'aria e vapore acqueo. Infatti, queste dipendono dal contenuto di umidità del materiale in

equilibrio con le condizioni dell'aria calda quindi dalle condizioni psicrometriche e di assorbimento tra il materiale e la miscela d'aria. L'implicazione energetica è data dal fatto che il sistema opera in circuito aperto: l'aria calda, costituita dai fumi della combustione, viene forzata ad attraversare il materiale per rimuoverne l'umidità e viene completamente esaurita nel processo. Non è possibile alcun recupero termico se non a bassi livelli di temperatura, circa 60 [°C]. Pertanto, il minimo ingresso energetico necessario per l'essiccazione in vena d'aria è la somma dell'energia:

- Per l'evaporazione dell'umidità dalla materia prima trattata.
- Per portare l'aria, cioè i fumi della combustione, alla temperatura voluta.
- Rilasciata con i fumi all'uscita dell'essiccatore e dispersa con il riscaldamento della materia prima.

L'essiccatore lavora tutto l'anno a regime nominale, essiccando 300 [t] di vinaccia esausta al giorno. Questa entra nel processo di essiccazione dopo essere stata disalcolata e sottoposta al lavaggio per l'estrazione della materia tartarica: possiede un'umidità del 62 % circa e una temperatura di circa 85 °C. Per poter essere impiegata come biomassa e per l'estrazione dei vinaccioli il suo contenuto d'umidità viene abbassato fino all'8 % circa. Da questi dati si ricava che la quantità d'acqua da asportare attraverso il flusso di fumi caldi è di 2,038 [kg/s]. Dai valori di portata rilevati nei punti di misura e dai parametri termodinamici ricavati per i fumi convogliati all'essiccatore si è calcolato il consumo energetico specifico (CES) per l'essiccatore. Questo parametro è una grandezza caratteristica con cui si misura il rendimento di essiccazione e per la tecnologia in vena d'aria come quella utilizzata in distilleria il valore di riferimento è compreso tra i 4000 – 4200<sup>13</sup> [kJ/kg] d'acqua evaporata. Nel caso in esame, per il calcolo del CES, si sono considerate due situazioni a 4 anni di distanza tra loro: la prima risale al 2008, di cui è disponibile lo storico dei dati, la seconda invece è riferita al giorno 11 Giugno 2012 in cui ho personalmente acquisito i dati di misura in continuo dal PLC dell'impianto.

---

<sup>13</sup> "Report on Biomass Drying Technology", Wade A. Amos National Renewable Energy Laboratory

I dati acquisiti direttamente e dallo storico sono i seguenti:

**Tabella 10 - Dati acquisiti per il calcolo del CES dell'essiccatore.**

	u.m.	2008	11/6/2012
Portata fumi al camino	Nm <sup>3</sup> /h	49.944	63.528
Portata fumi g.v.	Nm <sup>3</sup> /h	13.418	16.045
Portata cogeneratore	Nm <sup>3</sup> /h	-	2.503
Portata fumi bruciatore ess.	Nm <sup>3</sup> /h	36.526	44.980
Temperatura fumi g.v.	°C	242	265
Temperatura ingresso ess.	°C	690	683
Temperatura uscita ess.	°C	109	107
Vinacce umide in ingresso	t/h	10,08	12,50
Portata acqua evaporata	t/h	5,92	7,34
Potenza lato vinaccia umida	kW	3.464	4.294
Potenza lato fumi	kW	7.199	8.658
CES	kJ/kg <sub>a.e.</sub>	4.319	4.248

È da sottolineare che nel 2008 non era ancora entrato in esercizio il cogeneratore e la produzione dell'impianto era inferiore rispetto ad oggi. Tuttavia i valori calcolati di CES non risultano molto discosti, segno che l'efficienza dell'essiccatore resta abbastanza costante nell'intervallo di portate e temperature considerate.

Facendo una media tra i due valori si ricava :

$$CES = 4.283 \text{ [kJ/kg d'acqua evaporata]}$$

Si nota come, nonostante si tratti di un impianto datato, il rendimento sia abbastanza vicino ai valori di riferimento considerati in letteratura per la tecnologia interessata.

Dai dati appena calcolati si è potuto ricostruire l'intero bilancio dei fumi in ogni punto dell'impianto: i valori che seguono si riferiscono al primo periodo di funzionamento dell'impianto tra Settembre e Dicembre.

	T [°C]	Q <sub>n</sub> [Nm <sup>3</sup> /hss]	Q <sub>a</sub> [Am <sup>3</sup> /h]	n <sub>tot</sub> [kmol/s]	m <sub>tot</sub> [kg/s]	m <sub>secca</sub> [kg/s]	Pm <sub>secca</sub> [kg/kmol]	n <sub>secca</sub> [kmol/s]	Cp <sub>secchi</sub> [kJ/(kgK)]	m <sub>vapore</sub> [kg/s]	n <sub>vapore</sub> [kmol/s]	h <sub>totale</sub> [kJ/kg]
1	309,513	25.670	69.959	0,338	9,815	9,459	29,735	0,318	1,046	0,355	0,020	440,206
2	299,513	25.670	68.758	0,338	9,815	9,459	29,735	0,318	1,045	0,355	0,020	428,569
3	975,000	34.184	199.599	0,424	12,255	12,063	29,209	0,412	1,116	0,192	0,011	1.161,100
4	671,468	61.309	282.295	0,791	22,978	22,409	29,493	0,759	1,084	0,569	0,032	728,475
5	109,380	61.309	124.914	0,873	24,447	22,409	29,493	0,759	1,02438	2,038	0,113	354,035
6	519,928	2.314	9.710	0,030	0,908	0,886	30,907	0,029	1,072	0,022	0,001	642,966
7	109,380	61.309	124.914	0,873	24,447	22,409	29,493	0,759	1,024	2,038	0,113	354,035
8	65,000	61.309	89.864	0,903	24,983	22,409	29,493	0,759	1,019	2,574	0,143	367,203

Valori relativi al secondo periodo:

	T [°C]	Q <sub>n</sub> [Nm <sup>3</sup> /hss]	Q <sub>a</sub> [Am <sup>3</sup> /h]	n <sub>tot</sub> [kmol/s]	m <sub>tot</sub> [kg/s]	m <sub>secca</sub> [kg/s]	Pm <sub>secca</sub> [kg/kmol]	n <sub>secca</sub> [kmol/s]	Cp <sub>secchi</sub> [kJ/(kgK)]	m <sub>vapore</sub> [kg/s]	n <sub>vapore</sub> [kmol/s]	h <sub>totale</sub> [kJ/kg]
1	278,391	17.980	46.385	0,237	6,875	6,626	29,735	0,223	1,042	0,249	0,014	404,090
2	268,391	17.980	45.544	0,237	6,875	6,626	29,735	0,223	1,041	0,249	0,014	392,548
3	975,000	36.535	213.324	0,453	13,098	12,893	29,209	0,441	1,116	0,205	0,011	1.161,100
4	725,679	55.891	271.098	0,719	20,872	20,397	29,448	0,693	1,089	0,475	0,026	790,585
5	105,073	55.891	115.024	0,806	22,435	20,397	29,448	0,693	1,02426	2,038	0,113	377,096
6	515,575	2.294	9.570	0,030	0,900	0,879	30,907	0,028	1,072	0,021	0,001	638,075
7	105,073	55.891	115.024	0,806	22,435	20,397	29,448	0,693	1,024	2,038	0,113	377,096
8	60,000	55.891	81.950	0,836	22,971	20,397	29,448	0,693	1,018	2,574	0,143	390,511

Valori relativi al terzo periodo:

	T [°C]	$Q_n$ [Nm <sup>3</sup> /hss]	$Q_a$ [Am <sup>3</sup> /h]	$n_{tot}$ [kmol/s]	$m_{tot}$ [kg/s]	$m_{secca}$ [kg/s]	$Pm_{secca}$ [kg/kmol]	$n_{secca}$ [kmol/s]	$Cp_{secchi}$ [kJ/(kgK)]	$m_{vapore}$ [kg/s]	$n_{vapore}$ [kmol/s]	$h_{totale}$ [kJ/kg]
1	253,081	11.892	29.270	0,157	4,547	4,382	29,735	0,147	1,038	0,165	0,009	374,935
2	243,081	11.892	28.714	0,157	4,547	4,382	29,735	0,147	1,037	0,165	0,009	363,470
3	975,000	37.867	221.105	0,469	13,576	13,363	29,209	0,458	1,116	0,212	0,012	1.161,100
4	780,801	51.042	260.444	0,655	18,999	18,601	29,406	0,633	1,095	0,398	0,022	854,741
5	102,315	51.042	105.670	0,746	20,639	18,601	29,406	0,633	1,02392	2,038	0,113	399,668
6	501,818	2.234	9.158	0,029	0,876	0,856	30,907	0,028	1,072	0,021	0,001	622,620
7	102,315	51.042	105.670	0,746	20,639	18,601	29,406	0,633	1,024	2,038	0,113	399,668
8	60,000	51.042	76.057	0,776	21,175	18,601	29,406	0,633	1,018	2,574	0,143	422,286

I punti identificativi delle sezioni d'impianto sono in riferimento alla Figura 18.

T = temperatura

$Q_n$  = portata volumetrica normalizzata

$Q_a$  = portata volumetrica attuale

n = portata molare

m = portata di massa

Pm = peso molecolare

$h_{totale}$  = entalpia con riferimento a 0°C calcolata tenendo conto della percentuale di umidità contenuta nei fumi.

#### 4.4. Sistemi di abbattimento delle emissioni.

Il sistema di abbattimento del generatore di vapore e dell'impianto di essiccazione è costituito da due coppie di cicloni, posizionate subito a valle degli impianti come mostra sempre la Figura 18, e da un lavatore fumi posizionato a valle dell'intero impianto.

##### 4.4.1. I cicloni

Il ciclone è un sistema di abbattimento di forma cilindrico-conica che permette di raccogliere le particelle aero disperse sfruttando la loro forza d'inerzia. In questo dispositivo il flusso contaminato viene fatto entrare dall'alto e tangenzialmente in modo da assumere un moto a spirale direzionato verso il basso. Per effetto della forza centrifuga, il particolato di dimensioni maggiori fuoriesce dal flusso e, per inerzia, va a contatto con le pareti interne del ciclone; per gravità scivola poi sul fondo del dispositivo dove viene raccolto in un'apposita tramoggia che viene periodicamente svuotata. La parte inferiore del ciclone è di forma conica ed in questa zona il flusso d'aria inverte il senso del suo moto a causa della differenza di pressione esistente fra l'apertura di entrata e quella di uscita, posta sulla sommità. Così il flusso d'aria risale in una stretta spirale verso l'alto e fuoriesce dal tubo di scarico che ha l'asse coincidente con quello del ciclone. All'uscita la corrente si presenta depurata dal materiale più grossolano, ma permane contaminata dal particolato di dimensioni minori che non riesce a sfuggire alla forza di trascinamento dell'aria. L'efficienza di abbattimento delle polveri va dal 70 al 90% per il  $PM_{10}$  e dallo 0 al 40% per il  $PM_{2,5}$ .

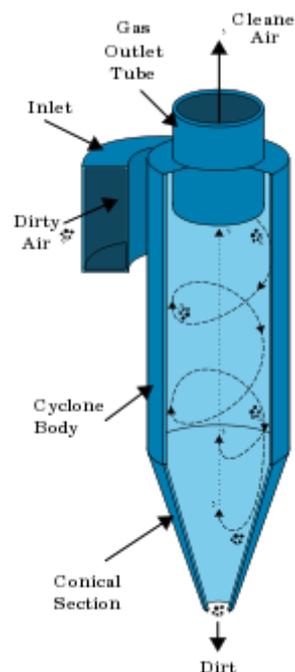


Figura 25 - Schema di funzionamento di un ciclone abbattitore.

##### 4.4.2. Il lavatore fumi

Il lavatore fumi consiste in un filtro di depolverazione, di tipo elettrostatico ad umido, capace di trattare i fumi provenienti dalla caldaia e dall'essiccatore per vinacce, prodotti dalla combustione di biomassa e contenenti le sostanze organiche assorbite con l'essiccazione. Il principio di funzionamento dell'elettrofiltro ad umido si basa sulla deviazione della traiettoria delle particelle di polvere immerse nel gas ad opera del campo elettrico prodotto dagli elettrodi, che vanno ad impattare su una superficie metallica; nel caso dell'elettrofiltro ad umido, l'utilizzo di acqua nebulizzata consente di aumentare la resistività delle polveri. I fumi in ingresso all'elettrofiltro vengono raffreddati e saturati in modo da migliorare l'efficienza del campo elettrico. In questa prima fase, per azione fisica dell'acqua, vengono

abbattute le particelle più grossolane. Successivamente, il gas viene distribuito su tutta la sezione di passaggio mediante una doppia griglia forata sulla quale viene creato un film d'acqua mediante due banchi di nebulizzazione posti, uno in equi corrente, ed uno in controcorrente. Questo film d'acqua ha una doppia funzione: quella di tenere pulita la griglia (evitare incrostazioni e l'otturazione dei fori) e quella di creare una "nebbia" che, trascinata dai fumi all'interno del campo, aumenta il rendimento dell'elettrofiltro. Dopo la griglia di distribuzione i fumi entrano nel campo elettrico, dal basso verso l'alto, dove vengono abbattute le polveri. Queste, essendo bagnate, una volta a contatto con le piastre scorrono verso il basso in modo da lasciarle pulite. A causa della diversa natura delle polveri, e per evitare accumuli nelle piastre, nella parte superiore del campo è presente un ulteriore banco di ugelli, per un breve ma intenso lavaggio del campo in modo temporizzato.

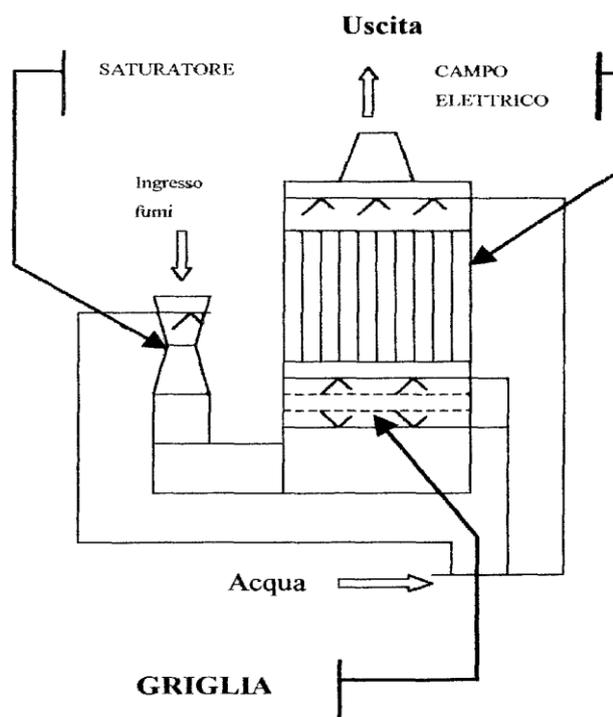


Figura 26 - Schema generale di funzionamento dell'elettrofiltro.

Il saturatore fumi consiste di una camera suddivisa in tre sezioni:

1. Sezione di saturazione: camera di rallentamento dove è posto un anello toroidale con alimentazione tangenziale del liquido di ricircolo per il raffreddamento e la saturazione dei fumi in ingresso al precipitatore;
2. sezione multi-micro-Venturi: consiste di un banco Venturi multiplo, a medio bassa perdita di carico, che consente il completamento della saturazione dei

gas. Questa sezione garantisce la perfetta omogeneità del gas che entrerà nel campo elettrico, eliminando, per agglomerazione, le particelle grossolane consentendo una marcia più stabile al filtro;

3. sezione di separazione: sotto la sezione multi-Venturi è presente una camera di calma nella quale, per inerzia, le gocce d'acqua e le particelle più grossolane si separano dal flusso di gas per essere scaricate direttamente nella vasca di raccolta del filtro elettrostatico. Il fondo della sezione intermedia sarà conformato per evitare accumulo di fango. In questa zona verrà anche immessa l'acqua pulita.

Il campo del filtro elettrostatico ad umido è composto dal telaio di sostegno degli elettrodi di emissione e da file di piastre di captazione collegate elettricamente a terra. I fumi attraversano il corridoio tra due piastre di captazione. Nel campo elettrico generato, la carica delle particelle contenute nel gas è ottenuta sia per contatto, sia per influenza degli ioni negativi generati dalle correnti di elettroni circolanti a grande velocità tra gli elettrodi di emissione e le piastre. Questo flusso di elettroni è ottenuto da una differenza di potenziale molto elevata tra gli elettrodi e le piastre. In questo campo fortemente ionizzato, le particelle di polvere si caricano molto rapidamente (una frazione di secondo) e vengono attratte dalle placche collettrici. Esistono anche particelle polarizzate positivamente che precipitano sugli elettrodi emittenti. Si individuano quattro zone:

1. Sezione di estrazione liquido.

Per evitare depositi di particolato e schiume all'interno del sistema, il filtro elettrostatico è dotato di una vasca di raccolta per l'evacuazione del liquido di lavaggio.

2. Sezione di umidificazione e distribuzione fumi.

Per sfruttare al massimo la superficie di captazione è necessario che i fumi siano uniformemente distribuiti fra i tubi esagonali che costituiscono il sistema di captazione del filtro; ciò si ottiene per mezzo di opportune griglie di distribuzione forate che vengono mantenute pulite da banchi di umidificazione e di lavaggio. Questi banchi assolvono anche un importante compito, quello di caricare ulteriormente di acqua il flusso di gas da depolverare; questa ulteriore quantità d'acqua sospesa nel gas manterrà costantemente umide le pareti dei tubi esagonali e gli elettrodi di emissione, consentendo così alle polveri captate di scivolare lungo le pareti, lasciando queste ultime praticamente pulite. Gli ugelli sono del tipo anti-intasamento ed ogni rampa è dotata di manometro e di controllo e di valvole di parzializzazione.

### 3. Sezione di captazione.

Questa sezione è composta da due parti distinte:

a. Sistema di emissione: è costituito da un telaio rigido, montato su quattro isolatori di sostegno, sul quale sono installati gli elettrodi di emissione. Gli isolatori sono alloggiati su apposite camere riscaldate, mantenute in sovrappressione, appositamente studiate per evitare la formazione di condense che comprometterebbero la vita degli isolatori stessi. Il sistema è realizzato in modo da poter centrare gli elettrodi rispetto al “nido d’ape” consentendo in tal modo elevate rese di depurazione. Per mantenere uniforme la distanza tra gli elettrodi di emissione e le pareti dei tubi di captazione, nella zona inferiore presente un particolare telaio che consente di centrare ogni singolo elettrodo.

b. Sistema di captazione: è realizzato con tubi a sezione esagonale, chiamato “nido d’ape”, al fine di ottenere un’elevata superficie di captazione per unità di sezione di passaggio dei fumi. È ancorato direttamente al cassone del filtro, realizzando così una struttura estremamente rigida, essenziale per ottenere un perfetto centraggio degli elettrodi, condizione necessaria per mantenere elevato il limite di scarica. Le superfici dei tubi sono lisce per facilitare lo scarico delle polveri captate e minimizzare così i cicli di lavaggio del campo elettrico.

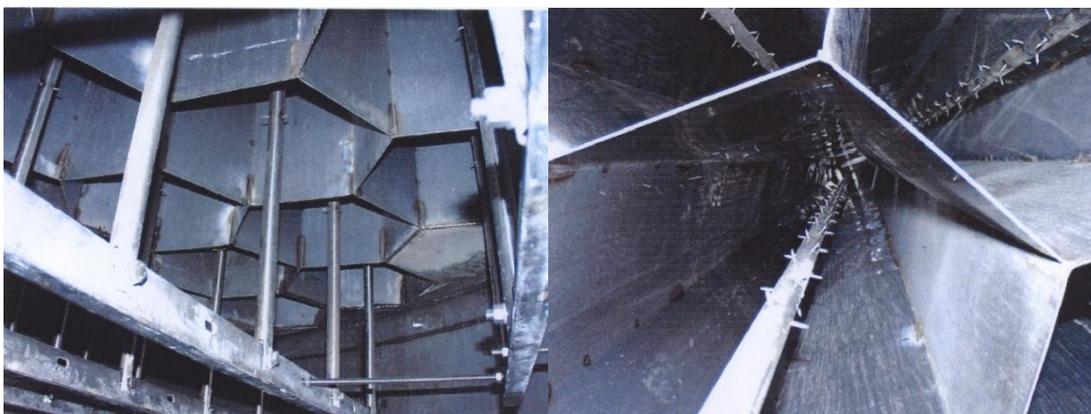


Figura 27 - Foto della sezione di captazione dell'elettrofiltro.

