

ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÁ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA  
Sede di Forlì

Corso di Laurea in  
**INGEGNERIA MECCANICA**  
Classe L-9

ELABORATO FINALE DI LAUREA

in **DISEGNO TECNICO ASSISTITO DAL CALCOLATORE**

**studio ed ottimizzazione di una caldaia a pellet ad elevata economia di  
produzione**

**CANDIDATO**  
Marco Ghiandoni

**RELATORE**  
Prof. Luca Piancastelli

Anno accademico 2013/2014

Sessione II

# INDICE

Introduzione e Obiettivo	1
1. Pellet	
1.1 Che cos'è il pellet?	2
1.2 Caratteristiche del pellet	3
1.3 Ciclo di produzione	4
1.3.1 Materia prima	4
1.3.2 Il processo di pellettizzazione	4
1.4 Vantaggi e svantaggi	8
1.4.1 Vantaggi	8
1.4.2 Svantaggi	9
1.5 Qualità del combustibile	11
1.5.1 Requisiti	13
1.5.2 Analisi qualitativa del pellet	14
1.5.3 Standardizzazione del pellet da legno	17
1.6 Mercato del pellet	19
1.6.1 Produzione	19
1.6.2 Prezzo del prodotto	21
1.7 Potere calorifico	22
2. Caldaia a pellet	
2.1 Introduzione della caldaia a pellet	23
2.2 Funzionamento della caldaia a pellet	25
2.3 Processo di combustione del pellet	29
2.3.1 Fasi della combustione	29
2.3.2 Impatto del combustibile	30
2.3.3 Tecnica di combustione	31
2.3.4 Qualità della combustione	32
2.4 Componenti della caldaia a pellet	34
2.5 Vantaggi e svantaggi	43
2.5.1 Vantaggi	43

2.5.2 Svantaggi	43
2.6 Come calcolare la potenza termica generata	46
3. Progetto	
3.1 Dimensionamento economico dello scambiatore di calore	47
3.2 Caratteristiche della caldaia a pellet	50
Conclusioni	53
Ringraziamenti	54
Bibliografia	55
Webliografia	56

## **Introduzione e Obiettivo**

L'obiettivo di questo lavoro consiste nello studio e nella progettazione di una caldaia a pellet a pezzo unico, economica e con un design accattivante, in modo da poter essere un acquisto alla portata della maggior parte della comunità.

Nella prima parte verrà svolta un'introduzione riguardante il combustibile utilizzato, ovvero il pellet, descrivendo la sua produzione, le sue caratteristiche e i vantaggi/svantaggi che comporta rispetto ad altri combustibili.

In seguito, nella parte principale, verrà eseguita una descrizione minuziosa della caldaia in sé, comprendente il ciclo di funzionamento, dall'inserimento del pellet fino all'espulsione dei gas di scarico.

Infine verranno elencati i calcoli eseguiti per il dimensionamento economico della caldaia e il processo di ottimizzazione per la minimizzazione dei costi di produzione, con successivo calcolo di questi ultimi. Il progetto sarà accompagnato da una realizzazione dell'impianto di riscaldamento tramite il programma SolidWorks.

# Capitolo 1:PELLET

## 1.1-Che cos'è il pellet?

Il pellet per vari motivi, è sicuramente una delle biomasse più utilizzate. Esso viene ottenuto attraverso delle semplici lavorazioni meccaniche, sottoponendo la segatura del legno, finemente lavorata, ad altissime pressioni. Il materiale viene poi contemporaneamente fatto passare attraverso una filiera con fori di dimensioni che vanno solitamente dai 6 ai 12 millimetri ed il calore sprigionato durante queste fasi di lavorazione, attiva l'effetto legante della lignina, una sostanza naturale presente nel legno, che ne determinerà poi la compattezza e la sua caratteristica forma a cilindro nel tempo.

In passato gli scarti del legno come la segatura venivano invece buttati o utilizzati solo in parte, mentre oggi grazie all'invenzione del pellet ed una sempre maggiore coscienza ambientale, questi materiali residui hanno una seconda vita ed un utilizzo pari al 100%.

Il pellet è quindi un prodotto totalmente naturale e molto rispettoso dell'ambiente.



## 1.2- Caratteristiche del Pellet

Il pellet rappresenta la più valida alternativa ai tradizionali combustibili da riscaldamento: è facilmente reperibile, pratico da trasportare, ecologico, economico e sicuro. Il pellet viene confezionato in sacchi da 15 Kg, di minimo ingombro e che ne agevolano il trasporto, inoltre non sporca e non fa polvere quando viene manipolato.

La qualità principale del pellet è data dalla sua elevata resa termica (superiore all'80%) e dal suo bassissimo residuo finale di ceneri (0,58%).

<b>Diametro</b>	6 ÷ 12 mm
<b>Lunghezza</b>	15 ÷ 50 mm
<b>Densità</b>	1150 ÷ 1400 kg/m <sup>3</sup>
<b>Umidità</b>	8 ÷ 12 %
<b>Potenza Resa</b>	4,7 ÷ 5,5 kWh/kg
<b>Residui di Cenere</b>	0,3 ÷ 0,6 %

## **1.3-Ciclo di Produzione**

### **1.3.1-Materia prima**

Gli scarti dell'industria del legno, sotto forma di trucioli e segatura, costituiscono gran parte della materia prima usata nella fabbricazione di pellet da legno in Italia. La crescente domanda di materia prima ha fatto sì che i produttori di pellet cominciassero ad essiccare e lavorare interi tronchi di albero, al fine di assicurarsene a sufficienza.

Per la fabbricazione del pellet viene usato sia legno di conifere che di latifoglie. In un singolo processo produttivo solitamente il legno di conifere costituisce dal 70% al 95% della materia prima, mentre la restante parte proviene dalle latifoglie. Per assicurare un contenuto di lignina omogeneo la materia prima pulita è spesso un mix di vari tipi di legno.

Questo è conseguenza del fatto che la quantità di lignina che “lega” insieme i pellet varia da specie a specie: i legni duri come il faggio, normalmente hanno un contenuto di lignina più basso di quelli soffici come il comune abete rosso. E' davvero importante assicurarsi che il mix sia quanto più omogeneo possibile. L'uso di materiale non omogeneo aumenta il rischio di interruzioni durante il processo di pressatura.

### **1.3.2-Il processo di pellettizzazione**

Dal momento in cui la materia prima arriva alla fabbrica, al momento in cui il pellet è pronto per essere consegnato, il materiale legnoso viene lavorato nella maniera seguente:

#### **Essiccamento**

Il contenuto di acqua nella materia prima deve essere di circa il 10% prima che il processo di pellettizzazione inizi. Se il contenuto di acqua è troppo alto, il materiale deve essere essiccato. L'essiccamento ha una grande importanza per il prodotto finale, visto che una materia prima con un contenuto di acqua superiore al 15% è difficile da pellettizzare.

## **Pulitura**

Al momento della consegna della materia prima all'impianto di pellettizzazione, il materiale indesiderato, per esempio il metallo viene rimosso tramite l'ausilio di magneti e filtri.

## **Macinazione**

La materia prima verrà poi preparata in un macinino a martello. La fine segatura che si ottiene sarà separata per mezzo di una centrifuga oppure usando un filtro. La macinazione è necessaria perché la materia prima all'arrivo potrebbe essere molto eterogenea nelle dimensioni.

## **Pressatura**

Prima che i pellet siano pressati, l' 1-2% di acqua sotto forma di vapore è fornita alla materia prima che viene così riscaldata fino a 70° C. Il riscaldamento assicura che la lignina venga rilasciata e questo contribuisce ad aumentare il legame delle particelle nel prodotto finale. Il mix così ottenuto di soffice lignina e segatura viene poi trasportato alla pressa.

Qui la materia, giacente su un piano di fronte ad un rullo compressore, viene pressata all'interno di fessure cilindriche (matrice). Quando il rullo passa di nuovo sopra la fessura, nuovo materiale vi viene pressato, ottenendo così i tipici cilindretti di pellet.

Sei condizioni sono importanti per ottenere una buona pressatura e quindi una discreta qualità di pellet:

- 1)** La correlazione tra la qualità delle materie prime, la capacità di compressione della macchina ed il processo di compressione stesso
- 2)** La capacità di frizione della matrice
- 3)** La superficie ed il materiale della matrice ed il rullo compressore
- 4)** La lunghezza ed il diametro delle fessure nella matrice
- 5)** Lo spessore dello strato di materia prima sopra la matrice, così come lo spessore del materiale che viene pressato nel blocco.
- 6)** La frequenza di compressione, ovvero la velocità di rotazione del rullo.

La distanza tra il blocco ed il rullo compressore influenza la qualità del pellet, l'usura del macchinario ed il consumo di energia nel processo. Le prove hanno mostrato che un aumento della distanza fra 0 e 1 mm provoca un consumo di

energia del 20% superiore, ma allo stesso tempo riduce il volume della polvere del 30%.

La pellettizzazione può essere effettuata sia usando una macchina con una matrice a forma di anello (fig.1), sia di tipo piano (fig.2). La materia prima viene posizionata nel tamburo, dove uno o più rulli la pressano all'interno delle fessure cilindriche nella matrice. Quando i cilindretti sono passati attraverso il block, vengono tagliati o rotti nella lunghezza desiderata.

Le matrici possono essere modificate, così da produrre pellet di differenti lunghezze, anche se tutte le unità prodotte dovranno avere lo stesso diametro.

Questo processo aumenta ancora più la temperatura della materia prima.

Il livello di pressione necessario nella matrice dipende anche dal tipo di materiale.

In generale più è alta la quantità di legno duro contenuto nella materia prima, maggiore sarà la pressione necessaria per la pellettizzazione.

Se la pressione non è abbastanza alta per comprimere il materiale lungo le fessure della matrice, esso può ostruirla e interrompere così il processo di pellettizzazione.

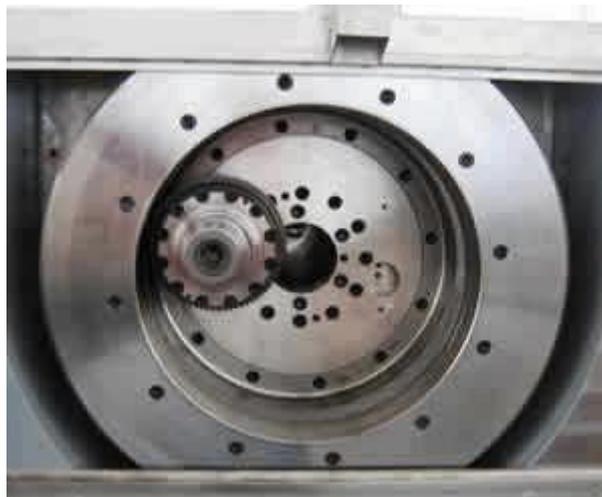


Fig.1 Matrice ad Anello

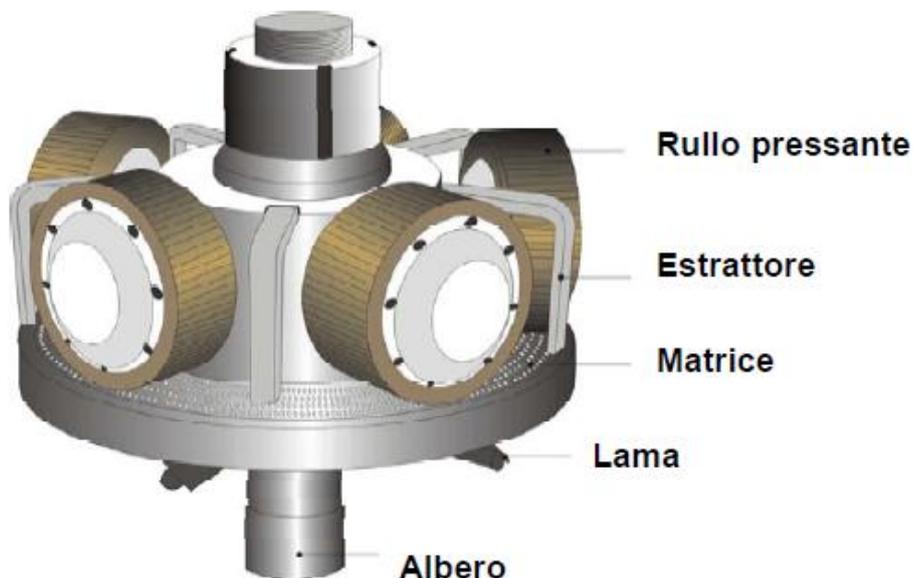


Fig.2 Matrice Piana

## Raffreddamento

I pellet ancora caldi ed elastici sono trasportati ad una periferica di raffreddamento per essere portati ad una temperatura di poco superiore a quella ambiente. Il raffreddamento aumenta la durata del pellet e, di conseguenza, la formazione di polvere durante il successivo trasporto e manipolazione.

Durante il processo di raffreddamento i pellet e l'aria raffreddata vengono fatti scontrare l'una contro gli altri, così che l'aria meno calda è usata per raffreddare i pellet più caldi e viceversa. Tale processo produce un graduale raffreddamento dei pellet che riduce la quantità di stress da calore alla quale i pellet sono esposti (tale stress può inficiare la qualità del prodotto).

## Rimozione polvere

Dopo il raffreddamento, i pellet sono analizzati al fine di rimuovere la polvere e le particelle fini formatesi durante il processo. I pellet sono poi stoccati sciolti oppure impacchettati in sacchi ed il residuo viene riciclato nel processo di produzione.

La (fig.3) riassume il processo complessivo per la formazione del pellet.

