

ALMA MATER STUDIORUM

UNIVERSITÀ 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 stufa a pellet a basso costo

CANDIDATO
Denis Ugolini

RELATORE
Prof. Luca Piancastelli

Anno accademico 2014/2015

Sessione II

INDICE

INTRODUZIONE

1. IL PELLETT

1.1 CHE COS'È IL PELLETT?

1.2 CARATTERISTICHE DEL PELLETT

1.3 CICLO DI PRODUZIONE

1.3.1 MATERIA PRIMA

1.3.2 PELLETTIZZAZIONE

1.3.3 RAFFREDDAMENTO

1.4 QUALITÀ DEL PELLETT

1.4.1 ANALISI QUALITATIVA DEL PELLETT

1.4.2 STANDARDIZZAZIONE DEL PELLETT DA LEGNO

1.4.3 COME RICONOSCERE PELLETT DI QUALITÀ

1.5 POTERE CALORIFICO

1.6 ANALISI ECONOMICA

1.6.1 PRODUZIONE E CONSUMO

1.6.2 ANALISI DEI PREZZI

1.7 REPERIBILITÀ DEL PELLETT

1.8 VANTAGGI e SVANTAGGI

1.8.1 VANTAGGI

1.8.2 SVANTAGGI

1.8.3 PELLETT vs LEGNA

2. STUFA A PELLETT

2.1 INTRODUZIONE DELLE STUFA A PELLETT

2.2 FUNZIONAMENTO DELLA STUFA A PELLETT

2.3 PROCESSO DI COMBUSTIONE DEL PELLETT

2.3.1 FASI DELLA COMBUSTIONE

2.3.2 IMPATTO DEL COMBUSTIBILE

2.3.3 TECNICA DI COMBUSTIONE

2.3.4 QUALITÀ DELLA COMBUSTIONE

2.4 COMPONENTI DELLA CALDAIA A PELLETT

2.5 VANTAGGI E SVANTAGGI

2.5.1 VANTAGGI

2.5.2 SVANTAGGI

2.6 INSTALLAZIONE

2.7 COME CALCOLARE LA POTENZA TERMICA GENERATA

2.8 COME CALCOLARE LA POTENZA TERMICA DA INSTALLARE

3. PROGETTO

3.1 OBIETTIVI

3.2 IL MODELLO

3.3 ANALISI DELLA POTENZA TERMICA

3.4 ANALISI DELLO SCAMBIATORE CONTROCORRENTE

3.5 ANALISI DEI COSTI

CONCLUSIONI

RINGRAZIAMENTI

Introduzione e Obiettivo

L'obiettivo di questo lavoro consiste nello studio e nella progettazione di una caldaia a pellet economica, con un prezzo al di sotto della concorrenza e accessibile a tutti, non tralasciando un design accattivante e moderno.

Nella prima parte verrà svolta un'introduzione sul pellet, combustibile ecologico ed ecosostenibile, descrivendone la produzione, le caratteristiche e i vantaggi. Infine faremo una breve analisi di mercato e un confronto con un altro combustibile, quale la legna.

In seguito, nella parte centrale, verrà eseguita una descrizione dettagliata dei componenti e del funzionamento di una normale stufa, dall'inserimento del pellet fino all'espulsione dei gas di scarico.

Infine verrà illustrato il progetto realizzato tramite il programma Solidworks. Verrà fatta un'analisi per la minimizzazione dei costi di produzione ed una ottimizzazione economica della caldaia. In conclusione verranno elencati i calcoli eseguiti per trovare la potenza della caldaia.

CAPITOLO 1: IL PELLET

1.1 Che cos'è il pellet?

Storicamente la creazione e l'utilizzazione del pellet viene collocata nel settore specifico dell'alimentazione animale. Anche oggi molte tipologie di alimenti zootecnici vengono prodotti e commercializzati sotto forma di pellet. Soltanto in seguito alla crisi energetica mondiale degli anni '70 la ricerca tecnologica ha trasferito l'utilizzo del pellet dall'ambito consolidato dei mangimi a quello dei combustibili per il riscaldamento. In particolare in quegli anni, negli Stati Uniti e in Canada, sono stati costruiti oltre 30 insediamenti industriali e, nei primi anni '80, ha avuto inizio la produzione di pellet di legno come combustibile per il riscaldamento. Nel vecchio continente e nel contesto nazionale, la produzione e l'utilizzo del pellet a scopi energetici ha avuto uno sviluppo molto più recente, basti pensare che solo qualche anno fa, non oltre un decennio, il pellet costituiva un mercato di nicchia sconosciuto ai più, sia per quanto riguarda i costi, sia per quanto concerne le sue possibilità di utilizzo.

La parola pellet deriva dall'inglese e significa semplicemente "pallina", anche se in realtà il pellet comunemente distribuito oggi è in realtà costituito da cilindretti, generalmente del diametro di 6/8 mm e della lunghezza di 2/3 cm.



Il pellet di legno è prodotto utilizzando gli scarti dell'industria forestale e della lavorazione del legno. In passato gli scarti del legno come la segatura venivano invece buttati o utilizzati solo in parte, mentre oggi grazie ad 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.

Ridotto in segatura, viene compresso e di conseguenza riscaldato, forzandolo attraverso una filiera che ne determina l'aspetto finale. Il riscaldamento e la pressione attivano la capacità legante della lignina, un polimero presente nel legno e che costituisce, insieme alla cellulosa, circa il 70% della sua biomassa, trasformandola in una sorta di collante naturale che conferisce al pellet sufficiente compattezza da consentirne l'immagazzinamento, la distribuzione e l'uso in modo relativamente semplice rispetto ad altri biocombustibili.

Il pellet di qualità è quindi, di per sé, un combustibile naturale e "pulito" che non contribuisce all'inquinamento né alla deforestazione, ma che anzi fornisce un incentivo economico al governo dei boschi, il cui abbandono è il principale responsabile degli incendi che li devastano.

1.2 Caratteristiche del pellet

Il pellet può essere visto come la forma più moderna del più antico combustibile utilizzato dall'uomo: la legna. Il prodotto presenta caratteristiche termochimiche e merceologiche superiori sia in termini qualitativi che di omogeneità rispetto a quelle del cippato e della legna: queste qualità rendono il pellet facilmente gestibile e trasportabile, oltre a consentire lunghi periodi di immagazzinamento senza che ne vengano compromesse le caratteristiche. 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. Una delle peculiarità, che lo distingue dal puro legno, è proprio quella di presentare una densità praticamente costante. La qualità principale del pellet è data dalla sua elevata resa termica (superiore all'80%) e dal suo bassissimo residuo finale di ceneri (0,50%). Infatti esso brucia completamente e le ceneri residue possono essere utilizzate come fertilizzante in ambito agricolo e florovivaistico.

Diametro	6 ÷ 8 mm
Lunghezza	20 ÷ 30 mm
Densità	1150 ÷ 1400 kg/m ³
Umidità	8 ÷ 12 %
Potenza Resa	4,7 ÷ 5,5 kWh/kg
Residui di Cenere	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 giunge alla fabbrica, al momento in cui il pellet è pronto per essere consegnato, il materiale legnoso viene trattato nel seguente processo:

1) 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.

2) 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.

3) 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.

4) 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

5) 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

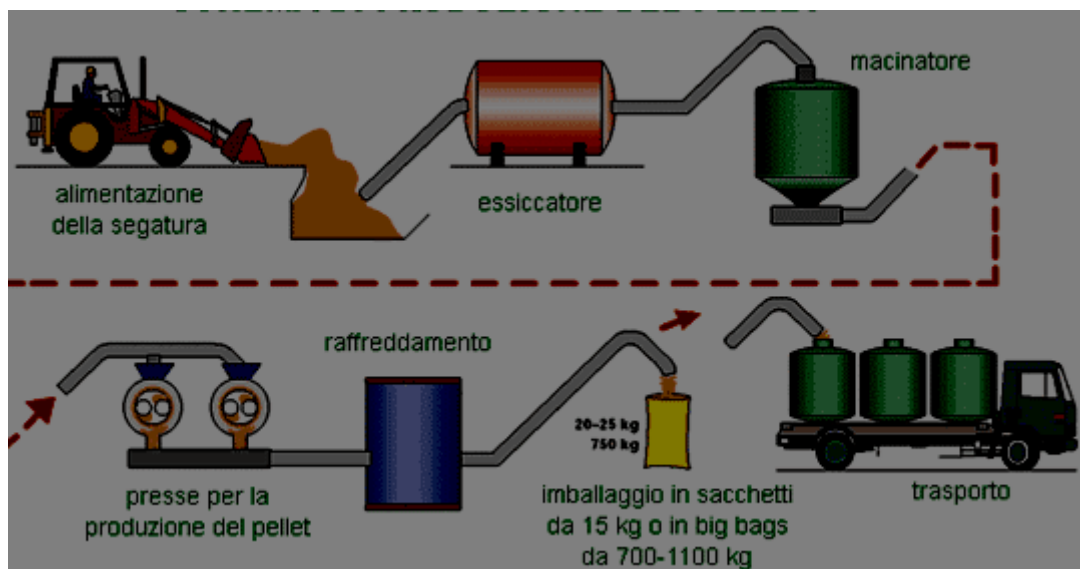
raffreddamento aumenta la durata del pellet e, di conseguenza, la formazione di polvere durante il successivo trasporto e manipolazione.

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. 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 infatti inficiare la qualità del prodotto.

6) 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.



Ciclo di produzione

1.4 Qualità del pellet

1.4.1 Analisi qualitativa del pellet

-La durabilità meccanica, che è strettamente legata alla quantità di polvere che presente nel sacco del pellet. Se il pellet si sbriciola facilmente si possono avere problemi di alimentazione della stufa e sporco nella stufa e in casa, riduzione dell'efficienza di combustione; incremento delle emissioni. La non buona durabilità meccanica è dovuta principalmente a problemi di produzione del pellet.

-Il contenuto di ceneri nel pellet, che determina il residuo che si ha a fine combustione nella stufa. Un alto contenuto di ceneri può dare problemi di combustione a causa dell'intasamento dei fori del braciere ed incrementare l'emissione di polveri dalla stufa. Il contenuto di cenere è dovuto all'essenza del

legno utilizzato e dalla presenza o meno di corteccia. Un elevato valore di ceneri si può trovare anche a causa di una contaminazione del pellet da parte di materiale durante il trasporto (es. sabbia o polvere). Un buon contenuto di ceneri si ha con valori inferiori a 0.8%.

-La lunghezza, che determina la capacità di carica della stufa automatica e quindi l'uniformità di caricamento nel tempo.

-Le proprietà chimiche, che determinano la formazione di residui metallici sul braciere, problemi di emissioni in atmosfera (azoto e cloro), problemi di corrosione delle parti costituenti la stufa (cloro).

1.4.2 Analisi qualitativa del pellet

Il consumo del pellet in Italia è in esplosiva espansione, anche se la maggior parte della produzione è collocata al di fuori dei confini nazionali (Canada, Svezia, Austria, Paesi Baltici, più recentemente Russia e paesi dell'Est). Per fronteggiare la crescente richiesta, sempre più produttori si presentano sul mercato e possono sorgere dubbi sulla qualità del prodotto fornito. 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. Infatti esistono pellet di Faggio, Rovere, Abete, Acero, Frassino, Ontano; magari misti a Carpino e Cerro, bianchi e rossi, chiari e scuri, prodotti dalla sola polpa del legno, oppure anche dalla corteccia.

Per il consumatore è difficile valutare a colpo d'occhio la qualità dei pellet da legno.

Prima di acquistarne una partita, si può fare una semplice prova utilizzando una manciata di pellet e versandola in una bacinella d'acqua: il pellet di alta qualità tenderà ad affondare, quello di bassa qualità tenderà a galleggiare. Tuttavia anche questi metodi empirici hanno i loro limiti. Ad esempio per far affondare cattivo pellet nell'acqua, basta aggiungere fecola di patate, per renderlo pesante basta aggiungere sabbia. In realtà, l'unico modo serio per esserne certi della qualità sarebbe farlo analizzare. Esistono tuttavia diversi test che possono aiutare a capire quale sia la reale qualità del pellet:

- 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 litro, 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 e il peso totale dell'acqua.

-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 dell'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. 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:

$$\text{Percentuale di umidità} = \frac{\text{campioneumido}(g) - \text{campionesecco}(g)}{\text{campioneumido}(g) \times 100}$$

-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.3).

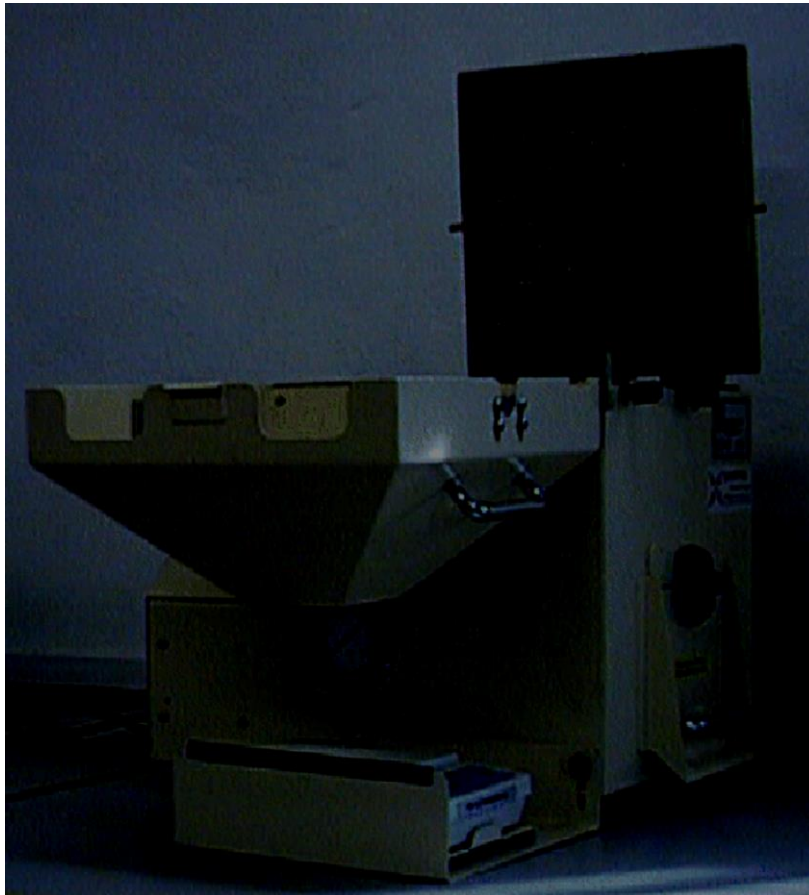


Fig. 3 Strumento per la verifica della durezza del pellet da legno

Il contenuto di polvere è calcolato attraverso la seguente formula:

$$\text{Polvere} = 100 \times \frac{\text{pesodelpellet}(\text{primadeltest}) - \text{pesodelpellet}(\text{dopoilttest})}{\text{pesodelpellet}(\text{primadeltest})}$$

1.4.3 Standardizzazione del pellet da legno

Come sempre, maggiori le informazioni fornite sul prodotto, maggiori sono le

garanzie di qualità. La confezione dovrebbe riportare almeno il potere calorifico del combustibile confezionato ed il richiamo al rispetto della normative europee DIN 51731 (Germania), O-Norm M7135 (Austria), Scan standard (Scandinavia), UNI CEN/TS 14961. A livello nazionale per anni non è stato presente alcun obbligo di certificare la qualità del pellet. Solo recentemente è entrata in vigore la UNI EN 14961-2. Nonostante questo, però, molti produttori stanno aderendo volontariamente a certificazioni internazionali o europee come la Pellet Gold o Enplus. Quest'ultimo è un sistema recente e diffuso di certificazione europea, il quale applica la norma EN 14961-2. La certificazione, non si occupa solo del prodotto ma anche della catena di fornitura, applicando sostanzialmente un principio di rintracciabilità e consentendo, quindi, di individuare gli errori nella fase produttiva o nell'approvvigionamento della materia prima. Tuttavia, sebbene esistano strumenti per garantire la qualità del prodotto, il mercato reale non sempre ne fa uso. Non è raro trovare prodotti privi di indicazioni sulle confezioni circa la provenienza e la materia prima di origine. È vietato, invece, vendere pellet contenuti in imballaggi anonimi, cioè privi del nome del produttore oppure venduti sfusi.