### 4. Sezione di lavaggio elettrofiltro

Sulla parte alta, al di sopra del gruppo di sospensione degli elettrodi, sono posizionati i banchi di lavaggio del campo elettrico, realizzati come quelli descritti nella “Sezione di umidificazione e distribuzione fumi”. Questo lavaggio viene

attivato ciclicamente tramite temporizzatore. Inoltre sulla sommità del filtro è presente l'alloggiamento per le camere isolatrici.

**Figura 28 - Caratteristiche tecniche principali dell'elettrofiltro.**

Temperatura di esercizio	65°C
Rendimento di abbattimento	98,2%
Perdita di carico ingresso/uscita	45 mm H <sub>2</sub> O
Numero campi elettrici	1
Numero di passaggi in parallelo	240
Diametro esagoni	400 mm
Lunghezza totale elettrodi di emissione	5,7 m
Altezza piastre di captazione	4,5 m
Velocità di attraversamento	0,8 m/s
Superficie sviluppata di captazione	1425 m <sup>2</sup>
Tensione nominale	100 kVCC
Corrente nominale	1200 mA
Regolazione AT	Thyristor
Riscaldamento isolatori	Aria calda
Potenza installata gruppi AT	126 kW
Potenza installata riscaldamento isolatori	18 kW
Potenza assorbita massima	54 kW
Tensione di alimentazione	380 V 50 Hz

#### **4.4.3. Proteste contro la distilleria**

L'utilizzo di un filtro elettrostatico con saturatore e lavaggio dei fumi appena descritto, si è reso necessario per abbattere il più possibile gli odori e le SOV<sup>14</sup> di cui si arricchiscono i fumi nel processo di essiccazione. Infatti, asportando l'umidità presente all'interno della vinaccia vengono asportati anche i residui delle sostanze più volatili contenute nella biomassa, soprattutto etanolo e metanolo. Nonostante il sistema di abbattimento assicuri emissioni ben sotto i limiti imposti, i fumi in uscita a bassa temperatura, circa 60 °C, risultano necessariamente visibili vista la loro condizione di saturazione per il trattamento utilizzato. I pennacchi di vapore che si estendono per diversi metri in altezza uniti agli odori che ancora si liberano hanno creato l'insorgere di malumori e lamentele da parte della popolazione che risiede nelle zone limitrofe, che in alcuni casi hanno manifestato il loro disagio nei confronti delle attività della Distilleria. Diventa quindi uno degli scopi primari del lavoro di questa tesi cercare di risolvere questo problema.

---

<sup>14</sup> Sostanze organiche volatili

Di seguito, i risultati rilevati in occasione di una campagna di monitoraggio delle emissioni al camino dell'impianto nel 2008. I limiti applicabili sono in accordo con la Parte II dell'allegato I alla Parte V del D.Lgs. 152/06.

Parametro analizzato	Limite applicabile (mg/Nmc)	Valore medio rilevato mg/Nmc	Concentrazioni massime stimate <sup>(2)</sup>	Limite atteso (mg/Nmc)
Monossido di Carbonio CO	---	---	---	---
Ossidi di zolfo (espressi come SO <sub>2</sub> )	500	55,40	100	150 <sup>(1)</sup>
Ossidi di azoto (espressi come NO <sub>2</sub> )	500	411,1	420	500
Acido cloridrico (HCl)	30	5,9	14	20 <sup>(1)</sup>
SOV di classe III	150	-		100 <sup>(1)</sup>
SOV di classe IV	300	-		100 <sup>(1)</sup>
SOV di classe V	600	47,1	140	200 <sup>(1)</sup>
Polveri	50	3,2	20	30 <sup>(1)</sup>
Benzene	5	< 0,1	< 0,1	5 <sup>(1)</sup>

(1) Il limite è stato calcolato considerando che la concentrazione subisce variazioni significative in relazione alla qualità delle vinacce utilizzate.

(2) Concentrazioni medie stimate sul normale funzionamento dell'impianto, in considerazione di campagne di misurazioni effettuate in precedenza (anni 2004-2008).

#### 4.5. Analisi dei consumi

Dopo aver descritto le caratteristiche impiantistiche della situazione attuale, si passa ora a considerare i consumi energetici e di combustibile durante il funzionamento annuale dell'intero impianto.

##### 4.5.1. Combustibile: vinaccia e biogas

Dai calcoli della combustione è possibile risalire ai consumi di combustibile per ogni gruppo termico utilizzato.

Per il generatore di vapore si suddivide il calcolo nelle tre fasi di carico annuali, la formula utilizzata è:

$$Cc = [kg \text{ fumi}]/[kg \text{ fumi}/kg \text{ combustibile}] * [ore]$$

- primo periodo:  $C_{gv1} = 5.179,86 [t]$
- secondo periodo:  $C_{gv2} = 4.236,08 [t]$
- terzo periodo:  $C_{gv3} = 1.400,99 [t]$
- Totale:  $C_{gv} = 10.816,926 [t]$

La potenza media in ingresso al generatore durante l'anno è di circa 8,76 [MW].

Anche per il bruciatore dedicato all'essiccazione si suddividono i consumi nei tre periodi:

- primo periodo:  $C_{ess1} = 2.857,25 [t]$
- secondo periodo:  $C_{ess2} = 3.578,84 [t]$
- terzo periodo:  $C_{ess3} = 1.858,46 [t]$
- Totale:  $C_{ess} = 8.294,548 [t]$

La potenza media durante l'anno in ingresso al bruciatore è di circa 6,72 [MW].

Essendo costante la quantità di biomassa essiccata, l'utilizzo del bruciatore dedicato all'essiccazione sarà tanto più elevato quanto più sarà ridotto il carico al generatore di vapore. Lo si nota bene confrontando i consumi dei due bruciatori nel primo e nel secondo periodo: nonostante il numero delle ore aumenti il generatore di vapore riduce il consumo di biomassa, mentre il bruciatore dell'essiccatore lo aumenta per compensare la riduzione di carico del primo.

Nel caso del cogeneratore i calcoli portano a:

- primo periodo:  $C_{cog1} = 600.849,19 [Nm^3]$
- secondo periodo:  $C_{cog2} = 695.273,85 [Nm^3]$
- terzo periodo:  $C_{cog3} = 338.591,33 [Nm^3]$

Per un consumo totale pari a :  $C_{cog} = 1.634.714 [Nm^3]$

I dati appena calcolati trovano conferma dai registri UTF<sup>15</sup> dell'impianto che riportano i seguenti consumi registrati:

---

<sup>15</sup> Uffici Tecnici di Finanza

Tabella 11 - Consumi registrati.

mese	Vinaccia lavorata [ton]	Biogas [Nm3]
Gennaio	5.640,57	189.664,50
Febbraio	5.491,00	201.076,50
Marzo	4.857,80	201.361,50
Aprile	6.932,45	185.589,00
Maggio	8.392,20	166.621,00
Giugno	5.966,21	49.861,00
Luglio	0,00	0,00
Agosto	0,00	0,00
Settembre	7.212,88	69.619,00
Ottobre	11.607,82	165.723,50
Novembre	7.677,00	210.274,50
Dicembre	6.013,00	175.329,50
<b>TOTALE</b>	<b>69.790,93</b>	<b>1.615.120,00</b>

Considerando che per vinaccia lavorata si intende la vinaccia già disalcolata, con una percentuale di umidità del 62%, e che si assume che i vinaccioli costituiscano in media il 36,35% della vinaccia essiccata si ricava:

$$C_{vinaccia,UTF} = Vinaccia\ lavorata * \frac{1 - 0,57}{1 - 0,08} * 0,3635$$

dove si ricorda che l'umidità in uscita dall'essiccatore è circa l'8%.

Risulta quindi un consumo annuo globale per generatore di vapore e forno dell'essiccatore:

$$C_{vinaccia,UTF} = 18.349 [t]$$

Confrontando questo dato con quello calcolato attraverso i parametri della combustione:

$$C_{vinaccia,comb} = C_{gv} + C_{ess} = 19.112 [t]$$

si nota che lo scarto è di circa il 4% e può essere imputato alla variabilità dell'umidità in dipendenza dal tipo di vinaccia utilizzata o alla variabilità nella percentuale di vinaccioli.

La differenza, invece, tra i volumi di biogas registrati e quelli calcolati è dell'1% circa e quindi totalmente trascurabile.

#### 4.5.2. Energia elettrica

I consumi di energia elettrica dell'impianto sono riconducibili essenzialmente al pompaggio dell'acqua necessaria al processo e al raffreddamento dei condensatori, ai ventilatori estrattori dei fumi, ai sistemi di refrigerazione del distillato e del biogas, e ad ulteriori motori elettrici utilizzati nelle tramogge di carico, nei nastri trasportatori e nel sistema di essiccazione. Dai report dell'impianto sono stati raccolti mese per mese i consumi elettrici: il consumo mensile è dato dalla somma dell'energia prelevata dalla rete e di quella prodotta dal cogeneratore (al netto degli ausiliari).

Tabella 12 - Energia elettrica mensile prelevata dalla rete e prodotta dal sistema di cogenerazione.

Energia elettrica acquistata		Energia elettrica prodotta dal cogeneratore	
mese	kWh	Lorda kWh	Ausiliari kWh
Gennaio	150.627	379.329	3.272
Febbraio	118.800	402.153	2.812
Marzo	164.371	402.723	3.415
Aprile	306.635	149.981	2.732
Maggio	359.002	142.748	4.156
Giugno	207.820	227.590	4.013
Luglio	95.634	67.942	3.888
Agosto	57.574		
Settembre	183.588	158.750	3.114
Ottobre	229.075	320.164	2.878
Novembre	171.260	395.564	2.799
Dicembre	170.985	339.383	2.976
<b>TOTALE</b>	<b>1.781.573</b>	<b>1.802.122</b>	<b>29.085</b>

Per l'anno di riferimento considerato (2010) mancano i dati dei consumi per i primi tre mesi corrispondenti al secondo periodo di funzionamento dell'impianto. Sono stati così recuperati i dati dell'anno successivo, evidenziati in rosso, che integrati ai dati di Aprile 2010 permettono di ricostruire il consumo elettrico per il secondo periodo. Considerato che non sono variare le capacità produttive e gli assetti d'impianto nei due anni a cui si riferiscono i valori raccolti, si ritiene che eventuali differenze con l'andamento reale dei consumi dei primi mesi 2010 possano essere di lieve entità. Per ogni periodo è stata poi calcolata la potenza elettrica media impiegata attraverso la formula:

$$P_{media,periodo} = [kWh\ elettrici]_{periodo} / [ore\ funzionamento]_{periodo}$$

Quindi per ogni periodo risulta:

$$P_{media,1} = 828 [kW]$$

$$P_{media,2} = 783 [kW]$$

$$P_{media,2} = 673 [kW]$$

Dai calcoli si denota, ancora una volta, la differenza di funzionamento dell'interno impianto nell'arco dell'anno. Dal punto di vista elettrico la potenza media richiesta a pieno regime, quindi nel primo periodo, è il 23% maggiore rispetto a quella del terzo periodo. In quest'ultima fase si stima come la potenza elettrica di picco prodotta dal cogeneratore (625 kW) copra, per gran parte delle ore di funzionamento, quasi totalmente la richiesta dell'intero impianto.

#### 4.5.3. Consumi d'acqua

I consumi d'acqua dell'impianto sono notevoli sia per quel che riguarda l'acqua direttamente coinvolta nei processi produttivi, sia per l'acqua necessaria alla refrigerazione dei sistemi. In particolare, i processi di condensazione della flemma e dei vapori alcolici sono tutti raffreddati ad acqua attraverso scambiatori a fascio tubiero di varie configurazioni e dimensioni (alcuni modificati artigianalmente). Il circuito di raffreddamento è chiuso e sono utilizzate delle torri evaporative a circolazione forzata per portare l'acqua calda di ritorno dal condensatore a 45°C fino a circa 27 – 28 °C a seconda del periodo considerato. Le torri sono utilizzate anche per il circuito di raffreddamento del gruppo refrigeratore. Nei mesi più caldi la percentuale d'acqua di reintegro, necessaria a causa dell'evaporazione di parte dell'acqua in raffreddamento, è piuttosto elevata arrivando a sfiorare in totale circa 15 m<sup>3</sup>/h. D'altra parte il prelievo medio d'acqua dalla rete idrica dell'intero impianto è di circa 27 m<sup>3</sup>/h, tale portata oltre ad essere utilizzata, come visto, per i servizi termici connessi alla disalcolazione ed alla distillazione e per le attività di raffreddamento, viene utilizzata nel lavaggio delle vinacce per l'estrazione della materia tartarica.

Per quanto riguarda le acque reflue prodotte dallo stabilimento, queste sono riconducibili a tre tipologie generali:

1. Scarichi domestici: derivanti dai servizi igienici presenti all'interno dell'insediamento industriale;
2. Acque di processo:
  - Borlande: sono gli scarti di produzione provenienti dal processo di distillazione della miscela acqua alcool etilico proveniente dal disalcolatore. Dal punto di vista qualitativo possono essere descritte

come una miscela ricca di acqua e povera di alcool, hanno una concentrazione di solidi sospesi pari a 20 [g/l].

- Acque provenienti dal processo di osmosi inversa<sup>16</sup>, dallo spurgo del generatore di vapore e dallo spurgo delle torri evaporative;

3. Acque meteoriche: le acque provenienti dalla raccolta dei dilavamenti dei piazzali e di tutte le parti coperte dell'insediamento industriale. L'area in oggetto di studio misura una superficie di 37.615 [m<sup>2</sup>] di cui 7.121 [m<sup>2</sup>] risultano essere coperti. Tali acque ad oggi vengono raccolte in vasche e serbatoi senza essere scaricate nel corso d'acqua limitrofo a meno che non si verificano emergenze.

Le acque provenienti dal supero della caldaia, dalle torri evaporative e dall'osmosi inversa vengono attualmente recuperate e utilizzate per il lavaggio dei fumi nell'elettrofiltro, quelle eventualmente in eccesso vengono scaricate in acque superficiali con una portata di circa 4.000 [m<sup>3</sup>] all'anno. La vasca di pioggia del volume di 160 [m<sup>3</sup>] viene utilizzata, allo stesso tempo, per la raccolta delle acque di pioggia che vengono in seguito pompate verso 6 serbatoi, 5 aventi volume pari a 150 [m<sup>3</sup>] ed uno avente volume pari a 120 [m<sup>3</sup>]. Il volume totale delle vasche d'accumulo è stimato in 870 [m<sup>3</sup>], l'acqua qui raccolta viene anch'essa utilizzata come liquido di processo per il sistema di abbattimento delle polveri. Per il corretto funzionamento del lavatore fumi sono necessari 80 [m<sup>3</sup>] d'acqua per giorno di produzione, come indicato in Figura 29. Se le acque di pioggia e le acque provenienti dai servizi termici non riuscissero a garantire tale afflusso, è possibile un approvvigionamento da acque di acquedotto. Le acque utilizzate dall'abbattitore fumi vengono sedimentate; il chiarificato ritorna all'abbattitore mentre il sedimentato, 4-5 [m<sup>3</sup>/h] di fanghi, viene inviato ad una coppia di digestori anaerobici aventi volume pari a 2.700 [m<sup>3</sup>] l'uno. Tali digestori anaerobici accolgono dunque i fanghi sedimentati del lavatore fumi, le acque meteoriche di eventuale esubero dei serbatoi di stoccaggio (in caso di emergenza) e le borlande (scarti di produzione) che hanno una portata oraria di ingresso al digestore di circa 10-15 [m<sup>3</sup>]. I fanghi in uscita dal digestore vengono disidratati attraverso un flottatore<sup>17</sup> ed una centrifuga che produce circa 8 [t/giorno] di fanghi; il chiarificato, proveniente

---

<sup>16</sup> Trattamento dell'acqua prelevata dalla rete idrica e immessa in caldaia per la generazione del vapore. Si tratta di un processo in cui si forza il passaggio delle molecole di solvente dalla soluzione più concentrata alla soluzione meno concentrata ottenuto applicando alla soluzione più concentrata una pressione maggiore della pressione osmotica. In pratica, l'osmosi inversa viene realizzata con una membrana che trattiene il soluto da una parte impedendone il passaggio e permette di ricavare il solvente puro dall'altra. Questo fenomeno non è spontaneo e richiede il compimento di un lavoro meccanico pari a quello necessario per annullare l'effetto della pressione osmotica.

<sup>17</sup> La flottazione è un processo utilizzato nel trattamento delle acque reflue, consiste in un trattamento di chiarificazione delle acque per la rimozione dei solidi sospesi.

dal flottatore e dalla centrifuga, viene inviato all'impianto di depurazione biologica, dove viene opportunamente trattato e successivamente inviato alla pubblica fognatura, con una portata di 300 [m<sup>3</sup>/giorno].

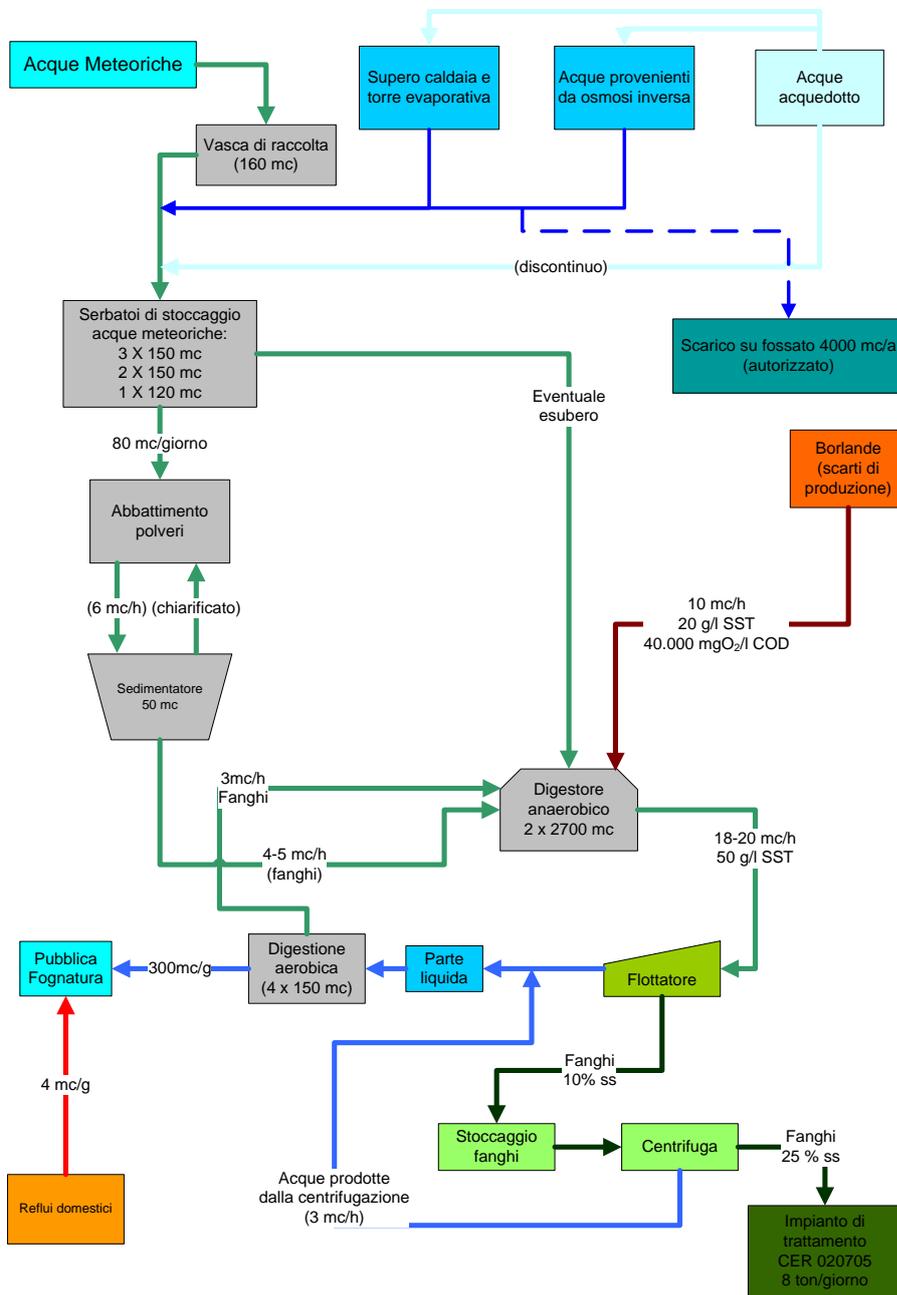


Figura 29 - Schema di flusso delle acque reflue dell'impianto con recupero della portata necessaria al trattamento fumi.