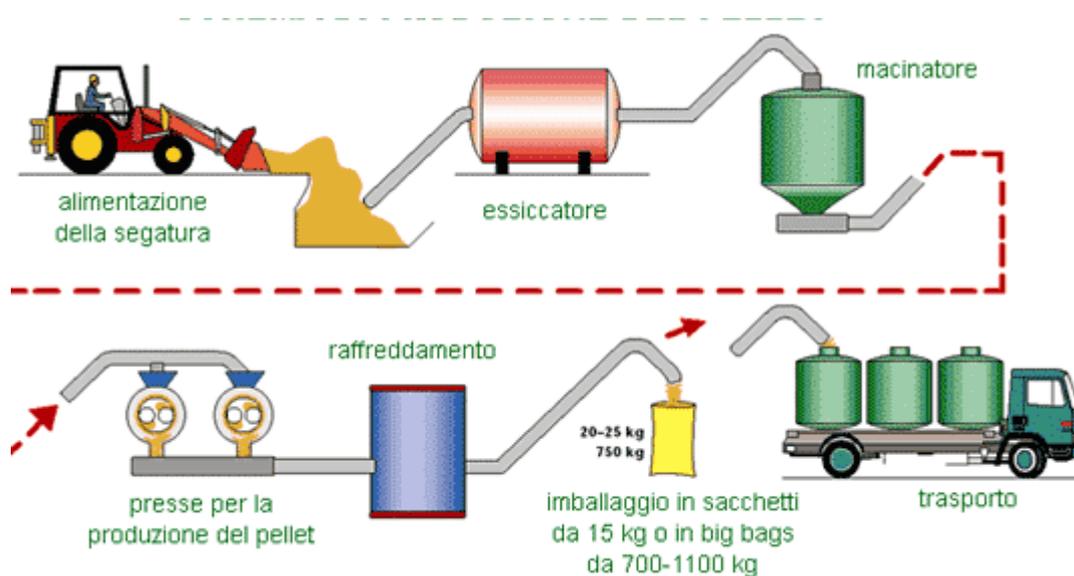


Fig.3 Ciclo di produzione

## 1.4 Vantaggi e Svantaggi

### 1.4.1-Vantaggi

1) Il primo vantaggio del pellet riguarda il suo costo, infatti esso, a parità di calore prodotto risulta essere decisamente meno caro rispetto ai tradizionali combustibili fossili, ovvero gasolio e gas metano.

Il suo prezzo inoltre non risente di tutti quei fattori che invece determinano i cambiamenti di prezzo del metano o del gasolio.

Il pellet risulta quindi in grado di offrire un'elevata resa calorica con ingombro ridotto e il minor prezzo combustibile.

Combustibile	Prezzo Unitario	Valore Energetico	Prezzo Per kWh	Confronto %
Gasolio	1,125 €/l	10kWh/l	0,130 €	100%
Gas liquido (in cisterna)	2.351 €/kg	12,8 kWh/kg	0,184 €	143%
Gas Metano	0,847 €/m <sup>3</sup>	9,8 kWh/m <sup>3</sup>	0,086 €	67%
Pellet	0,2778 €/kg	4,8 kWh/kg	0,058 €	45%
Minuzzoli di legno	0,139 €/kg	4,5 kWh/kg	0,032 €	25%
Legna spezzata (mista)	0,151 €/kg	4,3 kWh/kg	0,035 €	27%
Teleriscaldamento	0,107 €/kWh	1 kWh	0,107 €	83%

Situazione: 01 Ottobre 2014 ([www.centroconsumatori.it](http://www.centroconsumatori.it))

2) Utilizzando questo combustibile diminuiamo anche la nostra dipendenza dal petrolio e dal gas.

3) Il pellet è una risorsa rinnovabile, infatti è ottenuto prevalentemente dalla lavorazione di segatura proveniente dalla lavorazione del legname o da legno vergine. Grazie al pellet, tutti i materiali di scarto provenienti dalla lavorazione del legname, che in passato venivano gettati, possono essere riutilizzati.

Essendo un materiale di origine vegetale può essere prodotto ovunque ed è quindi una risorsa inesauribile, oggi esistono anche piccole macchine per la produzione fai da te.

4) Il pellet non contiene sostanze chimiche aggiunte, infatti la compattezza e la forma a cilindro dei pellet è mantenuta tale nel tempo grazie alla lignina, la quale è una sostanza naturale presente nel legno e che si attiva durante le fasi di lavorazione. La lignina ne favorisce anche la scorrevolezza e la fluidità.

Essendo un materiale di origine biologica ha una quantità di emissioni di anidride carbonica più bassa rispetto ai combustibili fossili a parità di resa calorica.

**5)** Il pellet è un prodotto molto comodo da trasportare, infatti possiede una densità molto maggiore rispetto alla legna da ardere, quindi occupa uno spazio minore e può essere facilmente trasportato sfuso, in sacchetti o BigBag (contenitori flessibili di misure standard utilizzato per trasportare e immagazzinare grandi quantità di prodotti solidi sfusi).

Proprio per questo motivo, occupando spazi ridotti, esso può essere stipato in grandi quantità limitandone i rifornimenti.

**6)** Non è necessario stagionarlo.

**7)** Data la sua elevata densità e il suo basso tenore di umidità, minore rispetto alla legna da ardere, il pellet brucia quasi completamente ad altissime temperature, limitando così le quantità prodotte di ceneri e residui e favorendo una pulizia più veloce della stufa o caldaia.

**8)** Il pellet è un combustibile rispettoso dell'ambiente in quanto le sue emissioni di CO<sub>2</sub> sono pressoché nulle al contrario dei combustibili fossili (gasolio, nafta, carbone, GPL e metano), tali emissioni sono infatti pari alla anidride carbonica che una pianta assorbe per produrre la stessa quantità di pellet.

Ciò evita di danneggiare l'ozono e permette di non aggravare l'effetto serra in quanto legno naturale.

### **1.4.2-Svantaggi**

**1)** I costi delle stufe a pellet sono mediamente pari al doppio rispetto a quelli relativi alle stufe a legna.

**2)** Il mercato del pellet risulta instabile, infatti negli anni passati il suo prezzo ha avuto spesso delle impennate notevoli e in alcuni periodi il combustibile non è stato addirittura disponibile. Sono problemi dovuti al fatto che il mercato non è ancora maturo e la domanda di combustibile in alcuni momenti ha superato di molto l'offerta sulla spinta di una vendita massiccia di apparecchi di riscaldamento. Tradizionalmente sono i produttori austriaci che hanno sempre dettato legge nel mercato del pellet anche se nuovi venditori stanno venendo alla ribalta. Nei prossimi anni questo problema dovrebbe definitivamente dissolversi e il prezzo del pellet dovrebbe attestarsi stabilmente un poco al di sotto di quello del metano a parità di calorie prodotte.

**3)** A differenza del legno per cui è possibile verificare a colpo d'occhio la sua integrità originale, il pellet si presta a possibili adulterazioni e contaminazioni. È

difficile stabilire con i mezzi a disposizione del consumatore se alla segatura vergine sono stati aggiunti additivi di qualsiasi tipo o se la stessa segatura è ottenuta con scarti di legno trattati con vernici o colle. Non solo, ma in Europa esistono dell'aree che hanno subito una contaminazione radioattiva a causa dell'incidente di Chernobyl. Legname contaminato potrebbe finire nella pellettizzazione ad opera di gente senza scrupoli o in buona fede.

**4)** Se confrontiamo il pellet con il metano, risulta ovvio che la quantità dei fumi emessi dalla combustione della biomassa legnosa è sicuramente superiore, anche se inferiore a quella della legna. In alcuni casi i fumi emessi dagli scarichi delle stufe e caldaie a pellet potrebbero creare qualche problema condominiale.

## 1.5 Qualità del Combustibile

La qualità del pellet come combustibile può variare considerevolmente a causa di diversi fattori. Fra questi vi sono la materia prima, la durezza ed il contenuto di acqua. Come già descritto in precedenza parlando degli svantaggi di questo combustibile, per il consumatore è difficile valutare a colpo d'occhio la qualità dei pellet da legno. Pur essendoci questi inconvenienti lui dovrà comunque assicurarsi che il produttore consegni un prodotto che risponda ad una serie di standard minimi.

Le dimensioni del pellet da combustibile varia tra i 3 ed i 25 mm di diametro a seconda della matrice usata nella produzione(oltre i 25 mm di parla di briquette). La lunghezza generalmente varia tra 5 e 40 mm.

La qualità del pellet e anche dell'impianto di riscaldamento risultano molto importanti poiché, in caso contrario, si potrebbe incorrere in un decremento di efficienza. Ad esempio, se possedessimo un pellet di bassa qualità o scegliessimo un impianto sbagliato per un certo tipo di pellet, potremmo incorrere in incrostazioni nel sistema dovute alla cattiva combustione.

La qualità del pellet messo in vendita non è sempre ottimale, soprattutto nei periodi in cui vi è una carenza di materia prima.

Analizzando i quattro differenti tipi di pellet nella (fig.4) vediamo che quello in basso a destra è di buona qualità, senza polvere, prodotto da legno pulito e secco. Quello in basso a sinistra invece è un mix ottenuto utilizzando due differenti tipi di materia prima. Esso ha causato pesanti incrostazioni vetrose a causa del basso punto di fusione delle ceneri. Il pellet scuro in alto a sinistra ha formato ceneri porose che hanno causato il blocco della vite senza fine. Per quanto riguarda i pellet scuri, questo può dipendere dal fatto che contengono un tipo scuro di legno o di corteccia, ma può anche essere dovuto alla presenza di legno scurito a causa di un intenso prosciugamento o della presenza di corteccia o a materia prima molto umida. Infine, l'ultimo tipo di pellet ha un alto contenuto di ceneri e parti fini già alla consegna, quindi produrrà sicuramente una combustione povera.



Fig.4 Tipi di Pellet

Dunque la scarsa qualità del pellet comporta spesso problemi relativi alla combustione. Tra gli inconvenienti riscontrati vi sono:

- **Molta cenere nella caldaia**, causato dalla presenza nel pellet di additivi, come impurità o sabbia, prodotti di rifiuto e materia prima (corteccia, residui di semi o altra biomassa) con un contenuto di cenere più alto del legno puro.
- **Scorie nella caldaia** dovute alla presenza nel pellet di materia prima con un basso punto di fusione, oltre a possibili presenze di additivi o altri prodotti di rifiuto.
- **Depositi e corrosione** per la presenza di biomassa che non sia legno puro o altri materiali con un considerevole livello di componenti volatili come zolfo o cloro.
- **Problema di combustione** se si ha un contenuto troppo alto di polveri o un tasso di umidità troppo alto.

### **1.5.1-Requisiti**

Proprio per questi motivi il pellet dovrà soddisfare una serie di requisiti riguardanti i materiali estranei aggiunti, i contenuti di polvere, la durezza e il contenuto di acqua.

Pur non essendoci ancora regole di standardizzazione in Italia, secondo l'articolo no. 638 su biomassa e rifiuti, i produttori di pellet a legno in Danimarca possono usare soltanto legno puro, quindi esso deve essere privo di ogni tipo di materia estranea come plastica, metallo, conservanti o qualsiasi genere di colorante. È permesso giusto un contenuto massimo dell'1% di colla. Inoltre non è ammessa nemmeno l'aggiunta di agenti leganti durante la produzione.

#### **Contenuto di polvere**

Come visto in precedenza nell'analisi degli inconvenienti riguardanti la combustione, il contenuto di polvere è qualcosa che deve essere tenuto altamente in considerazione. Essa può generarsi durante la produzione del pellet, nella lavorazione all'impianto e durante il trasporto, anche se durante la produzione normalmente viene rimossa dal produttore. Solitamente più piccolo è l'impianto, più è sensibile a questo intoppo.

La quantità di polvere nel pellet non dovrebbe superare l'8%, ma a causa di una deposizione irregolare del pellet e della polvere è molto difficile stare al di sotto di questo livello.

#### **Durezza**

La durezza è un fattore di grande importanza per il consumatore. In caso di bassa durezza, il pellet da legno è molto sensibile allo stress meccanico durante il trasporto e quando viene maneggiato dal consumatore, con una conseguente formazione di polvere. La durezza viene condizionata da due fattori: il contenuto di lignina ed acqua e il grado di pressatura del pellet.

#### **Contenuto di acqua**

Il contenuto di acqua nel pellet è spesso compreso tra il 5 ed il 10%. Esso è fondamentale per il suo potere calorifico che varia fra 4,7 e 5,0 kWh/kg. Oltre a poter influire negativamente sul potere calorifico del pellet, la troppa umidità comporta problemi durante la pellettizzazione. Un materiale con un contenuto di acqua superiore al 15% non si può pellettizzare. Il pellet si ingrossa e si sgretola se esposto ad umidità dopo la pressatura.

## 1.5.2-Analisi qualitativa del pellet

Dunque le condizioni di arrivo del pellet ai consumatori dipendono da molti fattori, quali materia prima, processo di produzione, distribuzione e condizioni di stoccaggio. Non essendoci al momento nessuno standard per le condizioni ottimali del pellet, è consigliato a tutti i consumatori che acquistano pellet di richiedere alcuni documenti per garantire una buona integrità del combustibile comprato. Conviene richiedere la garanzia che il pellet sia fabbricato con legno “puro”, la garanzia che il pellet rispetti la legge danese riguardo la materia prima usata (vista in precedenza), le specifiche tecniche del pellet in quanto combustibile e la garanzia che esse vengano rispettate nel pellet che viene consegnato, infine una garanzia che il pellet possa essere restituito e rimborsato in caso non in condizioni ottimali. Le specifiche tecniche sopracitate come combustibile dovrebbero includere informazioni relative al diametro, al potere calorifico effettivo, al peso specifico e al contenuto di acqua, ceneri e zolfo.

Oltre alle specifiche tecniche, ci sono anche diversi metodi per poter riconoscere il pellet di qualità da quello in uno stato peggiore.

Innanzitutto, la prima regola per riconoscere un pellet in buone condizioni è osservarlo. Un buon pellet dovrebbe essere lucido e liscio, con una lunghezza regolare e dovrebbe essere poco polveroso.

In aggiunta a queste caratteristiche, il pellet può essere controllato utilizzando alcuni criteri, che verranno poi confermati dai rispettivi test:

- 1) L'odore durante la combustione dovrebbe essere il medesimo del legno che brucia.
- 2) Il colore dovrebbe essere simile a quello del legno.
- 3) Il peso specifico deve essere approssimativamente 0,65 Kg/l.
- 4) Il pellet da legno non deve contenere additivi.
- 5) Il contenuto di acqua deve essere inferiore al 12%.
- 6) Il pellet da legno non dovrebbe contenere troppa polvere.