Occorre sottolineare che Pellet Gold è un sistema e marchio di attestazione e non di certificazione della qualità. La procedura Pellet Gold prevede il superamento di una serie di test, eseguiti in base a stringenti parametri qualitativi. L'iter per ottenere e mantenere l'attestato di qualità prevede una serie di verifiche ispettive nelle aziende, con prelievo di campioni e controlli del processo produttivo. I requisiti richiesti da Pellet Gold (vedi tabella) sono simili a quelli indicati dalle normative più stringenti dei principali stati europei produttori, precedentemente citati.

La UNI EN 14961-2 è entrata in vigore in Italia, in sostituzione alle norme nazionali esistenti, il 21 luglio 2011. Questa si rifà alla norma europea che definisce le caratteristiche di qualità del pellet ad uso non industriale.

La norma introduce tre classi di qualità:

- Ⓣ **Classe A1**, che corrisponde alla qualità più elevata, caratterizzata da un contenuto di ceneri massimo pari allo 0,7%;
- Ⓣ **Classe A2**, caratterizzata da un contenuto di ceneri dell'1,5%;
- Ⓣ **Classe B**, caratterizzata da un contenuto di ceneri massimo del 3,5%; può essere prodotta sia da segatura sia da corteccia ed è destinata ad impianti centralizzati di maggiori dimensioni, ad uso commerciale o pseudo-industriale.

L'entrata in vigore della norma europea impone l'obbligo di riferirsi ad essa. Da marzo 2012, l'attestazione di qualità Pellet Gold garantisce la conformità alla

norma UNI EN 14961-2. Le aziende attestate devono riportare il contenuto di ceneri del pellet da loro prodotto. Oltre alla conformità alla norma europea, Pellet Gold mantiene gli elementi di pregio per i quali si è contraddistinta in questo anni di attività: la determinazione del contenuto di Formaldeide e di Radioattività, tali da garantire la totale sicurezza del consumatore circa l'uso esclusivo da parte del produttore di materia prima vergine e non contaminata.

Parametro	U.M.	PELLET GOLD	
		A1	PELLET GOLD A2
Diametro (D)	mm	6 (± 1)	
Lunghezza (L)	mm	3,15 \leq L \leq 40	
Contenuto idrico (tal quale)	%tq	≤ 10	
Ceneri	%ss	$\leq 0,7$	$\leq 1,5$
Durabilità meccanica	%	$\geq 97,5$	
Particelle fini (< 3.15mm)	%tq	≤ 1	
Additivi	%ss	≤ 2	
PCI	MJ/kg	16,5 \leq Q \leq 19	16,3 \leq Q \leq 19
Densità apparente	kg/m ³	≥ 600	
Azoto - (N)	%ss	$\leq 0,3$	$\leq 0,5$
Zolfo - (S)	%ss	$\leq 0,03$	
Cloro - (Cl)	%ss	$\leq 0,02$	
Arsenico - (As)	mg/kg	≤ 1	
Cadmio - (Cd)	mg/kg	$\leq 0,5$	
Cromo - (Cr)	mg/kg	≤ 10	
Rame - (Cu)	mg/kg	≤ 10	
Piombo - (Pb)	mg/kg	≤ 10	
Mercurio - (Hg)	mg/kg	$\leq 0,1$	
Nickel (Ni)	mg/kg	≤ 10	
Zinco - (Zn)	mg/kg	≤ 100	
Formaldeide (HCHO)	mg/100g	$\leq 1,5$	
Radioattività	Bq/kg	≤ 6	

Di seguito un paio di esempi di pellet certificato:

Pellet Fiamm

Contenuto: abete 80%, faggio 20%

Certificazione: goldpellet

Colore : nocciola

Diametro: 6 mm

Residuo ceneri: 0.59%

Umidità: 5 %

Lunghezza: 15/25 mm

Calore: >5.10 kwh/kg



Pellet Biocalor

Certificazione: goldpellet

Contenuto: faggio 100%

Colore : nocciola

Diametro: 6 mm

Residuo ceneri: 0.8%

Umidità: 7 %

Lunghezza: 15/25 mm

Calore: 5.20 kwh/kg



1.5 Potere calorifero

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. Si distingue il potere calorifico superiore (che include il calore di condensazione del vapore d'acqua che si forma nella combustione) e il potere calorifico inferiore (che non include tale calore). Per questo motivo è di grandissima importanza il calcolo della quantità di acqua presente nel pellet (generalmente 6-8%).

POTERE CALORIFERO COMBUSTIBILI		
Metano	9,54	Kwh/m ³
Gasolio	11,86	Kwh/kg
GPL	12,80	Kwh/kg
Legna secca	4,07	Kwh/kg
Pellet	4,60	Kwh/kg



1.6 ANALISI ECONOMICA

1.6.1 Produzione e consumo

Il mercato del pellet ad uso energetico rientra in quello più generale del legno-energia, che a sua volta rientra in quello dell'energia da biomasse.

In Italia, a differenza di paesi come Germania, Austria, Danimarca e altri paesi europei, non è mai esistita una vera e propria normativa che regolamentasse produzione e mercato del pellet. La mancanza di un ente di riferimento per il mercato del pellet e la nascita relativamente recente di questo biocombustibile (in Italia ha iniziato a diffondersi fra il 1999 e il 2000), rendono molto difficile la ricerca di dati ufficiali, affidabili e aggiornati sul settore. In Italia sono presenti un centinaio di aziende produttrici, con una collocate principalmente nel nord Italia, in particolare in Lombardia, in Veneto e in Friuli Venezia Giulia. Infatti è proprio nella parte settentrionale dell'Italia che si colloca l'86% dei produttori e oltre il 95% della produzione, che peraltro è ben lungi dal soddisfare la richiesta. 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.

Nel 2012 la produzione e di conseguenza 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. 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.

L'Italia è uno dei principali mercati per le stufe a pellet. Nel 2011 si calcolavano almeno 1,5 milioni di stufe installate, con un consumo di 1,8 milioni di tonnellate di pellet, di cui il 70% provenienti dall'importazione. Per dare una idea dell'impennata del mercato del pellet negli ultimi anni, si consideri che la produzione italiana nel 2001 non superava le 100,000 tonnellate. L'Italia è uno dei principali consumatori europei di pellet, al fianco di Svezia e Regno Unito. Inoltre è l'unico paese il cui consumo è pari a quattro volte la sua capacità produttiva. Per soddisfare la domanda sono necessari oltre 1,2 milioni di tonnellate di pellet di importazione all'anno.

Allo stesso modo anche il mercato europeo è in aumento e molta della richiesta è soddisfatta anche dall'importazione da Stati Uniti e Canada. La sempre nuova produzione europea sembra comunque in grado di soddisfare la domanda crescente senza pericoli nell'immediato di una "carestia" di combustibile, come quella dell'inverno 2005/2006 che portò ad un aumento del costo medio del pellet del 54% a seguito dell'esplosione della richiesta (la richiesta di stufe a pellet era aumentata del 144% ed i produttori non furono in grado di far fronte alle necessità del mercato).

I primi quattro paesi consumatori in Europa sono Svezia, Germania, Danimarca e Italia, i quali adoperano il 47% del pellet utilizzato nel mercato europeo.

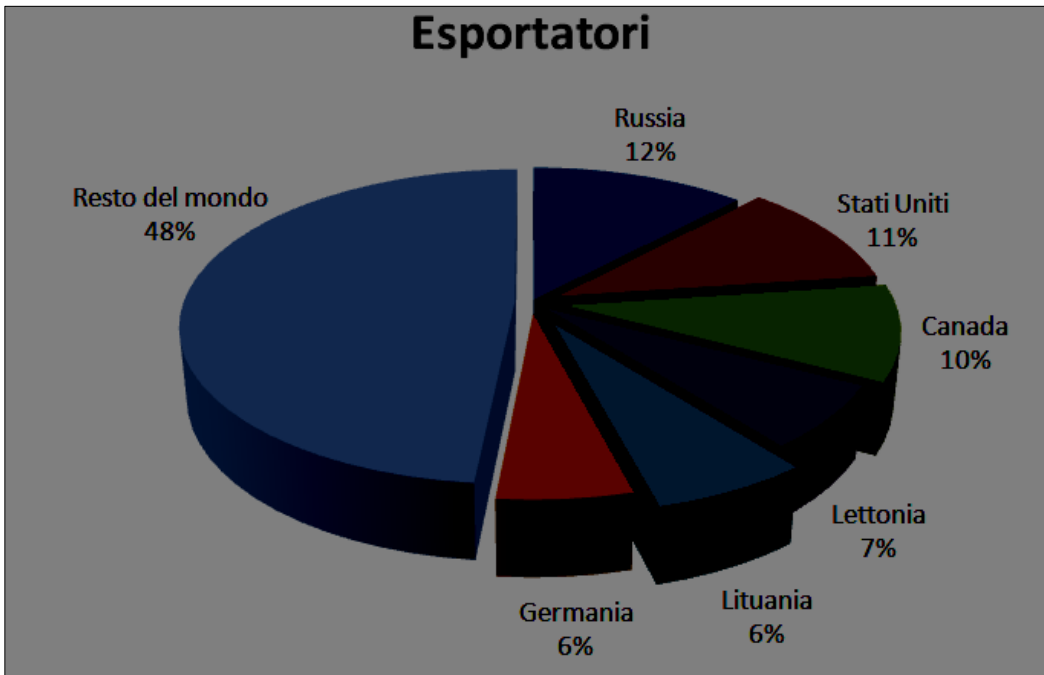


Diagramma degli esportatori

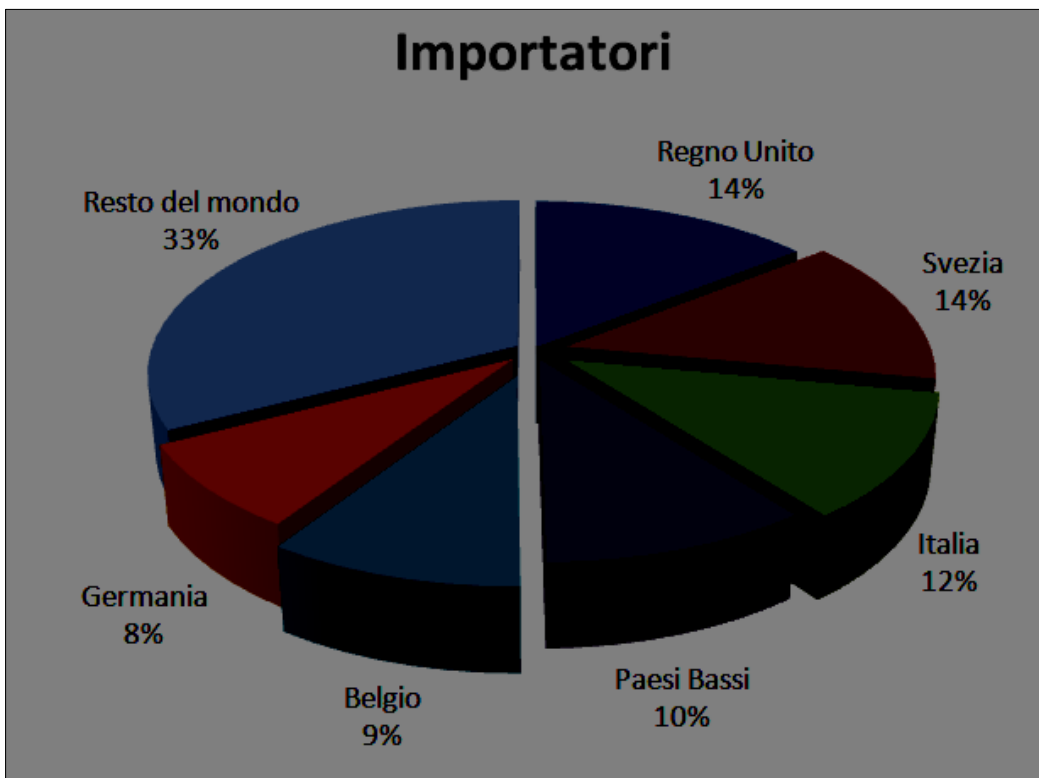
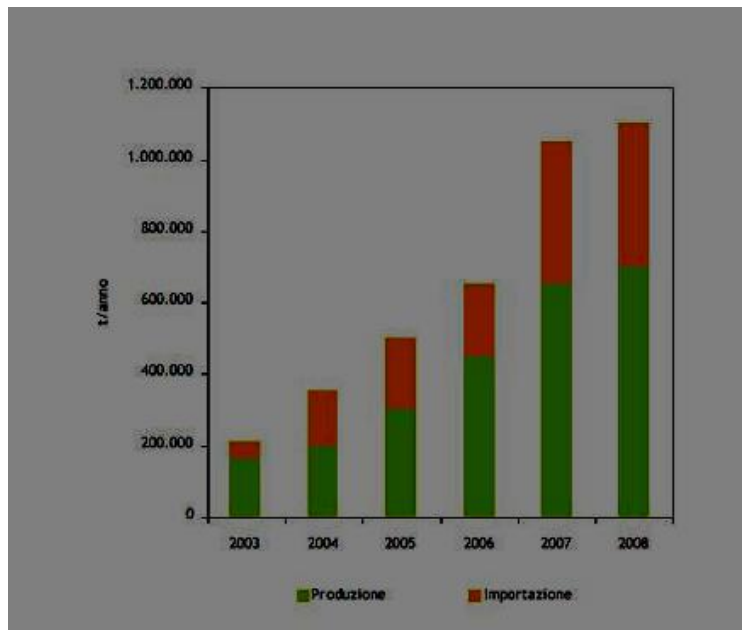


Diagramma degli importatori



1.6.2 Analisi dei prezzi

Derivando da materiali rinnovabili il prezzo del pellet 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.

La distribuzione del pellet avviene su gomma, ed il costo del trasporto incide notevolmente sul costo finale del prodotto. I puristi dell'ecologia devono dunque tenere presente che buona parte del prezzo che pagano per il pellet va in realtà ad alimentare il consumo dei combustibili fossili utilizzati per produrlo e distribuirlo. Un fattore che incide pesantemente sul prezzo sono le variazioni stagionali. Come è facile prevedere generalmente il prezzo è più basso nel periodo che va da maggio a luglio, dove il consumo di pellet è minimo. Al contrario ha un rincaro verso agosto, alle porte dell'inverno e si stabilizza durante il successivo periodo invernale. Durante l'ultimo inverno un sacco da 15 kg di pellet di ottima qualità è arrivato a costare circa 5 euro. Decisamente più caro rispetto allo stesso periodo del 2012 dove in media si trovava tra i 3,60 e i 4 euro a sacco. È importante sottolineare che questo aumento considerevole è dovuto in buona parte ad una manovra discutibile del nostro governo che ha sapientemente aumentato l'IVA dal 4% al 22%.