## CAPITOLO 5

### Proposte d'intervento

Una volta analizzata la situazione attuale nel suo complesso si sono valutati una serie di interventi che rispondessero alle esigenze di riduzione dell'impatto ambientale e di efficienza nell'utilizzo delle risorse energetiche. In primo luogo si è deciso di escludere dalle possibilità d'intervento il reparto di distillazione in quanto è strettamente connesso con la qualità del prodotto finale e con il "know-how" caratteristico dell'azienda nella produzione di alcolici. Una modifica all'assetto impiantistico potrebbe da un lato apportare dei benefici economici, dall'altro risulterebbe tuttavia problematico ripristinare il delicato equilibrio attualmente presente nelle fasi di evaporazione e successiva condensazione del distillato. Gli interventi di efficienza, invece, si focalizzano sul processo di disalcolazione, in particolare, sulla generazione di potenza termica, elettrica e sul consumo d'acqua. Per quanto riguarda l'impatto ambientale l'attenzione si è posta essenzialmente sul pennacchio che i fumi saturi formano uscendo dal camino. Vengono presentate tutte le soluzioni considerate, sebbene solo alcune verranno approfondite perché più idonee al caso di specie.

#### 5.1. Recupero termico per produzione di potenza frigorifera

Viste le esigenze contemporanee di potenza termica ad alta e a bassa temperatura, si è considerato in fase preliminare la possibilità di sfruttare parte dei fumi in uscita dal generatore di vapore per alimentare una macchina frigorifera ad assorbimento e generare così la potenza di raffreddamento necessaria ai condensatori. La scelta di questo accoppiamento termico dal punto di vista energetico ed economico non è risultata valida. Nella configurazione attuale infatti si utilizzano, per il circuito dei condensatori, delle torri evaporative che scambiano calore con l'aria ambiente; lo scambio termico avviene quindi "gratis". L'unica spesa da sostenere è quella relativa al pompaggio e alla ventilazione dell'aria, senza costi energetici per la produzione di un "pozzo termico" verso cui scaricare il calore accumulato. Si tratta della situazione più economica possibile considerando l'intervallo di temperature (20 – 45 °C), come si osserva dalla Figura 30. Nel caso si utilizzasse una macchina ad assorbimento la spesa per la produzione dell'acqua refrigerata è costituita dalla necessità di avere uno scambio termico a temperatura intermedia tra la sorgente calda e il pozzo freddo, cioè, l'ambiente stesso. In quel caso si avrebbe la necessità di smaltire, sempre attraverso l'utilizzo di torri evaporative, la somma della potenza termica in ingresso, ad alta temperatura, e della potenza a bassa temperatura rilasciata sotto forma di acqua refrigerata. In sostanza aumenterebbe la potenza scambiata attraverso le torri evaporative, incrementando, di conseguenza, i

consumi d'acqua e quindi i costi. Dunque, in caso di necessità di potenza termica a bassa temperatura, tuttavia non così bassa da scendere al di sotto della temperatura ambiente, la soluzione più conveniente e l'accoppiamento termico migliore si hanno scambiando proprio con l'ambiente.

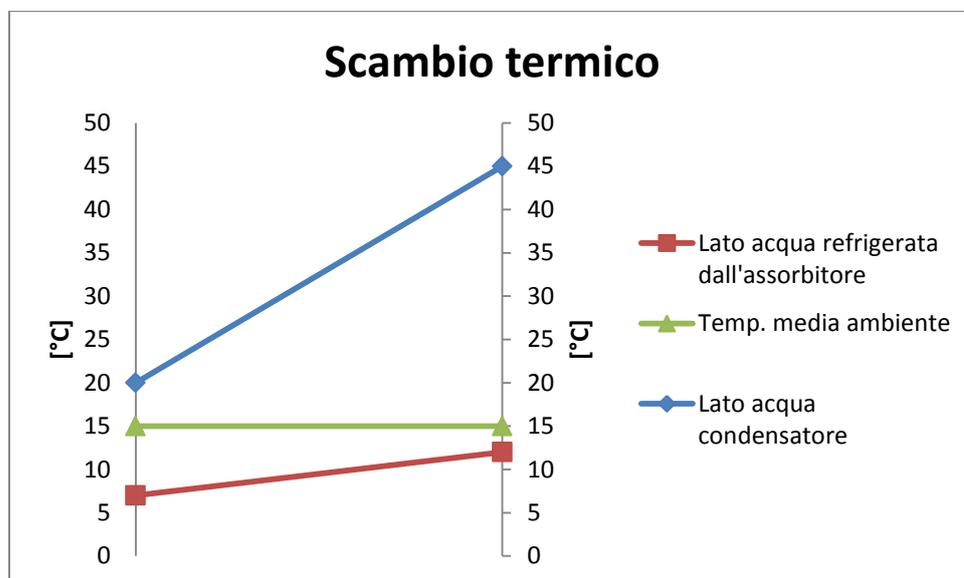


Figura 30 - Profili di temperatura dello scambio termico ai condensatori. In blu e verde l'accoppiamento attuale che risulta più conveniente .

La scelta di recuperare parte del calore dai fumi sfruttandoli in una macchina ad assorbimento può risultare invece conveniente per sostituire l'attuale gruppo refrigeratore a compressione. Si tratta di una macchina da 30 [kW] elettrici utilizzata nella refrigerazione del distillato. Considerando un COP<sup>18</sup> medio pari a 3 calcoliamo di produrre potenza frigorifera per 90 kW durante l'intero ciclo di produzione. Per il calore necessario all'assorbitore si è ipotizzato di utilizzare parte dei fumi prodotti dal generatore di calore attualmente diretti all'essiccatore. Per fare ciò si ritiene utilizzabile una condotta che un tempo collegava il generatore stesso al camino, come schematicamente rappresentato in Figura 31 . Per il fabbisogno descritto, si ritiene sufficiente ricavare un salto termico di 100 °C dalla portata che esce dai cicloni del generatore di vapore a temperatura variabile durante l'anno. Si è poi assunto un rendimento del 70% per l'assorbitore, valore standard della media di mercato, e si sono così analizzati i consumi aggiuntivi che si avrebbero al forno dell'essiccatore per il mancato apporto della portata diretta a quest'ultimo.

<sup>18</sup> "Coefficient of performance": nelle macchine frigorifere indica l'efficienza nella conversione dell'energia in ingresso in energia frigorifera.

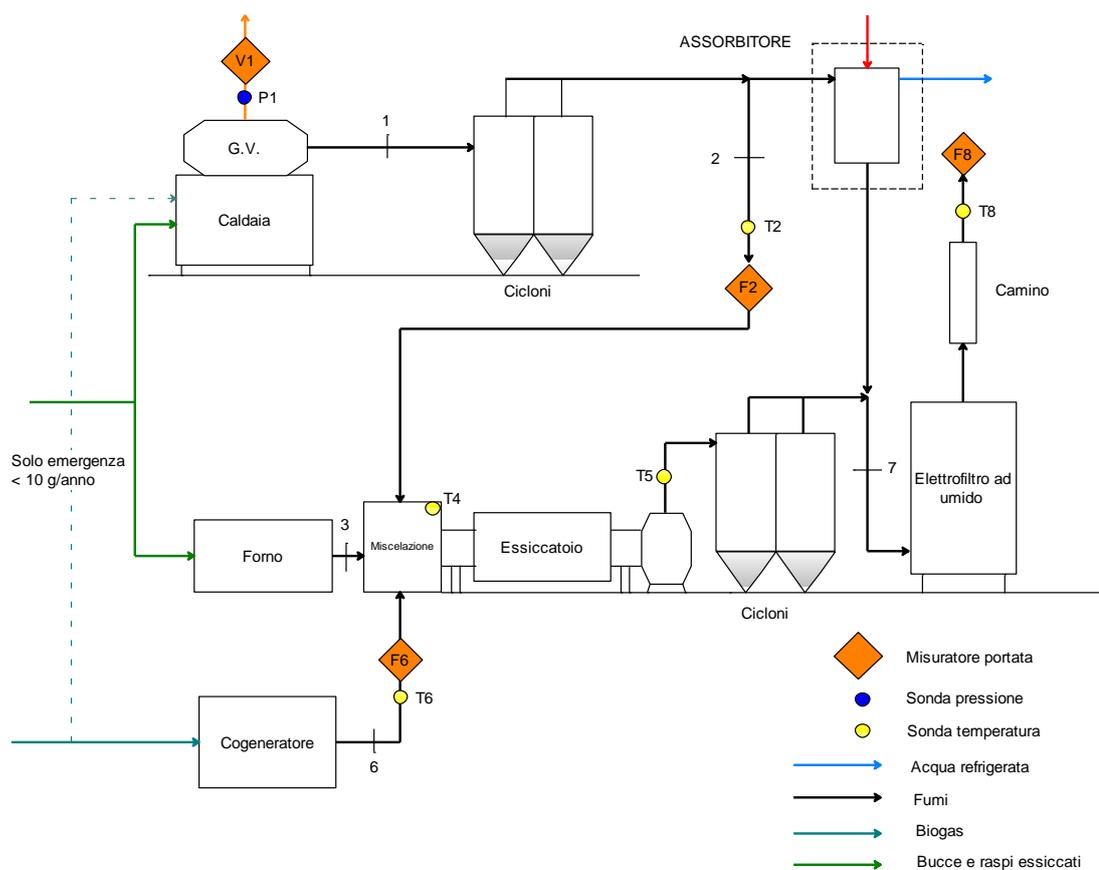


Figura 31 - Schema di flusso modificato per l'introduzione dell'assorbitore.

Il risultato, per ogni periodo, è il seguente:

- Primo periodo:
  - Portata all'assorbitore: 2.259 [Nm<sup>3</sup>/h]
  - Intervallo di temperatura: 299 – 199 [°C]
  - Incremento del consumo di combustibile: 62,42 [t]
  - Incremento percentuale: 2,18 %
  
- Secondo periodo:
  - Portata all'assorbitore: 3.163 [Nm<sup>3</sup>/h]
  - Intervallo di temperatura: 268 – 168 [°C]
  - Incremento del consumo di combustibile: 48,62 [t]
  - Incremento percentuale: 1,36 %
  
- Terzo periodo:
  - Portata all'assorbitore: 3.177 [Nm<sup>3</sup>/h]
  - Intervallo di temperatura: 268 – 168 [°C]
  - Incremento del consumo di combustibile: 21,04 [t]

- Incremento percentuale: 1,13 %

Dal punto di vista energetico, si nota come basti un piccolo aumento di carico al generatore dedicato all'essiccazione per ottenere la potenza frigorifera richiesta. Come verrà descritto nel capitolo legato all'analisi economica, questa soluzione, visti i bassi valori di risparmio conseguibile che già in questa sede si possono prevedere, è passata in secondo piano e si è cercato di proporre interventi più sostanziosi per l'economia dell'impianto.

## **5.2. Recupero del calore dai vapori alcolici**

Il processo di disalcolazione necessita di molta energia termica sotto forma di vapore, che successivamente deve essere fatto condensare assieme alla percentuale d'alcol assorbita. Come già descritto in precedenza, il calore dalla condensazione di questi vapori alcolici viene smaltito ad opera di un circuito chiuso ad acqua che a sua volta è raffreddato utilizzando le torri evaporative. Si sono analizzate le quantità in gioco cercando di valutare una configurazione valida per un possibile recupero di questo calore all'interno dell'impianto.

Il vapore necessario alla disalcolazione viene iniettato all'interno degli apparecchi dopo due stadi di laminazione: una prima valvola lamina dagli 8 - 8,5 [bar] di pressione in arrivo dal generatore di vapore fino a 2,5 [bar] circa. Da qui la portata totale diretta al gruppo di disalcolatori viene suddivisa e ogni apparecchio è alimentato in parallelo attraverso un'ulteriore valvola di laminazione che abbassa la pressione d'ingresso fino a 1,2 - 1,4 [bar] a seconda del tipo di macchina disalcolatrice utilizzata. Il vapore in ingresso a 141 -142 [°C] esaurisce le vinacce incrementando la loro umidità dal 57% al 62%, estrae la frazione alcolica ed esce dal disalcolatore insieme all'alcol ad una temperatura di circa 95 °C. La portata uscente, chiamata flemma, è sostanzialmente una miscela di vapore e alcol al 20% di volume, anche se sono presenti una miriade di altre sostanze in percentuali minori e trascurabili ai fini dei bilanci energetici. Il flusso che giunge al condensatore è ancora allo stato gassoso nonostante la temperatura inferiore ai 100 °C poiché la percentuale di etanolo, con punto di ebollizione a 78°C, ne abbassa la temperatura di condensazione. La miscela di vapori alcolici viene così condensata ed inviata ad un serbatoio per lo stoccaggio. Nelle valutazioni che seguono si è considerato il blocco di disalcolatori nel suo complesso, verificando la potenza termica totale che è possibile ottenere dalla condensazione di tutte le flemme. Su indicazione del responsabile d'impianto si assume che il vapore prodotto in caldaia venga suddiviso, per il primo periodo della lavorazione, in ugual misura tra quello diretto alla disalcolazione e quello alla distillazione. Successivamente, mentre i disalcolatori ricevono costantemente le 6 [t/h] nominali di vapore, la produzione per il processo di distillazione cala drasticamente.

Per il calcolo della potenza recuperabile si è considerato il bilancio di massa per il gruppo di disalcolazione. La portata di vapore in ingresso  $\dot{m}_{vap,in}$  è costantemente pari a 1,67 [kg/s], quella in uscita sarà ridotta della quantità che resta a contatto con la vinaccia e ne incrementa l'umidità specifica di 5 punti in percentuale:

$$\dot{m}_{vap,out} = \dot{m}_{vap,in} - (300 * (0,62) - 300 * (1 - 0,62)/(1 - 0,57) * 0,57)/24/3,6$$

$$\dot{m}_{vap,out} = 1,26 [kg/s]$$

dove si considera che la portata di vinaccia esausta in uscita sia pari a 300 [t/24h]. Da qui il valore di portata molare della flemma liquida viene calcolato considerando le frazioni volumiche d'acqua e di etanolo in uscita dal disalcolatore.

$$\dot{n}_{flemma} = \dot{m}_{vap,out} / PM_{vap} / 0,8 = 0,087 [kmol/s]$$

con  $PM_{vap}$  che indica il peso molecolare dell'acqua, mentre 0,8 indica che l'80 % del volume della flemma è costituito da acqua. È facile quindi calcolare la portata di massa della miscela alcolica da condensare:

$$\dot{m}_{flemma} = \dot{n}_{flemma} * PM_{flemma} = 2,07 [kg/s]$$

dove:

$$PM_{flemma} = 0,8 * PM_{vap} + 0,2 * PM_{etanolo} = 23,6 [kg/kmol]$$

in quanto  $PM_{etanolo} = 46$  e  $PM_{vap} = 18$ .

Il calore latente di condensazione liberato dalla miscela è calcolato sulla base delle frazioni di massa delle due componenti principali coinvolte:

$$r_{flemma} = 0,8 * \frac{PM_{vap}}{PM_{flemma}} * r_{vap} + 0,2 * \frac{PM_{etanolo}}{PM_{flemma}} * r_{etanolo} = 1.698 [kJ/kg]$$

dato che alla temperatura considerata  $r_{vap} = 2.270 [kJ/kg]$ , mentre  $r_{etanolo} = 855 [kJ/kg]$ . La potenza complessiva ottenibile dalla condensazione di questi vapori alcolici è dunque:

$$P_{condensazione,flemma} = \dot{m}_{flemma} * r_{flemma} = 3.515 [kW]$$

disponibile dalla temperatura di 95 [°C] fino a circa 78 [°C].

L'idea è di sfruttare questo calore che attualmente viene disperso, per il riscaldamento degli edifici. In particolare la distilleria ha in progetto un importante ampliamento dell'impianto per modificare il sistema di insilamento della vinaccia

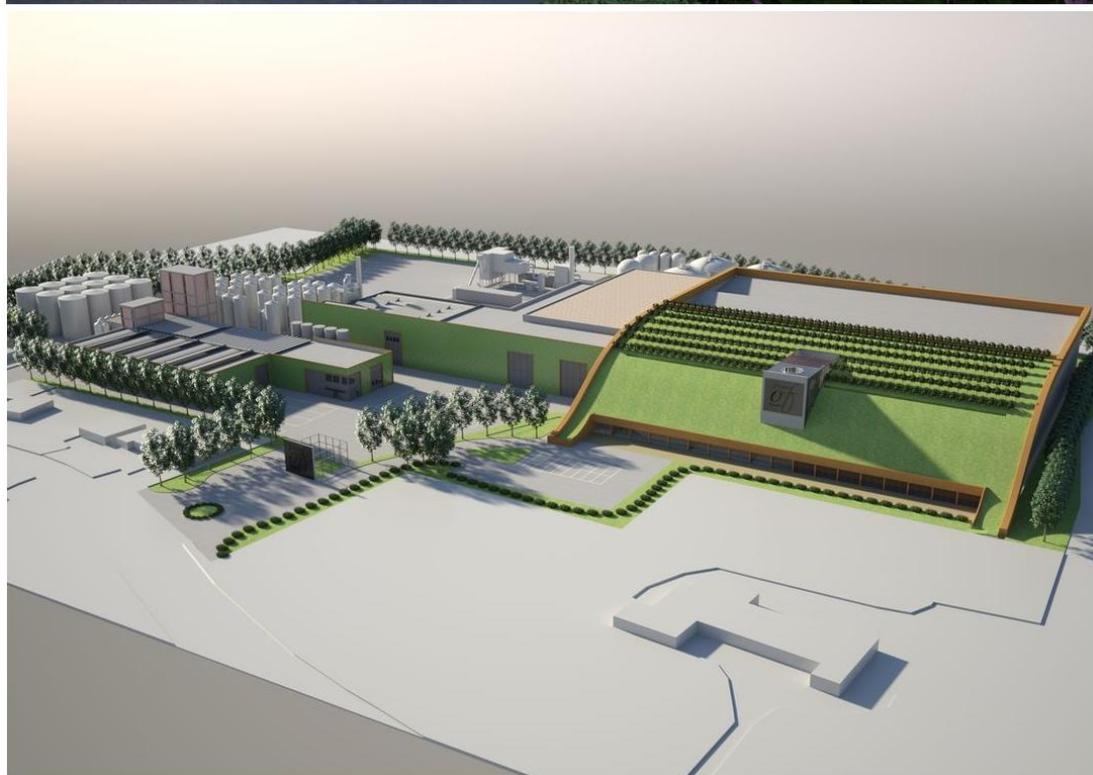


Figura 32– Anteprima del progetto d'ampliamento previsto.

evitando le emissioni di odori. Come si può notare dalla Figura 32, un grande edificio racchiuderebbe al suo interno lo stoccaggio della vinaccia e la sua movimentazione, eliminando completamente l'impatto ambientale di questa fase del processo. Metà dell'area utilizzata sarà destinata agli uffici, ai negozi e alle sale di degustazione e ristorazione. Questa parte dell'edificio è costituito da zone da riscaldare in inverno e con necessità di acqua calda sanitaria. Il calore recuperato dai vapori alcolici potrebbe quindi venire impiegato con questo scopo dato anche il livello termico a cui si rende disponibile. Resta da verificare l'effettivo fabbisogno dell'edificio in modo da progettare un adeguato scambio termico. Questa soluzione resta valida e verrà approfondita nel momento in cui saranno noti i dettagli del progetto d'ampliamento.

### 5.3. Possibilità di riduzione dell'impatto ambientale dei fumi al camino

Si è già descritto come il pennacchio che si forma all'uscita del camino sia dovuto all'alta percentuale di umidità nei fumi e alla bassa temperatura con cui sono immessi in ambiente. Il sistema di essiccazione e di trattamento fumi porta appunto a una diminuzione della loro temperatura e a un incremento nella loro umidità. La successiva immissione in atmosfera porta ad un'ulteriore rapida diminuzione della temperatura e si raggiunge, entro pochi centimetri dalla condotta di espulsione, una situazione prossima alle condizioni di saturazione. Le condizioni medie annuali all'uscita dal camino sono infatti le seguenti:

Grandezza	u.m.	valore
Temperatura:	[°C]	60
Umidità:	% v/v	19,4
Pressione d'uscita:	[Pa]	101.670
Pressione parziale vapore:	[Pa]	19.724
Pressione di saturazione:	[Pa]	19.946

Si nota come la pressione parziale del vapore sia molto vicina a quella di saturazione ed è inevitabile la formazione del pennacchio e la sua elevata visibilità. Fenomeno che si verifica soprattutto nelle stagioni più fredde dove la temperatura dei fumi si abbassa più repentinamente una volta a contatto con l'atmosfera.