- **Test dell'odore**

Consiste nel controllare che il fumo formatosi durante la combustione abbia lo stesso odore della legna che brucia, in caso contrario il pellet dovrà essere esaminato più attentamente.

- **Test del colore**

Il pellet dovrebbe avere un colore omogeneo e simile a quello del legno, anche se potrebbero riscontrarsi alcune variazioni in relazione al tipo di legno usato e al fatto che includa o meno la corteccia. Il colore esterno potrebbe essere anche marrone

scuro a causa della bruciatura durante il processo di produzione, ma non deve contenere particelle che hanno un colore diverso da quello del legno (vernici, laminati, plastica, etc.).

- **Test del peso specifico**

Il peso specifico del pellet varia in base a quanto esso è stato pressato, un pellet di buona qualità avrà un peso specifico di circa 0,65 kg/l. Utilizzando un contenitore di circa un libro, pesando prima il contenitore pieno di acqua e in seguito il contenitore pieno di pellet, il peso specifico sarà il rapporto fra il peso totale del pellet meno quello del contenitore e il peso totale dell'acqua meno quello del contenitore.

- **Test sugli additivi**

Per valutare una possibile presenza di additivi nel pellet sfruttiamo una sua caratteristica, infatti, in caso di assenza di additivi, il pellet si disintegra quando bagnato. Dunque basterà immergerlo in acqua e vedere la sua reazione.

- **Test sulla presenza di acqua**

Così come per gli additivi, anche per calcolare la percentuale di umidità nel pellet osserviamo se essi si sfaldano o meno. I pellet con un contenuto di umidità superiore al 15% si disintegrano. Attraverso i forni essiccatori è possibile valutare con precisione la percentuale di umidità, anche se generalmente essa sarà bassa (tra il 5 e il 10%), quindi non è necessario controllare il contenuto ad ogni consegna. La percentuale di umidità è definita come la massa di acqua in un campione, espressa come la percentuale della massa della materia umida e può essere determinata nel seguente modo:

- 1) Si pesa circa un kg di pellet segnandosi il valore con un accuratezza di 0.1 gr.
- 2) Si essicca il pellet in un forno alla temperatura costante di 105 °C con un'approssimazione di 2° C, si pesa il pellet e si annota il valore esatto. Si raggiunge un peso costante quando la misura non cambia di più dello 0.1% tra due successive pesate nell'intervallo di un'ora.
- 3) La percentuale di umidità è calcolata usando la seguente formula:

$$\text{Percentuale di umidità} = \frac{\text{campione umido(g)} - \text{campione secco(g)}}{\text{campione umido(g)} \times 100}$$

- **Test sulla durezza**

Il contenuto di polvere è difficile da valutare con precisione, poiché essa si può formare durante il trasporto e durante il maneggiamento del pellet. Per questo motivo, il miglior modo per evitare problemi riguardanti l'eccesso di polvere è chiedere una garanzia al produttore che il pellet consegnato non contenga una

quantità troppo elevata di polvere. Il test sulla durezza ci permette di capire quanto il pellet sia propenso alla formazione di polvere. Questi test, essendo solitamente molto costosi gli strumenti per il calcolo della durezza, vengono affidati ad un laboratorio specializzato nel controllo della qualità del pellet. Il test di durezza è effettuato esponendo un campione di pellet, pulito dalla polvere, ad un processo grezzo in uno strumento apposito (fig.5).

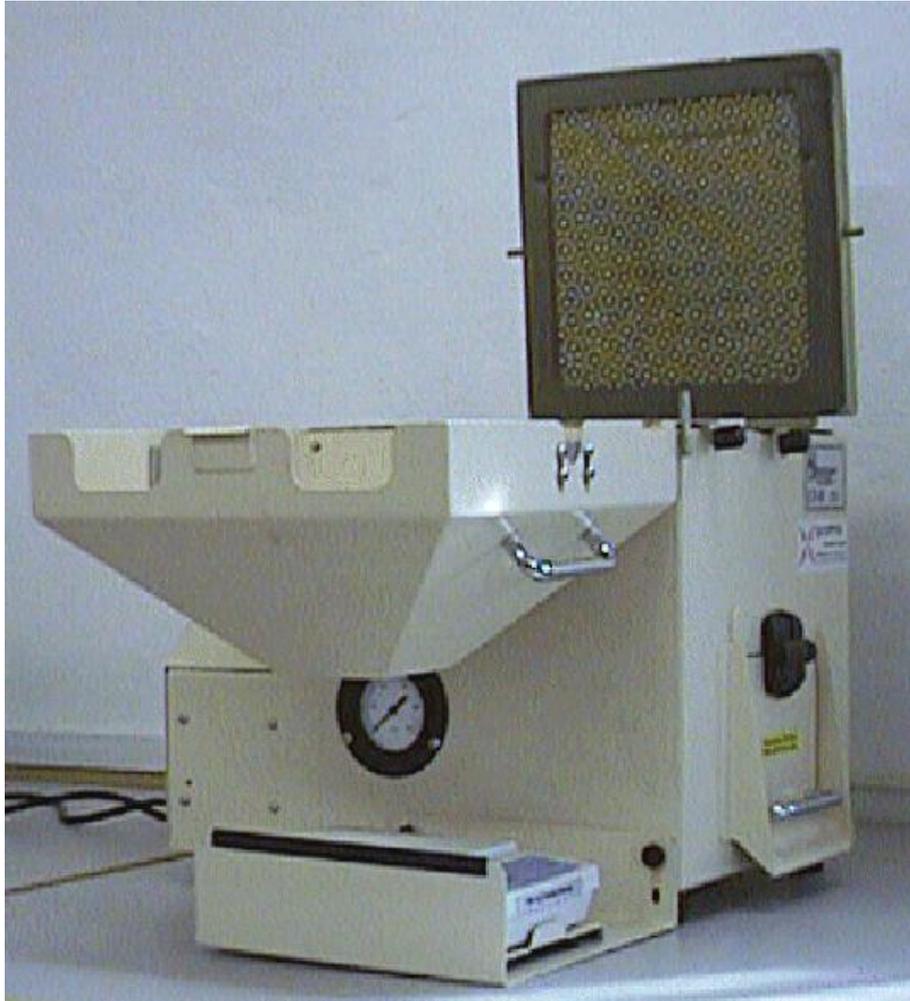


Fig.5 Strumento per la determinazione della durezza del pellet da legno

Il contenuto di polvere è calcolato attraverso la seguente formula:

$$\text{Polvere} = 100 \times \frac{\text{peso del pellet (prima del test)} - \text{peso del pellet (dopo il test)}}{\text{peso del pellet (prima del test)}}$$

### 1.5.3-Standardizzazione del pellet da legno

La standardizzazione è seguita a livello internazionale da ISO (International Organization for Standardization), a livello europeo da CEN (Comitato Europeo di Normazione) e a livello italiano da UNI (Ente italiano di unificazione), supportato dai suoi Enti federati. Nel caso italiano l'Ente di riferimento per definire lo standard del pellet e, in generale, delle biomasse ad uso energetico, è il CTI (Comitato Termotecnico Italiano).

La tedesca Pellet Industry Association (DEPV), insieme al Centro di Ricerca tedesco Biomasse (DBFZ), proPellets Austria e altri partner europei hanno sviluppato un nuovo sistema di certificazione basato sul prEN 14961-2 (norma di prodotto per pellet di legno) e prEN 15234-1 (assicurazione qualità). La certificazione ENplus, entrata in vigore nel 2011, è concepita come un sistema europeo di certificazione per essere sostenuto e distribuito da tutte le associazioni europee del pellet.



“ENplus” è destinato ad essere un marchio di qualità per l'intera catena di fornitura del pellet, garantendo che il prodotto commercializzato soddisfi i requisiti indicati. Esso permetterà di acquistare pellet con elevata qualità e caratteristiche costanti in tutta Europa, garantito da un sistema di certificazione trasparente.

Il pellet può essere venduto come pellet ENplus quando ogni attore della catena di approvvigionamento (produttore di pellet, commerciante e dettagliante) è individualmente certificato. Inoltre, ENplus non riguarda solo i problemi di qualità, ma anche i criteri per la sicurezza e la sostenibilità dell'offerta.

Questa normativa ci permette di definire tre differenti categorie di qualità per i pellet di legno:

- **Classe A1**, che corrisponde alla qualità più elevata, con un contenuto di ceneri massimo dello 0,7%.
- **Classe A2, qualità intermedia, avente un contenuto di ceneri pari a 1,5%.**
- **Classe B**, con un massimo di ceneri pari al 3%. La materia prima utilizzata può essere sia segatura, sia corteccia. Questa classe è destinata a grandi impianti per uso commerciale e/o industriale.

Grazie a questa classificazione, per il consumatore diventa più facile maneggiare il pellet e saper distinguere un materiale di migliore qualità da uno con caratteristiche più scadenti.

## **1.6 Mercato del pellet**

### **1.6.1-Produzione**

In Italia il pellet ha iniziato a diffondersi fra il 1999 e il 2000. Qui, non essendo mai esistita una normativa che regolasse la produzione e il mercato del pellet, come ad esempio in Germania, Austria, Danimarca e altri paesi europei, è presente una situazione molto caotica per quanto riguarda lo sviluppo del mercato. Per questi motivi, non si è in possesso di statistiche ufficiali riportanti dati certi in termini di produzione, importazione ed utilizzo del combustibile.

In Italia sono presenti un centinaio di aziende produttrici, con una collocazione geografica principalmente concentrata al nord Italia, in particolare in Lombardia, in Veneto e in Friuli Venezia Giulia.

Le stufe a pellet, che ormai vantano di quaranta anni di vita per quanto riguarda la loro produzione, stanno occupando un posto sempre più rilevante nel mercato del riscaldamento a biomasse. La crescente preoccupazione per l'inquinamento globale, oltre ai continui aumenti di prezzo del petrolio e del metano, ci spinge a sfruttare maggiormente di combustibili rinnovabili, determinando così il successo di queste caldaie. Infatti il mercato del pellet è quello che registra il tasso di crescita più elevato, anche se ancora è lontano dalla sua massima espansione possibile.

Soprattutto a causa della mancanza di una standardizzazione, il mercato del pellet in Italia subisce dei forti rallentamenti, che limitano l'utilizzo del pellet al solo consumo domestico.

Nel 2012 la produzione (e il consumo) mondiale del pellet si è aggirata intorno ai 25 milioni di tonnellate, con una previsione di 60 milioni di tonnellate nel 2020, di fatto il commercio internazionale di pellet è in continuo aumento ed è destinato principalmente agli impianti di produzione energetica.

Russia, Stati Uniti, Canada, Lettonia e Lituania risultano essere i maggiori esportatori di pellet a livello mondiale (fig.6). A livello europeo, invece, i primi quattro paesi produttori sono Germania, Svezia, Lituania e Lettonia, i quali producono il 40% del pellet totale in Europa.

## Esportatori

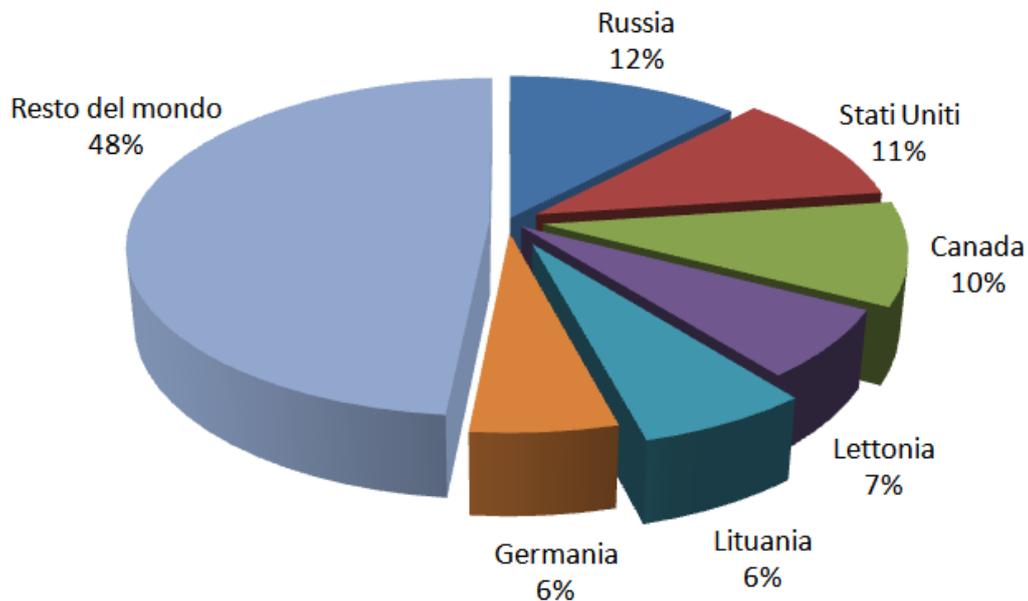


Fig.6 Diagramma degli esportatori

L'Italia si posiziona tra i primi paesi importatori e consumatori di pellet in Europa. Attorno al 2012, il consumo di pellet nell'unione europea si aggirava attorno ai 17,6 milioni di tonnellate, con una crescita media annua che si aggira sul milione di tonnellate. I primi quattro paesi consumatori in europa sono Svezia, Germania, Danimarca e Italia, i quali adoperano il 47% del pellet utilizzato nel mercato europeo.

Per quanto riguarda gli importatori, invece, quelli di maggior rilievo sono Regno Unito, Svezia, Italia e Paesi Bassi (fig. 7).

La domanda di pellet in Europa è destinata a crescere in funzione della normativa favorevole al suo utilizzo e della disponibilità di incentivi.

La produzione italiana si è assestata, nel 2012, sulle 550 mila tonnellate con una crescita del 5,8% rispetto all'anno precedente. A causa di questa grande richiesta, essa non riesce ad essere in grado di soddisfare autonomamente la domanda con un adeguato quantitativo di produzione di pellet, dunque sarà costretta ad importare dall'estero grandi quantità di combustibile, specialmente da Austria e Germania.