Nonostante questo aumento, grazie al basso costo della materia prima e delle fasi di lavorazione, il pellet è ancora decisamente un combustibile economico, in grado di competere vantaggiosamente non solo con i combustibili fossili, ma anche con la legna stessa. Per quanto il prezzo a peso del pellet sia maggiore di quello medio della legna da ardere, va considerato che il pellet è molto più denso, contiene una percentuale di umidità decisamente minore ed ha un potere calorifico sensibilmente superiore.

Supponendo di dover riscaldare un'abitazione medio-grande che consuma circa 3850 m³ di metano all'anno, si possono osservare i vantaggi in termini di costi che il pellet può offrire in un solo anno di tempo:

Metano	Gasolio	GPL	Legna	Pellet
3000 €	3786 €	3219 €	1215 €	2034 €

Rispetto a GPL e gasolio, l'utilizzo del pellet presenta infatti, a parità di energia fornita, un risparmio del 40-50%, come evidenziato nella tabella sottostante tratta da uno studio del CTI (Comitato Termotecnico Italiano).

	Unità	Gasolio	GPL	Legna(Chips)	Pellet
Investimento	€	10000	8500	15750	14700
Costo capitale	€/anno	704	594	1110	1049
Costo di esercizio	€/anno	16294	13094	8310	8839
Costo per MWh	€/MWh	109	87	55	59

1.7 Reperibilità del pellet

Anche la distribuzione del pellet sul territorio appare soddisfacente, soprattutto al Nord ed al Centro. Le stufe a pellet sono ormai talmente diffuse che il loro combustibile viene distribuito sia dai centri commerciali e dalle catene del "Fai da te", sia dai tradizionali distributori di legna da ardere, molti dei quali hanno da tempo affiancato il nuovo combustibile al vecchio.

Poichè buona parte del costo reale del combustibile dipende dal costo del trasporto, è importante che l'utilizzatore verifichi la presenza di un distributore a poca distanza dal luogo di installazione e meglio ancora che provveda, se possibile, ad acquistarlo per tempo da un grossista o da un rivenditore specializzato in confezioni non inferiori ad un pallet completo (circa 70 sacchetti). Fare 50 km in auto per acquistare 3 o 4 sacchetti per volta in un negozio di casalinghi renderebbe molto probabilmente il riscaldamento a pellet del tutto antieconomico.

1.8 Vantaggi e svantaggi

1.8.1 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.
- 2) Utilizzando questo combustibile diminuiamo anche la nostra dipendenza dal petrolio e dal gas.
- 3) Il pellet è una risorsa rinnovabile ed ecosostenibile. 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) Rispetto alla legna sporca molto meno. Infatti mentre la legna porta con se

polvere e insetti, il Pellet è perfettamente chiuso in sacchetti.

- 8) 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.
- 9) Il pellet è un combustibile rispettoso dell'ambiente in quanto le sue emissioni di CO₂ 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.
- 10) Un altro vantaggio del pellet è il funzionamento autonomo. Infatti mentre il camino e le stufe a legna necessitano di una costante attenzione e di rifornimento di combustibile, la piccola forma dei pellet avvicina il loro funzionamento a quello dei fluidi come il gas. La stufa è in grado di alimentare la fiamma e regolare l'apporto di pellet in base alle esigenze

1.8.2 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.

1.8.3 Pellet vs legna

Il vantaggio più evidente del pellet rispetto alla legna è la comodità. Il pellet è fornito in sacchetti sigillati di plastica da 15 kg, facili da trasportare, immagazzinare ed utilizzare. Il serbatoio della maggior parte delle stufe consente da 50 sino a 80 ore di funzionamento a regime minimo, raramente una stufa deve essere caricata più di una volta al giorno, spesso sono sufficienti un paio di cariche a settimana. L'accensione è automatica e comandata da un cronotermostato che regola automaticamente temperatura e tempi di riscaldamento, ottimizzando il consumo. Il pellet è quasi privo di umidità, quindi la combustione è pulita e completa, le canne fumarie si sporcano meno, il residuo di ceneri è minimo rispetto alle stufe a legna e l'efficienza mediamente più alta. Rispetto ad una stufa a legna, non c'è bisogno di raccogliere, trasportare e tagliare la legna, non occorre stagionarla, non c'è rischio di infestazioni di insetti, niente ceneri e braci incandescenti da smaltire, niente diavolina e riti sciamanici per riuscire ad accenderla, nessun bisogno di attizzare il fuoco o controllare periodicamente l'andamento della combustione, meno o nessun problema con la pulizia della canna fumaria (che va ispezionata comunque almeno una volta all'anno prima dell'inizio della stagione).

È vero anche che le stufe a pellet costano mediamente il doppio rispetto ad una stufa a legna di pari potenza. Sono complessi meccanismi elettromeccanici ed elettronici che consigliano una installazione da parte di personale specializzato ed una manutenzione periodica simile a quella delle caldaie e gas. Come qualunque elettrodomestico sono nel tempo soggette a guasti e malfunzionamenti. Richiedono alimentazione elettrica per funzionare con un

impianto di messa a terra efficiente ed una corrente stabile per evitare guasti alla centralina elettronica. I motori elettrici ed i ventilatori sono rumorosi, specie nei modelli più economici. La fiamma è comandata ed ha un aspetto artificiale che toglie un po' della poesia del fuoco. Il combustibile specifico crea una dipendenza dal mercato non dissimile da quella dei combustibili fossili. Rispetto ad una stufa a pellet, una stufa a legna non contiene parti in movimento, non si rompe mai, funziona sempre, non richiede manutenzione specializzata, l'unico rumore che produce è lo scoppiettio della legna al suo interno, la fiamma visibile è quella di un vero focolare, non crea particolare dipendenza dal combustibile, visto che la legna è largamente più disponibile del pellet e qualcosa da bruciare si trova sempre. La maggior parte dei difetti di una stufa a legna dipende dalla mancata stagionatura del combustibile e dalla fatica e dal tempo richiesti per ottenerla.

Insomma, con una stufa a pellet si risparmia lavoro pagandolo con prezzi più alti e con la dipendenza dal combustibile e dalla manutenzione . Con una stufa a legna si guadagna in indipendenza ed autonomia e si risparmia denaro, ma al prezzo di molto più lavoro.

CAPITOLO 2: STUFA A PELLETT



2.1 Introduzione della caldaia a pelle

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. Il successo di queste stufe è dovuto al fatto che rappresentano uno dei più innovativi e vantaggiosi sistemi per il riscaldamento domestico e industriale. Con l'utilizzo di una semplice centralina elettronica sono diventate estremamente affidabili e precise. Hanno il grande vantaggio rispetto alle tradizionali stufe a legna di potersi accendere in maniera del tutto autonoma. Infatti è frequente trovare stufe programmabili, così da poterci offrire il massimo comfort già dal

nostro rientro a casa. Sempre grazie a questi controlli elettronici, è possibile dosare il combustibile a piacimento e quindi consentono un preciso controllo della temperatura e una buona ottimizzazione dei consumi. La temperatura può essere regolata tramite normali termostati o cronotermostati. Rispetto ad una tradizionale stufa a legna, è importante sottolineare, che necessitano di una manutenzione più frequente e soprattutto di una pulizia più accurata. Bisogna anche ricordare che risultano alquanto pratiche e sicure.

2.2 Funzionamento della stufa a pellet

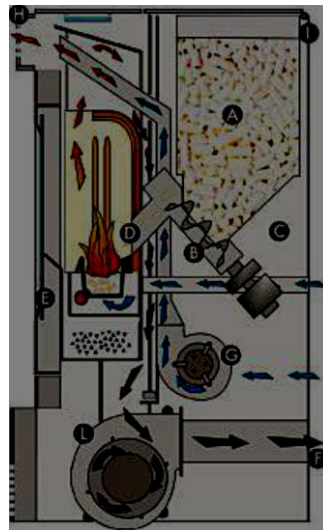


Fig.5 Schema di funzionamento di una caldaia a pellet

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

La (fig.5) soprastante illustra il funzionamento dei principali componenti di una comune stufa a pellet.

Come si vede dalla (fig.6) 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.

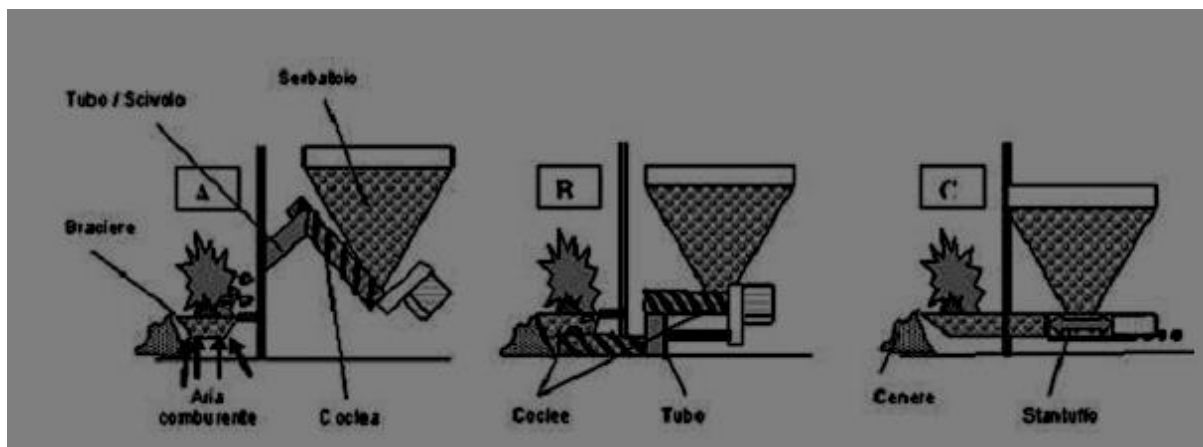


Fig.6 Tipologie di alimentazione braciere

Il sistema di gran lunga più usato, in particolar modo nell'Europa occidentale, è l'alimentatore a coclea inclinata a 40-45° (A) che provvede al prelievo ed al dosaggio stesso del pellet portandolo in caduta libera all'interno di un tubo; da qui il combustibile scivola per gravità sino all'interno del braciere nella camera di combustione. Tale sistema isola perfettamente il serbatoio e gli organi meccanici dalle alte temperature di combustione poiché il tubo di scivolamento non contiene alcuna ostruzione e rimane vuoto per la maggior parte del tempo. È fondamentale che il braciere abbia delle apposite fessure sul fondo in modo da far passare l'aria comburente. È presente sulla maggior parte delle stufe pellet in quanto risulta pratico, efficiente e sicuro. È importante che questo non sia fisso alla struttura della stufa, ma sia facilmente removibile, agevolando notevolmente così la pulizia periodica di cui necessita.

IL secondo metodo (B) era largamente usato in passato, ancor prima dell'avvento del pellet. Al giorno d'oggi trova successo nel momento in cui si deve trattare del combustibile di scarsa qualità. Per questo motivo trova successo negli impianti di maggiori dimensioni, ad esempio quelli industriali. Come si evince dallo schema la differenza principale sta nel fatto che vi sono due coclee. La prima preleva il combustibile dal serbatoio, mentre la seconda viene direttamente inserita all'interno del braciere. Questo comporta una differenza sostanziale rispetto alla disposizione A: il combustibile è alimentato dal basso e non in caduta dall'alto. Questo spiega perché questo sistema è meno sensibile alla qualità del pellet. Infatti nell'alimentazione A, il pellet bruciato viene espulso dal braciere dalla corrente creata dall'aria comburente. In questo caso, invece, l'alimentazione è forzata e questo fa sì che il materiale combusto e la cenere vengano spinti fuori dal braciere con la pressione esercitata dal nuovo combustibile in arrivo in maniera meccanica. Gli svantaggi più evidenti sono una più difficile distribuzione dell'ossigeno comburente e la presenza di un organo meccanico come la coclea finale che rimane costantemente a contatto con la combustione, quindi con temperature molto elevate. Questo comporta indubbiamente maggior usura dei metalli e di conseguenza maggior costi di manutenzione.

L'ultimo sistema di alimentazione è lo schema C. La differenza principale sta nell'utilizzo di un pistoncino al posto di coclee. Il combustibile viene letteralmente "spinto" dalla camera sottostante al serbatoio dentro un canale chiuso ai quattro lati che sbucca direttamente nella camera di combustione. Non è un sistema molto utilizzato per via del costo e della difficoltà di realizzazione (attriti per tolleranze/interferenze). Non dimentichiamo che le difficoltà sono anche di progetto, poichè sono assolutamente da evitare pericolosi ritorni di fiamma verso il serbatoio, accentuati da eventuale polvere di segatura residua lasciata dall'attrito stesso. I vantaggi sono legati alla sua capacità di maneggiare combustibili eterogenei.

Recentemente si possono trovare in commercio anche stufe con caricamento a valvola stellare in cui un dispositivo a forma di stella ruotando sul suo perno scarica in camera di combustione il pellet situato esattamente al di sopra della valvola stessa, rendendo così più sicuro il sistema grazie ad un isolamento in modo migliore la tramoggia ed eliminando la possibilità che la coclea si blocchi per pellet troppo duro o impastato.

Le stufe sono tutte dotate di serbatoi capienti che garantiscono dalle 16 alle 48 ore di autonomia dai quali il combustibile viene prelevato in automatico e trasferito alla camera di combustione. Il suo dosaggio, assieme a quello dell'aria comburente e alla portata di espulsione dei fumi viene costantemente regolato da una centralina che calcola la quantità necessaria di combustibile per raggiungere la temperatura desiderata dall'utente. Una volta raggiunta, la stufa si porta automaticamente in regime minimo, pronta a tornare a dare piena potenza non appena la temperatura dell'ambiente riscenderà sotto la soglia impostata. Le nuove stufe a pellet, in breve, non sono diverse da una caldaia a metano o gasolio con il suo termostato ambiente a parete o un condizionatore di nuova generazione.

L'accensione delle stufe a pellet avviene semplicemente premendo un tasto. Questa è una comodità da non sottovalutare, specialmente per chi non è pratico con la legna o ancor di più per chi ha poco tempo da dedicare alla cura del fuoco. Una volta dato l'input di accensione, una piccola resistenza elettrica detta candeletta provvede a portare il pellet alla temperatura di innesco, circa 200°, in pochissimi minuti. A tale proposito è necessario specificare che il consumo elettrico di tali apparecchi praticamente trascurabile. Infatti la candeletta di accensione, dalla potenza comunque minima di 200-300 watt si disinserisce subito dopo l'innesco. Da questo momento la stufa rimane accesa con tutte le sue funzioni di ventilazione con consumi simili a quelli di una lampadina da 60/90 watt!

Dopo l'accensione l'aspiratore dell'aria comburente convoglia l'aria verso il braciere e contemporaneamente spinge i fumi combusti nell'apposito scarico collocato posteriormente. Durante questo percorso i fumi caldi cedono parte del

loro calore allo scambiatore di calore che a sua volta scaldereà l'aria che dall'ambiente entra nella stufa e gli passa attraverso forzata dal ventilatore di convezione. Al termine del ciclo l'aria aspirata dall'ambiente esce calda dalle fessure superiori, sulla parte frontale della stufa. I due flussi d'aria, fumi e aria calda, sono ovviamente separati ermeticamente per evitare che i fumi si mescolino e finiscano all'interno dell'ambiente stesso.