Una soluzione a questo problema è semplicemente il post-riscaldamento della portata di fumi in modo da allontanarli dalle condizioni sature e renderli "invisibili". A questo scopo, anziché utilizzare un bruciatore dedicato, si è simulato di utilizzare uno scambiatore fumi-fumi con prelievo di portata ad alta temperatura dagli effluenti gassosi del generatore di vapore. L'ipotesi è di sfruttare la condotta esistente di cui si è parlato nel paragrafo 5.1.. Anche in questo caso è stato valutato

per ogni periodo l'incremento di carico al forno dell'essiccatore per compensare lo scambio termico descritto. Per ogni caso si sono valutate le condizioni di equilibrio dell'impianto soprattutto nei confronti del processo di essiccazione.

Si è ipotizzato di portare i fumi in uscita dall'elettrofiltro a una temperatura di sicurezza di 110 [°C], cui corrisponde una pressione di saturazione di 143.375 [Pa].

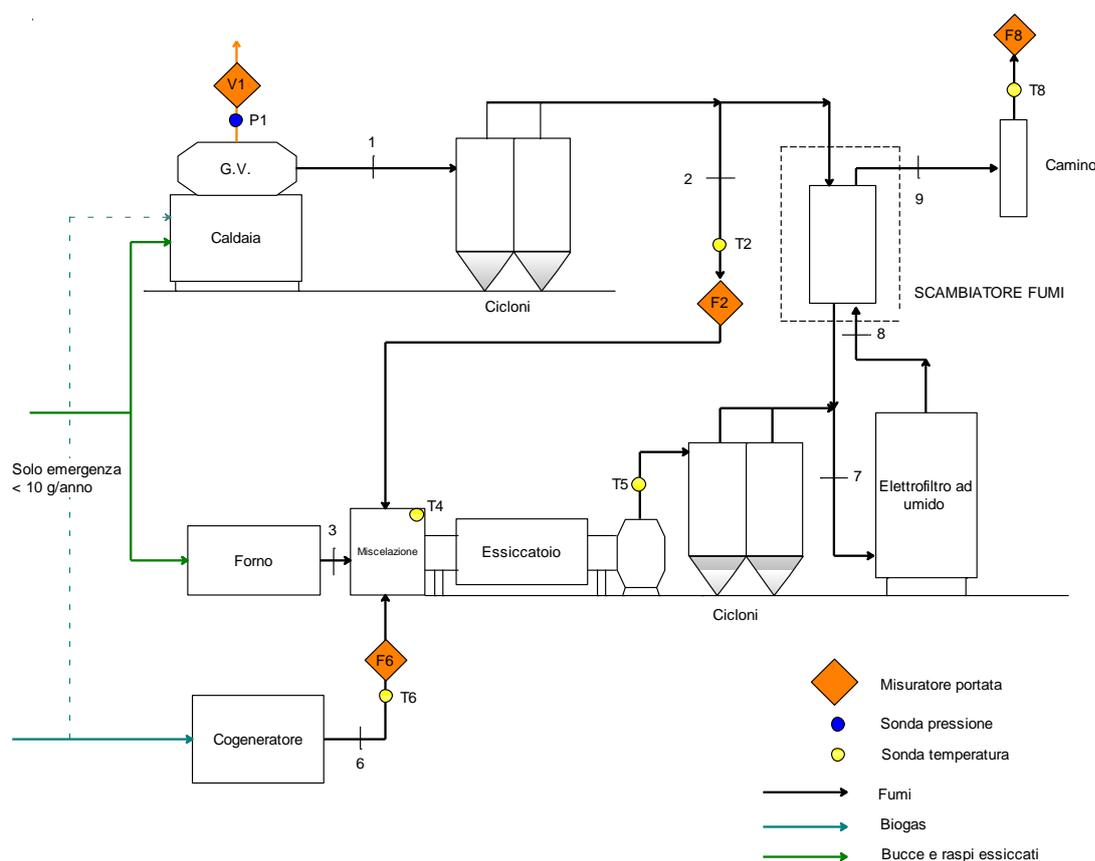


Figura 33 - Schema di flusso modificato con l'inserimento dello scambiatore fumi.

- Primo periodo:
  - Portata fumi al camino: 65.706 [Nm<sup>3</sup>/h]
  - Potenza post-riscaldamento: 1.573 [kW]
  - Portata da generatore di vapore: 21.000 [Nm<sup>3</sup>/h]
  - Percentuale della portata deviata: 82 %
  - Incremento di carico al forno di essiccazione: 13,2 %
- Per il secondo e il terzo periodo, la portata in arrivo dalla caldaia non è sufficiente per permettere un adeguato post-riscaldamento ai fumi in uscita dal camino. Nel primo caso, utilizzando l'intera portata di fumi a 268 [°C] si portano i fumi del camino a circa 100 [°C]

umentando il carico del forno essiccatore dell'8,6 % rispetto al suo funzionamento di periodo. Nell'ultima fase annuale di lavoro dell'impianto, si riesce ad ottenere al massimo un riscaldamento fino ad 85 [°C] contro i 110 [°C] previsti. Con questa configurazione si ottiene, peraltro, un incremento di carico al forno essiccatore del 4,43 % rispetto al già alto grado di carico previsto per la terza fase della stagione lavorativa.

Come si intuisce da quanto descritto, la possibilità di un post-riscaldamento dei fumi prima della loro immissione in atmosfera non è realizzabile con continuità durante l'anno attraverso un recupero termico dai fumi caldi a monte del trattamento. Oltretutto anche nel primo periodo, l'unica fase dell'anno in cui risulta teoricamente possibile tale recupero, non si potrebbe raggiungere il necessario aumento di carico del forno all'essiccatore. Inoltre la drastica riduzione dei fumi che dal generatore di vapore verrebbero convogliati alla camera di miscelazione porterebbe anche ad aumenti eccessivi nella temperatura dei fumi in ingresso al tamburo rotante con rischio di bruciatura per le vinacce umide.

Il post-riscaldamento dovrebbe quindi essere effettuato con un bruciatore "ad hoc" possibilmente alimentato a biogas in modo che i fumi non debbano essere convogliati anch'essi nel trattamento ad umido. Tuttavia non sembra essere questa la soluzione migliore e più economica per risolvere il problema del pennacchio di vapore. Inoltre, in ogni caso, non si andrebbe a peggiorare l'efficienza energetica dell'impianto aumentando i consumi senza alcun beneficio, in termini di risparmio energetico, per il sistema produttivo.

#### **5.4. Una soluzione d'avanguardia con vantaggi per l'intero sistema.**

Le proposte descritte nei paragrafi precedenti tenevano in considerazione singole porzioni dell'impianto senza portare benefici rilevanti né dal punto di vista energetico, né dal punto di vista dell'impatto ambientale. Dopo lo studio e la simulazione dell'andamento annuale dell'intero sistema di produzione dell'energia all'interno della distilleria, ci si è soffermati sul processo di essiccazione. I motivi che hanno spinto ad un'analisi più dettagliata del sistema sono essenzialmente due:

1. La tecnologia utilizzata è inefficiente. L'energia teoricamente richiesta per la completa evaporazione dell'acqua è di 2.321 [kJ/kg]. Questa è data dalla somma del calore latente di evaporazione a 100 [°C] e dell'entalpia per portare l'acqua contenuta nella biomassa dalla temperatura d'ingresso all'essiccatore, 85 [°C], alle condizioni di evaporazione a 100 [°C]. L'energia spesa per l'essiccazione, attraverso il sistema in vena d'aria a tamburo rotante, è invece pari 4.283 [kJ/kg] come già descritto nel paragrafo 4.3.3.

- Inoltre, operando in circuito aperto, l'umidità asportata forma necessariamente un pennacchio di vapore dei fumi esausti al camino. Questo fatto è poi accentuato dall'utilizzo del lavatore fumi ad acqua e alla bassa temperatura raggiunta in uscita. L'utilizzo di tale sistema si è reso necessario per limitare le emissioni delle SOV che vengono asportate dai fumi proprio nel processo di essiccazione della vinaccia. L'acqua contenuta nella biomassa è infatti ricca di etanolo, metanolo e altre sostanze organiche che si miscelano con i fumi della combustione.

Queste due cause hanno portato allo studio e alla ricerca di tecnologie alternative per l'essiccazione, verificando l'applicabilità e i miglioramenti conseguibili presso l'impianto oggetto dell'analisi.

#### 5.4.1. La tecnologia dell'essiccazione a vapore surriscaldato

L'essiccazione a vapore surriscaldato (SSD<sup>19</sup>) è una tecnologia dove l'evaporazione dell'acqua contenuta nel prodotto umido avviene attraverso il contatto diretto di vapore ad alta temperatura con la materia da essiccare. Nelle condizioni surriscaldate, il vapore è anche detto "vapore secco". Esso può infatti far evaporare l'acqua e assorbirne il vapore formato fintanto che non vengano raggiunte le condizioni di saturazione. Il vantaggio rispetto all'essiccazione tramite aria calda consiste nel sfruttare il miglior coefficiente di scambio termico e i più alti valori di calore specifico del vapore, incrementando l'efficienza complessiva.

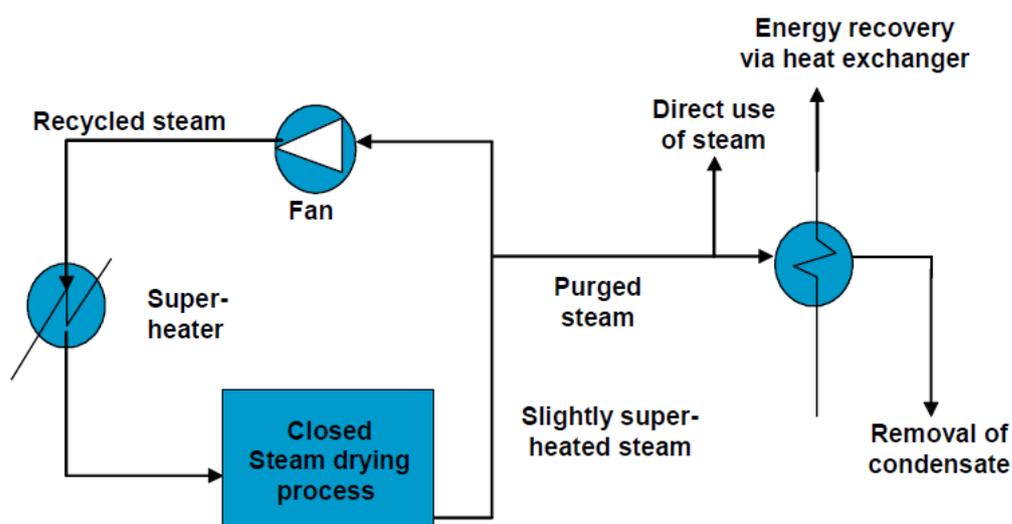


Figura 34 - Schema generale di funzionamento di un sistema SHSD.

<sup>19</sup> "Superheated steam drying", acronimo spesso utilizzato in letteratura.

Il processo quindi, in linea teorica, non dipende da un equilibrio psicrometrico in quanto non è coinvolta aria. Il principio termodinamico alla base di tutto è l'equilibrio tra la combinazione di vapore saturo con vapore surriscaldato. Com'è noto, fornendo energia a pressione costante a vapore saturo secco, la temperatura di questo sale e raggiunge la condizione instabile di vapore surriscaldato. Se da questa condizione viene trasferito parte del calore a un pozzo termico, il vapore ritorna alle condizioni sature: un metodo pratico per fare ciò è aggiungere acqua che evapora e ne abbassa la temperatura. Questo è il principio di funzionamento della SSD. La maggior parte del vapore è quindi ricircolato all'interno di un circuito chiuso e surriscaldato indirettamente prima di entrare nell'essiccatore. Solo una parte del vapore, coincidente con la quantità d'acqua evaporata nel processo di essiccazione, è rimossa dal circuito chiuso. Questo eccesso di vapore può essere sfruttato per il recupero di energia: sia utilizzandolo direttamente nei processi che lo richiedono, sia recuperandone il calore di condensazione attraverso un circuito secondario, come si nota dalla Figura 34. L'input di energia termica in ingresso è quindi minore rispetto all'essiccazione convenzionale ad aria calda e si riduce a:

- Energia necessaria all'evaporazione.
- Energia rilasciata con il riscaldamento della materia trattata.

Per il surriscaldamento del vapore è utilizzato un apposito scambiatore di calore in cui generalmente sono fatti confluire i fumi della combustione di un bruciatore dedicato. Per molti aspetti la SSD è simile alla tradizionale essiccazione in vena d'aria calda: in entrambi i casi il vettore essiccatore, che sia vapore o aria, trasporta il calore per il riscaldamento e l'evaporazione dell'acqua contenuta nella materia da essiccare che andrà ad incrementare l'umidità specifica del vettore. Le differenze nel processo sono però chiare e rilevanti. Nell'essiccazione con aria calda l'acqua evaporata viene assorbita dai fumi che, una volta incrementata la loro umidità, vengono espulsi in atmosfera. Sebbene questi contengano ancora nel loro potenziale entalpico il calore latente di vaporizzazione, questa grande quantità d'energia si rende disponibile solo nel momento in cui avviene la condensazione del vapore d'acqua. Questo accade, per la miscela aria/acqua considerata, ad una temperatura piuttosto bassa: dai 40 ai 70 [°C], a differenza di quanto è possibile ottenere in una SSD come si evince dal grafico di Figura 35 immaginando di proseguire verso destra lungo l'asse delle ascisse.

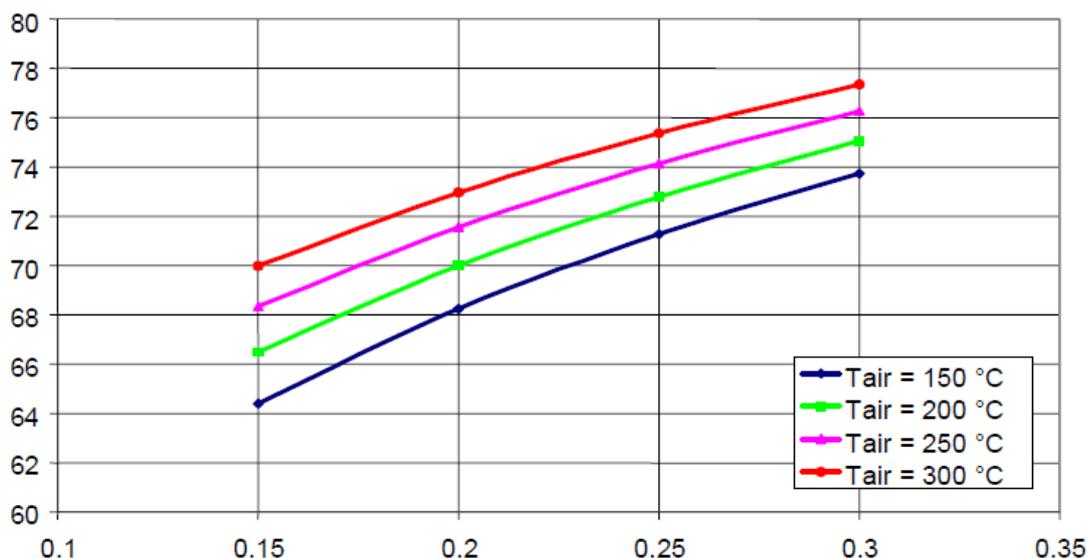


Figura 35 – Grafico rappresentante l'andamento della temperatura di rugiada della miscela aria/vapore in funzione dell'umidità specifica e della temperatura.

Un'altra proprietà fondamentale dell'essiccazione a vapore surriscaldato ha a che fare con la temperatura del prodotto durante la sua essiccazione e la velocità del processo. In generale, nei sistemi di essiccazione, si possono distinguere 3 periodi:

1. La prima fase consiste essenzialmente nel riscaldamento del prodotto, dove avviene in maniera limitata l'essiccazione del materiale.
2. La seconda fase è chiamata "periodo di asciugatura a velocità costante" dove il prodotto è ancora bagnato in superficie e la velocità di essiccazione è costante, in dipendenza dallo scambio termico tra il vettore caldo e il prodotto stesso. In questa fase la temperatura del prodotto è costante e pari alla temperatura a bulbo umido.
3. L'ultima fase è definita come "tasso di caduta del periodo di essiccazione" in cui la superficie del prodotto risulta secca e l'umidità interna è trasportata verso la superficie per diffusione. Durante questa fase, la velocità di essiccazione diminuisce mentre la temperatura della materia umida aumenta e raggiunge infine la temperatura del mezzo di essiccazione.

C'è una differenza notevole nel profilo della temperatura del prodotto tra la tecnologia in vena d'aria e quella a vapore surriscaldato. Nella prima infatti, durante la seconda fase, la temperatura a bulbo umido è più bassa: dai 40 ai 70 [°C]. Nella SSD la temperatura a bulbo umido eguaglia la temperatura di evaporazione del vapore come si nota in Figura 36. La temperatura finale del

prodotto invece è la stessa per entrambi i metodi, ma viene raggiunta con più rapidità nell'essiccatore a vapore surriscaldato. In questo modo il processo SSD permette di ridurre sensibilmente la permanenza della sostanza da essiccare all'interno dell'essiccatoio e di incrementare la produttività.

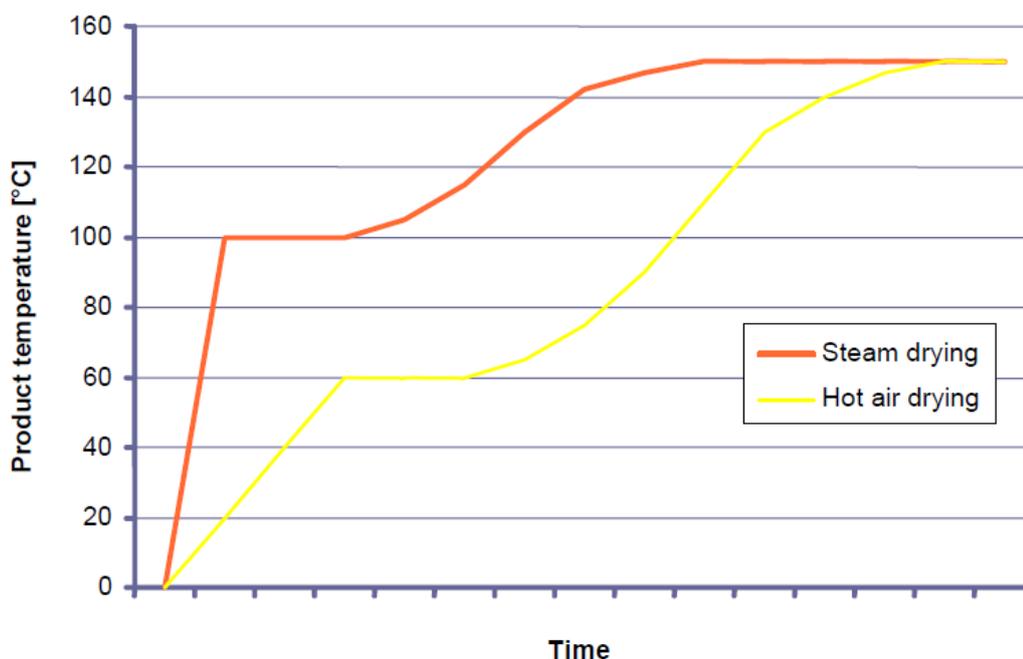


Figura 36 - Andamento della temperatura del prodotto in funzione nel tempo per le due tecnologie a confronto.

La velocità per la rimozione dell'umidità dipende dalle caratteristiche di assorbimento del materiale da essiccare. Questo parametro è legato al livello di surriscaldamento del vapore rispetto alle condizioni sature secondo un coefficiente detto attività umida  $\alpha$ . Questo è dato dal rapporto tra la pressione di riferimento rispetto alla pressione di saturazione alla temperatura di surriscaldamento:

$$\alpha = \frac{p_0}{p_s}$$

Il parametro varia tra 1, quando il vapore è saturo, e vicino allo 0 quando il vapore è al massimo livello di surriscaldamento. Il contenuto critico di umidità è l'umidità presente durante la sovrapposizione della seconda fase di essiccazione con la terza. Questo indica il punto dopo il quale il tasso di essiccazione cala a causa dell'aumentata resistenza interna del prodotto allo scambio di umidità. È stato dimostrato che questo contenuto critico può essere ridotto notevolmente con la tecnologia a vapore surriscaldato, rendendo quindi più veloce l'asciugatura del prodotto. Infatti la temperatura di quest'ultimo, confrontando l'essiccazione a

vapore con quella ad aria, raggiunge più velocemente il valore finale. Questo fenomeno è causato dall'iniziale condensazione del vapore sul prodotto che incrementa il coefficiente di attività umida riducendo la resistenza all'evaporazione dell'umidità che avvolge superficialmente la materia. Appena la temperatura di questo raggiunge la temperatura di saturazione, 100 [°C] alla pressione assoluta di 1 [bar], il prodotto comincia ad essiccarsi. In questo "periodo di asciugatura a velocità costante" la temperatura del prodotto è dipendente dalla pressione del vapore. La Figura 37 mostra questa dipendenza: maggiore è la pressione parziale del vapore e maggiore sarà la temperatura.