## Importatori

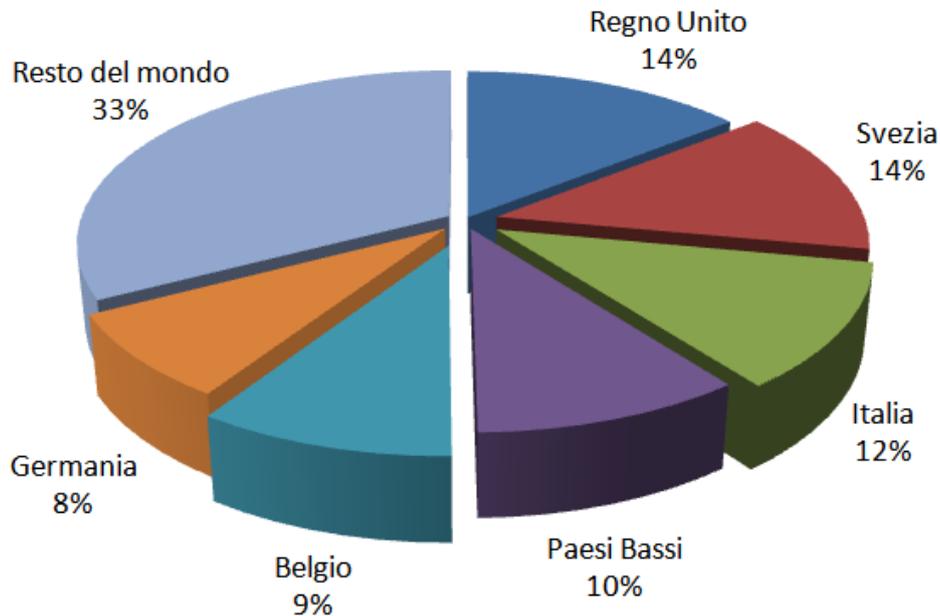


Fig. 7 Diagramma degli importatori

### 1.6.2-Prezzo del prodotto

Negli ultimi anni il prezzo del pellet importato in Europa ha subito un aumento, infatti dal 2009 dove costava 0,125 euro al kg, già nel 2012 costava 0,152 euro al kg. Per il mese di Maggio 2014, il rilevamento del prezzo da parte di AIEL (Associazione Italiana Energie Agroforestali) ha dato un prezzo medio di 240 euro per tonnellata di pellet, che equivalgono a 0,240 euro al kg.

Questi prezzi vengono aggiornati mensilmente ed indicano un valore medio, valutato sulla base di un rilevamento mensile presso fornitori di pellet della regione. Grazie alle brevi distanze di provenienza del pellet, il suo prezzo è soggetto solamente di piccole oscillazioni, senza dipendere dagli avvenimenti geopolitici. Infatti, come già detto in precedenza, il prezzo del pellet è soggetto a minori variazioni, rispetto a quello del gasolio o del metano.

Derivando da materiali rinnovabili il suo prezzo riesce a mantenersi limitato, anche se, in futuro, un possibile impiego di materie prime più costose potrebbe causarne un aumento di prezzo, infatti il prezzo medio del pellet dipende fortemente dalla materia prima da cui è formato.

## 1.7 Potere Calorifico

Il potere calorifico è la quantità di calore che si ricava nella combustione completa dall'unità di peso o di volume di combustibile, e si misura in kWh/kg. Esso viene fortemente influenzato dall'umidità del combustibile, poiché, nella fase iniziale, l'energia viene spesa per far evaporare l'acqua. Per questo motivo è di grandissima importanza il calcolo della quantità di acqua presente nel pellet.

Noi andremo quindi a calcolare il potere calorifico inferiore, che tiene conto di queste diminuzioni di calore ottenuto a causa dell'umidità.

Il pellet possiede un potere calorifico di circa 4,8 kWh/kg. Quello del gasolio è pari a 9,6 kWh/dm<sup>3</sup> e quello del metano è 9,5 kWh/m<sup>3</sup>.



## Capitolo 2: Caldaia a Pellet

### 2.1 Introduzione della caldaia a pellet



La storia della stufa a pellet è chiaramente preceduta da quella della stufa a legna. Esse possono essere paragonate erroneamente a normali caldaie o camini da incasso, ma in realtà si tratta di una nuova tecnologia molto avanzata, che ha trovato impiego negli ultimi decenni.

I primi cenni della nascita di questo tipo di stufe li riscontriamo all'inizio del XX secolo, quando vennero costruiti degli esemplari di stufe e forni a legna che utilizzavano segatura essiccata e scarto di legno per produrre riscaldamento. L'utilizzo di questo tipo di combustibile diventa sempre più presente durante i periodi di crisi economica, dove si cerca di limitare lo spreco di risorse. Pur avendo avuto dei periodi di alti e bassi, questo tipo di tecnologia non ha mai smesso di esistere ed essere perfezionata, fino alla nascita vera e propria della caldaia a pellet in Canada.

Dunque questa tecnologia nasce per far fronte ai crescenti sprechi di materie di scarto e per trovare una soluzione alternativa ai vari combustibili di maggiore popolarità, i cui costi risultano in continuo aumento (esempio: petrolio, metano). Le caldaie a pellet risultano molto comode per il riscaldamento domestico, ma anche per gli ambienti lavorativi. Con l'aiuto dell'elettronica, la quale risulta indispensabile, esse si dimostrano molto affidabili e versatili per quanto riguarda il

controllo della temperatura, la quale potrà essere sorvegliata con precisione grazie alla possibilità di dosare a piacimento il combustibile.

L'accensione è automatica e supervisionata da sensori, mentre la temperatura può essere regolata tramite normali termostati. La manutenzione necessaria per questi impianti di riscaldamento è poca.

Le caldaie a pellet mettono a disposizione una capacità di riscaldamento da 50 mq a 200 mq, con un'autonomia variabile da 15 fino a 45 ore in base al modello scelto.

## 2.2 Funzionamento della caldaia a pellet

In questo capitolo verrà descritto il funzionamento della caldaia a pellet, a partire dal passaggio del pellet attraverso la coclea per dar vita alla combustione, fino all'espulsione dei fumi. In seguito, nei capitoli successivi, verrà trattato distintamente lo svolgimento della combustione e anche il meccanismo di ogni singolo pezzo che compone l'impianto.

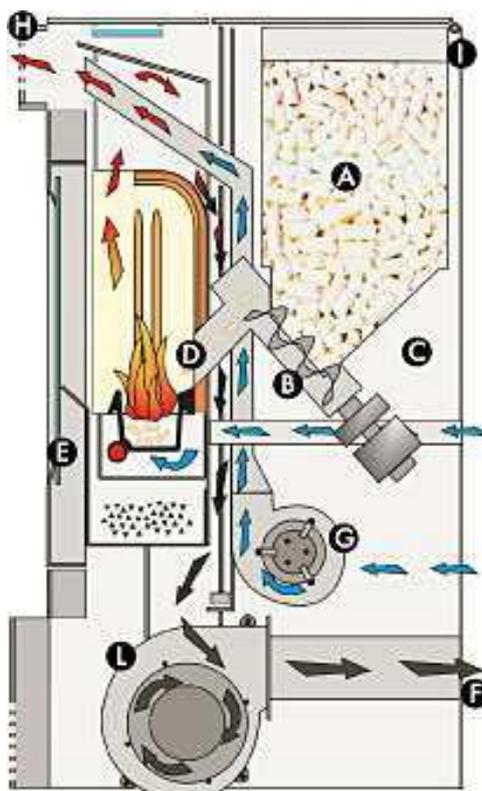


Fig.8 Schema di funzionamento della caldaia a pellet

- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| (A) Serbatoio combustibile pellet     | (B) Coclea alimentazione combustibile      |
| (C) Motoriduttore                     | (D) Camera di combustione                  |
| (E) Resistore                         | (F) Bocchettone uscita fumi                |
| (G) Ventilatore aria di riscaldamento | (H) Griglia di uscita aria calda           |
| (I) Pannello di controllo             | (L) Aspiratore centrifugo per scarico fumi |

La (fig.8) mostra il funzionamento della caldaia a pellet attraverso uno schema complessivo. Oltre all'insieme dei membri, è descritto attraverso delle frecce il percorso effettuato dai fumi di scarico e dall'aria adibita al riscaldamento dell'ambiente circostante, differenziando in rosso e in blu se essi si trovano ad alta o bassa temperatura.

Per meglio comprendere il funzionamento dei medio-piccoli apparecchi a pellet presenti sul mercato è necessario dare un piccolo sguardo ai principi meccanico-

fisici sui quali si basano. Come si vede dallo schema (fig.9) esistono sostanzialmente tre diversi tipi di sistemi di alimentazione del pellet nella camera di combustione e tutti prevedono l'esistenza di un piccolo serbatoio integrato nella stufa/caldaia.

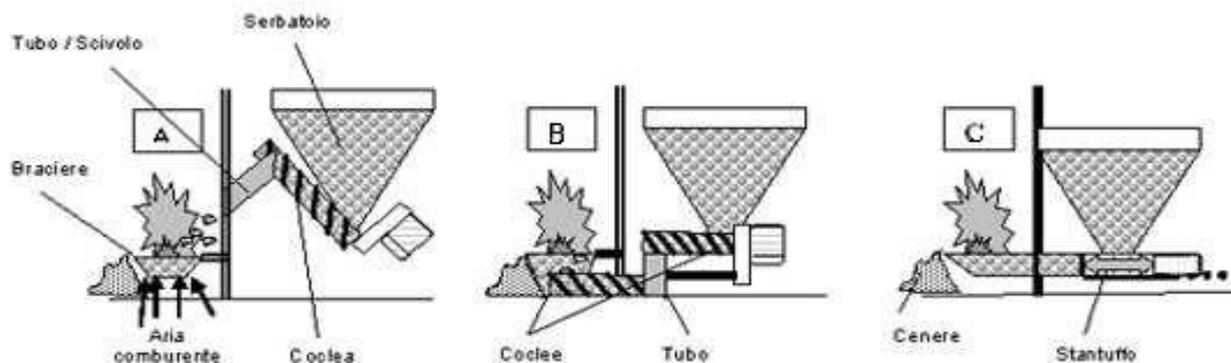


Fig.9 Tipi di sistemi di alimentazione

L'alimentatore a coclea inclinata a 40-45°, ovvero quello di tipo A, è il sistema maggiormente usato, soprattutto in questa parte d'Europa. Questa tipologia provvede al prelievo e al dosaggio stesso del pellet portandolo in caduta libera all'interno di un tubo, dove il combustibile scivolerà per gravità fino all'interno della camera di combustione e quindi nel braciere. Grazie a questo accorgimento, il serbatoio e gli organi meccanici sono isolati alla perfezione dalle alte temperature di combustione poiché il tubo di scivolamento non contiene ostruzione alcuna e rimane vuoto la maggior parte del tempo. Il braciere dove avviene la combustione è dotato di appositi fori sul fondo che consentono il passaggio dell'aria comburente ed è proprio questo il lato negativo di tale sistema utilizzato nelle comuni stufe a pellet: pellet ad elevato contenuto ceneri di scarsa qualità, mancanza di regolare pulizia dei fori, portano ad un rapido declino delle prestazioni di combustione e compromettono l'affidabilità dell'apparecchio. Va compreso che rimane comunque uno dei sistemi probabilmente più compatti e sicuri e, dal momento che è installato sulla maggior parte di stufe domestiche, la pulizia periodica risulta sufficientemente comoda e rapida.

La tipologia B è utilizzata quando si parla di apparecchi di più grandi dimensioni e quando si deve maneggiare del combustibile di scarsa qualità. Essa era diffusa largamente in passato quando queste caldaie non si erano ancora diffuse nell'ambito domestico. La differenza principale sta nel fatto che esistono due coclee di cui una è direttamente inserita all'interno del braciere di combustione. In pratica il pellet utilizzato nel braciere è alimentato dal basso e non in caduta dall'alto, inoltre l'alimentazione è forzata. In questo modo si ottiene il vantaggio di espellere il materiale mal-combusto e cenere con la pressione esercitata dal nuovo combustibile in arrivo. Ciò fa sì che l'apparecchio sia meno sensibile alle variazioni di qualità del combustibile in quanto la cenere, a differenza del sistema precedente,

non viene espulsa dalla sola aria comburente ma da un azione soprattutto meccanica. Gli svantaggi sono una più difficile distribuzione dell'ossigeno comburente necessario in un profondo braciere e la presenza di un organo meccanico come la coclea finale che rimane costantemente a contatto per la sua punta con temperature molto elevate: ciò comporta sicuramente maggior usura dei metalli di questa parte e quindi minor durata.

Infine abbiamo il sistema di alimentazione C, nel quale la differenza principale sta nell'utilizzo di uno stantuffo in luogo di coclee. Il combustibile viene letteralmente spinto dalla camera sottostante al serbatoio dentro un canale chiuso ai quattro lati che sbuca nella camera di combustione. A causa della sua complessità e del suo costo elevato di realizzazione non è un sistema molto diffuso. La sua complessità deriva dalla necessità di essere ben progettato per evitare ritorni di fiamma per eventuale polvere di segatura residua lasciata dall'attrito stesso. I vantaggi sono legati alla sua capacità di maneggiare combustibili eterogenei in pezzatura e soprattutto con residui ceneri molto elevati.

Tutte le stufe sono dotate di grandi serbatoi che garantiscono un'autonomia che può variare dalle 15 fino alle 45 ore, dai quali il combustibile viene prelevato in automatico e trasferito alla camera di combustione. Il suo dosaggio, insieme a quello dell'aria comburente e alla velocità d'espulsione dei fumi, che dipende dagli organi di ventilazione, sono regolati in continuazione attraverso il pannello di controllo e grazie ad un microprocessore che calcola la quantità necessaria di combustibile per raggiungere la temperatura ideale selezionata dall'utente. Una volta raggiunta la temperatura impostata la stufa si porta automaticamente in regime minimo; appena la temperatura ambiente ridiscenderà al di sotto della soglia selezionata essa tornerà a dare piena potenza. Il suo comportamento può essere assimilato a quello di una caldaia a metano o gasolio con il suo termostato ambiente a parete.