Sono state inoltre sviluppate stufe che realizzano una post-combustione dei fumi prodotti dalla combustione principale. Questi fumi sono infatti molto ricchi di monossido di carbonio (CO) e messi a contatto con aria riscaldata, possono ancora bruciare e diventare anidride carbonica (CO₂), producendo ulteriore calore.

Le emissioni di CO consentite devono essere inferiori allo 0,04 %.

Per quanto riguarda i rendimenti, possiamo avere valori che raggiungono anche il 90% con una emissione di CO prossima allo 0.

2.3 Processo di combustione del pellet

2.3.1 Fasi della combustione

Di seguito verrà illustrato il procedimento della combustione del pellet, il quale può essere suddiviso in quattro fasi:

- ⑩ Essiccazione ed evaporazione dell'acqua
- ⑩ Gassificazione (pirolisi)
- ⑩ Combustione del gas
- ⑩ Formazione del carbone

Nella combustione del pellet circa l' 80% dell'energia è rilasciata sotto forma di gas ed il restante 20% sotto forma di carbone residuo.

1) Essiccazione

Quando del pellet arriva nella camera di combustione, il calore che si sprigiona farà evaporare l'acqua contenuta nei trucioli. Questa evaporazione richiede calore il quale 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

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 H₂ e metano CH₄.

3) Combustione dei gas

Se è presente una quantità sufficiente di ossigeno, quando raggiungono la loro temperatura di accensione, i gas si infiammano. L'idrogeno reagisce con l'ossigeno e forma acqua. Il carbonio degli idrocarburi ed il monossido di carbonio bruciano 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 manifestano come fumo dal quale si possono sprigionare fiamme, non appena la temperatura o l'ingresso di ossigeno venga 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. Le ceneri, infine, si depositano in un cassetto sottostante al braciere.

2.3.2 Impatto del combustibile

Le caratteristiche della stufa hanno una grande importanza nella determinazione del combustibile da utilizzare, infatti scegliendo un pellet inadeguato per l'impianto in nostro possesso, potremmo incorrere in problemi e malfunzionamenti. Di seguito andremo a vedere quali sono i tre componenti principali che caratterizzano il pellet:

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 necessita di maggior calore per l'evaporazione dell'umidità in eccesso. Per questo motivo ha un potere calorifico più basso e la camera di combustione deve essere isolata per trattenere il calore e permettere al processo di combustione di proseguire. Questo viene tipicamente ottenuto rivestendo la camera di combustione con piastrelle isolanti. La caldaia sarà quindi progettata per bruciare una tipologia di combustibile 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. 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. Inoltre la cenere è un materiale di scarto che va a sporcare e intasare le stufe. A seconda perciò della cenere prodotta corrisponderà una determinata frequenza di pulizia ordinaria della camera di combustione.

Sali

Il pellet contiene anche sali che hanno un'influenza nel processo di combustione. Questi sali sono principalmente potassio e 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 quest'ultima 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 di circa 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'efficiente 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 la qualità di combustione. In una combustione completa vengono prodotti soltanto anidride carbonica ed acqua. La combinazione sbagliata di combustibile, aria comburente e tipo di impianto può causare il cattivo utilizzo del carburante e dell'energia in esso contenuta, con negativi impatti ambientali. Le condizioni richieste per una corretta combustione sono:

1. Alta temperatura
2. Surplus di ossigeno
3. Tempo di ritenzione
4. Mescolamento

Se tutte queste condizioni sono rispettate nel modo corretto saranno garantiti una bassa emissione di monossido di carbonio (CO) e di idrocarburi insieme con un basso contenuto di carbonio nelle ceneri incombuste.

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). Al contrario, se 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 elevata. 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. Oltre ad una corretta alimentazione di aria, è necessario un buon mescolamento di quest'ultima con i gas. Si ottiene questo fornendo in un primo tempo parte dell'aria nella zona di combustione (aria primaria) e successivamente l'altra parte al di sopra della

zona di combustione (aria secondaria). Il mescolamento deve avvenire prima che i gas si raffreddino scorrendo sulle pareti della camera di combustione o diluendosi per l'eccesso di aria.

Nella maggior parte degli impianti di riscaldamento che utilizzano pellet, l'alimentazione di aria per la combustione avviene in maniera forzata, 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 dalla centralina. Il più avanzato controllo di combustione dell'aria avviene con l'ausilio di una sonda lambda nel condotto dei gas di scarico.

Una temperatura di combustione troppo bassa non è auspicabile.

Nelle stufe a pellet la temperatura di combustione arriva a 650/700°C. Se la temperatura nella camera di combustione è troppo bassa c'è il rischio che alcuni degli idrocarburi del legno passino incombusti attraverso il camino. Dal momento che questi 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 di una caldaia a pellet

Di seguito andremo a definire i componenti principali di una comune stufa a pellet, cercando di illustrarne in maniera esauriente le caratteristiche ed il funzionamento.

Serbatoio

Il serbatoio del pellet, è comunemente 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. Questa particolare forma serve a convogliare tutto il pellet presente verso la coclea. Generalmente questo è fatto di una semplice lamiera. Il materiale non deve presentare particolari caratteristiche meccaniche se non quella di sopportare almeno un peso di 15 kg. Questo è infatti il peso minimo commerciale di un sacco di pellet. La capacità del serbatoio determina l'autonomia della stufa e può variare da 15 a oltre 60 kg a seconda del modello. Ovviamente il pellet non comporta nessun pericolo di corrosione. In genere il serbatoio è chiuso con un serbatoio sulla parte superiore della stufa. Questo isola il combustibile dall'umidità e migliora l'estetica dell'apparecchio.

Coclea



La vite senza fine, detta anche coclea, 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. Anche questo componente è principalmente costituito da acciaio. La coclea deve essere di un materiale resistente, perchè è strettamente connessa alla camera di combustione e per questo motivo deve essere in grado di sopportare temperature assai elevate. La miglior durata della coclea è assicurata da un corretto montaggio aiutato da bronzine e cuscinetti. 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 e le polveri che si creano dal pellet, le quali possono tappare la coclea e più in generale non aiutano la combustione.

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. Quest'ultima tipologia di alimentazione è assai tollerante e viene spesso utilizzata nei grossi impianti di riscaldamento, specie quelli industriali. Questo perchè anche se il pellet utilizzato non è costante nella forma e nelle proprietà, la cenere viene spinta via dal braciere dalla coclea stessa in maniera forzata.

In alcuni casi al posto della coclea possiamo trovare un piccolo pistoncino.

Questo metodo di alimentazione è ancora poco diffuso, per via dei maggiori costi di produzione e le difficoltà realizzative.

Motoriduttore



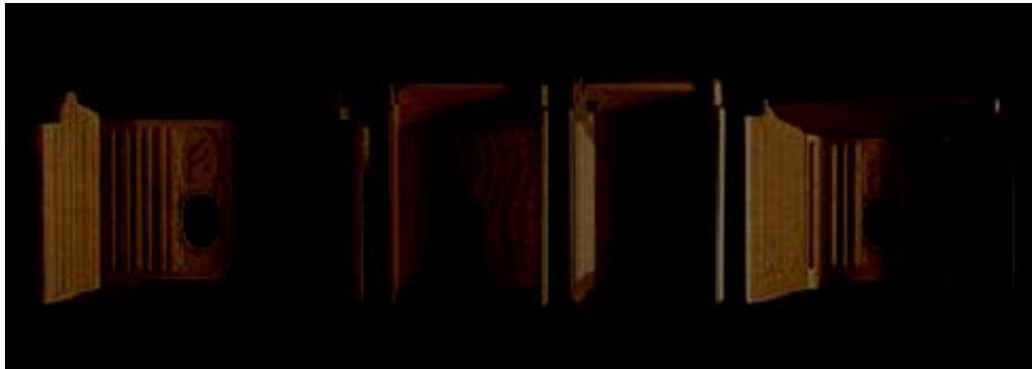
Il motoriduttore è il sistema di ingranaggi a ruote dentate che trasmette il movimento alla coclea alla quale è collegato. Esso è posizionato, insieme alla coclea, nella parte inferiore del serbatoio. Il movimento trasmesso avviene ad intervalli regolari, modificabili mediante la scheda di comando, che 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.

Quando il motoriduttore deve funzionare in servizio continuo, il motore monta una bobina che dispone di un'avvolgimento autoprotetto dalla propria impedenza, tale proprietà consente al motore di mantenere un corretto funzionamento per tutta la durata del lavoro e di non danneggiarsi anche nel caso di bloccaggio, rispettando la temperatura esterna e la classe di isolamento.

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 il vantaggio di trattenere in maniera ottimale 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, 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. 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 agganciata posteriormente (dalla parte di caduta dei pellet) per convogliare il combustibile nella parte anteriore lasciando molta aria dietro alla piastra favorendo così un'accensione più immediata, evitando il rischio di soffocamento della fiamma o un'accensione fulminea con botto annesso.

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. Nella foto soprastante si può vedere l'esempio di un cassetto mal curato, quasi saturo di cenere. Questo non agevola il normale funzionamento della stufa e ne aumenta il deterioramento.

Candeletta di accensione



La resistenza a candeletta, 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

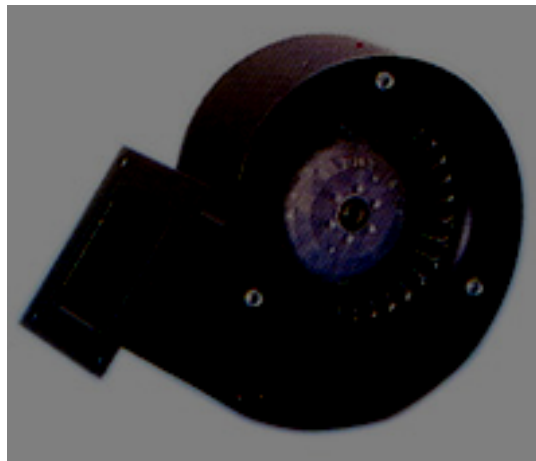
trucioli caduti nel braciere durante la fase di accensione per poi trasmettere la fiamma a quelli successivi. Dopo 15 minuti (salvo diversa impostazione da parte dell'utente) avviene lo spegnimento automatico della candeletta, pilotato da un temporizzatore incluso nella scheda di controllo.

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 oppure 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



È situato nella parte inferiore della stufa. L'aria fresca viene aspirata dall'ambiente e incanalata 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. Questa scelta è stata fatta per ridurre al minimo i costi.

Aspiratore per l'espulsione dei fumi

L'aspiratore 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. L'aspiratore fumi può essere posizionato anche direttamente nella canna fumaria, rendendo così l'intera canna fumaria in depressione. Questa scelta aumenta il fattore sicurezza dell'impianto. Per quanto riguarda i costi, se da un lato risparmiamo sull'aspiratore e di conseguenza sulla stufa, dall'altro avremo più costi d'installazione.



Sportello e vetro



Il telaio dello sportello solitamente è in ghisa refrattaria, mentre il vetro è un vetro ceramico, 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. Questo flusso d'aria lambisce costantemente il vetro dello sportello e contribuisce a mantenerne la superficie pulita (fino a 50 ore).

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 con la quantità di combustibile fornita al braciere. Queste regolazioni, piuttosto complesse, assieme all'accensione e spegnimento automatico, sono gestite da una centralina elettronica. Essa regola:

- 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, 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.
- La frequenza di rotazione della coclea.
- La portata di aspirazione dei fumi, in correlazione alla normale aspirazione della canna fumaria. Questa infatti varia a seconda dell'altezza della stessa, ma anche in base al clima esterno. Una giornata ventosa aumenterà il normale tiraggio della canna fumaria.

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, 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.

Valvola anti-esplosione

La valvola antiesplorazione 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.



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. Questo materiale non scotterà mai, perciò risulta anche più sicuro se in casa abbiamo bambini o animali domestici. 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. Unico svantaggio: il costo.

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 pulito 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. Il vantaggio

principale nella scelta di questo di questo materiale è il costo. Infatti possiamo ottenere un ottimo risultato estetico e funzionale, da un semplice processo di fusione, senza ricorrere ad ulteriore processi di lavorazione e assemblaggio.

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 (come nell'immagine soprastante) 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. La lunghezza della canna fumaria incide sul tiraggio della stufa. Una canna fumaria più alta, creerà una depressione maggiore in camera di combustione, diminuendo lo sforzo della ventola di aspirazione fumi, aumentandone così la longevità.

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. Queste sono funzioni fondamentali per chi è spesso fuori casa e ha sempre poco tempo per rilassarsi in casa. Infatti normalmente con una stufa classica o un camino ci vorrebbero diversi minuti solo per la preparazione della legna sul braciere. 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. I sacchi di pellet necessitano di uno spazio di deposito minore rispetto alla legna. Sono meno soggetti ad ambienti umidi, perchè ben isolati dal sacchetto. La legna necessita una cura maggiore.
6. Le stufe a pellet sprigionano una quantità di monossido di carbonio di gran lunga inferiore di quelle a legna.
7. Sono estremamente sicure. Infatti se da una parte è pericoloso lasciare un camino acceso, mentre non si è in casa, in particolar modo se vicino a tende o tappeti, una stufa a pellet con i suoi moderni sensori e controlli elettronici è in grado di prevenire qualsiasi situazione potenzialmente pericolosa con largo anticipo.
8. Il pellet (come la legna) è una fonte di energia rinnovabile ed ecologica che non inquina l'ambiente.
9. Hanno un rendimento di gran lunga maggiore a qualsiasi camino. Sono infatti paragonabili alle tradizionali stufe a legna. Nel caso in cui la legna non sia ben stagionata infatti anche le tradizionali stufe perdono il confronto.
10. Con gli anni lo sviluppo di questo tipo di apparecchi ha subito notevoli

evoluzioni, a seguito del sempre maggior crescente interesse. Questo ha portato alla nascita di vere e proprie caldaie a pellet, in grado di scaldare una casa non solo con la circolazione forzata dell'aria, ma anche tramite un impianto di riscaldamento a pavimento. In parallelo queste caldaie sono in grado di scaldare anche l'acqua di casa. In questo modo si rende molto più ridotta la dipendenza dal vecchio riscaldamento a gas.

11. Potenzialmente le stufe a pellet sono in grado di funzionare senza canna fumaria.
12. Hanno un'autonomia decisamente migliore rispetto agli impianti a legna. Difficilmente infatti è necessario caricare il serbatoio più di una volta al giorno. Con le stufe di capienza maggiore si possono raggiungere fino alle 60 ore di autonomia. Questo è un risultato notevole se pensiamo che un camino ha necessità di cura costante per rimanere acceso e vigoroso.

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 e resistenze 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.
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, rischieremo 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 aspiracenere. 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 riassembraggi 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.

12. Le stufe a pellet costano mediamente il doppio rispetto ad una stufa a legna di pari potenza.

2.6 Installazione

La normativa vieta l'installazione in ambienti in cui sono presenti apparecchi a gas di tipo non stagno e nelle cucine dotate di ventilatori o aspiratori che possano mettere in depressione il locale.

Come tutti gli apparecchi a combustione, anche queste stufe hanno bisogno d'aria. La quantità necessaria è generalmente bassa: occorre farla valutare in base alla potenza dell'apparecchio. Un collegamento diretto con l'esterno, come per le caldaie, non è sempre necessario, anche se preferibile. È obbligatoria la certificazione di stufe e caminetti (EN 13229, EN 13240) e quella delle canne fumarie (EN 1443).

Le norme di riferimento sono la Uni En 14785 per la certificazione degli apparecchi rispetto a prestazioni (rendimento, efficienza, emissioni) e sicurezza, mentre la Uni 10683 riguarda l'installazione (deve sempre farla un tecnico abilitato).