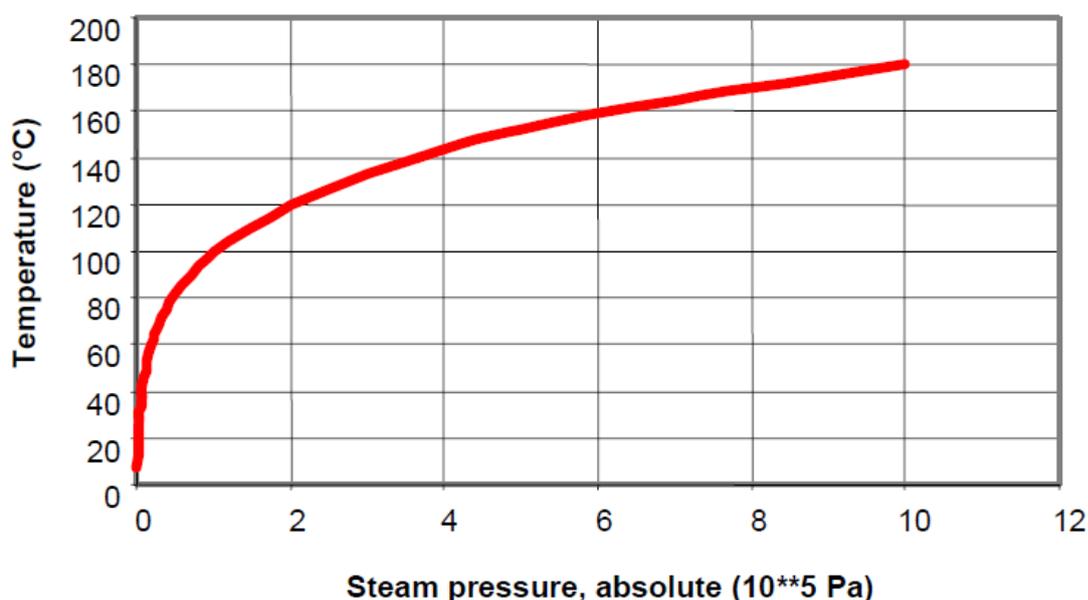


Figura 37 - Andamento della temperatura del prodotto in funzione della pressione del vapore.

Il calore, quindi, che può essere recuperato dal vapore in eccesso è disponibile a temperature elevate e, a seconda della situazione considerata, può essere molto vantaggioso. Ulteriore confronto può essere effettuato tra le proprietà fisiche del fluido essiccatore che sono rappresentate nel grafico in Figura 38 per l'aria pura sulla sinistra, e per il vapore puro sulla destra dell'asse delle ascisse. Si nota come vi sia un notevole incremento del calore specifico all'aumentare dell'umidità specifica. In condizioni di vapore puro si ha un valore praticamente doppio rispetto a quello dell'aria secca. Questo aspetto dimostra come a parità di differenza di temperatura, sia maggiore l'apporto termico all'essiccazione da parte del vapore surriscaldato.

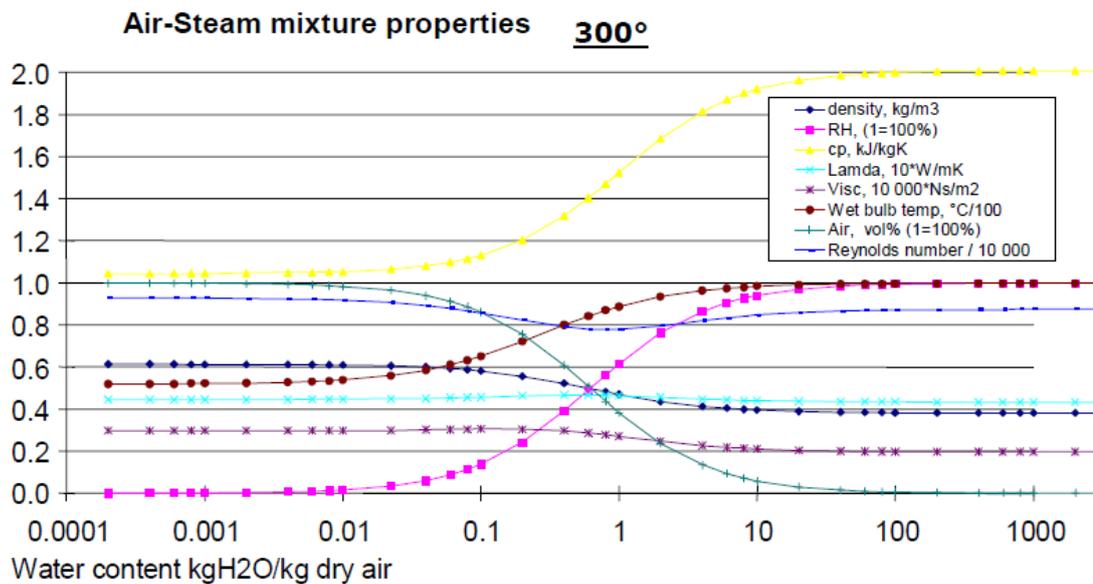


Figura 38 - Proprietà fisiche della miscela aria/vapore a 300 [°C] in funzione dell'umidità specifica.

Dunque i vantaggi principali di un sistema SSD sono:

- **Ridotti consumi energetici:** il CES per questa tipologia di essiccatori è di circa 2700 [kJ/kg] d'acqua evaporata senza alcun recupero del calore.
- **Recupero energetico:** il 70-90% dell'energia è recuperabile riutilizzando direttamente il vapore generato in un altro processo, a scopo di riscaldamento o utilizzando la compressione meccanica del vapore. Infatti se il vapore dell'essiccatore non viene utilizzato esternamente, può essere compresso a 10-20 [bar] utilizzando un turbocompressore o un compressore a vite. A queste pressioni il punto di condensazione del vapore è a temperatura elevata e questo può essere impiegato come mezzo riscaldante nel surriscaldatore del circuito chiuso. Il consumo di potenza elettrica è normalmente compreso tra i 540 ai 720 [kJ/kg] d'acqua evaporata, ma il fabbisogno allo scambiatore risurriscaldatore si riduce notevolmente portando il CES netto fino a 1000 -1500 [kJ/kg] d'acqua evaporata.
- **Ridotto impatto ambientale:** attraverso il circuito chiuso del vapore e il suo riscaldamento indiretto attraverso uno scambiatore di calore sono completamente assenti nei fumi al camino le emissioni e gli odori dovuti all'essiccazione.

- All'interno dell'essiccatore non vi sono reazioni di ossidazione o combustione, questo significa che non vi sono rischi di incendio o di esplosioni e allo stesso tempo si ottiene una miglior qualità del prodotto essiccato.
- Facilità di funzionamento: la rapidità di avviamento, fermata e risposta è uno dei vantaggi dell'utilizzare un sistema a vapore riscaldato indirettamente.

### 5.4.2. L'applicazione potenziale presso la distilleria Bonollo

I notevoli vantaggi descritti nel capitolo precedente sembrano rispondere perfettamente alle problematiche che interessano la distilleria. Tra i vari produttori della tecnologia l'attenzione si è posata sulla Swiss Combi, azienda svizzera specializzata nelle tecnologie di essiccazione. I motivi che hanno spinto a questa scelta sono sostanzialmente due: la vicinanza con l'Italia, dato che non esistono produttori di SSD nel nostro paese, e la tipologia di prodotto. Il sistema proposto, chiamato EcoDry, consiste nel tipico sistema di essiccazione a circuito chiuso di vapore con un processo integrato di ossidazione degli inquinanti.

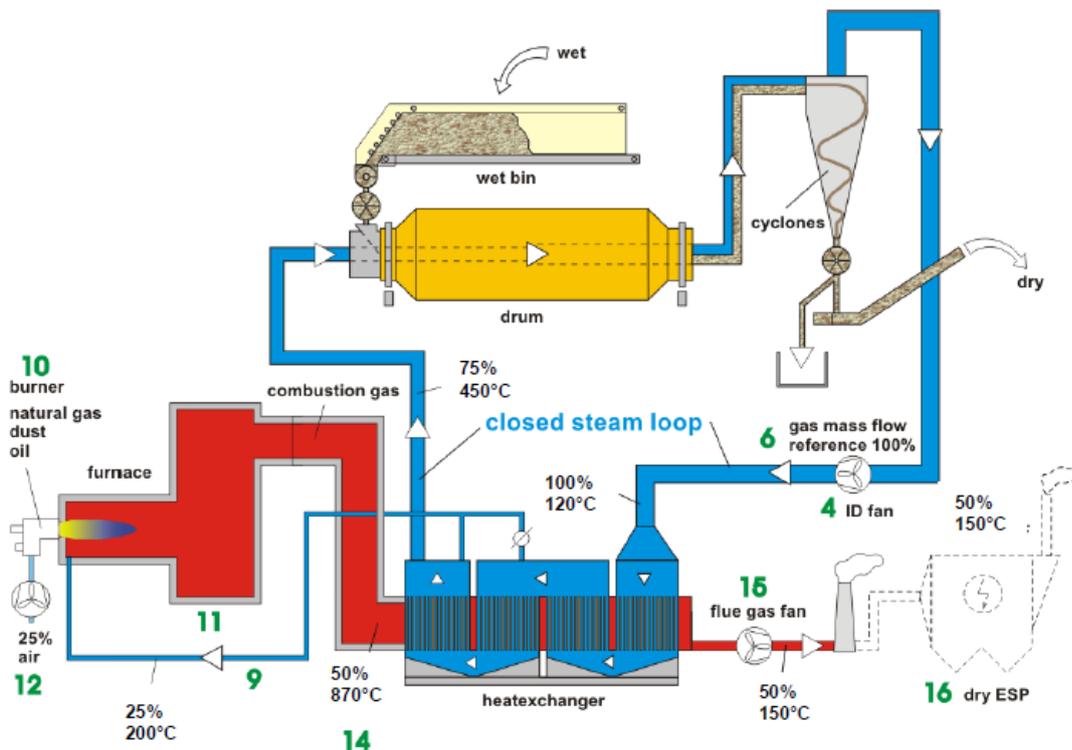


Figura 39 - Schema di funzionamento generale del sistema di essiccazione a vapore surriscaldato preso in considerazione (Fonte: "EcoDry, Swiss Combi").

Come si osserva dalla Figura 39, i fumi esausti della combustione prodotta in apposito bruciatore, vengono convogliati in uno scambiatore di calore. Qui i fumi cedono la loro potenza termica raffreddandosi da 870 a 150 [°C] surriscaldando il vapore proveniente dall'essiccatore a tamburo rotante fino a 450 [°C]. Il vapore surriscaldato, a contatto con la materia umida ne provoca l'essiccazione e, dopo la separazione attraverso un ciclone, esce carico dell'umidità assorbita alla temperatura di 120 [°C]. La portata di acqua evaporata nell'essiccazione insieme ad un'inevitabile quantità d'aria d'infiltrazione, costituiscono il 25% della portata in uscita dal ciclone separatore. Questo surplus viene così inviato come aria comburente alla camera di combustione dove l'alta temperatura raggiunta permette l'ossidazione di tutte le sostanze inquinanti assorbite nell'essiccazione, soprattutto per quanto riguarda le SOV che andrebbero a creare odori in atmosfera. Inoltre l'energia contenuta nella miscela vapore/aria ad alta umidità specifica, può essere sfruttata per riscaldare o vaporizzare una certa portata d'acqua pulita attraverso la condensazione del vapore a 120 [°C]. Gli incondensabili che contengono le sostanze organiche volatili con bassi punti di ebollizione verrebbero quindi inviate al bruciatore per l'ossido-riduzione. Attraverso questo sistema le emissioni al camino comprenderebbero solo i prodotti della combustione che, nel caso di bruciatore a metano, potrebbero venire direttamente espulsi senza l'utilizzo di filtri o precipitatori elettrostatici. Diverso invece il caso di bruciatori a biomassa dove si rende necessario l'utilizzo di filtri a maniche per contenere le polveri emesse.

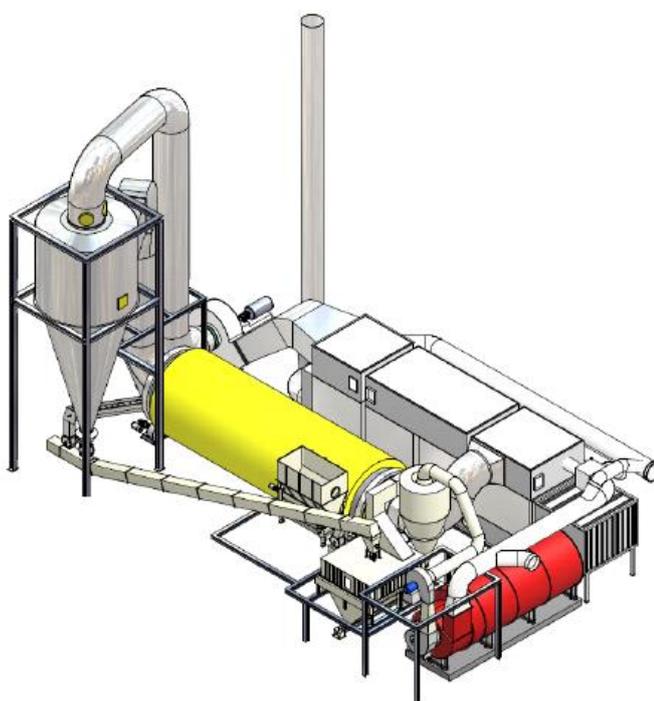


Figura 40 - Vista d'insieme del sistema di essiccazione a vapore surriscaldato. Fonte: "EcoDry, Swiss combi"

Oltre ai benefici in termini di efficienza energetica, che verranno analizzati nei prossimi paragrafi, l'essiccazione tramite vapore surriscaldato permette di migliorare la qualità del prodotto essiccato. La vinaccia, come già detto, viene separata a valle del processo in bucce, raspi e vinaccioli. Quest'ultimi tramite l'essiccazione con i fumi della combustione ad alta temperatura tendono a bruciarsi alterando la qualità del prodotto destinato alla produzione di olio vegetale. Inoltre, anche le bucce e i raspi usati come combustibile risentono della cattiva essiccazione presentando una certa percentuale di ceneri. Il processo tramite vapore, come visto, presenta una prima fase in cui parte del vapore condensa sulla superficie della materia, evitando bruciature e mantenendo integro il prodotto. L'applicazione del sistema presso la distilleria in esame porta ad esaminare diverse configurazioni per limitare i consumi di energia primaria e massimizzare i bilanci energetici ed economici.

#### **5.4.2.1. Recupero del vapore**

Il grande vantaggio di utilizzare questa tecnologia in una distilleria di alcolici è la possibilità di utilizzare il vapore espulso dal processo di essiccazione come flusso di processo. Infatti, anziché convogliare il vapore in camera di combustione per la termo-distruzione degli inquinanti, si può sfruttare la sua energia in due modi:

1. Facendolo condensare in un evaporatore per la produzione di vapore "pulito".
2. Sfruttando direttamente il vapore all'interno del processo produttivo.

Questa seconda possibilità è stata considerata nell'analisi presso la distilleria. Il vapore in uscita dall'essiccatore in realtà è una miscela d'aria e vapore ad elevata umidità specifica, dai 3 ai 4 [kg<sub>v</sub>/kg<sub>a.s.</sub>]. L'idea è quella di convogliare questa miscela ai disalcolatori, verificando la fattibilità delle condizioni di immissione per non alterare troppo il funzionamento dalle condizioni nominali, e quindi non pregiudicare la qualità della flemma in uscita. La possibilità di un uso diretto della miscela vapore è dettata dal fatto che la materia essiccata è la stessa materia prima che, in precedenza, viene esaurita dalla disalcolazione. Gli "inquinanti" presenti nella portata proveniente dall'essiccatore sono le stesse sostanze che si trovano nella flemma e nelle borlande di scarico. Tramite l'essiccazione a vapore è come se avvenisse una seconda fase di disalcolazione più profonda della prima, andando ad assorbire anche l'acqua contenuta nella vinaccia. Con questa operazione si ottengono contemporaneamente due recuperi importanti: in primo luogo un risparmio di combustibile per la mancata produzione della quota di vapore diretta dall'essiccatore ai disalcolatori. Il secondo recupero importante riguarda l'acqua: si viene a creare un importante circuito chiuso dove l'incremento di umidità nella vinaccia, causato dalla disalcolazione, viene recuperato insieme all'umidità propria della vinaccia vergine nella fase di essiccazione (Figura 41). Questa viene poi

sfruttata dal gruppo disalcolatori per la produzione della flemma alcolica chiudendo il cerchio. Gli incondensabili presenti nella miscela in uscita dall'essiccatore vengono separati dalla flemma e convogliati all'ingresso del generatore di calore dedicato all'essiccazione come aria comburente. Gli eventuali odori e sostanze organiche contenute sono distrutti dall'ossidazione ad alta temperatura. Utilizzando questo tipo di recupero è possibile che la flemma in uscita possa presentare caratteristiche diverse per quel che riguarda alcune componenti organiche assorbite durante l'essiccazione; occorre tenere in considerazione questo aspetto in fase di rettificazione e deflemmazione tarando opportunamente i processi secondo l'esperienza del mastro distillatore. In questo modo non si pregiudica la qualità del distillato finale.

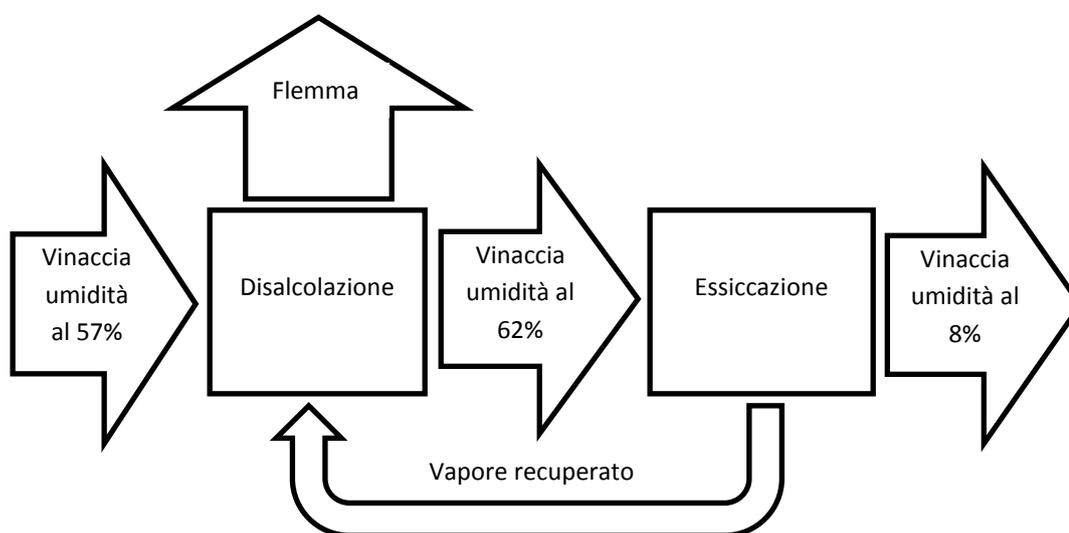


Figura 41 - Circuito chiuso dell'acqua nel processo di disalcolazione/essiccazione.

Inoltre l'alimentazione del vapore ai disalcolatori viene attualmente effettuata in seguito a due stadi di laminazione. Il vapore saturo prodotto dalla caldaia a circa 8,5 [bar] viene laminato fino alla pressione assoluta di 2,5 [bar]. Da qui la portata complessiva viene suddivisa per ognuno dei quattro apparecchi a funzionamento continuo e opportunamente laminata fino a raggiungere le condizioni ottimali d'ingresso. Queste si trovano in prossimità dei valori di pressione assoluta di 1,3 [bar] e 142 [°C], come è sottolineato dallo schema in Figura 42.