L'accensione delle stufe a pellet si effettua semplicemente premendo un tasto poiché sono dotate di una piccola resistenza elettrica, o candeletta, che provvede a portare il pellet alla temperatura di innesco in breve tempo. Questa candeletta si disinserisce dopo pochi minuti, lasciando accesa la stufa insieme a tutte le sue funzioni di ventilazione che consumano circa quanto una normale lampadina. Pur essendo indispensabile il sostegno dell'elettronica, i consumi elettrici sono praticamente trascurabili. L'economia di utilizzo è quindi enorme ed i risparmi che offre il riscaldamento con una stufa a pellet ad aria forzata vanno dal 50% ad oltre il 70% rispetto ai normali combustibili liquidi e gassosi.

Il sistema di ventilazione presente nella stufa ci permette di convogliare l'aria comburente nel bruciatore e contemporaneamente spinge i fumi della combustione nell'apposito scarico. Attraverso uno scambiatore di calore, i fumi caldi cedono parte del calore parte del loro calore all'aria ambiente. La scelta del tipo di scambiatore risulta molto importante perché influenza il rendimento generale della macchina. La quantità di potenza termica trasmessa viene indicata, rispetto al caso

massimo, con l'indice di scambiatore, il quale è dato dal rapporto tra la potenza termica trasmessa e la massima potenza termica trasmettibile a superficie di scambio illimitata.

L'aria riscaldata attraverso lo scambiatore esce attraverso la griglia posta alla sommità della caldaia. I due flussi d'aria (fumi e aria calda) sono ovviamente separati per evitare che parte dei fumi possa mescolarsi all'aria calda e uscire nell'ambiente circostante.

Per quanto riguarda la pulizia ordinaria possiamo dire che è molto limitata rispetto a quella relativa alla stufa a legna. Il pellet di ottima qualità ha una bassissima quantità di residui di cenere, inoltre in alcuni tipi di stufe sono inseriti dei grossi cassettei adibiti alla raccolta della cenere che possono essere sfilati e svuotati con facilità anche solo 3-4 volte all'anno.

## **2.3 Processo di combustione del pellet**

### **2.3.1-Fasi della combustione**

Descriviamo ora il procedimento complessivo della combustione del pellet, il quale può essere suddiviso in circa quattro fasi consecutive:

1. Essiccazione ed evaporazione dell'acqua
2. Gassificazione (pirolisi)
3. Combustione dei gas
4. Formazione del carbone

Durante questa evoluzione circa l'80% dell'energia è rilasciata sotto forma di gas, mentre il restante 20% sotto forma di carbone residuo.

#### **1. Essiccamento**

Quando una porzione del pellet è arrivata nella camera di combustione, dove quest'ultima sta già avendo luogo, il calore che si sprigiona farà evaporare l'acqua contenuta nel pellet. Questa evaporazione richiede calore. Il calore viene fornito dalla combustione stessa che è già in atto. Dato che il contenuto di acqua nel pellet è piuttosto bassa, questa fase si esaurirà velocemente e si passerà alla fase di gassificazione.

#### **2. Gassificazione (pirolisi)**

Con un ulteriore riscaldamento il pellet comincia ad emettere gas. A circa 270° la gassificazione produrrà il calore necessario a continuare il processo. Vengono prodotti, fra gli altri idrocarburi, monossido di carbonio CO, idrogeno H<sub>2</sub> e metano CH<sub>4</sub>.

#### **3. Combustione dei gas**

Se è presente una quantità sufficiente di ossigeno, i gas si infiammano quando raggiungono la loro temperatura di accensione. L'idrogeno reagirà con l'ossigeno e formerà acqua, mentre il carbonio degli idrocarburi ed il monossido di carbonio bruceranno producendo diossido di carbonio e vapore acqueo. Se la temperatura non è alta abbastanza o non c'è abbastanza ossigeno per alimentare la combustione, i gas si vedranno come fumo, dal quale si sprigioneranno delle fiamme nel caso in cui la temperatura o l'ingresso di ossigeno sia incrementato.

#### **4. Formazione del carbone**

Quando il legno avrà sprigionato tutti i gas, le rimanenti particelle di carbone si spengeranno, aiutate dalla temperatura, dall'aria primaria e dalla turbolenza. Pur essendoci i tizzoni ardenti, ci sarà anche una totale assenza di fiamme. Le rimanenti ceneri residue consistono principalmente in minerali incombusti.

### **2.3.2-Impatto del combustibile**

Le caratteristiche del combustibile hanno una grande importanza nella determinazione dell'impianto da utilizzare, infatti scegliendo una caldaia inadeguata per il pellet da utilizzare potremmo incorrere in problemi e malfunzionamenti.

#### **Contenuto d'acqua**

Utilizzando legno secco, il quale possiede un alto potere calorifico, il calore della combustione deve essere allontanato dalla camera di combustione per evitare che le alte temperature danneggino l'impianto. Il legno umido, al contrario, ha un più basso potere calorifico e la camera di combustione deve essere isolata per trattenere il calore e permettere al processo di combustione di andare avanti. Questo viene tipicamente ottenuto rivestendo la camera di combustione con piastrelle isolanti e refrattarie.

La caldaia sarà quindi progettata per bruciare legno con una determinata percentuale di acqua. Per questo motivo, altri combustibili non dovrebbero essere bruciati in impianti adibiti alla combustione con pellet da legno.

#### **Cenere**

Nel pellet sono contenute diverse impurità costituite da componenti non combustibili, ovvero la cenere, anche se in percentuali molto ridotte, spesso attorno allo 0,5%. La cenere è costituita parzialmente da minerali non combustibili della biomassa e parzialmente da materia minerale, sabbia e sporco che possono essere nella corteccia oppure assorbiti dal suolo della foresta.

Il cippato da legna e la legna da ardere hanno un contenuto di ceneri del 0,5-3%, mentre la paglia può arrivare a contenerne l'8%.

La percentuale di cenere è importante nella determinazione di un combustibile, poiché costituisce una parte del carburante che non può essere usata dal momento che non produce calore, ma anzi ne richiede per la sua formazione.

#### **Sali**

Il pellet contiene anche sali che hanno un'influenza nel processo di combustione. Questi sali sono principalmente potassio e parzialmente sodio, i quali danno una cenere viscosa, che con più probabilità va a ricoprire le superfici della caldaia.

Quando la cenere si è scaldata a sufficienza, le particelle di cenere divengono soffici e viscosi. La temperatura a cui questo avviene varia a seconda del tipo di biocarburante. Per la maggior parte dei carburanti da legno, incluso il pellet, la temperatura di ammorbidimento è approssimativamente di 1100° C e, se le particelle di cenere nella canna fumaria si scaldano a più di questa temperatura, si attaccano alle pareti della caldaia, creando uno strato isolante che riduce la capacità di trasferire il calore all'acqua.

Conseguentemente è richiesta una frequente pulizia delle tubature della caldaia. Con un ulteriore aumento di temperatura le ceneri fonderanno completamente creando delle incrostazioni molto difficili da rimuovere.

Oltre a questi elementi il pellet contiene un 80% di elementi volatili, ciò vuol dire che, durante la combustione, rilascerà l'80% del suo peso in gas.

### **2.3.3-Tecnica di combustione**

Un'effettiva e completa combustione è necessaria per utilizzare il pellet realmente come combustibile ecologico. Oltre ad assicurarsi di avere un'alta efficienza energetica, bisogna fare attenzione che nel processo di combustione non vengano prodotti componenti nocivi per l'ambiente.

Per mantenere la combustione è necessario riscontrare certe condizioni fondamentali:

- L'effettivo mescolamento di combustibile ed ossigeno (aria) per assicurare un certo rapporto.
- La presenza di un irraggiamento del calore dal combustibile nella camera di combustione al nuovo combustibile, affinché il processo vada avanti.

È importante capire che il gas brucia sotto forma di fiamma mentre le particelle solide bruciano senza fiamma e che durante la combustione del legno l'80% dell'energia è rilasciata come gas, mentre la parte rimanente è costituita da carbone e cenere.

Durante il mescolamento del combustibile e dell'aria è importante arrivare ad un buon grado di contatto tra l'ossigeno nell'aria ed i componenti infiammabili del legno. Migliore è il contatto, migliore e più veloce sarà la combustione.

Per migliorare il mescolamento è necessario tritare il pellet in particelle di taglia molto piccola (come farina), così facendo queste particelle fini seguiranno il flusso dell'aria. In questa maniera si può ottenere una buona miscela con una combustione che assomiglia a quella di fiamma di un gas o di gasolio.

In ogni caso la tecnologia per la combustione del pellet risulta più complessa rispetto a quella per altri combustibili come per il gas o il gasolio.

## 2.3.4-Qualità della combustione

Il combustibile influenza particolarmente la qualità della combustione. In una combustione completa vengono prodotti soltanto anidride carbonica ed acqua. Una sbagliata combinazione di combustibile, tipo di impianto o fornitura di aria può causare il cattivo utilizzo del carburante con conseguenti ed indesiderati effetti ambientali.

Perché avvenga la combustione sono richieste quattro condizioni:

- Alta temperatura
- Una quantità sovrabbondante di ossigeno
- Tempo di mantenimento
- Mescolamento

Così facendo riusciamo a mantenere bassa l'emissione di monossido di carbonio CO, di idrocarburi e idrocarburi poliaromatici, oltre ad un basso contenuto di carbonio nelle ceneri incombuste. Purtroppo, allo stesso tempo, queste condizioni sono la causa principale della formazione degli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), per questo motivo dovrebbero essere usate tecnologie che usano sistemi di riduzione di queste emissioni.

I gas di scarico, oltre a CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, conterranno aria ed, in quantità più o meno elevate, prodotti di combustione indesiderati come CO, idrocarburi, PAH, NO<sub>x</sub> e così via.

### Aria di combustione

Una giusta alimentazione di aria è importante, infatti se non si alimenta l'impianto con aria sufficiente alcuni dei gas infiammabili non avranno abbastanza ossigeno per bruciare ed i gas di scarico lasceranno il camino con il monossido di carbonio CO. Se al contrario c'è troppa aria, il riscaldamento dell'aria in eccesso richiederà altro calore ed i gas di scarico lasceranno il camino ad una temperatura troppo alta. Un grande eccesso di aria può anche causare il raffreddamento dei gas di scarico, con la conseguenza che il carburante non può bruciare a sufficienza.

Un importante ruolo lo ricopre anche il mescolamento dell'aria con i gas. Questo si ottiene fornendo parte dell'aria in un primo tempo nella zona di combustione (aria primaria) ed in parte successivamente, dove l'aria si mescola con i gas di scarico (aria secondaria). Il mescolamento deve avvenire prima che i gas si raffreddino scorrendo sulle pareti della camera di combustione o diluendosi per l'eccesso dell'aria.

Nella maggior parte degli impianti di riscaldamento che utilizzano il pellet, l'alimentazione di aria per la combustione avviene artificialmente, sia con un aspiratore, sia con una ventola per i gas di scarico.

L'alimentazione di aria e la sua distribuzione tra primaria e secondaria sono controllate sia manualmente che attraverso differenti tipi di controlli automatici. Il

più avanzato controllo di combustione dell'aria avviene con l'ausilio di una sonda lambda nel condotto dei gas di scarico, la quale registra l'eccesso di ossigeno nei gas di scarico e regola di conseguenza l'alimentazione di aria.

### **Temperatura di combustione**

Così come l'alimentazione di aria, anche la temperatura di combustione assume un ruolo fondamentale. Essa deve aggirarsi attorno ai 900-1000 °C e viene mantenuta tale grazie ad una corretta progettazione della camera di combustione in base alla quantità di pellet incendiato e grazie al controllo dell'alimentazione dell'aria.

Con una temperatura di combustione troppo bassa c'è il rischio che alcuni degli idrocarburi del legno passino incombusti attraverso il camino. Dal momento che essi sono sia dannosi per la salute, sia all'origine di odori fastidiosi, è importante evitare che vengano emessi. Una temperatura dei fumi significativamente bassa può anche portare ad effetti corrosivi nella caldaia e nei condotti dei gas di scarico.

## 2.4 Componenti della caldaia a pellet

### Serbatoio

Il serbatoio del pellet, o tramoggia, è costruito in acciaio ed è a forma di tronco di piramide o di cono capovolto, con un'apertura sul fondo per far scendere il pellet nella coclea e una alla sommità per permetterne il riempimento. La capacità del serbatoio determina l'autonomia della stufa e può variare da 15 a oltre 60 chilogrammi a seconda del modello.

### Coclea

La vite idraulica di Archimede, detta anche coclea (fig.10), è un dispositivo elementare in acciaio usato per sollevare un liquido o un materiale granulare. Tale macchina è costituita da una grossa vite posta all'interno di un tubo e, ponendo in rotazione la vite, ogni passo raccoglie un certo quantitativo di combustibile, che viene sollevato lungo la spirale fino ad uscire dalla parte superiore, dove viene scaricata per finire nella camera di combustione. Nelle stufe di buona costruzione la coclea pesca il combustibile qualche centimetro sopra il fondo del serbatoio per evitare possibili inconvenienti con la segatura, che in caso di umidità potrebbe rischiare di tappare la coclea bloccandola.

L'energia necessaria alla rotazione è fornita da un motoriduttore. La coclea funziona come perfetto meccanismo dosatore, infatti, variando la velocità e la frequenza del suo movimento, si può calcolare con sufficiente precisione quanto combustibile viene fornito al braciere per ogni unità di tempo. Questo dato ci servirà per poter regolare poi tutti gli altri parametri di funzionamento.

La ragione per la quale il combustibile viene prelevato tramite questo dispositivo, invece che essere lasciato cadere direttamente nel braciere dall'alto, sta nel fatto che tale sistema permette di isolare la camera di combustione dal serbatoio, evitando ritorni di fiamma e conseguenti incendi.

Le stufe che invece utilizzano la coclea orizzontale, pur essendo poche, hanno il vantaggio di spingere fuori la cenere dal bruciatore con lo stesso movimento di caricamento del pellet, ma corrono il rischio di far bloccare il pistone a causa di alcuni problemi di tolleranze dovuti agli sbalzi termici.