Per canna fumaria si può intendere il camino che porta i fumi al colmo del tetto mentre per canale fumi invece l'insieme delle componenti in metallo che partono dall'apparecchio e arrivano al colmo del tetto o alla canna fumaria. Installare una stufa a pellet senza un adeguato scarico oltre ad essere contro le normative vigenti è anche impossibile per il corretto funzionamento della stufa e la sicurezza. Altra informazione di rilievo è il fatto che i tubi utilizzati devono essere certificati e idonei all'evacuazione fumi del prodotto utilizzato.

Un'altra nota da sottolineare è l'idea sbagliata che in molti si sono fatti riguardo alla possibilità di scarico a parete di stufe e caldaie a pellet. Tale convinzione è errata per vari motivi, ad esempio:

- ⑩ Questo tipo di installazione non è a norma di legge
- ⑩ c'è una resa inferiore del prodotto, ovvero a parità di consumi si ottengono risultati peggiori
- ⑩ la facciata dell'edificio dove arriva la canna fumaria si sporca di fuliggine
- ⑩ c'è il rischio di ritorni di fumo in caso di malfunzionamento del motore fumi o la mancanza di corrente elettrica

Capita spesso su internet di imbattersi in stufe o caldaie a pellet

ingannevolmente pubblicizzati come “senza canna fumaria”, questo significa che non è obbligatorio avere una canna fumaria già esistente ma che la si può creare appositi tubi certificati secondo le norme. Solitamente il diametro dei tubi fumo per le stufe a pellet è 80mm o 100mm a seconda delle potenze, sul mercato italiano esistono molti produttori di qualità.

2.7 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. 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.

2.8 Come calcolare la potenza termica da installare

Nel momento in cui decidiamo di acquistare una stufa a pellet, è importante conoscere alcuni dati che ci serviranno a fare la scelta giusta e ci aiuteranno a comprare il prodotto più adatto alle nostre esigenze. Quello descritto di seguito non va preso come regola assoluta e soprattutto non rappresenta il consumo medio di un'abitazione, ma è un semplice dimensionamento del tipo di apparecchio necessario, dimensionato per eccesso.

Innanzitutto va detto che il consumo calorico di un edificio è rappresentato basicamente dalla quantità di metri cubi di aria da riscaldare. Normalmente si considera un assorbimento di circa 35 Kcal (40 se aggiungiamo la produzione di acqua calda sanitaria) per metro cubo di aria; per chiarezza, dal momento che oggi giorno sono sempre più utilizzati i Kilowatt termici (da non confondersi con il consumo elettrico) come unità di misura, è necessario conoscere i seguenti rapporti di conversione:

1 Kilowatt = 1000 Watt

1 Kwatt. termico = 860 calorie

Per esempio se il nostro alloggio misura una superficie di 120 Metri quadri e l'altezza media dei soffitti è di 2,8 metri lineari:

$$(120 \text{ M}^2. \times 2,8 \text{ Mt. h.}) = \text{M}^3 336$$

quindi per determinare la potenza da installare:

$$\text{M}^3 336 \times \text{Kcal. } 35 = \text{Kcal. } 11760 ;$$

$$\text{se si desidera il valore espresso in Kw. termici: Kcal. } 11760 \text{ diviso per } 860 = \text{Kw. } 13,67$$

Come si vede dai calcoli l'alloggio di cui sopra necessita di una caldaia di c.ca 14 Kwatt. di potenza; ovviamente le potenze minime disponibili dei modelli, eventuali correzioni dovute a utilizzo o non di acqua calda sanitaria, condizioni di particolare isolamento, fanno sì che la scelta definitiva ricada su potenze un poco differenti; comunque il calcolo fornisce un'idea sufficientemente precisa.

CAPITOLO 3: PROGETTO

3.1 Obiettivi

Il primo fondamentale obiettivo che mi sono fissato è stato quello di aggiungere al vasto mercato delle stufe a pellet una nuova opzione estremamente

economica. Infatti spesso chi sceglie di virare su una scelta di questo tipo per riscaldare la propria abitazione, lo fa con lo scopo di avere un vantaggio considerevole sulle bollette di fine mese. Riscaldare un ambiente con un classico impianto a gas o metano è assai più dispendioso rispetto a tecnologie come legno o pellet. Per questo motivo ho ritenuto di primaria importanza focalizzarmi su un prodotto adatto ad ogni target di acquirente. L'obiettivo è quello di inserire questo prodotto in quella fascia di mercato che vanta tecnologie per il riscaldamento di ambiente di piccole dimensioni, come monocali o bilocali. Le tecnologie utilizzate ad oggi giorno sono decisamente più dispendiose. Affianco al normale riscaldamento a gas, dove questo non è presente troviamo spesso impiegate stufe o termosifoni elettrici. Trasformare la nobile energia elettrica, nella forma più secondaria quale l'energia termica, non è mai conveniente in termini economici.

Un secondo importante obiettivo che mi sono fissato è stato quello di progettare un prodotto facile da assemblare e da pulire. La pulizia è un fattore fondamentale di questa tecnologia. Un facile assemblaggio con pochi componenti e di peso contenuto, facilitano la pulizia e la manutenzione di tutti gli organi di funzionamento.

L'ultimo obiettivo che ho cercato di raggiungere è stato offrire un design curato nei particolari nonostante il budget limitato. Come un classico camino, le stufe fungono anche da arredo all'interno di un'abitazione. Per questo motivo, in un mercato dove la concorrenza è vasta e attrezzata, è fondamentale non trascurare l'estetica e colpire l'acquirente anche col design, oltre che ai dati di progetto e ai costi.

3.2 Il modello

Per disegnare il progetto mi sono aiutato col programma per disegno al CAD Solidworks. Il fattore economico delle stufe ha influenzato il progetto fin dai primi schizzi. Studiando il mercato odierno delle stufe e sfogliando i cataloghi dei principali rivenditori, ho cercato di estrapolare quali fossero le linee più apprezzate dalla comunità.

Per quanto riguarda il materiale costruttivo ho optato per la ghisa. La scelta è stata fatta guardando prima di tutto le proprietà meccaniche del materiale e il costo. La ghisa permette di ottenere forme di elevata complessità e quindi con

un buon risultato estetico semplicemente con un'unica fusione. A differenza dell'acciaio, che può essere modellato in prevalenza solo per forgiatura, la ghisa, per le caratteristiche di grande fluidità alla temperatura di fusione, è ideale nella produzione di getti di fusione. Questi consistono nel realizzare la forma negativa di ciò che si vuole ottenere e con la successiva colata della ghisa liquida nello stampo che, andando a occupare la parte vuota, assume la forma desiderata. Il raffreddamento dei getti influenza la struttura della ghisa, che risulta bianca o grigia a seconda che il raffreddamento sia stato rapido o graduale. La scelta di questo materiale mi ha permesso di contenere i costi; allo stesso tempo di ottenere un'elevata robustezza strutturale e di conseguenza una garanzia funzionale durevole nel tempo. Infatti la ghisa è una lega ferro-carbonio con tenore di carbonio relativamente alto, oscillando tra i valori in percentuale 2,06% e 6,67%, che è il limite di saturazione. La presenza del carbonio in elevata quantità nella ghisa ha, inoltre, una notevole attività antiruggine, così che spesso i manufatti in ghisa, e specialmente gli arredi urbani, sono verniciati non al fine di una particolare protezione, ma solo per motivi estetici. Nel mio caso ho scelto di non verniciare la stufa, sia per mantenere uno stile più classico e rendere così più apprezzabile lo stile rustico della ghisa, sia per contenere i costi, evitando trattamenti non necessari come la verniciatura.

Se per la struttura principale la scelta è ricaduta sulla ghisa, è stato però necessario servirsi di diversi componenti in acciaio per completare l'intero progetto. La parte superiore della stufa è stata fatta con un'unica lamiera in acciaio al carbonio semplice, verniciata successivamente di un color grigio scuro, per uniformarsi all'aspetto della ghisa. Questa scelta è stata dettata da motivi di montaggio. Poter sollevare la lamiera, posizionata come un coperchio sopra la stufa, permette un facile assemblaggio delle componenti interne. Allo stesso modo dopo diversi cicli di funzionamento, permette una facile pulizia e una veloce riparabilità, grazie al facile smontaggio delle componenti interne. Sempre di acciaio sono i tubi che portano aria fresca alla camera di combustione e quelli che portano i fumi combusti alla canna fumaria. Per il braciere, il serbatoio, il coperchio del serbatoio e il cassetto per la raccolta della cenere è invece stato usato un semplice acciaio per lamiera. Per ottimizzare velocità di produzione e costi ho scelto dove possibile di usare semplici lamiere verniciate perchè la loro applicazione in stufe offre caratteristiche meccaniche più che sufficienti e permettono di contenere i costi. Nelle aziende moderne, con le macchine per taglio laser e comuni piegatrici è

facile ottenere una grande varietà di forme in maniera veloce ed economica. Gli altri componenti che danno vita a questo progetto sono la candeletta per l'accensione della stufa e il motore elettrico che mette in movimento la coclea, per l'alimentazione del braciere. A tal fine ho scelto un motoriduttore compatto, di bassa potenza, consigliato per queste applicazioni. Per contenere i costi è stato previsto il funzionamento della stufa senza l'impiego di una centralina elettronica. Il funzionamento è garantito comunque dal motoriduttore che è in grado di funzionare con un intermittenza del 30%, tenendo controllati così consumi e fiamma. Per l'estrazione dei fumi dalla camera di combustione la stufa prevede l'installazione di un aspira fumi nella canna fumaria, così da tenere tutto il funzionamento in aspirazione e in leggera depressione, per una combustione migliore e più sicura.

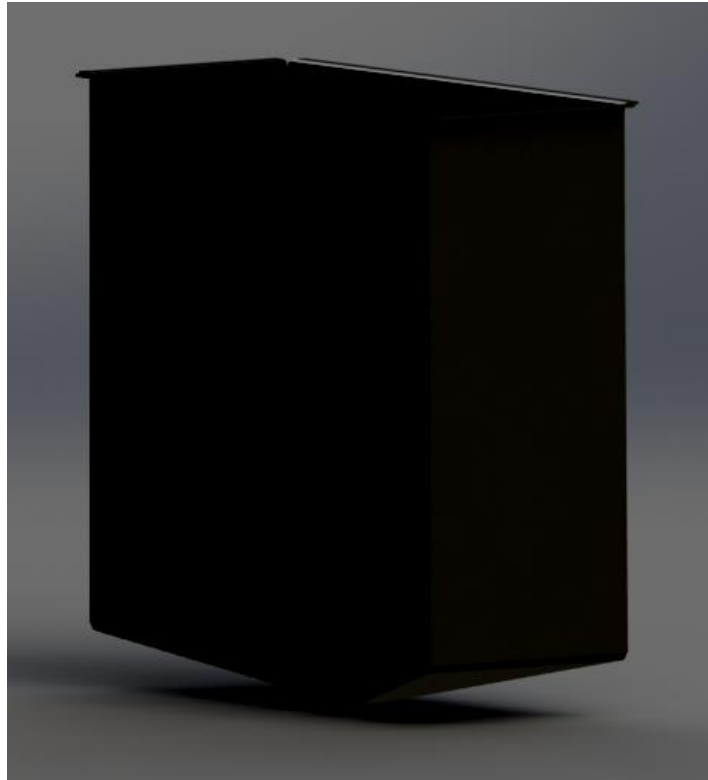
In termini di sicurezza è stato installata nella stufa una valvola antiesplorazione. In caso di malfunzionamento dell'accensione, la valvola rivela un aumento di pressione e permette di espellere i fumi e tornare in condizioni di sicurezza. Il budget limitato ha escluso la possibilità di installare ulteriori sensori, per monitorare la fiamma e la temperatura in camera di combustione. L'assenza di una centralina elettronica, limita l'uso di una stufa di questo tipo. Per questo è consigliato l'utilizzo sotto supervisione di un adulto. Sarebbe altamente pericoloso lasciare la stufa accesa in casa, senza la presenza di una persona che controlli che la fiamma sia accesa e il funzionamento della stufa sia regolare. Tutte queste "aggiunte" possono essere previste in versioni più complete rispetto alla stufa di base. Ovviamente con l'aumentare degli optional, aumenterà anche il prezzo, riducendo così il target di compratori. Per contenere il peso e di conseguenza i costi di produzione e fusione della ghisa, ho ritenuto importante cercare di contenere le dimensioni della stufa. Con i suoi 645 mm di altezza e 62 kg di massa complessiva, la stufa è in assoluto una tra i modelli più compatti in commercio. La totale assenza di ventole, da un lato la limita nella potenza di calore fornito, ma dall'altro ci permette di avere un prodotto a buon mercato, quasi ininfluenza sui consumi di luce in casa. Altro vantaggio apprezzabile durante il suo funzionamento è l'ottima silenziosità. Con il solo rumore della coclea che ad intermittenza fornisce nuovo braciere alla combustione, ci possiamo godere il suono della fiamma e lo scricchiolio della legna che arde. Allego qui di seguito i disegni finali della caldaia a pellet, realizzati tramite il programma di grafica SolidWorks.