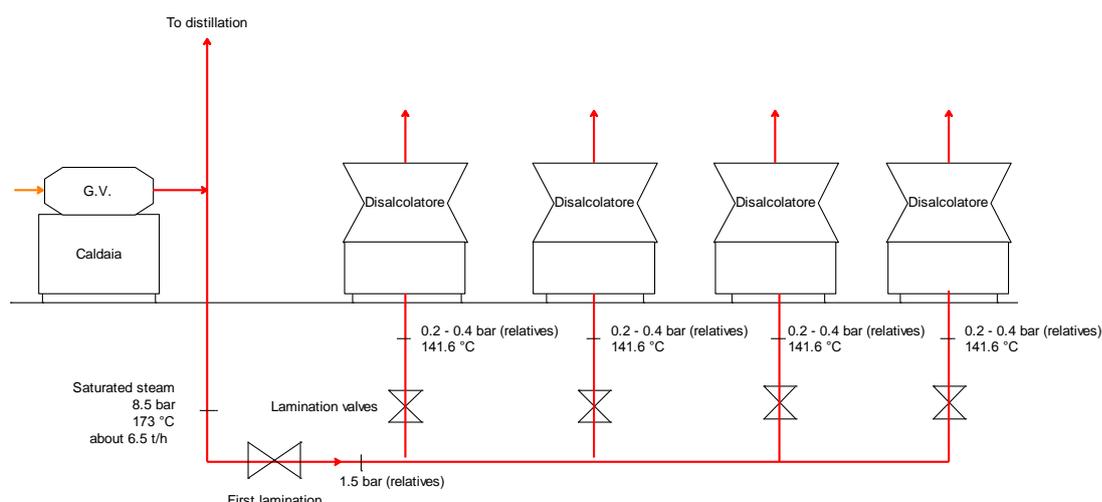


Figura 42 - Schema di collegamento dei disalcolatori.

La capacità di estrazione dell'alcol dalla vinaccia è dipendente dai due parametri di pressione e temperatura che devono essere opportunamente scelti: se troppo bassi diminuisce la capacità di penetrazione nella vinaccia, se troppo alti si rischia di alterare gli aromi delle sostanze asportate. La miscela di vapore ed aria resa disponibile dal processo di essiccazione è rilasciata a circa 130 [°C] e a 1,1 [bar] di pressione assoluta. Questi valori, leggermente inferiori rispetto alle condizioni operative del processo produttivo della flemma, portano ad un sovradimensionamento, rispetto alla portata necessaria, direttamente proporzionale alla riduzione di pressione di alimentazione. La differenza di pressione tra la miscela fornita dall'essiccatore e il vapore in arrivo dalla caldaia, è di circa il 15%. Per questo motivo viene incrementato il fabbisogno di portata di vapore nei tre periodi di funzionamento a circa 7.150 [kg/h]. Occorre considerare anche la percentuale di aria incondensabile presente nella miscela: questa costituisce portata in aggiunta da mandare in ingresso al bruciatore in seguito al suo spurgo a valle del processo. Per questi due motivi occorre modificare l'impianto di disalcolazione in modo da non ridurre la resa del processo. Dato che le portate in ingresso sono maggiori rispetto all'alimentazione tradizionale di vapore dalla caldaia, si deve predisporre di incrementare le sezioni d'ingresso al disalcolatore e allargare i fori della piastra su cui poggia il cumulo delle vinacce (per i dettagli costruttivi si veda il paragrafo 3.3.1.2). Altrimenti, in seguito ad un confronto col titolare dell'impianto, si prevede di acquistare un disalcolatore aggiuntivo in modo da non modificare i sistemi già installati e sfruttare interamente il recupero di portata utile dall'essiccatore. Ipotizzando di mantenere il regime di essiccazione corrente, 300 [t/giorno] di vinaccia esausta, si ottiene un recupero di 6.964 [kg/h] di vapore. La portata totale, considerando la quota di gas inerte, è di 9.331 [kg/h] a 130 [°C] e 1,1 [bar]. Da questi valori si calcola che è necessario integrare la portata

diretta ai disalcolatori con circa 158 [kg/h] di vapore proveniente dalla caldaia. Il risparmio di vapore prodotto dalla caldaia, destinato alla disalcolazione, è del 97,4%, sia in termini di energia che in termini d'acqua.

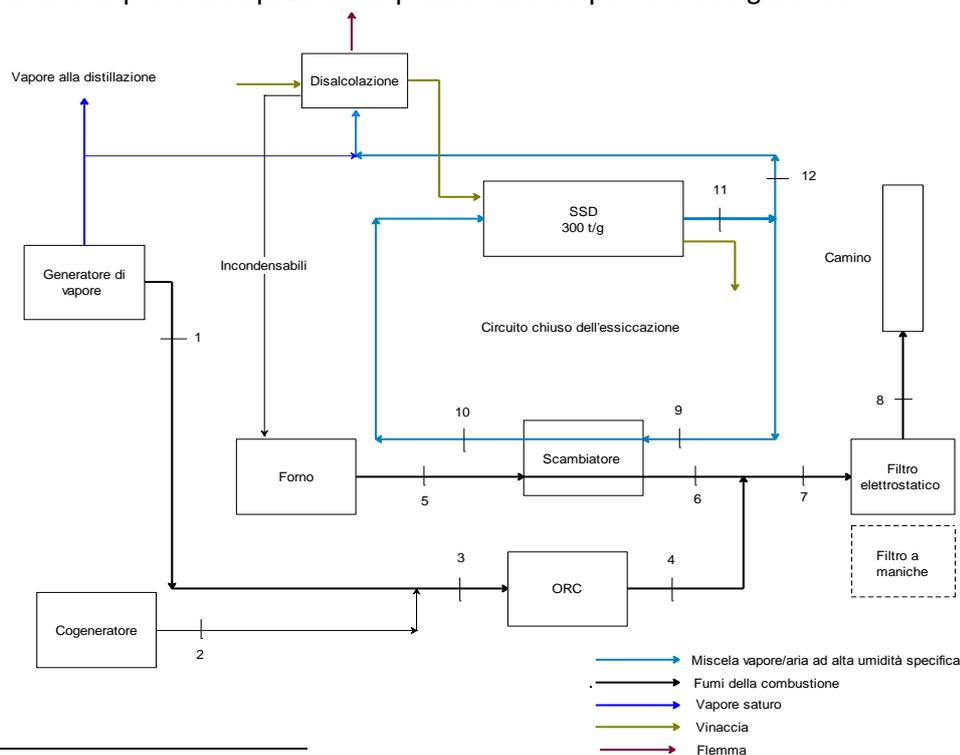
La possibilità di recuperare l'energia attraverso la condensazione della miscela di vapore espulsa dal processo di essiccazione resta comunque interessante anche se non si otterrebbe il recupero d'acqua descritto. Considerando i costi legati all'approvvigionamento della risorsa idrica si è valutato di proseguire con l'analisi del recupero diretto del vapore.

#### 5.4.2.2. Configurazioni d'impianto

Attraverso l'utilizzo del sistema di essiccazione descritto, non verrebbero direttamente impiegate le portate dei fumi del cogeneratore e del generatore di vapore che precedentemente contribuivano a ridurre il fabbisogno termico al forno di essiccazione. Visto il miglior rendimento previsto nel processo di essiccazione, e il beneficio ottenuto dal recupero di vapore, sono state analizzate due configurazioni:

- Utilizzo del surplus di fumi in un ciclo ORC<sup>20</sup> per la produzione di energia elettrica.
- Utilizzo del surplus di fumi per ridurre ulteriormente il fabbisogno termico al forno di essiccazione.

Lo schema completo d'impianto nel primo caso è riportato in Figura 43.



<sup>20</sup> Organic Rankine Cycle

Figura 43 - Schema d'impianto nella configurazione con ORC.

I valori termodinamici dei punti interessati per il primo periodo di funzionamento sono riportati in tabella:

	<b>Portata secca [Nm<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Frazione umida [%v/v]</b>	<b>Temperatura [°C]</b>	<b>Cp [kJ/(kg K)]</b>	<b>Potenza [kW]</b>
<b>1</b>	14.686	5,84	299,50	1,04	2.319
<b>2</b>	2.314	4,01	519,90	1,07	570
<b>3</b>	17.000	5,60	330,52	1,04	2.880
<b>4</b>	17.000	5,60	120,00	1,02	1.865
<b>5</b>	16.469	2,51	870,00	1,08	5.986
<b>6</b>	16.469	2,51	160,00	1,03	1.244
<b>7</b>	33.469	4,11	154,86	1,03	2.828
<b>8</b>	33.469	10,32	86,20	1,02	3.358

Flusso del fluido di essiccazione: miscela di vapore e aria ad elevata umidità specifica

	<b>Portata [kg/h]</b>	<b>Temperatura [°C]</b>	<b>Potenza [kW]</b>
<b>8</b>	35.295	130	1.601
<b>9</b>	35.295	500	6.158
<b>10</b>	44.626	130	2.024
<b>11</b>	9.331	130	423

Flusso della vinaccia:

	<b>Portata [kg/h]</b>	<b>Frazione umida % m/m</b>	<b>Temperatura [°C]</b>
<b>12</b>	12.500	62%	85
<b>13</b>	5.163	8%	105

Dalla simulazione effettuata per il primo periodo si notano tre cose:

1. Il CES dell'essiccatore a vapore surriscaldato è di 2.327 [kJ/kg]
2. La pressione parziale del vapore nei fumi in uscita dall'elettrofiltro ad umido è di 0,1 [bar]. La pressione di saturazione per la temperatura d'uscita è di 0,6 [bar] quindi abbastanza lontana da ridurne la visibilità dei fumi. In ogni caso è possibile sostituire l'abbattitore installato con un filtro a manica eliminando completamente il rischio di pennacchio visibile.

3. La potenza termica disponibile per l'impianto ORC in questo periodo di funzionamento è di 1.015 [kW], considerando di raffreddare i fumi fino a 120°C.

Considerando anche il secondo e terzo periodo si valutano le variazioni nelle portate e nelle temperature del cogeneratore e del generatore di vapore, calcolando la potenza disponibile per l'ORC:

- Secondo periodo:
  - Portata [3]: 9.325 [Nm<sup>3</sup>/h]
  - Temperatura [3]: 332 [°C]
  - Potenza disponibile [3]: 571 [kW] raffreddando fino a 120 [°C]
  
- Terzo periodo:
  - Portata [3]: 3.229 [Nm<sup>3</sup>/h]
  - Temperatura [3]: 431 [°C]
  - Potenza disponibile [3]: 382 [kW] raffreddando fino a 120 [°C]

Visti i bassi valori di potenza in gioco si è valutata l'installazione di ORC di una nota marca tedesca che realizza l'evaporatore del ciclo direttamente a contatto coi fumi caldi, senza l'interposizione di un circuito ad olio diatermico. Installando una macchina da 120 [kW] di potenza elettrica, con questa soluzione, si ottiene un rendimento del 19-22 % in condizioni nominali. Purtroppo, come si nota dal grafico in Figura 44, condizioni prossime alle nominali vengono raggiunte solo durante il secondo periodo, quindi per circa 2.780 ore all'anno. Durante il primo periodo è possibile by-passare il 40% della portata e lavorare quindi per altre 2.364 ore in regime nominale, mentre per le restanti 1.380 ore la macchina opera al 62% del carico nominale con conseguente riduzione del rendimento. Inoltre, mentre nei primi due periodi il flusso termico dei fumi è costante a circa 330 [°C], per il terzo periodo la temperatura si alza di circa 100 [°C] a causa della riduzione di portata dal generatore di vapore rispetto a quella più calda proveniente dal cogeneratore. Questa sovra-temperatura va attentamente valutata nello scambio termico e non è detto che possa essere interamente sfruttata come si è ipotizzato. Si rimanda al capitolo successivo per valutazioni di tipo economico.

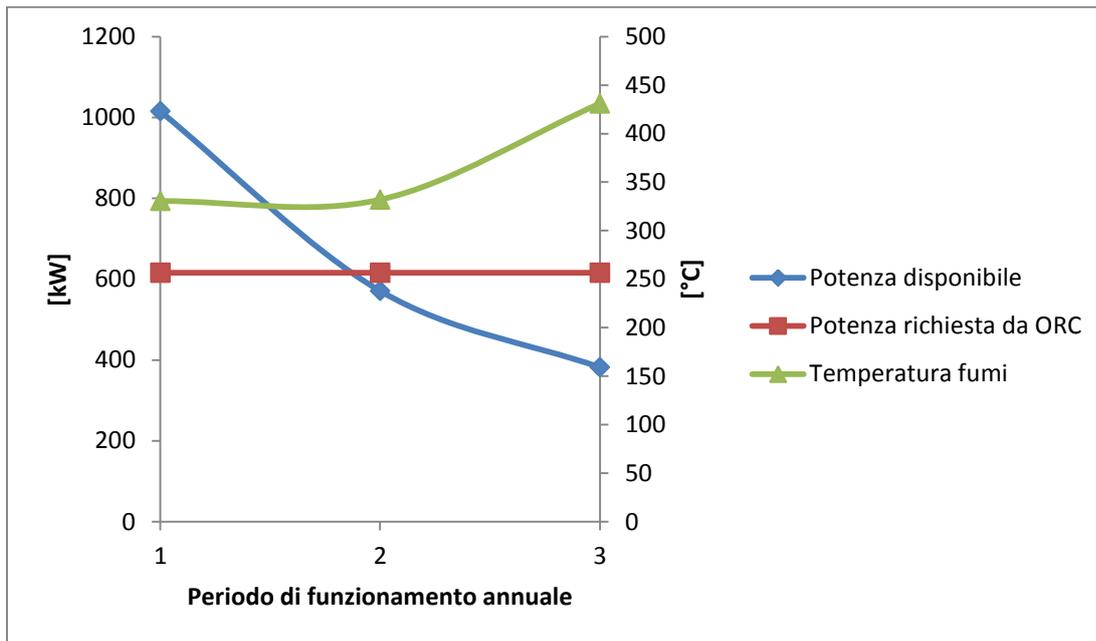


Figura 44 - Recupero termico dai fumi di combustione per la produzione di energia elettrica tramite ORC.

Se si ipotizza di sfruttare la portata complessiva di generatore di vapore e cogeneratore per ridurre il fabbisogno di potenza termica al bruciatore dell'essiccatore a vapore surriscaldato tramite una camera di miscelazione si ottiene la seguente configurazione:

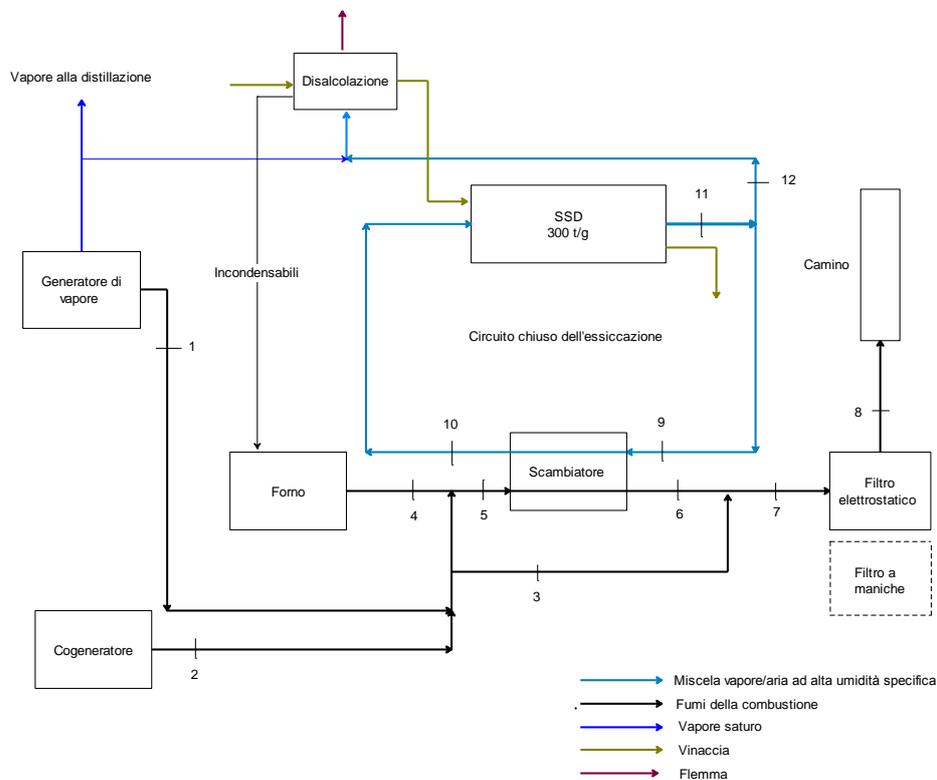


Figura 45 - Schema d'impianto nella configurazione con recupero termico dal cogeneratore e dal generatore di vapore.

Stando alle dichiarazioni del costruttore del sistema di essiccazione, con le portate di fumi recuperate e utilizzate nel surriscaldatore del vapore si arriverebbe a risparmiare circa il 15% del combustibile impiegato in condizioni nominali al forno di essiccazione. Inoltre si ottengono dei benefici per quanto riguarda lo scambio termico. Infatti, la combustione di biomassa in generale, porta ad avere una considerevole percentuale di ceneri ai fumi. Queste, pur non influenzando le caratteristiche termodinamiche del flusso, causano problemi allo scambio termico. Alla temperatura nominale di 870 [°C], le polveri assumono caratteristiche quasi fluide, tendono a formare una patina appiccicosa sulla superficie di scambio riducendone le prestazioni. Miscelando la portata ad alta temperatura con quella proveniente dal generatore di vapore e dal cogeneratore a temperature più basse si riesce a limitare questo fenomeno e le polveri perdono la caratteristica "incollante".

Questa installazione sarebbe la prima realizzata in Italia e la prima nel settore della distillazione di alcolici, la tecnologia presenta un potenziale notevole per il settore, soprattutto considerando la possibilità di surriscaldare il vapore tramite la compressione meccanica, tecnologia su cui si punta molto per l'efficienza nei processi termici ed energetici. La strada è quella di ottenere essiccatori industriali, anche di grandi dimensioni, che non necessino di generazione di calore dalla combustione evitando quindi le relative emissioni. Già con la soluzione proposta per la Distilleria Bonollo, vengono completamente eliminate le emissioni del processo di essiccazione, responsabile delle sostanze organiche volatili rilevate dalle analisi al camino. In questo modo i reflui gassosi in arrivo al trattamento fumi saranno costituiti solamente dai fumi della combustione di biomassa. L'abbattimento fondamentale sarà quindi relativo alle polveri presenti nella portata dei fumi, e l'attuale precipitatore elettrostatico ad umido può essere sostituito da un filtro a maniche adeguato. Altrimenti è possibile mantenere l'attuale abbattitore di inquinanti, con la possibilità di ridurre la portata d'acqua per il lavaggio dei fumi che, insieme alle temperature di esercizio più elevate, portano i fumi lontani dalle condizioni di saturazione e quindi non visibili. Con questa tecnologia e con il suo utilizzo innovativo in un impianto di distillazione di alcolici, si riescono a sfruttare a pieno i vantaggi elencati, sia sul lato dell'efficienza energetica, sia sulla riduzione dell'impatto ambientale.



## CAPITOLO 6

### Analisi dei risparmi conseguibili

Dopo aver analizzato la fattibilità tecnica di alcuni interventi per il miglioramento delle prestazioni e dell'impatto ambientale della distilleria, si vuole ora presentare un'analisi economica semplificata per ogni proposta avanzata. La finalità è, innanzitutto, mostrare il contributo che danno i TEE nella fattibilità economica degli investimenti sull'efficienza energetica.