Fig.10 Coclee

## **Motoriduttore**

Il motoriduttore è il sistema di ingranaggi a ruote dentate che trasmette il movimento alla coclea alla quale è collegato. Esso è posizionato, insieme alla coclea, nella parte inferiore del serbatoio. Il movimento trasmesso avviene ad intervalli regolari, modificabili mediante la scheda di comando, che consente di variare la quantità di combustibile che viene introdotto di volta in volta nella camera di combustione, andando così a lavorare sul potere calorifico della caldaia.

Esistono vari modelli di motoriduttore, dai più economici ai più costosi. Quelli di qualità maggiore sono realizzati con ingranaggi interni in alluminio pressofuso, mentre quelli di scarsa qualità hanno ingranaggi in teflon e tendono a rompersi molto più facilmente.

## **Camera di combustione**

Le pareti della camera di combustione solitamente possono essere in ghisa o in vermiculite. La vermiculite è un minerale di notevole importanza industriale. Utilizzato da solo o mescolato a sostanze cementizie, nell'edilizia è usato come isolante termico, ha quindi il vantaggio di trattenere molto meglio il calore all'interno della camera favorendo un miglior riscaldamento dello

scambiatore termico. Esso risulta molto fragile e se sottoposto a piccoli urti può scheggiarsi, però può comunque essere riparato facilmente e a basso costo.

La ghisa è stata per lungo tempo il materiale preferito per le stufe grazie alla sua resistenza al surriscaldamento e all'uso prolungato. Le stufe in ghisa conservano il calore più a lungo di quelle in acciaio, anche se sono più lente ad andare in temperatura. Anche esse sono a rischio di fratture, soprattutto in caso di cattive fusioni, se soggette ad improvvisi sbalzi di temperatura, o se colpite da un urto. La ghisa, pur trattenendo una minor quantità di calore rispetto alle pareti a base di vermiculite, possiede un costo minore e una maggiore resistenza agli urti.

## **Braciere**

È il piccolo contenitore all'interno del quale viene fatto cadere il pellet e dove quest'ultimo brucia. Può essere realizzato in ghisa o in acciaio e possiede il fondo forato per permettere l'accesso dell'aria comburente.

La ghisa è una lega ferro-carbonio a tenore di carbonio relativamente alto. Rispetto all'acciaio presenta maggiore durezza e quindi resistenza all'abrasione, ma una maggiore fragilità. Avendo un coefficiente di dilatazione termica più basso dell'acciaio è adatta per accoppiamenti dove vi siano variazioni di temperatura. La resistenza meccanica è paragonabile all'acciaio ma la ghisa è molto più economica. In pratica un crogiolo d'acciaio dura molto più a lungo ma costa più o meno il doppio di uno in ghisa (140 € contro 70 €). Ecco perché la maggior parte delle aziende produttrici per contenere il costo finale della stufa prediligono i bracieri in ghisa. Le stufe più recenti contengono un crogiolo con una piastrina d'acciaio (fig.11) agganciata posteriormente (dalla parte di caduta dei pellet) per convogliare il combustibile nella parte anteriore lasciando molta aria così dietro alla piastra favorendo un'accensione più immediata, evitando il rischio di soffocamento della fiamma o un'accensione fulminea con botto annesso.



Fig.11 Braciere tradizionale

## Cassetto della cenere

Il cassetto della cenere di solito si trova all'interno della camera di combustione e va svuotato regolarmente. Esso facilita notevolmente la pulizia della stufa raccogliendo la cenere prodotta dalla combustione. Negli impianti più piccoli la cenere viene raccolta manualmente, mentre in quelli più grandi è raccolta in maniera automatica.

## Candeletta di accensione

La resistenza a candeletta (fig.12), situata sotto il braciere, ha la funzione di scaldare l'aria comburente (200 °C) aspirata dal ventilatore per l'espulsione dei fumi ed incanalata all'interno del braciere. Questa aria ha modo di incendiare i primi trucioli caduti nel braciere durante la fase di accensione per poi trasmettere la fiamma a quelli successivi. Dopo 15 minuti (salvo diversa impostazione da parte dell'utente) avviene lo spegnimento automatico della candeletta, pilotato da un temporizzatore incluso nella scheda di controllo.



Fig.12 Candeletta di accensione

## Scambiatore di calore

Lo scambiatore di calore è un'apparecchiatura in cui si realizza lo scambio di energia termica tra due fluidi aventi temperature diverse. Nel nostro caso i fumi scambiano calore con l'aria che dovrà poi scaldare l'ambiente attraverso questo scambiatore di calore. Può essere prodotto in ghisa od in acciaio. La maggior parte delle aziende inseriscono scambiatori in ghisa, i quali, oltre ad essere economici, presentano ottima durezza, resistenza meccanica e all'abrasione e minima dilatazione termica. Alcuni produttori propongono scambiatori in acciaio inox che alle qualità della ghisa aggiunge anche resistenza alla corrosione, minor fragilità e maggior velocità nel raggiungere alte temperature. Per migliorare lo scambio termico tra i due fluidi saranno inserite delle alettature per aumentare la superficie di scambio e quindi la quantità di energia termica scambiata.

## Ventilatore dell'aria di riscaldamento (fig.13)

È situato nella parte inferiore della stufa. L'aria fresca viene aspirata dall'ambiente, viene incanalata e fatta passare attraverso lo scambiatore di calore per poi essere

nuovamente immessa nella stanza ad una temperatura maggiore. Questo ventilatore è la principale sorgente di rumore della stufa, anzi, in una buona stufa dovrebbe essere l'unica sorgente di rumore ad eccezione di quello provocato dalla caduta dei trucioli nel braciere. Per abbassare al minimo il fastidioso ronzio sarebbe indicato montare un ventilatore centrifugo al posto di quello tangenziale, il primo infatti raggiunge mediamente i 28 decibel contro i 44 prodotti dal secondo. Da segnalare però che il ventilatore centrifugo, al momento non è disponibile su stufe che sviluppano meno di 10 kW. Un dettaglio non trascurabile è il posizionamento dei fori di uscita dell'aria calda. La quasi totalità delle stufe espellono l'aria calda frontalmente, ossia nella parte subito sopra lo sportello della camera di combustione. Le persone sedute non troppo distante dall'impianto potrebbero essere infastidite dal flusso d'aria diretto pressappoco all'altezza del viso. Nel caso progettato da me non andrò ad utilizzare un ventilatore per aspirare l'aria dall'esterno, ma l'aria per il riscaldamento circolerà naturalmente all'interno della stufa.

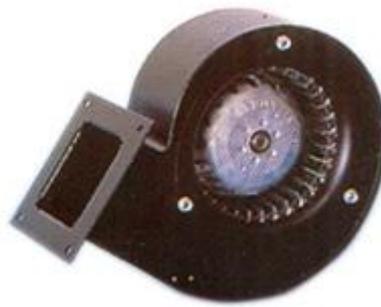


Fig.13 Ventilatore centrifugo

## **Ventilatore per l'espulsione dei fumi**

Il ventilatore per l'espulsione dei fumi è posizionato nella parte posteriore della stufa. Aspira l'aria comburente attraverso un tubo di diametro compreso tra i 42 e i 50 mm situato sul retro della stufa, facendole attraversare il crogiolo e la camera di combustione. Da qui i fumi vengono raccolti e scaricati all'esterno attraverso il tubo di diametro 60/80 mm situato sul retro della stufa. Durante questo percorso i fumi caldi cedono parte del loro calore allo scambiatore di calore. Questo calore viene sfruttato dal ventilatore di induzione facendovi passare sopra aria fredda proveniente dall'ambiente e facendola uscire calda dalle alette superiori della stufa. Tutti gli aspiratori fumi sono centrifughi e la loro portata non viene quasi mai dichiarata dal produttore perché essendo modulanti è alquanto improbabile che lavorino a piena potenza.

## Sportello e vetro

Il telaio dello sportello solitamente è in ghisa refrattaria, mentre il vetro è un vetro ceramico (fig.14), caratterizzato da un bassissimo coefficiente di dilatazione termica e dall'altissima resistenza alle temperature (fino a 750 °C). Alcuni produttori prevedono nell'assortimento stufe con sistema d'aria secondaria, cioè aria usata per l'ottimizzazione della combustione dei gas di scarico, riducendo al minimo l'emissione di CO<sub>2</sub>. Questo flusso d'aria lambisce costantemente il vetro dello sportello e contribuisce a mantenerne la superficie pulita (fino a 50 ore).

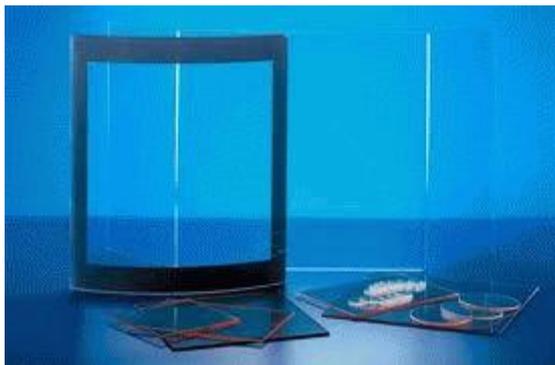


Fig.14 Vetro ceramico

## Guarnizioni

Sono realizzate in fibra di ceramica, hanno grande resistenza meccanica, eccellente isolamento termico, trattengono poco il calore, ottima resistenza agli shock termici, buona resistenza dielettrica ed eccellente resistenza alla corrosione. La fibra ceramica può resistere a temperature fino a 1200/1400 °C. Per aumentarne la durata è consigliato pulire il vetro con un panno già imbevuto di detergente, perché quest'ultimo se spruzzato direttamente sulle guarnizioni potrebbe rovinarle.

## Centralina elettronica

Per ottimizzare il rateo di combustione e l'efficienza della stufa, occorre che l'afflusso di aria comburente, la velocità di espulsione dei fumi e quella dell'aria di convezione varino in accordo col variare della quantità di combustibile fornita al braciere. Queste regolazioni, piuttosto complesse, assieme all'accensione e spegnimento automatico, sono affidate ad una centralina elettronica che è il "cuore" di ogni stufa a pellet. Essa regola inoltre:

- La sicurezza della stufa attraverso un pressostato che segnala un eccesso di pressione in canna fumaria, segno di una probabile ostruzione.
- La presenza di fiamma nel braciere.
- La temperatura dei fumi e della camera di combustione per mezzo di sonde. Quando, per qualsiasi motivo, il fuoco si spegne e/o la

temperatura di uscita dei fumi scende oltre la soglia impostata, la stufa si spegne.

- Il regime di funzionamento, diversificandolo tra le varie fasce orarie della giornata e nei diversi giorni della settimana, a seconda delle esigenze e delle necessità.
- La riaccensione dopo un black out. Nel caso venga a mancare la corrente (a meno che non sia previsto un gruppo di continuità di supporto) la stufa cessa di funzionare: al ritorno della corrente, la centralina provvederà ad espellere i residui di fumi, aumentando la velocità dell'aspiratore. A raffreddamento della stufa avvenuto, viene ripresa la fase di accensione.
- Il ciclo di pulizia del braciere in funzione dell'effettiva quantità di pellet bruciato.
- Il riconoscimento del guasto o blocco della coclea.
- La misurazione della tensione di rete, della tensione interna alla scheda e della corrente interna assorbita dalla stessa per evitare guasti elettronici.
- Il riconoscimento del guasto alla candela.
- Il riconoscimento di reale pericolo di accensione (scoppio).

I parametri che regolano il funzionamento della centralina sono tarati in fabbrica sulla qualità media del combustibile più diffuso, in genere un pellet "bianco" di 6 mm di diametro e due/tre cm di lunghezza. Se la qualità del combustibile cambia, può essere necessario reimpostare questi parametri: un pellet di diversa durezza, dimensione e capacità calorica rispetto a quello previsto o raccomandato può ingannare la centralina. Il risultato è in genere il malfunzionamento della stufa. Alcuni costruttori consentono all'utente una certa possibilità di intervento sulle impostazioni della centralina, nella maggior parte dei casi, però, la regolazione dei parametri va affidata ad un tecnico specializzato.

Tutti questi interventi vengono effettuati grazie al display (fig.15), il quale comunica direttamente con la centralina elettronica e viceversa tramite il cavo flat. Tramite il display, quindi, si possono fare diverse modifiche, ma non tutte. Parte di questi cambiamenti possono essere fatti solamente immettendo un codice segreto che solo il C.A.T. (centro assistenza tecnico) conosce.



Fig.15 Display

### Valvola antiesplosione

La valvola antiesplosione (fig.16) agisce in caso di malfunzionamento d'accensione della stufa. I gas che saturano la camera di combustione a volte possono rilevarsi pericolosi, con conseguenza di esplosione e rottura del vetro. Per ovviare a ciò è stata progettata una valvola di scarico in maniera da ridurre la pressione che viene provocata al momento della combustione.



Fig.16 Valvola Antiesplosione

### Rivestimento della caldaia

Sul mercato esistono differenti tipologie di caldaie a pellet per venire incontro alle più svariate esigenze di natura estetica e funzionale. È possibile trovare stufe a pellet rivestite in ceramica, in acciaio, in pietra ollare o in ghisa.

La ceramica (o la maiolica) offre il vantaggio di non raggiungere temperature molto elevate e di mantenere a lungo il calore. Dal punto di vista estetico possono offrire uno stile classico ma anche moderno, inoltre possono essere rifinite con disegni, incisioni e decorazioni in rilievo, oltre che con una vasta gamma di colori.

L'acciaio è un materiale molto diffuso nella costruzione delle stufe a pellet, normalmente ne costituisce l'ossatura, ma è usato anche per il rivestimento e permette semplicità ed economicità costruttiva ma anche possibilità di scelte di design ricercato e moderno. Dal punto di vista funzionale ha la caratteristica di raggiungere velocemente alte temperature ma anche di raffreddarsi velocemente dopo la fine della combustione.