Telaio



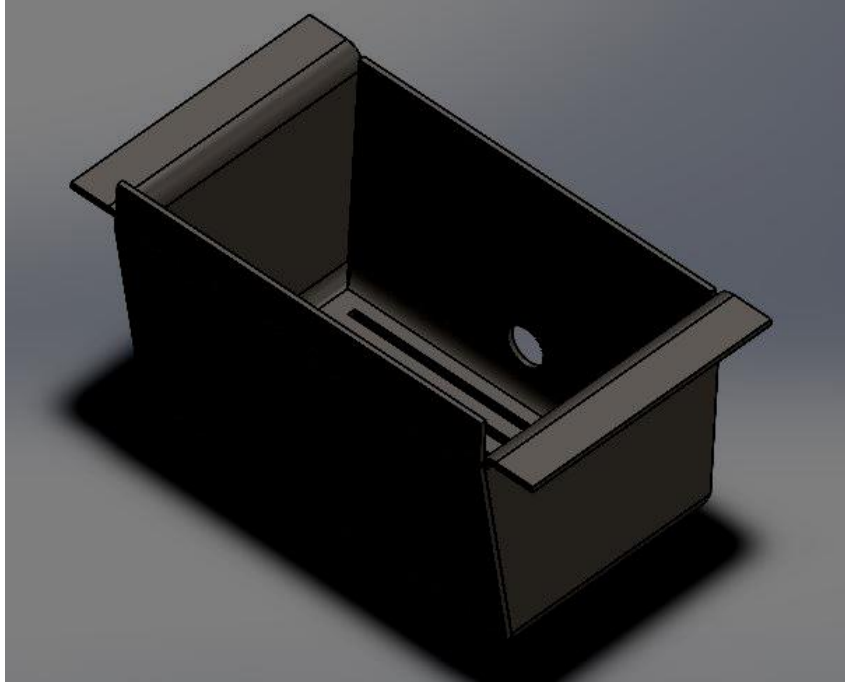
coperchio in lamiera



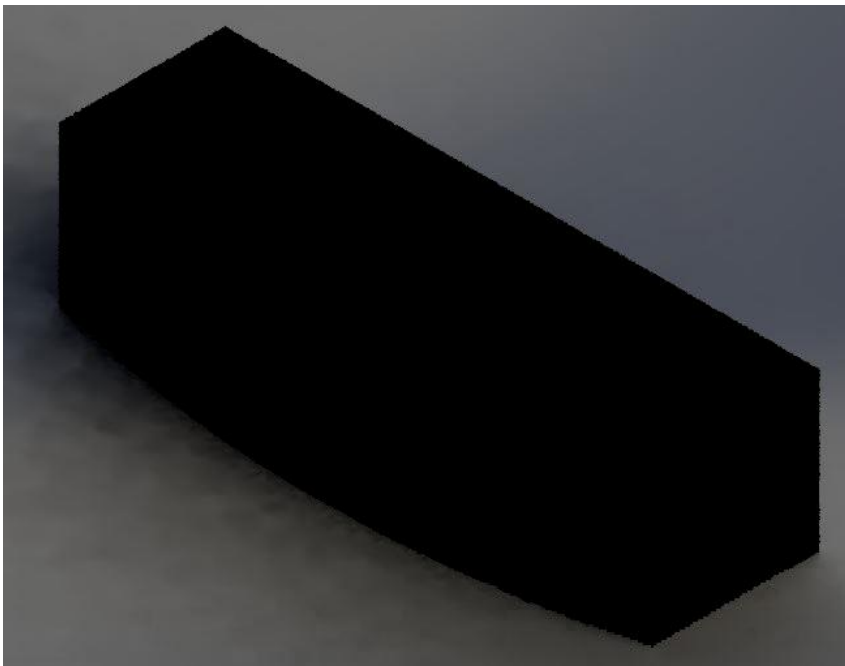
serbatoio



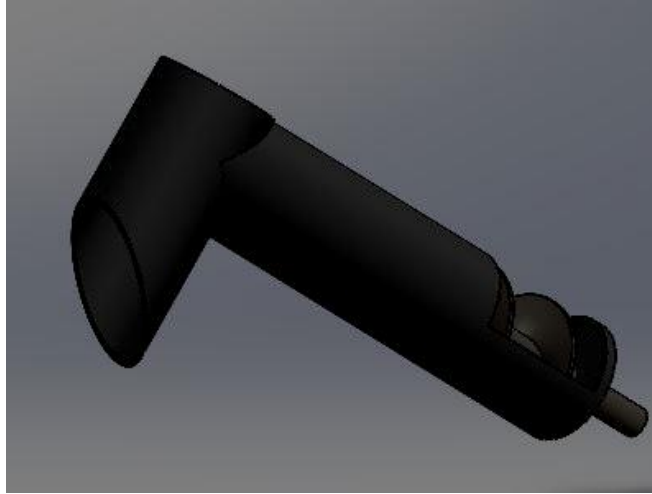
tubi per aspirazione fumi



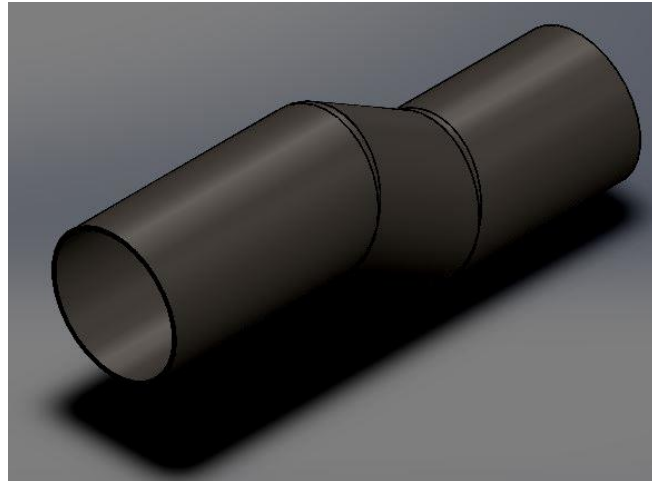
braciere



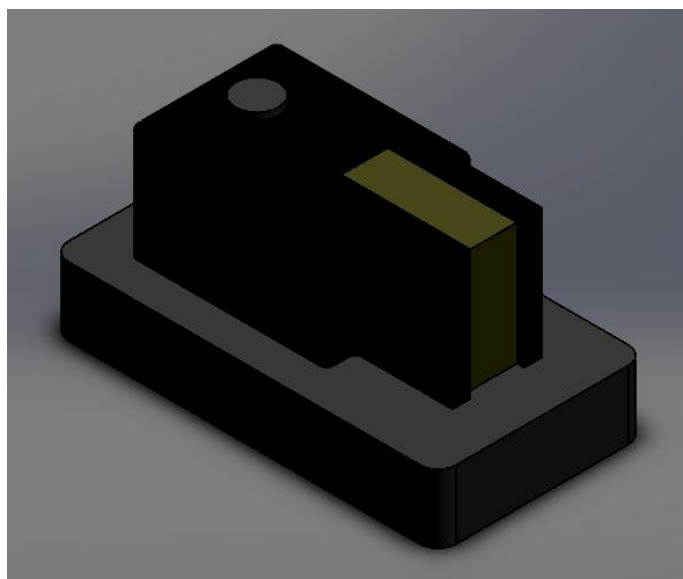
cassetto per raccolta cenere



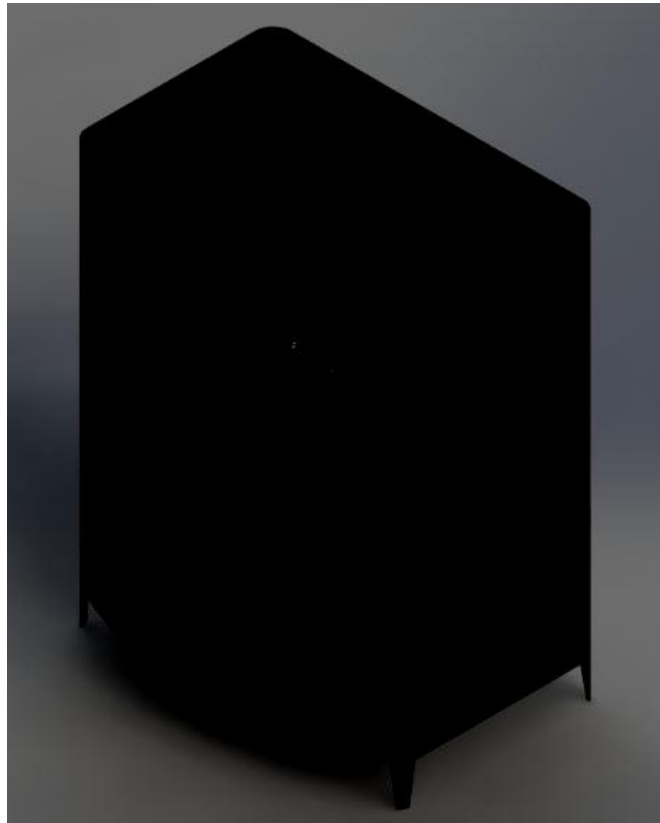
coclea



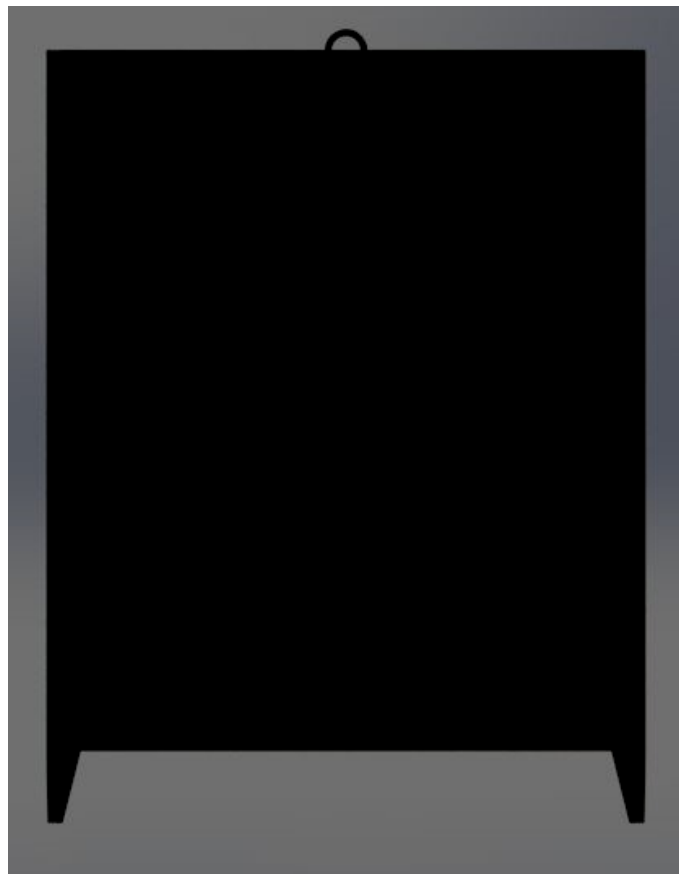
tubo immissione aria fresca



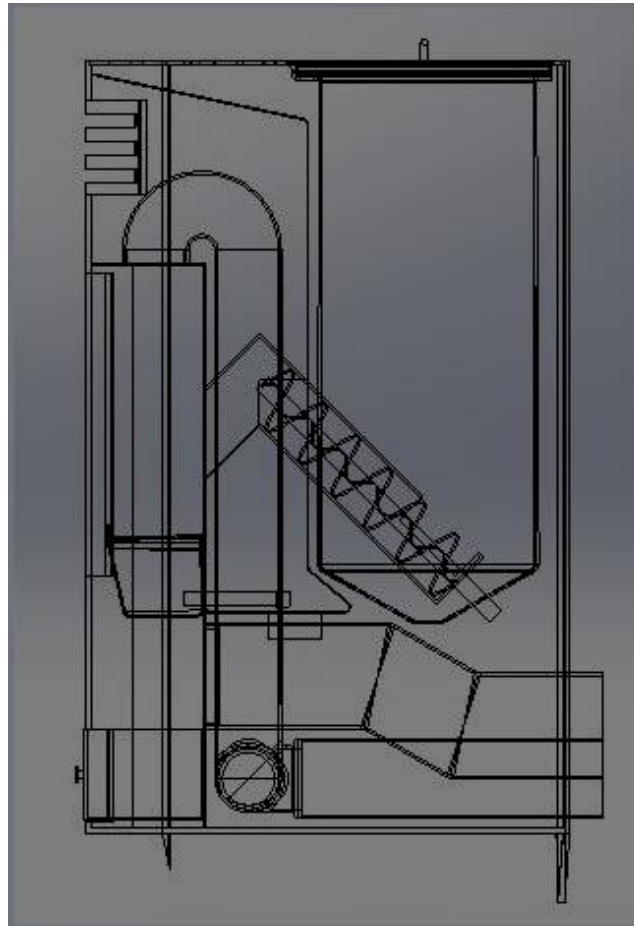
motore elettrico



complessivo in vista isometrica



complessivo in vista frontale



vista laterale in trasparenza

3.3 Analisi della potenza termica

Chiunque decida di installare una stufa nella propria abitazione vorrà certamente sapere quale sia la reale potenza termica da essa generata. La maggior parte delle stufe in commercio, va in genere dai 5 kW ai 15 kW. Ovviamente le stufe più potenti sono anche più onerose. Negli ultimi anni questa tecnologia ha subito notevoli evoluzioni e negli ultimi anni troviamo modelli che a parità di potenza generata permettono di scaldare l'abitazione in maniera più uniforme. Oltre alle più tradizionali stufe ad aria ventilata ora sui cataloghi si trovano frequentemente stufe ad aria canalizzata o persino stufe per scaldare acqua.

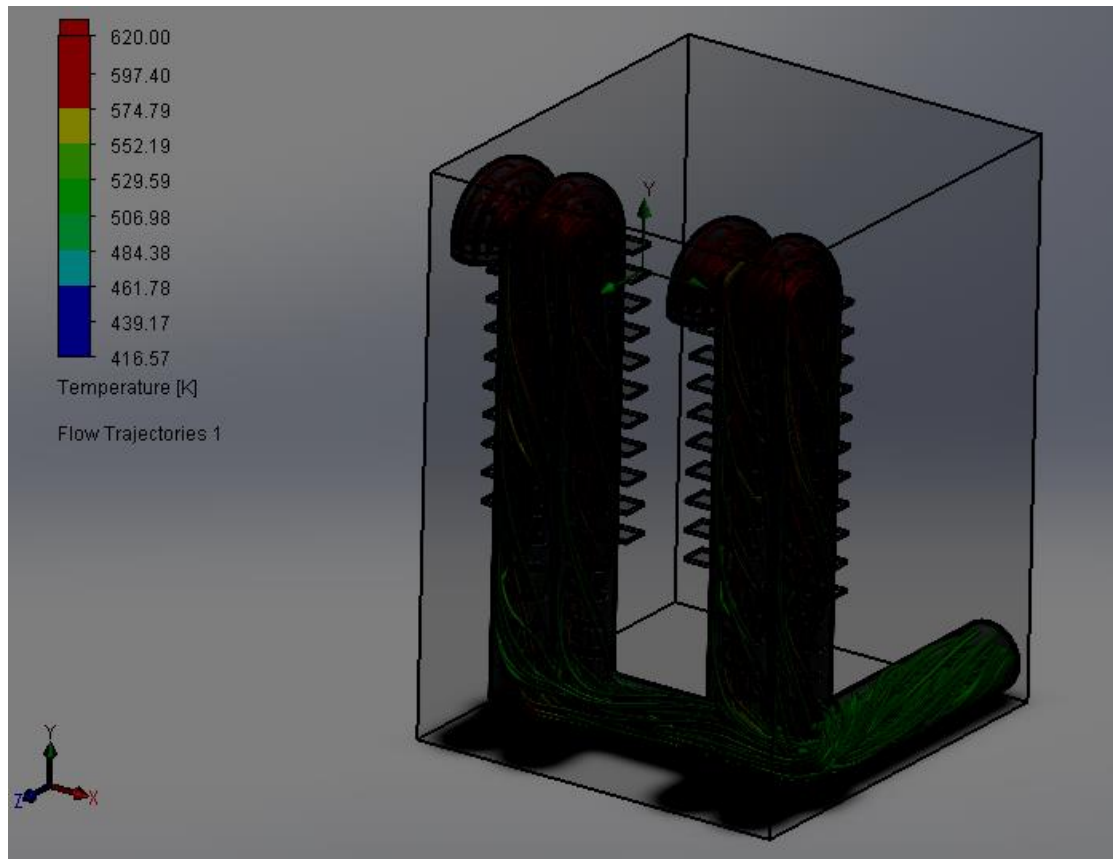
Il nostro progetto va a competere nella fascia bassa del mercato. L'obiettivo era quello di costruire una stufa economica dal rapporto qualità prezzo elevato, in modo da sopraffare la concorrenza. Il principio che permette di scaldare l'aria all'interno della nostra stufa è quello dello scambiatore controcorrente, ovvero uno scambiatore a superficie. Si definiscono a superficie gli scambiatori nei quali i fluidi percorrono circuiti diversi rimanendo separati e la trasmissione di energia termica avviene fra fluidi a temperatura e pressione diverse. Nonostante si possa

aumentare la superficie di scambio grazie all'aggiunta di alette, questo tipo di scambiatori non sono in grado di sfruttare tutto il salto di temperatura richiesto. Nel caso in cui i fluidi siano a temperatura variabile, ovvero in monofase come nel nostro caso, e sufficientemente distanti dalla saturazione la formula della potenza scambiata è:

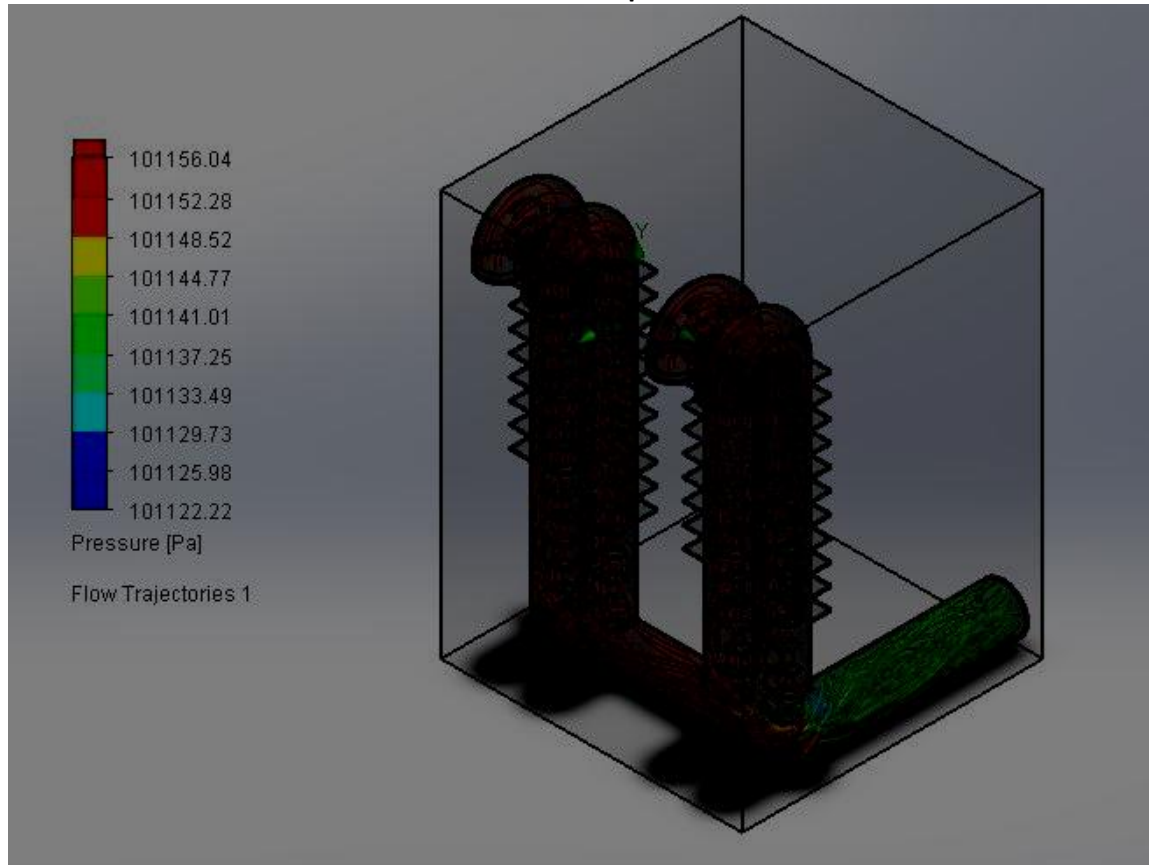
$$Q = G * c_p * DT$$

Andando ad analizzare la formula sopra enunciata, possiamo definire G come la portata in massa di aria che andremo a riscaldare. L'unità di misura di questa variabile è Kg/s. C_p non è altro che il calore specifico dell'aria stessa. Questo valore si esprime in J/(kg*K) e può variare da 1005 a 1030 a seconda che l'umidità vari dallo 0% al 100%. Infine DT è la variazione della temperatura che l'aria subisce tra l'ingresso e l'uscita dello scambiatore. In primo luogo ho fatto un'analisi sull'andamento di temperatura, pressione e portata dei fumi della combustione, dalla camera di combustione fino alla canna fumaria. Per ricavare i dati necessari mi sono servito del programma Solidworks, in particolare la parte di Flow Simulation. In prima istanza il programma richiede di impostare le condizioni generali del progetto che si va ad analizzare. Ho così impostato il coefficiente di conducibilità termica dell'acciaio che costituisce i tubi all'interno dei quali scorrono i fumi. Il valore immesso è di 30 W/(m² K). Inoltre ho impostato la temperatura ambiente all'esterno della stufa, così come la pressione ambiente. Infine ho impostato come condizioni al contorno la portata e la temperatura dei fumi in ingresso nei tubi dello scambiatore e ho messo all'uscita la pressione atmosferica. Impostando per i fumi una portata di 5 g/s fumi e una temperatura di circa 350 °C sono così riuscito a scoprire la temperatura in uscita dei fumi, vedere l'andamento della pressione e trovarmi la temperatura media delle pareti dello scambiatore.

Di seguito mostrerò alcuni rendering dei test fatti con questi dati in ingresso:



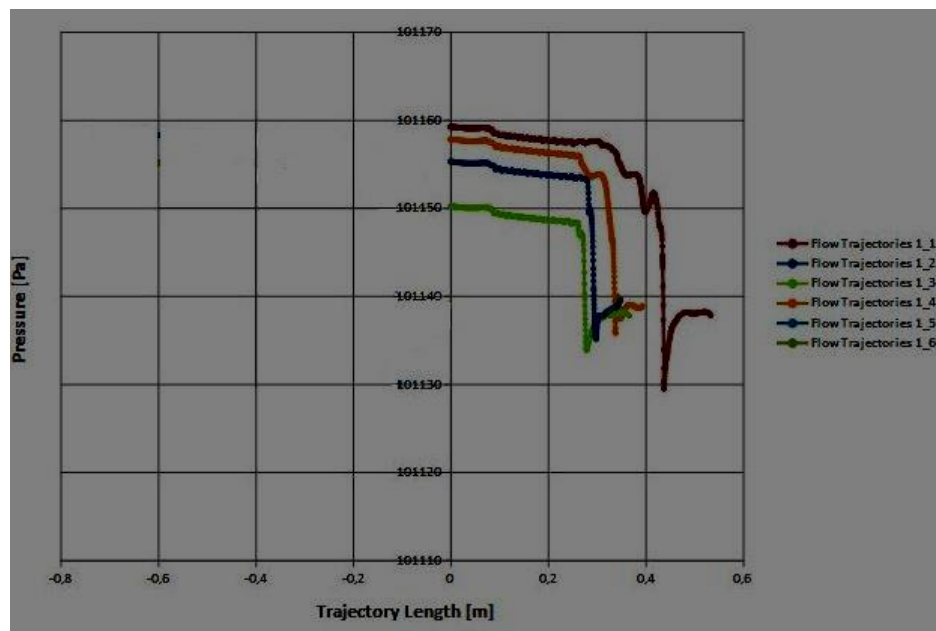
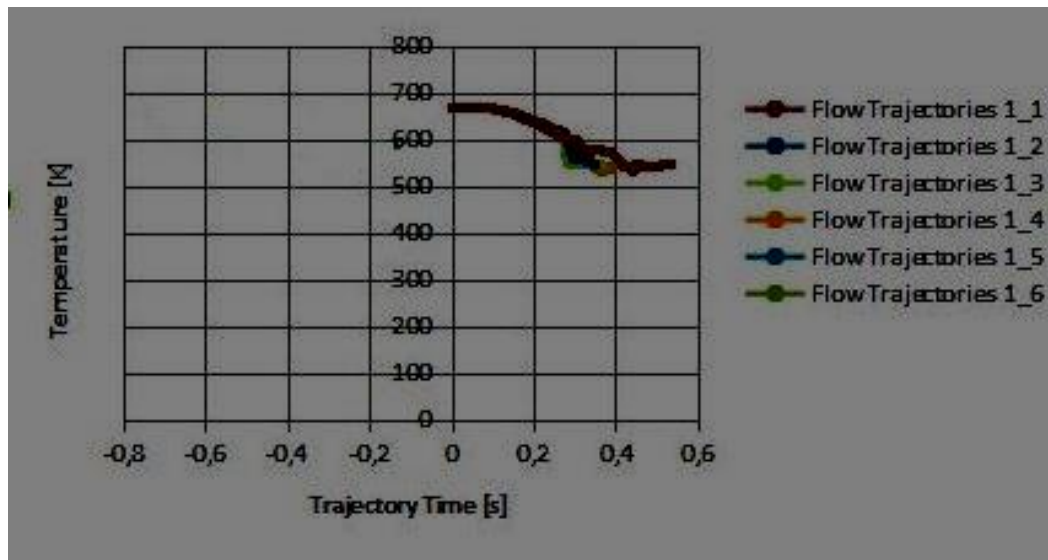
andamento temperatura



andamento pressione

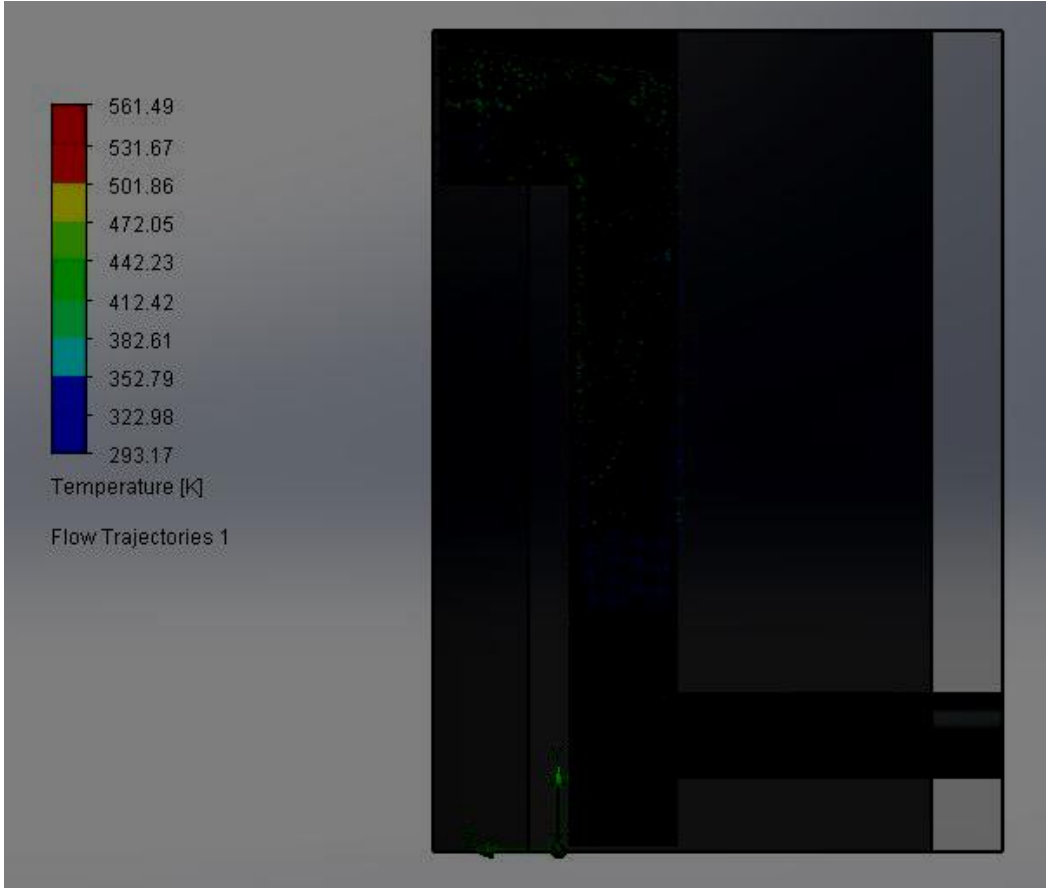
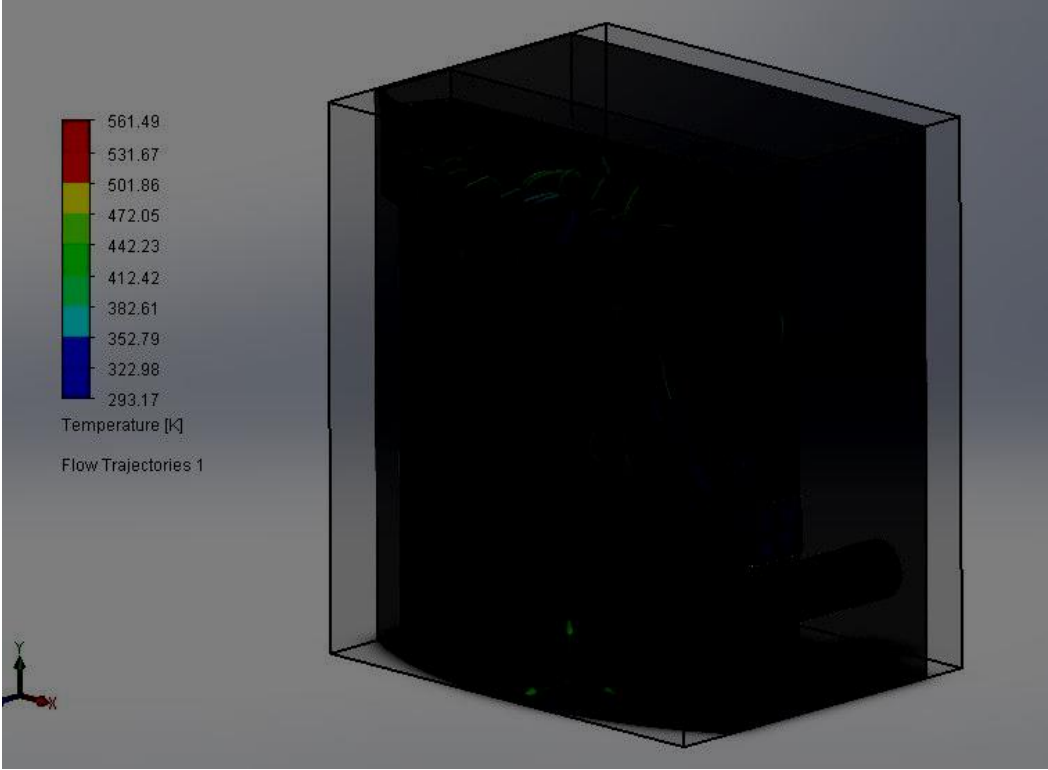
Dalla foto soprastante si evince come le temperature dei fumi all'interno della

stufa scendano di quasi 100 °C. Questo è un buon risultato considerando che poi i fumi dovranno entrare nella canna fumaria ed infine uscire dal comignolo. Per migliorare la turbolenza all'interno dei tubi, così da rallentare i fumi e favorire il loro raffreddamento, ho installato all'interno 4 serpentine ad aspirale.



Nel secondo test ho cercato di simulare l'andamento dell'aria che entra nella stufa dai lati e che per convezione naturale esce dall'apertura frontale della stufa, scaldandosi. Con questa seconda prova sono riuscito a trovare i dati significativi per trovare la reale potenza della stufa. Infatti ipotizzando che l'aria entri a temperatura ambiente e a pressione ambiente nella stufa, ho trovato che la portata dell'aria in uscita è di circa 0.007 kg/s. Questa portata è decisamente

bassa, ma giustificabile dall'assenza di ventole che aiutino la circolazione e la fuori uscita dell'aria calda. La temperatura al contrario è elevata e raggiunge infatti quasi i 200 °C.