#### 6.1. Risparmi dal recupero termico per la produzione di potenza frigorifera

Da quanto descritto nel paragrafo 5.1. si valutano i risparmi energetici ed economici che si ottengono dall'installazione di una macchina ad assorbimento a recupero di calore dai fumi della combustione. Come visto la potenza frigorifera da fornire durante le 6.500 ore di funzionamento dell'impianto è di 90 [kW]. Il consumo di energia elettrica risparmiato con questa soluzione è di 195.000 [kWh]. L'intervento è eleggibile per l'ottenimento dei titoli di efficienza energetica e, non essendo presente alcuna scheda tecnica analitica o standardizzata dedicata, occorre presentare una PPPM per l'approvazione degli incentivi da parte dell'ENEA. Stando all'attuale normativa, la categoria d'intervento è la:

*IND-T) Processi industriali: generazione o recupero di calore per raffreddamento essiccazione, cottura, fusione, ecc.*

La vita tecnica **T** prevista per questa tipologia d'intervento è di 20 anni, la vita utile per cui è garantito l'incentivo è di 5 anni, il coefficiente di durabilità  $\tau$  è di 3,36. Si stimano dunque i risparmi conseguibili al fine di verificare il raggiungimento o meno della dimensione minima di progetto per rientrare nella valutazione a consuntivo. Il fattore di conversione da [MWh] elettrici a [tep] è pari a 0,187. Questo fattore, imposto dalla delibera 03/08 dell'AEEG, tiene conto di un rendimento medio nella produzione di energia elettrica nel nostro paese del 46 %. Risulta la seguente quota annuale di risparmio:

$$En. prim. risp. = 30 * 6500 * \frac{1}{1000} * 0,187 = 36,465 [tep]$$

A questo valore va sottratto il surplus di energia primaria consumato al forno essiccatore per il mancato apporto della portata utilizzata nell'assorbitore. Per il calcolo si considera il surplus di combustibile bruciato per il potere calorifico inferiore della vinaccia essiccata:

$$En. prim. cons = (64,42 + 48,62 + 21,04) * 18,96 * \frac{1}{1000} * \frac{1}{41.868} = 0,06 [tep]$$

Si nota che la quota di energia primaria consumata in più rispetto alla situazione di "baseline" è praticamente trascurabile. I TEE conseguibili annualmente con l'intervento in oggetto sono dati dalla differenza tra i valori appena calcolati, moltiplicati per il coefficiente di durabilità  $\tau$  previsto:

$$TEE = (36,465 - 0,06) * 3,36 = 122 [tep]$$

Il valore, arrotondato, si riferisce a TEE di tipo 1 in quanto si consegue un risparmio di energia primaria relativo ad un risparmio di energia elettrica. Si nota come la dimensione minima per i progetti a consuntivo viene ampiamente raggiunta ed è quindi possibile presentare la PPPM. Per il rilascio dei titoli occorre predisporre strumenti di misura che monitorino l'effettiva potenza frigorifera prodotta e il consumo al forno di essiccazione. Dai dati registrati potrà essere redatta ogni sei mesi la richiesta di titoli per il periodo considerato. Per una valutazione economica globale del risparmio occorre considerare i flussi di cassa generati ogni anno. L'investimento iniziale può essere considerato, in via semplificata, come un costo complessivo dell'impianto refrigeratore. Considerando una macchina funzionante a Bromuro di Litio e acqua si assume un costo di mercato di 600 [€/kW] di potenza frigorifera. A questo costo viene aggiunto un 30% di installazione e collegamento dell'impianto. Le valorizzazioni di energia elettrica e della biomassa combustibile sono assunte rispettivamente pari a 150 [€/MWh] e 150 [€/t], mentre per i TEE di tipo 1 il valore unitario è stato assunto pari a 90 [€/tep], come dalla media di mercato attuale. In tabella 13 vengono riportati i flussi di cassa annuali, valutando l'investimento su un orizzonte temporale di 10 anni con un tasso d'attualizzazione del 6 %.

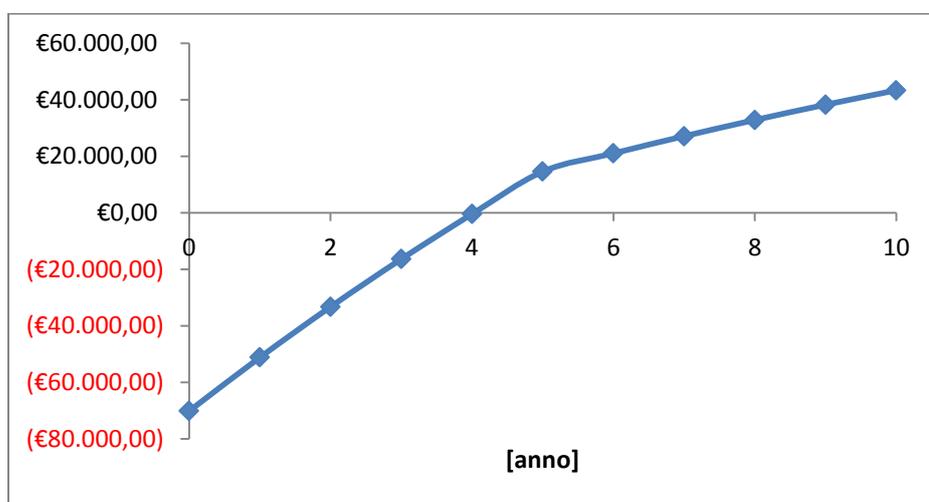


Figura 46- Andamento del flusso di cassa cumulato.

Tabella 13 - Flussi di cassa annuali.

Anno	Ricavi	Costi	Flusso di cassa attualizzato	Flusso di cassa cumulato	
0	€ 0,00	€ 0,00	-€ 70.200,00	-€ 70.200,00	
1	En. Elettrica + TEE	€ 40.230,00	€ 20.112,00	€ 18.979,25	-€ 51.220,75
2		€ 40.230,00	€ 20.112,00	€ 17.904,95	-€ 33.315,81
3		€ 40.230,00	€ 20.112,00	€ 16.891,46	-€ 16.424,35
4		€ 40.230,00	€ 20.112,00	€ 15.935,34	-€ 489,01
5		€ 40.230,00	€ 20.112,00	€ 15.033,34	€ 14.544,33
6	En. Elettrica	€ 29.250,00	€ 20.112,00	€ 6.441,93	€ 20.986,26
7		€ 29.250,00	€ 20.112,00	€ 6.077,29	€ 27.063,56
8		€ 29.250,00	€ 20.112,00	€ 5.733,29	€ 32.796,85
9		€ 29.250,00	€ 20.112,00	€ 5.408,77	€ 38.205,62
10		€ 29.250,00	€ 20.112,00	€ 5.102,61	€ 43.308,23

Come si nota dalla Figura 47, è fondamentale il contributo dei TEE nel mantenere relativamente basso il tempo di ritorno dell'investimento, che in ogni caso è leggermente superiore ai 4 anni. Considerando anche il TIR<sup>21</sup> pari al 14% e l'indice di profitto pari allo 0,62 si conferma lo scarso interesse per l'investimento. Al termine dei 10 anni si realizza infatti un valore attuale netto pari 43.308 [€] contro i 70.200 [€] stimati per l'esborso iniziale. In chiave ESCo l'investimento risulta ancora meno interessante in quanto la remunerazione data dai soli TEE non permette tempi di ritorno all'interno dei 5 anni di incentivazione previsti come mostra la Figura 47.

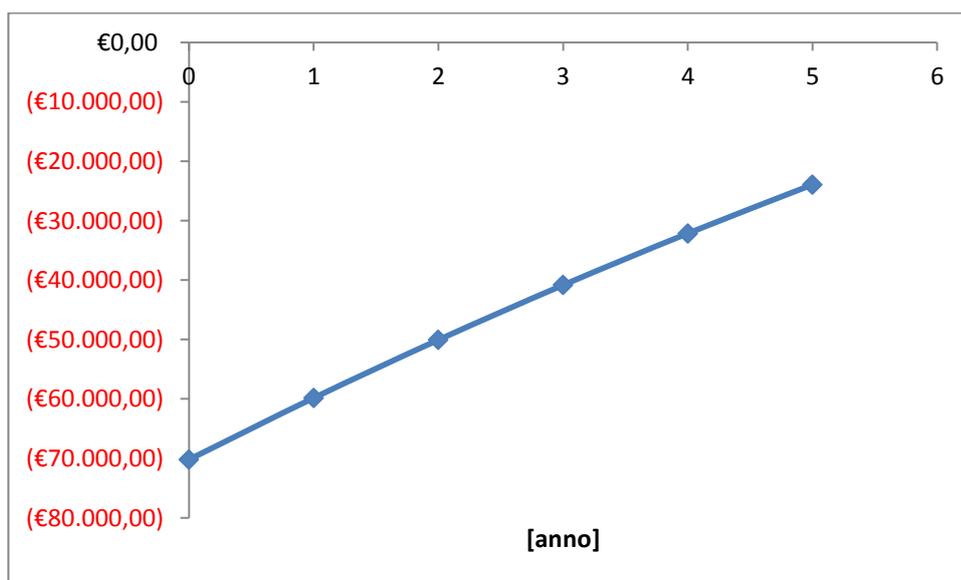


Figura 47 - Andamento del flusso di cassa attualizzato dei soli TEE.

<sup>21</sup> Tasso di rendimento interno

## 6.2. Risparmi dal recupero termico dei vapori alcolici

Come visto nel paragrafo 5.2, la potenza termica disponibile è di circa 3.515 [kW], costante durante le ore di funzionamento della distilleria. Il livello termico a cui si rende disponibile il calore è di circa 95 [°C], temperatura a cui avviene la condensazione della flemma. Se si considera di utilizzare interamente il calore prodotto per il riscaldamento degli ambienti all'interno dell'ampliamento previsto per la distilleria, e per l'eventuale teleriscaldamento delle abitazioni adiacenti all'impianto, è possibile calcolare il risparmio di gas naturale ottenuto. Questo in quanto la "baseline" di riferimento per la produzione di calore finalizzato alla climatizzazione degli edifici è costituita proprio dalla combustione di gas naturale in caldaie con efficienza del 90 %. Vista la complessità nella progettazione e nella valutazione dei costi relativi alla rete di teleriscaldamento, si calcola solamente il contributo che possono portare i TEE qualora venissero richiesti per l'intervento in analisi. Anche per questo intervento il metodo di valutazione dei risparmi è quello a consuntivo dato che non si tratta di una rete di teleriscaldamento esistente per il quale è prevista la scheda tecnica analitica 22T. La categoria d'intervento è quindi quella relativa al recupero di calore per i fini della climatizzazione civile:

*CIV -T) Settore residenziale, agricolo e terziario: generazione di calore/freddo per climatizzazione e produzione di acqua calda.*

La vita tecnica per questa categoria è di 15 anni, mentre quella utile è di 5. Il coefficiente di durabilità  $\tau$  risultante è pari a 2,65. In questo caso il fattore di trasformazione da [MWh] a [tep] è pari a 0,086 in quanto si tratta di energia termica. Per riportarci al valore di energia primaria occorre considerare il rendimento di combustione di "baseline" già indicato e pari al 90 %. Si stima che recuperando l'intera potenza termica meno il 2 % dovuto alle perdite di trasmissione del calore, si ottengono i seguenti valori annui:

$$\text{Energia termica recuperata} = 3.515 * 0,98 * 6.500 * \frac{1}{1000} = 22.390 \text{ [MWh]}$$

$$\text{Energia primaria risparmiata} = 21,7 * 0,086 * \frac{1}{0,9} = 2.139 \text{ [tep]}$$

$$\text{TEE generati} = 2.139 * 2,65 = 5.669 \text{ [tep]}$$

Dal valore dei certificati bianchi generati si intuisce come l'intervento possa essere appetibile nonostante le difficoltà, soprattutto economiche, legate all'installazione di una rete di teleriscaldamento. Nel caso in cui si valuti di recuperare parte di questo calore per il riscaldamento degli spazi adibiti ad uffici, ristorazione e al

reparto commerciale che saranno inseriti nell'ampliamento previsto, è possibile ammortizzare i costi d'impianto provvedendo già in fase di progetto edilizio ad inserire il progetto del recupero termico. In questo caso la soluzione risulterebbe sicuramente conveniente.

### **6.3. Risparmi conseguibili con l'installazione di un essiccatore a vapore surriscaldato (SSD) a recupero diretto del vapore.**

La possibilità di operare con un sistema di essiccazione a vapore surriscaldato, come descritto nel paragrafo 5.4, permette di ottenere i vantaggi descritti e conseguire risparmi energetici ed economici su diversi fronti. L'analisi economica si divide considerando prima la configurazione senza il recupero energetico dei fumi per la produzione di energia elettrica, e dopo inserendo nel "business plan" anche l'ORC. In entrambi i casi, sostituendo l'attuale precipitatore elettrostatico, si ottiene un risparmio di 198 [kW] di energia elettrica, e di una quota d'acqua difficilmente stimabile. Infatti la maggior parte dell'acqua utilizzata è costituita da quella meteorica recuperata e da quella di scarto dall'osmosi inversa, anche se in alcuni casi è necessaria un'integrazione dalla rete idrica. In ogni caso il risparmio di energia elettrica è da considerarsi come una riduzione del fabbisogno di energia primaria mantenendo inalterata la capacità e la qualità della produzione. Questo beneficio rientra quindi nei requisiti per la richiesta di certificati bianchi come parte dei risparmi conseguibili con l'installazione di un processo di essiccazione più efficiente.

#### **6.3.1. TEE e benefici economici dall'installazione del sistema SSD.**

L'efficienza energetica che si ottiene con questo sistema di essiccazione e recuperandone direttamente il vapore per il processo produttivo della distilleria è evidente. In primo luogo si ha una netta riduzione nel consumo energetico specifico dell'essiccatore in sé: si passa dai 4.283 [kJ/kg] d'acqua evaporata per la situazione ante-intervento, ai 2.327 [kJ/kg] d'acqua evaporata per la situazione post-intervento. Considerando che questo fabbisogno può essere soddisfatto anche attraverso il recupero dell'entalpia dai fumi provenienti dal generatore di vapore e dal cogeneratore, appare più comoda e immediata la quantificazione dell'energia risparmiata attraverso il confronto tra i consumi specifici di combustibile al forno di essiccazione. In secondo luogo vi è da considerare anche la riduzione di energia e quindi di combustibile impiegato per la generazione di vapore. La produzione viene di fatto dimezzata durante il periodo di massimo carico e ulteriormente ridotta per il restante periodo dell'anno. Va sottolineato, però, che in entrambi i casi si tratta di risparmio di biomassa e non direttamente di combustibile fossile. Gli interventi incentivabili attraverso i certificati bianchi riguardano solamente il risparmio di energia primaria di tipo fossile. Tuttavia è possibile fare la seguente osservazione riguardo all'addizionalità dei risparmi conseguibili: attualmente la vinaccia essiccata

sta prendendo piede sul mercato della produzione di pellet. Gli aspetti positivi legati al basso tenore di cloro e all'elevato potere calorifico fanno sì che questo combustibile sia molto ricercato per la combustione in piccoli e medi impianti in sostituzione di combustibile fossile. Il notevole risparmio nel consumo di vinaccia in distilleria, rende disponibile questa quantità, in termini di energia primaria, per la potenziale sostituzione di combustibili fossili verosimilmente utilizzati per il riscaldamento. Considerando anche che la tecnologia SSD è completamente sconosciuta in Italia, perlomeno nel settore della distillazione, si intuisce come il risparmio conseguito sia assolutamente addizionale nei confronti della media di mercato e delle normative vigenti. La "baseline" di riferimento per questa tipologia di processo resta dunque la tecnologia di essiccazione con aria calda proveniente dai fumi della combustione con un valore medio del CES pari a 4.100 [kJ/kg] d'acqua evaporata. Con queste considerazioni, supportate da documenti che attestino quanto esposto si punta ad ottenere l'eleggibilità dell'intervento per l'ottenimento dei TEE. La valutazione del processo è obbligatoriamente a consuntivo, vista la particolarità dell'installazione, e la categoria d'intervento è la:

*IND-FF) Processi industriali: interventi diversi dai precedenti, per l'ottimizzazione dei processi produttivi e dei layout d'impianto finalizzati a conseguire una riduzione oggettiva e duratura dei fabbisogni di energia finale a parità di quantità e qualità della produzione.*

I valori di vita utile e di vita tecnica assegnati per norma a questa categoria sono rispettivamente di 5 e 20 anni. Il relativo coefficiente di durabilità  $\tau$  è dunque di 3,36.

In primo luogo si normalizzano i consumi effettivi di biomassa rilevati per l'anno di riferimento in funzione della "baseline" adottata. Non c'è la necessità di considerare consumi specifici per quantità di biomassa essiccata in quanto si suppone che tale valore resti il medesimo anche dopo l'intervento. Dato il rapporto:

$$R_{baseline} = 4.100/4.283 = 95,7 \%$$

si ha che il consumo annuale di combustibile "ex ante" è:

$$C_{baseline} = R_{baseline} * C_{vinaccia,UTF} = 17.565 [t]$$

Dai calcoli della combustione effettuati per il forno di essiccazione si ha che con il sistema SSD, la necessità di avere 16.469 [Nm<sup>3</sup>/h] di fumi caldi, come descritto nel paragrafo 5.4.2.2, porta ad un consumo di 584 [kg/h] di vinaccia essiccata. Moltiplicando per il numero totale di ore annuali, in quanto il processo di essiccazione avviene sempre a regime nominale, si ottiene un consumo annuo di:

$$C_{vinaccia,SSD} = 584 * 6.500 = 3.796 [t]$$

Dai dati sempre riportati in paragrafo 5.4.2.2, i consumi previsti lato generatore di vapore, sensibilmente ridotti dal recupero diretto del vapore dall'essiccazione, si attesta indicativamente su:

$$C_{vinaccia,gv,SSD} = 3.626 [t]$$

Si è assunto cautelativamente un consumo orario pari a quello per il primo periodo di lavorazione per l'intero ciclo di produzione annuale in quanto un calcolo più accurato presuppone di conoscere la diminuzione di rendimento del generatore a bassi valori di produzione di vapore; informazione non resa nota e neppure calcolabile agevolmente. Inoltre si è scelto di calcolare i risparmi con ampio margine di sicurezza in modo mantenere il valore di addizionalità conseguito prossimo al 100 %. Il risparmio di combustibile annuo stimato risulta pari a:

$$\Delta C_{vinaccia} = C_{baseline} - (C_{vinaccia,SSD} + C_{vinaccia,gv,SSD})$$

$$\Delta C_{vinaccia} = 17.565 - (3.796 + 3.626) = 10.143 [t]$$

Riportando questo valore in termini di energia primaria si ottiene un risparmio annuo di:

$$En_{primaria} = \Delta C_{vinaccia} * PCI_{vinaccia} * \frac{1}{41.868} = 4.593 [tep]$$

Nel grafico in Figura 48 è riportato il confronto grafico tra i consumi energetici di "baseline" per i processi di combustione legati alla generazione di vapore e all'essiccazione rispetto ai consumi potenzialmente ottenibili con il sistema SSD.

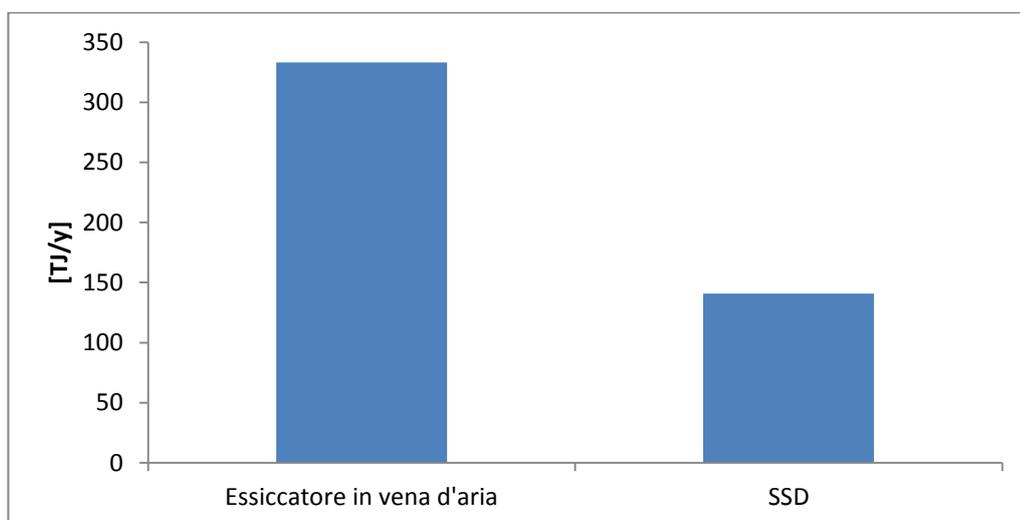


Figura 48 - Istogramma che evidenzia la differenza nei consumi energetici della combustione per l'essiccazione e per la generazione di vapore ottenibile con il sistema SSD rispetto alla tecnologia standard.