La pietra ollare è usata da secoli dagli artisti per sculture e opere d'arte, per la facilità di lavorazione e le notevoli doti estetiche che assume una volta lavorata e lucidata. Ha anche speciali e riconosciute doti termiche che ne hanno fatto una scelta preferenziale nella costruzione di stufe anche nel passato. Questo materiale è in grado infatti di accumulare calore in modo eccezionale e di rilasciarlo lentamente anche a stufa spenta, permettendo quindi di mantenere più a lungo la temperatura nell'ambiente a tutto vantaggio del comfort abitativo.

Uno stile retrò, che richiama le stufe del passato, spesso è quello che viene ottenuto adottando la ghisa come materiale di rivestimento. In questo modo si ottengono stufe a pellet che richiamano le stufe di una volta, ideali magari per una casa di montagna o di campagna in stile rustico, o una taverna.

Le differenze di rivestimento incidono comunque in minima parte sulle prestazioni delle stufe a pellet in quanto non avendo massa sostanziale riscaldano prevalentemente per convezione e non per irraggiamento. Questo è testimoniato dal fatto che al termine della combustione la temperatura dell'ambiente cala drasticamente qualunque stufa a pellet sia stata usata.

## **Canna fumaria**

La canna fumaria è quell'elemento costruttivo che serve al convogliamento dei fumi derivanti da una combustione dall'interno di un locale o camera di combustione verso l'esterno. Tradizionalmente è realizzata in mattoni o pietra legati con malta. Le realizzazioni più recenti vedono l'utilizzo di tubazioni metalliche di vario genere, per lo più in acciaio inox oppure in tubazioni in materiale refrattario, coibentate e inserite in "camicie" di materiale cementizio alleggerito con argilla espansa.

Per costruire una canna fumaria si dovranno comunque tenere presenti degli importanti principi che vengono imposti dalle norme europee.

## 2.5 Vantaggi e Svantaggi

### 2.5.1-Vantaggi

1. Le stufe a pellet sono ottime per quanto riguarda il riscaldamento di un ambiente.
2. La stufa a pellet ha cambiato notevolmente l'aspetto nel corso degli anni, da un design semplice ad uno molto decorativo. Dunque sono anche molto piacevoli per quanto riguarda il lato estetico.
3. Le stufe a pellet sono apparecchi relativamente versatili. La maggior parte di queste stufe presentano un'accensione ed uno spegnimento automatizzato, che può essere controllato e programmato, anche a distanza. Le recenti innovazioni hanno creato sistemi informatici all'interno di queste stufe, che controllano le condizioni di sicurezza, eseguendo test diagnostici, nel caso in cui si ponga un problema. Oltre a tutto questo, le stufe moderne e di pregio dispongono di automatismi che permettono di ridurre di molto le frequenze di carica e quindi di avere un ulteriore risparmio. Tutto ciò viene gestito da una centralina elettrica. In caso di black out la stufa riprenderà con le proprie funzioni appena tornerà la corrente elettrica.
4. Il pellet, a differenza della legna, non sporca e fa pochissima polvere quando viene manipolato e caricato nel serbatoio. Infatti queste stufe sono dotate di una tecnica di combustione molto avanzata e pulita.
5. Le stufe a pellet sprigionano una quantità di monossido di carbonio di gran lunga inferiore di quelle a legna.

### 2.5.2-Svantaggi

1. Nel caso il pellet caricato sia umido, oltre a creare problemi d'accensione, potrebbe produrre segatura umida che andrebbe ad impastare la coclea causandone il blocco. Questo problema si può risolvere facendo attenzione alla qualità del pellet che si acquista.
2. Le ventole contenute all'interno degli apparecchi da riscaldamento a pellet, utilizzate per movimentare i fumi e l'aria di alimentazione, tendono ad essere rumorose. Per alcune persone potrebbe risultare fastidioso questo particolare e ciò potrebbe portarli verso un acquisto differente, vanificando tutti i vantaggi del pellet.
3. Lo svantaggio di maggior rilievo è sicuramente la dipendenza che queste caldaie possiedono verso la corrente elettrica. La scheda digitale che gestisce le caldaie a pellet e gli altri apparecchi come ventole, motori, resistenze etc richiedono per il loro funzionamento una alimentazione elettrica. In caso di black out, infatti, l'apparecchio non funziona.

Per fortuna questo problema si può risolvere facilmente dotandosi di un apparecchio UPS(Uninterruptible Power Supply), cioè di un gruppo di continuità che intervenga in caso venga meno la tensione di rete (fig.17).



Fig.17 Apparecchio UPS

4. Sempre in caso di interruzione della corrente elettrica, dobbiamo fare attenzione che la canna fumaria abbia un buon tiraggio. Infatti, se la ventola di scarico dei fumi si ferma per mancanza di elettricità, rischieremmo che il braciere ancora attivo riversi i fumi nell'ambiente circostante.
5. L'uscita dell'aria calda è forzata da un ventilatore che asciuga eccessivamente l'aria dell'ambiente e muove la polvere, producendo così un calore meno sano. Per risolvere questa problematica alcune aziende prevedono la presenza di una vaschetta per l'acqua o di un umidificatore integrato.
6. Serve una regolare pulizia e manutenzione di tutti i componenti della stufa. Più o meno giornalmente bisogna pulire crogiolo, vetro e scambiatore. Il primo deve essere liberato dalla cenere, preoccupandosi di pulire bene i fori presenti sul fondo da eventuali incrostazioni in modo da consentire all'aria primaria di entrare nel braciere nel modo adeguato favorendo l'innesco e la giusta combustione del legno riducendo al minimo le ceneri. Il vetro dello sportello, a stufa fredda, deve essere passato con un panno imbevuto di detergente liquido, avendo l'accortezza di non strofinare le guarnizioni per non rovinarle. Per quanto riguarda lo scambiatore è possibile pulirlo ogni giorno solo nelle stufe dotate di aste raschianti. Settimanalmente o quando ce ne sia il bisogno svuotare il cassetto di raccolta ceneri usando un aspiraceneri. Per evitare la creazione di una nuvola di polvere, infatti, è sconsigliato l'uso di scopino e paletta e anche quello di un comune

aspirapolvere visto che potrebbe avere il filtro non abbastanza fine. Nel caso dell'aspirapolvere, la cenere composta di particelle piccolissime potrebbe inoltre intasare il filtro di quest'ultimo e bruciare il motore. Serbatoio e coclea devono essere liberate occasionalmente da eventuali depositi di segatura che se umida può dare origine a veri e propri tappi. Mensilmente è necessario pulire la camera degli scambiatori termici in quanto la fuliggine depositata sul retro della parete della camera di combustione ostruisce il regolare afflusso dei fumi. Annualmente si consiglia di controllare la tenuta delle guarnizioni, pulire le ventole e la canna fumaria, che deve essere provvista di innesto a T in modo da favorirne ispezione e pulizia con l'eliminazione della condensa. Queste ultime operazioni comunque sarebbe consigliato farle eseguire ad un tecnico qualificato per evitare rotture o riassettaggi non corretti.

7. Le stufe a pellet possiedono una tecnologia più complessa rispetto ad altri impianti di riscaldamento, quindi richiedono un'assistenza tecnica per il collegamento elettrico, la taratura dell'apparecchio in base ai metri cubi da riscaldare ed al tipo di pellet usato e per il montaggio della canna fumaria. In Italia non basta solo far uscire il tubo di estrazione dei fumi dal muro. Si deve montare una canna fumaria a tutti gli effetti.
8. Periodicamente si deve rabboccare la tramoggia con il pellet.
9. Rispetto ad una stufa a legna o ad un camino, la fiamma delle stufe a pellet non è altrettanto viva e brillante e non ha lo stesso coinvolgimento emotivo.
10. All'interno delle stufe sono presenti componenti elettronici che con il passare del tempo potrebbero essere causa di malfunzionamenti.
11. La domanda del pellet da bruciare in Italia supera la produzione stessa. Questo sta creando un aumento del costo del materiale finito.

## 2.6 Come calcolare la potenza termica generata

La potenza termica generata è una diretta conseguenza della qualità (il potere calorifico) e della quantità di combustibile che si brucia (in chilogrammi).

Utilizzando un pellet di maggiore qualità, a parità di massa di combustibile immessa nel focolare, si sviluppa una potenza maggiore. Inoltre, se il produttore dichiara un consumo massimo di pellet per una determinata stufa, si può verificare quale sia la potenza massima.

La potenza generata con la combustione viene in parte persa tramite i fumi che escono dal camino e in parte viene trasferita all'aria che andrà poi a riscaldare l'ambiente. Il rendimento della stufa indica la capacità di sfruttare al meglio tutta la potenza teorica disponibile ed è influenzato dalle caratteristiche della camera di combustione e dello scambiatore di calore (materiali, forme, dimensioni). Il rendimento può essere definito anche come rapporto tra la potenza termica generata e la potenza termica utile.

È giusto prendere in esame le varie definizioni delle caratteristiche dell'impianto, definite secondo il DPR 26 Agosto 1993 art.1 comma 1, n°412, che sarebbe il regolamento recante le norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici:

- I valori nominali delle potenze e dei rendimenti sono quelli dichiarati e garantiti dal costruttore.
- La potenza termica del focolare di un generatore di calore è il prodotto del potere calorifico inferiore del combustibile impiegato e della portata di combustibile bruciato, misurata in kW.
- La potenza termica utile di un generatore di calore è la quantità di calore trasferita nell'unità di tempo all'aria, corrispondente alla potenza termica generata meno la potenza termica persa al camino. Anche essa misurata in kW.

Tutti i produttori forniscono la scheda tecnica dell'apparecchio comprendente i dati relativi a rendimento e potenze termiche. Le stufe pellet hanno rendimenti che possono arrivare fino a 94% e potenza termica compresa tra 5 e 28 kW.

La potenza termica necessaria varia a seconda delle dimensioni della casa che dobbiamo scaldare, ovvero a seconda dei metri cubi. Per calcolare il fabbisogno energetico necessario bisogna utilizzare un coefficiente moltiplicatore che può variare da 0,040 a 0,060 per metro cubo. Più sarà basso il coefficiente utilizzato, più vorrà dire che la nostra casa è ben termicamente isolata, più si utilizzerà un coefficiente vicino allo 0,060 più vorrà dire che la casa sarà scarsamente coibentata.

## Capitolo 3: Progetto

### 3.1 Dimensionamento economico dello scambiatore di calore

Nella caldaia a pellet che vado a progettare utilizzo uno scambiatore di calore controcorrente. Questo tipo di scambiatore, che si contrappone a quelli equicorrente, solitamente risulta termodinamicamente più efficiente rispetto quest'ultimi, essendo la potenza termica scambiata fra salti medi di temperatura inferiori.

Definisco ora tutte le variabili utilizzate nel dimensionamento economico.

$Q$  potenza termica scambiata [W]

$G_f$  portata in massa dei fumi in fase di raffreddamento [kg/s]

$c_{pf}$  calore specifico dei fumi [J/kg·K]

$G_a$  portata in massa dell'aria in fase di riscaldamento [kg/s]

$c_{pa}$  calore specifico dell'aria [J/kg·K]

$T_e, T_u$  temperatura di ingresso e di uscita del fluido in fase di raffreddamento [K]

$t_e, t_u$  temperatura di ingresso e di uscita del fluido in fase di riscaldamento [K]

$R_t$  resistenza termica totale supposta costante lungo tutto lo scambiatore [K/W·m<sup>2</sup>]

$c_q$  costo specifico dell'energia termica [€/J]

$c_c$  costo specifico per unità di massa del combustibile impiegato [€/kg]

$k_i$  potere calorifico inferiore del combustibile impiegato [kW/kg]

$h_g$  rendimento del generatore di calore

$u$  fattore di carico

$T$  periodo di riferimento o periodo rateale [s/anni]

$t_{eq}$  tasso di ammortamento effettivo dell'energia termica [1/anni]

$S_{ec}$  superficie di massima economia

Diamo ora un valore numerico a tutti questi dati, in modo da valutare il valore della superficie di massima economia che stiamo cercando di calcolare.

Parto valutando il costo dell'energia termica, che possiamo ricavare conoscendo il costo del pellet, il suo potere calorifico inferiore e il rendimento.

Suppongo un rendimento del 60%. Sapendo che un sacco di pellet da 15kg costa all'incirca sui 5 euro, pongo  $c_c = 0,33$  €/kg. Infine il potere calorifico del pellet abbiamo già detto che è all'incirca 4,8 kWh/kg.

$$c_q = c_c / (k_i h_g) = 0,33 / (4,8 \cdot 0,60) = 0,114 \text{ €/J}$$

Per ottenere il valore della superficie di massima economia dobbiamo derivare il VAN (valore attuale netto) rispetto alla superficie di scambio. L'equazione impiegata prende il nome di equazione di ottimizzazione economica.

$$VAN(S) = uTQ(S)\frac{c_q}{t_{eq}} - I(S)$$

$I(S)$  è il costo del sistema di recupero, funzione delle dimensioni ( $S$ ) dello scambiatore. Questa funzione è approssimabile con sufficiente precisione tramite una relazione lineare con la superficie di scambio:

$$I(S) = b_0 + bS$$

Dove  $b_0$  è il costo fisso di installazione e  $b$  è il costo a unità di superficie dello scambiatore.

$$\frac{dVAN(S)}{dS} = \frac{uTc_q}{t_{eq}} \frac{dQ(S)}{dS} - \frac{dI(S)}{dS} = 0 \quad \text{che equivale a} \quad \frac{uTc_q}{t_{eq}} \frac{dQ(S)}{dS} = b$$

Occorre poi verificare che l'intervallo di convenienza [ $VAN(S) > 0$ ] e il suo massimo  $S = S_{ec}$  abbiano significato fisico (superficie reali e positive), ed economico, ovvero che risulti:

$$\left[ \frac{d^2VAN(S)}{dS^2} \right]_{S=S_{ec}} = 0, \text{ affinché l'estremante sia di massima economia } [VAN(S_{ec}) > 0]$$

e non di minima perdita [ $VAN(S_{ec}) < 0$ ].