Considerando il coefficiente di durabilità previsto si ottengono ogni anno per i 5 anni previsti d'incentivazione i seguenti TEE stimati, indicativamente di tipo 2:

$$TEE_{tipo\ 2} = 4.593 * 3,36 = 15.433 [tep]$$

A questi titoli vanno aggiunti quelli relativi al risparmio di energia elettrica per la possibilità di trattare i fumi attraverso l'utilizzo di un filtro a maniche anziché di un precipitatore elettrostatico. Questi saranno certificati di tipo 1 e il fattore di conversione utilizzato dovrà tenere conto del rendimento di produzione dell'energia elettrica. Si ottengono annualmente:

$$TEE_{tipo\ 1} = 198 * 6.500 * \frac{1}{1.000} * 0.187 * 3,36 = 808 [tep]$$

Per la redazione del "business plan" semplificato si è considerato prima l'investimento in chiave ESCo, cercando di capire se i valori raggiunti dai TEE possano remunerare completamente l'investimento sostenuto. Per quest'ultimo si assume, sulla base di considerazioni svolte con il produttore del sistema SSD un costo indicativo di 1.600.000 [€]. A questo si aggiunge il costo relativo al disalcolatore ausiliario previsto per il recupero diretto del vapore dall'essiccatore e del filtro a maniche; il costo totale dei due si stima essere di 200.000 [€]. Inoltre i costi riguardanti le opere civili, le opere di interconnessione, il trasporto e il montaggio sono state stimate come il 20 % del totale. La valorizzazione dei TEE sia di tipo 1 che di tipo 2 è stata stimata anche in questo caso pari a 90 [€/tep]. Di seguito viene riportato in tabella l'andamento del flusso di cassa semplificato, trascurando i costi di manutenzione e gestione ordinaria che in ogni caso si stima non siano molto superiori a quelli con l'attuale configurazione d'impianto.

**Tabella 14 - Ricavi derivanti dai TEE e il cumulato annuale dei flussi di cassa. All'anno zero è in evidenza il costo totale dell'investimento.**

Anno	Ricavi TEE	Flusso di cassa cumulato
0	€ 0,00	-€ 2.160.000,00
1	€ 1.461.690,00	-€ 698.310,00
2	€ 1.461.690,00	€ 763.380,00
3	€ 1.461.690,00	€ 2.225.070,00
4	€ 1.461.690,00	€ 3.686.760,00
5	€ 1.461.690,00	€ 5.148.450,00

Si nota subito che, qualora venisse approvata la PPPM recante le valutazioni e i calcoli effettuati e qualora venissero confermati i risparmi stimati, l'intervento sarebbe assolutamente appetibile in chiave ESCo. Date le semplificazioni effettuate

nel calcolo del “business plan” il valore di “pay-back” pari a 1 anno e mezzo risulta quasi certamente ottimistico, ma le potenzialità dell’investimento restano comunque notevoli.

Nel caso in cui venisse bocciata la proposta di richiesta dei certificati bianchi il progetto non verrebbe più preso in considerazione con la formula del “Saving e Sharing”<sup>22</sup>, ma con il tradizionale bilancio economico tra costi e ricavi. In questo caso i ricavi sono legati al risparmio d’acqua per la produzione del vapore, che viene valorizzato in 2 €/m<sup>3</sup>, e al risparmio di combustibile. Per le ragioni già spiegate sulla possibilità di costituire pellet di qualità dalla vinaccia essiccata, la valorizzazione di questa è stimata in 150 [€/t]. Questo valore è supportato anche dal fatto che la vinaccia essiccata, opportunamente macinata, è molto ricercata per la produzione di mangimi industriali allo stesso prezzo di mercato indicato. Ipotizzando, quindi, di riuscire a immettere sul mercato l’intera quantità di vinaccia risparmiata, al valore descritto, si ottiene il seguente andamento dei flussi di cassa:

Anno		Ricavi	Flusso di cassa attualizzato	Flusso di cassa cumulato
0		€ 0,00	-€ 2.160.000,00	-€ 2.160.000,00
1	Risparmio d'acqua e vendita della vinaccia essiccata	€ 1.599.450,00	€ 1.508.915,09	-€ 651.084,91
2		€ 1.599.450,00	€ 1.423.504,81	€ 772.419,90
3		€ 1.599.450,00	€ 1.342.929,06	€ 2.115.348,96
4		€ 1.599.450,00	€ 1.266.914,21	€ 3.382.263,17
5		€ 1.599.450,00	€ 1.195.202,08	€ 4.577.465,26

Si nota anche in questo caso l’elevata potenzialità economica dell’investimento. Su un orizzonte temporale di 5 anni il tempo di ritorno è inferiore all’anno e mezzo, il tasso di rendimento interno è del 59% mentre il valore netto attualizzato è di 5.837.250 [€] contro i 2.160.000 [€] d’investimento iniziale. L’indice di profitto alla fine dei 5 anni è quindi pari a 2,1. L’ipotesi forte è l’assunzione di vendere tutta la biomassa risparmiata al valore indicato. Per incrementare le possibilità di riuscita dell’intento è possibile valutare di produrre già in distilleria il pellet destinato alla vendita diretta. In questo caso occorre tenere in considerazione il costo della macchina per la produzione del pellet che comunque non comprometterebbe la bontà dell’investimento. Inoltre questo fattore potrebbe aiutare nel valutare

<sup>22</sup> Formula con cui si inquadra l’attività della ESCo. Investimenti in tecnologie per l’efficienza energetica in grado di remunerarsi soltanto attraverso i benefici connessi all’efficienza conseguita.

positivamente la richiesta dei titoli di efficienza energetica per la sostituzione dell'essiccatore attuale con la tecnologia a vapore surriscaldato.

Si stima che l'apporto delle portate dei fumi dal generatore di vapore e dal cogeneratore al processo di essiccazione possano contribuire a ridurre di circa un 15 % i consumi del forno dedicato, in modo da migliorare ulteriormente il bilancio economico.

### **6.3.2. TEE e benefici economici dalla produzione di energia elettrica tramite ORC**

Il vantaggio dall'installazione dell'essiccatore di tipo SSD sta anche nel fatto che si rendono disponibili i flussi dei fumi della combustione del generatore di vapore e del cogeneratore. Se, come descritto nel paragrafo 5.4.2.2, si valuta di poter sfruttare le portate di fumi indicate per la produzione di energia elettrica attraverso un gruppo ORC da 120 [kW] elettrici, si ottengono i seguenti benefici. Come visto il funzionamento del sistema è prossimo alle condizioni nominali per i primi due periodi del ciclo di produzione, mentre per i mesi di Maggio e Giugno si è al 62 % circa del carico. Si suppone che durante questo periodo il rendimento del ciclo peggiori del 10 % circa, la potenza prodotta sarà quindi di 73 kW. Da questi dati si calcola la produzione di energia elettrica annua:

$$EnElettrica_{prodotta} = (120 * (2.364 + 2.780) + 73 * 1.380) = 718.020 [kWh]$$

Questa quantità di energia ottenuta dal recupero termico dai fumi della combustione è incentivabile dal meccanismo dei certificati bianchi. Il progetto ricade nella valutazione dei risparmi con metodo a consuntivo e la categoria prevista è la:

*IND-GEN) Processi industriali: generazione di energia elettrica da recuperi o da fonti rinnovabili o cogenerazione.*

Il periodo d'incentivazione è sempre 5 anni e il coefficiente di durabilità  $\tau$  è pari a 3,36.

Il valore dell'energia primaria risparmiata annualmente deve tener conto del rendimento di conversione dell'energia elettrica quindi:

$$Energia_{primaria} = 718.020 * \frac{1}{1000} * 0.187 = 134,27 [tep]$$

La quantità annua di TEE di tipo 1 corrispondenti è di:

$$TEE_{tipo\ 1} = 134,27 * 3,36 = 451 [tep]$$

Dato il valore di energia elettrica acquistata annualmente riportato al paragrafo 4.5.2 e confrontandolo con l'energia prodotta potenzialmente dall'ORC, si calcola che questa venga completamente consumata dai fabbisogni elettrici dell'impianto. La valorizzazione economica di suddetta energia è stata assunta pari a 150 [€/MWh], mentre il costo del sistema ORC completo di evaporatore direttamente a contatto coi fumi, turbina e sistema di raffreddamento del condensatore si stima essere pari a 4.000 [€/kWe]. Inoltre i costi di manutenzione medi annui sono assunti pari a 5.000 [€]. Il "business plan" riportato in tabella mostra i flussi di cassa anno per anno se l'investimento fosse fatto dalla distilleria, quindi con il 100% del risparmio di energia elettrica.

Tabella 15 - Business plan ORC da 120 kWe.

Anno		Ricavi	O&M	Flusso di cassa attualizzato	Flusso di cassa cumulato
0		€ 0,00	€ 0,00	-€ 420.000,00	-€ 420.000,00
1	Energia elettrica risparmiata + TEE	€ 148.293,00	-€ 5.000,00	€ 135.182,08	-€ 284.817,92
2		€ 148.293,00	-€ 5.000,00	€ 127.530,26	-€ 157.287,66
3		€ 148.293,00	-€ 5.000,00	€ 120.311,57	-€ 36.976,10
4		€ 148.293,00	-€ 5.000,00	€ 113.501,48	€ 76.525,38
5		€ 148.293,00	-€ 5.000,00	€ 107.076,87	€ 183.602,24
6	Energia elettrica risparmiata	€ 107.703,00	-€ 5.000,00	€ 72.401,56	€ 256.003,81
7		€ 107.703,00	-€ 5.000,00	€ 68.303,36	€ 324.307,17
8		€ 107.703,00	-€ 5.000,00	€ 64.437,13	€ 388.744,30
9		€ 107.703,00	-€ 5.000,00	€ 60.789,75	€ 449.534,05
10		€ 107.703,00	-€ 5.000,00	€ 57.348,82	€ 506.882,87

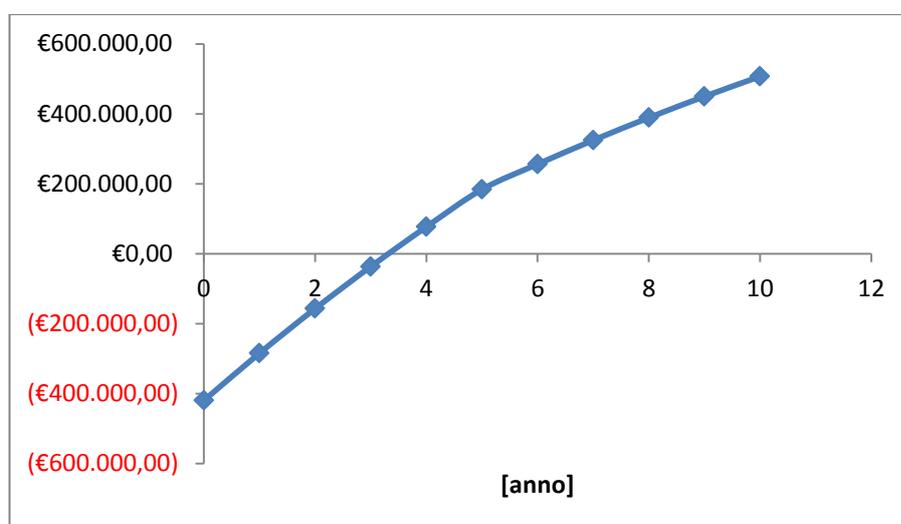


Figura 49- Andamento del flusso di cassa cumulato.

Il tempo di ritorno è di poco superiore ai 3 anni, con un orizzonte temporale di 10 anni si ottengono valori del tasso di rendimento interno e dell'indice di profitto pari rispettivamente a 22% e 1,2. Se l'intervento venisse proposto in chiave ESCo è evidente come i TEE non riescano da soli a coprire il costo iniziale da sostenere e quindi, anche ipotizzando di considerare una percentuale del risparmio di energia elettrica pari al 50 % non si renderebbe appetibile il finanziamento dell'operazione.

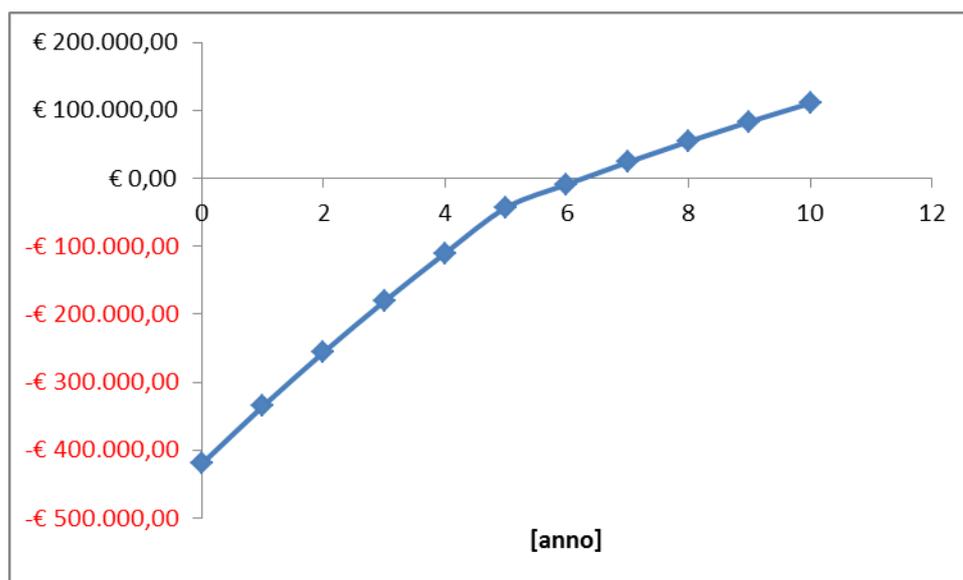


Figura 50 - Andamento del flusso di cassa cumulato in chiave ESCo col 50 % del risparmio dell'energia elettrica.

Dalla Figura 50 si osserva come il costo iniziale sia troppo elevato se lo si rapporta ai TEE generati dal sistema, alla fine dei 5 anni d'incentivo si è ancora con un flusso di cassa cumulato negativo e il rientro viene quindi posticipato dopo il sesto anno.

#### **6.4. Conclusioni**

Da queste valutazioni si capisce perché la strada intrapresa assieme al titolare della distilleria Bonollo Umberto S.p.A. sia quella che porta alla sostituzione del sistema di essiccazione attuale con un essiccatore a vapore surriscaldato. Già da queste considerazioni semplificate si intuisce, infatti, come questa tecnologia possa cambiare radicalmente l'economia dell'impianto rendendo estremamente più competitivo l'intero processo produttivo. Le altre possibilità sviluppate restano comunque valide e realizzabili anche se con minore interesse nell'immediato. Dal momento in cui inizieranno i lavori per l'ampliamento previsto potrà essere presa in considerazione l'ipotesi del riscaldamento dei locali tramite il recupero del calore di processo. Più che un importante risparmio economico l'intervento potrebbe rivelarsi apprezzabile in chiave "green" nell'ottica di realizzare un grande impianto di distillazione ad emissioni zero. Si vuole infine sottolineare come il sistema SSD, oltre ai notevoli vantaggi economici descritti, permetta di risolvere drasticamente il problema dell'impatto ambientale della distilleria. Gli odori immessi in atmosfera dal processo di essiccazione saranno, come descritto nel lavoro di tesi, completamente eliminati. I fumi in uscita dal camino saranno quindi più puliti e completamente invisibili, verrà meno la necessità di utilizzare un precipitatore elettrostatico ad umido. L'impatto negativo che la distilleria ha creato in questi ultimi anni sulla popolazione delle zone limitrofe sarà così fortemente ridimensionato. Insieme alla possibilità di rendere completamente "indoor" l'insilamento e lo stoccaggio della vinaccia, la tecnologia di essiccazione tramite vapore surriscaldato porterà l'intero impianto a valori di efficienza e di eco-compatibilità nettamente superiori rispetto ai livelli stabiliti dalle BAT<sup>23</sup> europee. L'idea della distilleria ad impatto zero verrebbe così pienamente realizzata. Le uniche emissioni di processo, opportunamente trattate e controllate, deriverebbero dalla combustione di biomassa, che come noto permette di ottenere un bilancio nullo nell'emissione della CO<sub>2</sub>.

---

<sup>23</sup> Best Available Techniques



## Riferimenti bibliografici

1. [www.saperebere.com/processo-di-distillazione.html](http://www.saperebere.com/processo-di-distillazione.html) a cura di Fulvio Piccinino
2. [www.assodistil.it](http://www.assodistil.it)
3. "Reportage tra alambicchi e spiritosi calici", saggio a cura di Aldo Quinto Lazzari, tratto da [www.oifb.com](http://www.oifb.com) (Osservatorio Internazionale Food-beverage-Equipment)
4. "Una grappa d'autore" di Virgilio Pronzati, tratto da La Casana n. 3 / 4 anno 2000, sezione Enologia, Gruppo Carige.
5. Distillati e liquori di Ezio Falconi, Mondadori 1997.
6. Deliberazione 27 Ottobre 2011 – EEN 9/11, AEEG
7. I TITOLI DI EFFICIENZA ENERGETICA - Cosa sono e come si ottengono i "certificati bianchi" alla luce della nuova Delibera EEN 9/11, Guida operativa/2, a cura dell'ENEA
8. L'Industria dell'alcole, Meloni G., 1953, Hoepli, Milano
9. "Corso di meccanica enologica" di Pietro e Giorgio de Vita, HOEPLI EDITORE 2004
10. Report on Biomass Drying Technology, Wade A. Amos, National Renewable Energy Laboratory
11. New european drying technology helps u.s. ethanol producer beat epa emission limits while cutting cost of process energy, Dedert Corporation
12. Industrial drying - Principles and Practice – lecture notes, edited by Sachin V. Jangam, Arun S. Mujumdar
13. La ricompressione meccanica e termica del vapore nella concentrazione di liquidi alimentari per evaporazione, Domenico Cacace, Rosaria D'Antonio e Luigi Palmieri.
14. Produzione e combustione di pellet prodotti con vinacce e miscele con potatura di vite in impianti di piccole dimensioni, Agrosience.
15. Documenti informativi sistema EcoDry, di Swiss Combi.
16. Applications of superheated steam for the drying of food products, F. Karimi, Department of Food engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
17. Superheated Steam Drying, Arun S. Mujumdar
18. INDUSTRIAL SUPERHEATED STEAM DRYING, Research carried out and report written by TNO Environment, Energy and Process Innovation, Apeldoorn (NL)
19. Low energy distillation system, R. Katzen, W.R. Ackley, G.D. Moon, J.R. Messick, B.F. Brush, K.F. Kaupisch
20. Termodinamica applicata di Alberto Cavallini e Lino Mattarolo, CLEUP
21. Tecnologie delle energie rinnovabili di Daniele Cocco, Chiara Palomba e Pierpaolo Puddu, SGEEditoriali
22. Provvedimento n. 192, Provincia di Ravenna, settore ambiente e suolo

23. Rapporti di prova delle analisi del combustibile e dei fumi forniti da Distilleria Bonollo Umberto S.p.A.
24. Energia rinnovabile dal vigneto, presentazione di Abe s.r.l.
25. Integrating Super Heated Steam Dryer Technology at the Plant for Energy Reduction and Water Conservation by R. Vance Morey, Professor Huixiao Zheng, Graduate Student and Nalladurai Kaliyan, Research Associate Bioproducts and Biosystems Engineering University of Minnesota.

## **Ringraziamenti**

Questa tesi rappresenta la fine di un ciclo di studi, una tappa importante della mia vita a cui hanno contribuito, con modi e tempi differenti, molte persone. Il primo ringraziamento va sicuramente ai miei genitori, Francesco e Barbara, che mi hanno supportato e sopportato lungo tutto il tragitto. A loro devo ogni cosa e se oggi sono arrivato a questo traguardo è grazie ai loro sforzi e al loro prezioso aiuto.

Un altro ringraziamento importante è per mio fratello Giovanni che con il suo percorso parallelo al mio ha stimolato in me la voglia di dare il meglio.

Grazie a Carlotta, che mi ha appoggiato, incoraggiato e sostenuto, e che senza di lei non sarei riuscito ad ottenere questo risultato.

Ringrazio poi tutti i compagni di corso che ho incontrato in questi anni di università, ognuno di loro mi ha donato qualcosa e io lo porterò dentro sempre.

Ringrazio gli amici di sempre, i Matt(e)i e tanti altri, compagni di molte avventure nei momenti di distrazione dallo studio.

Un ringraziamento sincero a tutti i professori che ho incontrato nel percorso di studi, ogni esperienza, buona o meno buona, mi ha comunque dato un insegnamento di importante.

Per la redazione di questa tesi i ringraziamenti vanno naturalmente a Studio Bartucci e all'Ing. Giovanni Bartucci che mi ha permesso di svolgere questo lavoro, a Giorgio Bonollo e alla sua disponibilità, alla prof.ssa Anna Stoppato e alla prof.ssa Giovanna Cavazzini che hanno accettato di seguire come relatrici il mio lavoro.