Nel nostro caso, avendo  $G_f c_{pf} = G_a c_{pa} = G c_p$ , si ottiene:

$$\frac{dQ(S)}{dS} = \frac{T_e - t_e}{R_t \left(1 + \frac{S}{G c_p R_t}\right)^2} \quad \frac{dI(S)}{dS} = b$$

L'equazione di ottimizzazione economica risulta quindi:

$$\frac{uTc_q(T_e - t_e)}{t_{eq} R_t \left(1 + \frac{S}{G c_p R_t}\right)^2} - b = 0 \quad \text{da cui:}$$

$$S_{ec} = G c_p R_t \left[ \sqrt{\frac{uTc_q(T_e - t_e)}{b t_{eq} R_t}} - 1 \right]$$

$$\text{Con: } \left[ \frac{d^2VAN(S)}{dS^2} \right]_{S=S_{ec}} = - \frac{2(T_e - t_e)}{G c_p R_t \left(\frac{uTc_q(T_e - t_e)}{b t_{eq} R_t}\right)^{\frac{3}{2}}} < 0$$

$$\text{E si ha } S_{ec} > 0 \text{ per } \frac{uTc_q D T}{b t_{eq} R_t} > 1$$

Una volta ottenuta la formula risolutiva, cerchiamo di dare un valore numerico alla nostra superficie. Partiamo dando una stima di ciascun parametro:

- Avendo posto il prodotto  $Gc_p$  costante per aria e fumi, avremo  $Gc_p = 2,5 \cdot 1,1 = 2,75$ . Il valore della portata la ricaviamo dai dati di progetto del nostro aspiratore dei fumi centrifugo (estrattore di fumi PL20, avente  $G = 140 \text{ m}^3/\text{h} = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ).
- La resistenza termica totale si ottiene dalla somma dei vari strati, ovvero della convezione interni, di conduzione e di convezione esterna.  
 $R_t = 1/c_{si} + s/c_t + 1/c_{se}$   
 Con  $c_{si}$  coefficiente di convezione interna (nel nostro caso forzata) quindi lo poniamo  $c_{si} = 150 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ .  
 $s$  spessore dello scambiatore in ghisa,  $s = 6 \cdot 10^{-3} \text{ [m]}$ .  
 $c_t$  conducibilità termica della ghisa,  $c_t = 53 \text{ [W/mK]}$ .  
 $c_{se}$  coefficiente di convezione esterna (naturale),  $c_{se} = 100 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ .  
 Dunque otterremo  $R_t = 1/150 + (6 \cdot 10^{-3})/53 + 1/100 = 0,02 \text{ [m}^2\text{K/W]}$ .
- Prendiamo il fattore di carico ipoteticamente pari a 1 [adimensionale].
- Il periodo di riferimento  $T = 10 \text{ [s/anni]}$ .
- La temperatura di ingresso dei fumi  $T_e = 250 \text{ }^\circ\text{C} = 523,15 \text{ }^\circ\text{K}$ .
- La temperatura di ingresso dell'aria pari a quella ambiente  $t_e = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293,15 \text{ }^\circ\text{K}$ .
- Il costo della ghisa per unità di superficie  $b = 0,31 \text{ [€/m}^2\text{]}$ .
- Il tasso di ammortamento effettivo pari a  $t_{eq} = 5 \text{ [1/anni]}$ .

Quindi otterremo una superficie di massima economia  $S_{ec}$  pari a:

$$S_{ec} = Gc_p R_t \left[ \sqrt{\frac{uTc_q(T_e - t_e)}{bt_{eq}R_t}} - 1 \right] = 5 \text{ m}^2 = 5 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

Da questo risultato bisogna assicurarsi che abbia significato fisico ed economico. Una volta ottenuto questo risultato andremo a dimensionare la superficie dello scambiatore per ottenere il costo minimo della stufa progettata.

### 3.2 Caratteristiche della caldaia a pellet

Allego qui di seguito i disegni finali della caldaia a pellet, realizzati tramite il programma di grafica SolidWorks. La (fig.18) mostra l'impianto nel suo insieme, visto frontalmente, mentre la (fig.19) mostra lo scambiatore dimensionato nel capitolo precedente. Purtroppo la superficie ottenibile attraverso l'alettatura è limitata, poiché non è possibile realizzare alette troppo sottili con la fusione, in quanto si romperebbero durante il processo. Dunque lo spessore minimo risulta limitato inferiormente e dovrà essere maggiore di 6 mm.



Fig.18 Stufa a pellet completa

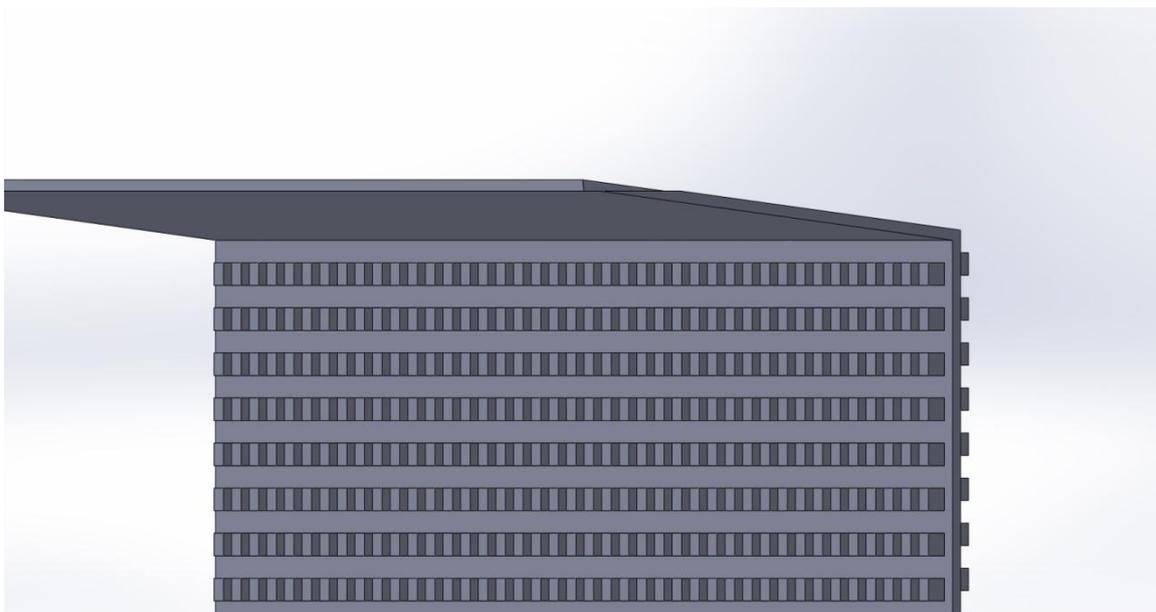


Fig.19 Alettatura dello scambiatore

Mostro qui di seguito anche una sezione dell'impianto disegnato (fig.20), per fornire un'idea del tragitto percorso dall'aria e dai fumi.

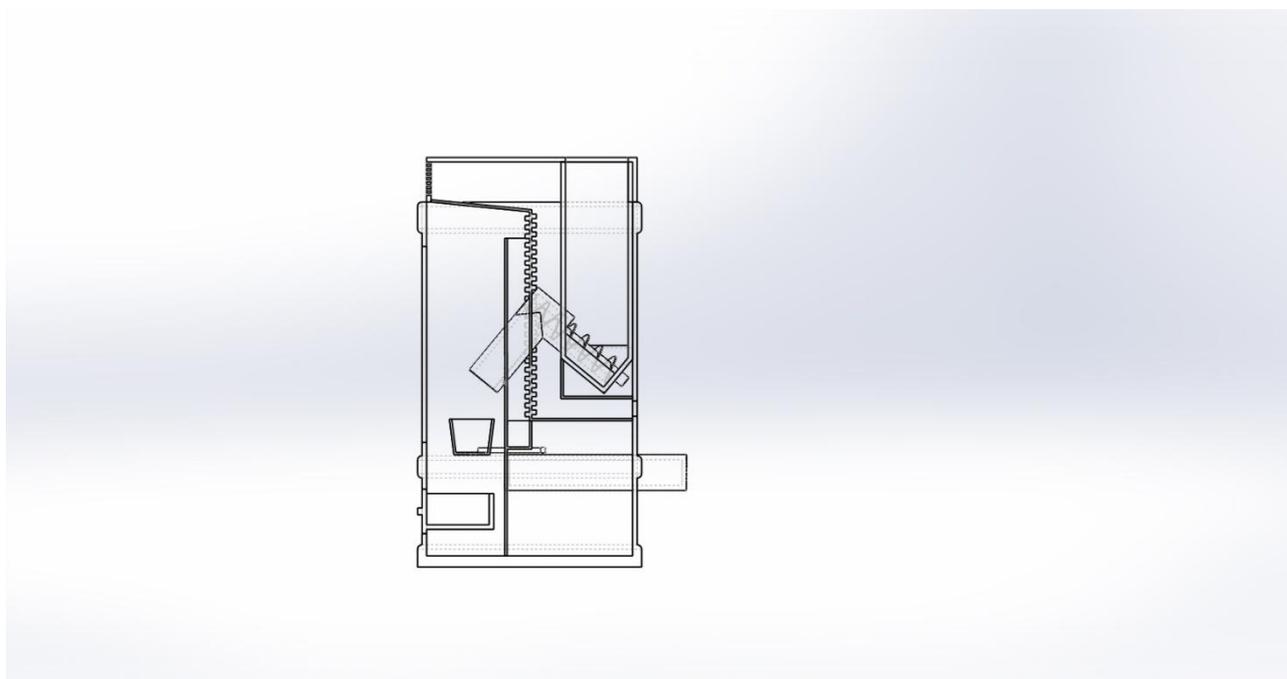


Fig.20 Sezione Caldaia

Nella tabella seguente elenco le caratteristiche dimensionali della stufa:

Capacità serbatoio	20 kg
Larghezza	500 mm
Altezza	920 mm
Profondità	500 mm
Diametro scarico fumi	80 mm
Diametro Presa d'aria	60 mm
Peso	170 kg

La stufa monta un estrattore di fumi PL20 (fig.21) progettato per generare pressioni fino a 300 Pa con portate di 150 m<sup>3</sup>/h, equipaggiato con motore a condensatore da 35 W a 230 Volt ed idoneo ad essere usato su apparecchi da 5 a 20 kW.



Fig.21 Estrattore di fumi PL20

Per minimizzare i costi di produzione l'aria adibita al riscaldamento circolerà senza l'ausilio di una ventola, quindi in maniera naturale all'interno della stufa. Inoltre essa sarà progettata senza il controllo elettronico fornito dalla centralina elettrica che è inserita nella maggior parte dei sistemi messi in vendita.

La caldaia, essendo realizzata a pezzo unico attraverso una fusione in terra, possiede tutti i componenti in ghisa grigia, materiale solitamente usato per questo tipo di processi di produzione.

## Conclusioni



Dopo essermi informato a lungo su questa tecnologia, ancora in fase di crescita nel nostro paese, posso affermare di essere stato piacevolmente sorpreso dai vantaggi che possono offrire questi impianti di riscaldamento.

Pur essendo un tipo di tecnologia relativamente nuovo, le stufe a pellet sono una valida alternativa a tutti gli altri impianti, soprattutto per quanto riguarda il rapporto qualità-prezzo. Esse, infatti, sono più costose delle stufe a legna, ma più economiche rispetto a quelle a gasolio e metano.

Nel caso da me studiato abbiamo un tipo di impianto molto economico con un costo di produzione che si aggira attorno ai 200-250 €. Questo costo deriva principalmente dalle spese di produzione tramite fusione in terra e dall'acquisto del sistema di estrazione dei fumi:

- Per la colata possiamo ipotizzare una spesa totale di circa 210 €, infatti per la realizzazione di un pezzo il cui peso varia dai 50 ai 1000 kg il costo è di circa 1,25 € al kilogrammo. Pesando il nostro insieme circa 170 kg avremo un costo pari a  $1,25 \cdot 170 = 213$  €.
- L'estrattore di fumi PL20 costa all'incirca 20 €.

Dunque, facendo la somma dei singoli costi ricaviamo le spese di produzione:  
 $213 + 20 = 233$  €.

Per ottenerne poi un guadagno la stufa verrà messa sul mercato con un prezzo di circa 500 €, di gran lunga inferiore a quello della gran parte delle stufe a pellet in commercio. Senza contare che anche il pellet ha un prezzo molto ridotto come combustibile (circa 5 € per 15 kg).

In conclusione abbiamo progettato un impianto di riscaldamento rispettoso per l'ambiente, efficiente ed alla portata di tutti. Una tecnologia perfetta per l'uso domestico, che ci permette di diminuire la nostra dipendenza dai soliti combustibili e ci sprona allo sfruttamento delle biomasse e delle energie rinnovabili.

## **Ringraziamenti**

Desidero ringraziare il prof. Piancastelli, relatore di questa tesi, per la disponibilità e l'aiuto fornitomi durante la realizzazione di questo lavoro.

Un sentito ringraziamento a tutte le persone, amici e familiari, che mi hanno sostenuto moralmente durante questo ultimo periodo di studio senza tregua.

Infine un ringraziamento a tutti i miei compagni di studi con i quali ho condiviso molto in questo lungo periodo universitario e che mi hanno aiutato enormemente nel mio percorso di studi.

## **Bibliografia**

Gentilini Marco, Impianti Meccanici, Bologna, Pitagora Editrice, 1999

Hansen Morten Tony, Rosentoft Jein Anna, Manuale italiano per la combustione di pellet da legno, Firenze, 2007

Paniz Annalisa, Stufe e caldaie a pellet ad uso domestico, 2011

Pulvirenti Beatrice, Termofluidodinamica Applicata, Rimini, Oltre i Portici, 2010

## Webliografia

### Sito

helpstufepellet.altervista.org  
www.econatur.it  
www.edilkamin.it  
www.metalprices.com  
www.natalini.it  
www.novapellet.it  
www.pellet-italia.com  
www.pelletgold.it  
www.pelletitalia.org  
www.pelletonline.com  
www.pelletshome.it  
www.pellettrade.it

### Ultima Consultazione:

Novembre 2014  
Novembre 2014  
Novembre 2014  
Dicembre 2014  
Dicembre 2014  
Novembre 2014