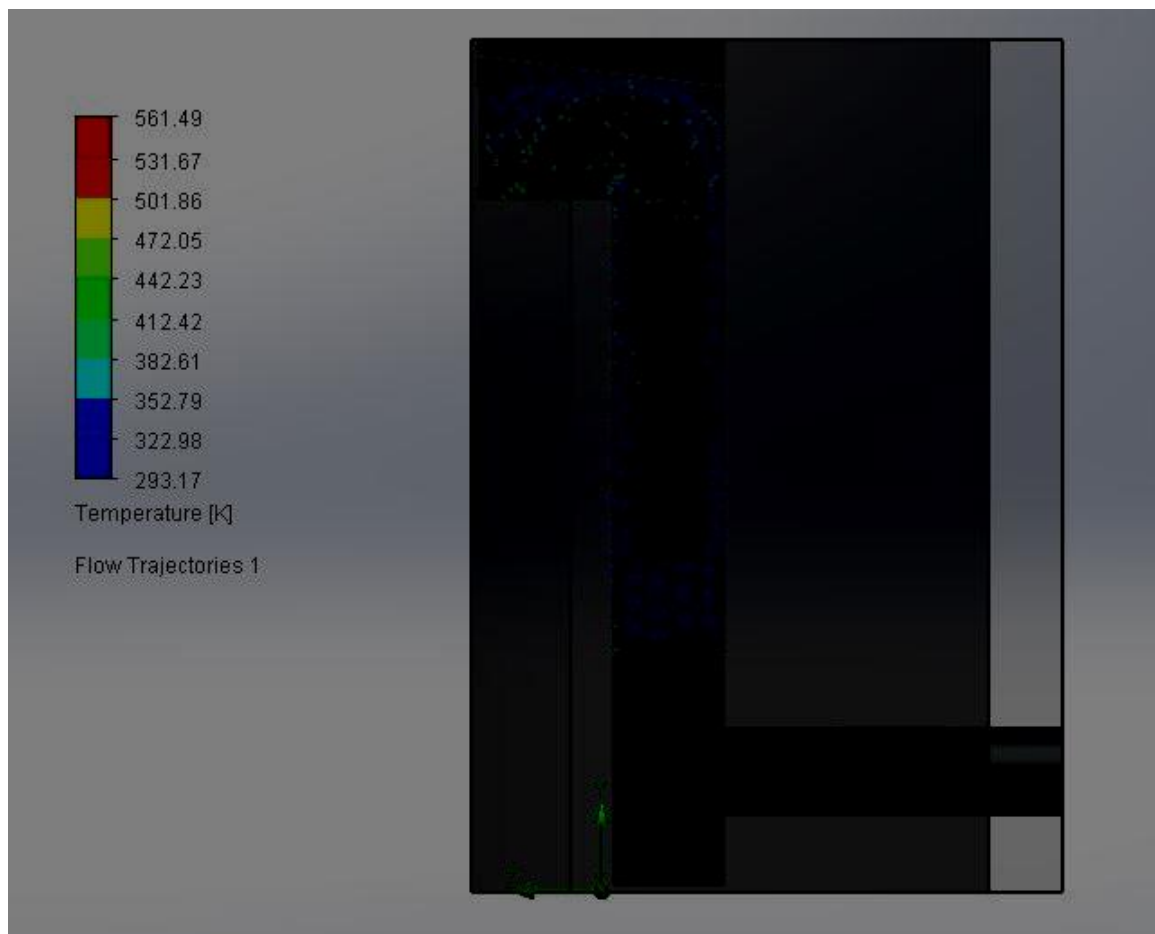
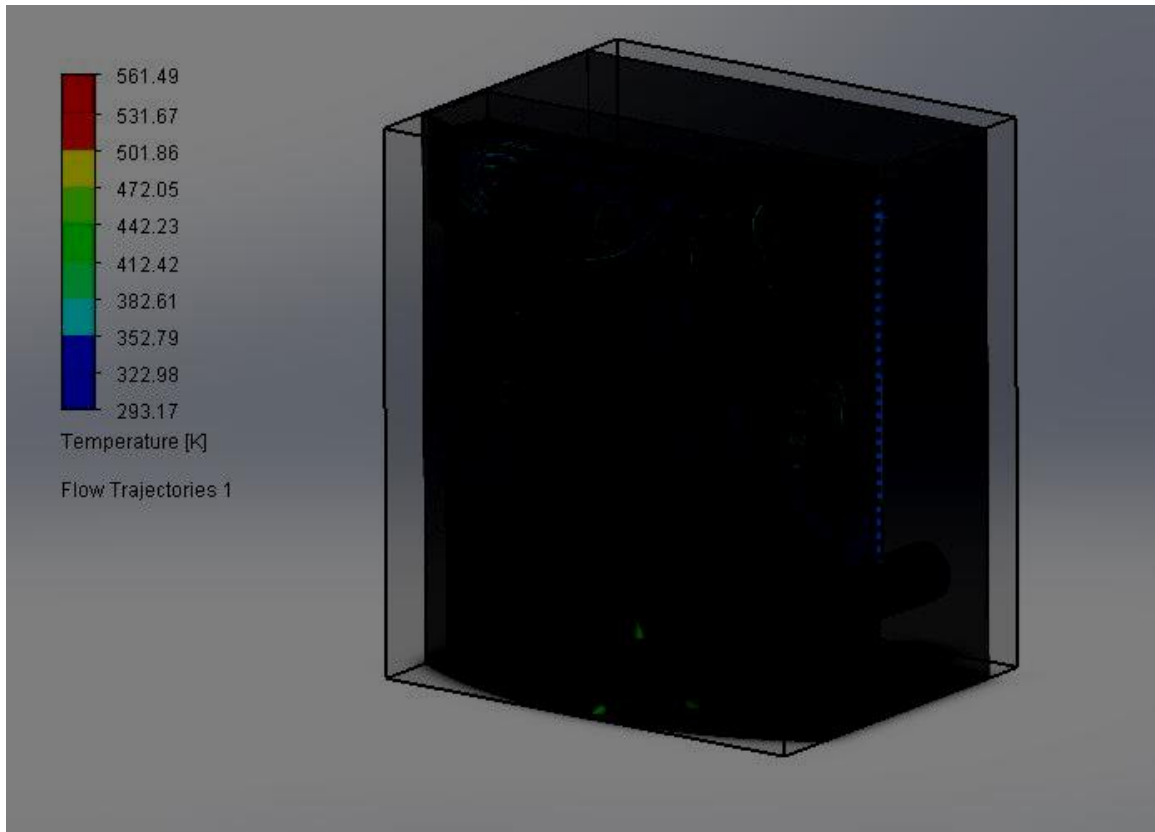
Come si evince dalle immagini si può vedere come la stufa è in grado di generare un DT di circa 160 °C. Andando ad inserire i dati ottenuti dalle simulazioni, all'interno della formula precedente enunciata otteniamo così la potenza della stufa:

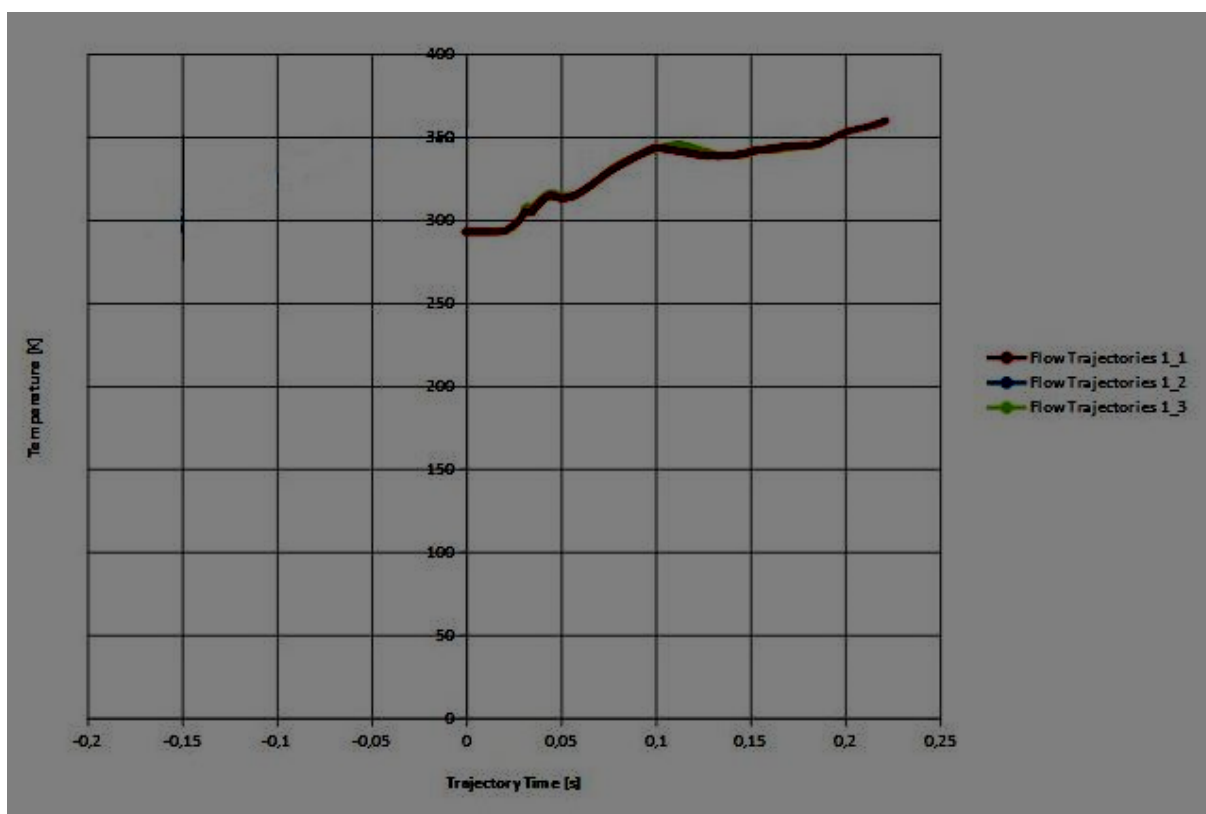
$$0.007 * 1020 * 160 = 1142,4 \text{ W}$$

La potenza ottenuta è abbastanza bassa. Infatti con 1,2 kW di potenza secondo calcoli abbastanza attendibili siamo in grado di scaldare non più di 15 mq ovvero una sola stanza. Considerando i componenti della stufa, il budget limitato e la totale assenza di ventola è comunque un risultato più e incoraggiante. Infatti se andiamo ad analizzare i dati inseriti notiamo che per quanto riguarda al differenza di temperatura tra l'aria in ingresso e l'aria in uscita dalla stufa, i valori ottenuti sono ottimi. La soluzione di mettere quattro tubi in cui scorrono fumi in controcorrente rispetto l'aria che si riscalda ha dato risultati stupefacenti. Lo scambio di energia è favorito grazie anche ad alcune alette che sono state saldate sui tubi stessi. Questa soluzione aumenta la superficie di scambio dello scambiatore e ne migliora l'efficienza. Il grosso limite di una stufa di questo tipo è la bassa portata dell'aria che circola in maniera naturale e sale verso l'alto scaldandosi.

Per migliorare la potenza della stufa e renderla adatta al riscaldamento di ambienti più ampi ho pensato di prevedere una ventola per l'espulsione dell'aria frontalmente come opzionale aggiuntivo. Con una spesa contenuta (non più di 40 euro) è possibile commercialmente un'ampia scelta di ventole di diversa portata. Aumentando la portata dell'aria, si favorisce anche la circolazione e questo va incidere negativamente sul DT che la stufa è in grado di produrre. Nonostante questo scegliendo una ventola di circa 155 m³/h, ho ottenuto risultati ottimi:

$$\text{portata in volume} * \text{densità} = \text{portata in massa}$$
$$155 * 1.1 = 170,5 \text{ kg/h} / 3600 = 0.047 \text{ kg/s}$$





Come si vede anche dal grafico in questo caso il DT ottenuto dalle simulazioni di funzionamento è decisamente minore. Infatti non riesce a superare i 70 °C. Nonostante questo, con la portata maggiore fornita dalla vento la potenza che otteniamo è:

$$0,047 * 1020 * 70 = 3356 \text{ W} \sim 3,4 \text{ kW}$$

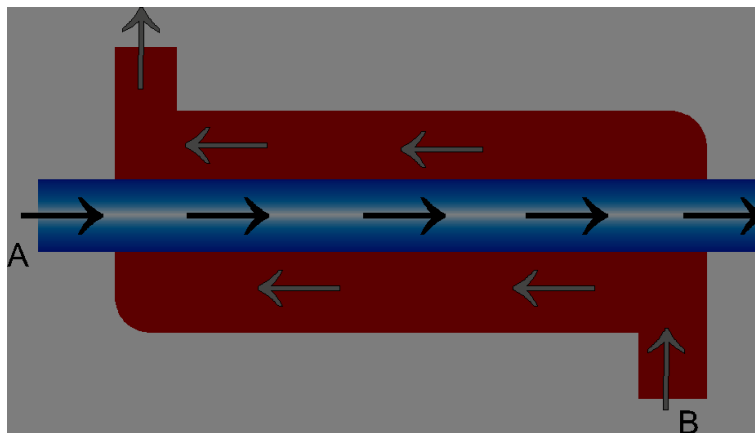
La potenza ottenuta per una stufa di questa fascia di prezzo è ottima. Infatti con 3,4 kW si possono riscaldare oltre 30 mq, considerando un appartamento mediamente isolato termicamente. Se consideriamo le moderne case di classe energetica A, i metriquadri riscaldabili sono ancora maggiori.

Di seguito elenco le caratteristiche tecniche della stufa:

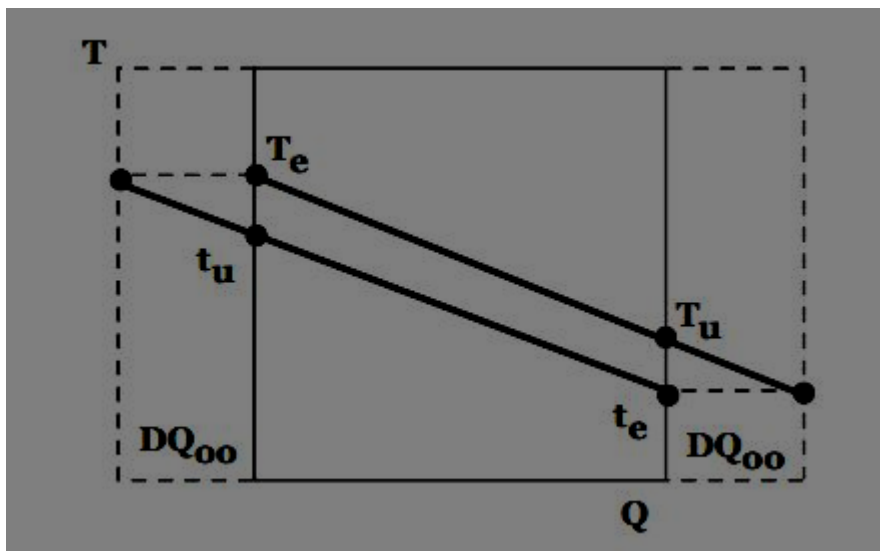
Capacità serbatoio	15 kg
Larghezza	500 mm
Altezza	645 mm
Profondità	367 mm
Diametro scarico fumi	60 mm
Diametro Presa d'aria	80 mm
Peso	61,5 kg

3.4 Analisi dello scambiatore controcorrente

Come precedentemente detto, la stufa che ho progettato sfrutta il funzionamento di uno scambiatore 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. Se il fluido in analisi è un fluido monofase come nel nostro caso, la trasmissione di calore avviene a temperatura variabile linearmente per cui in un grafico T-Q le trasformazioni sono rappresentate da curve rettilinee di pendenza costante.



Schema di uno scambiatore controcorrente



Esempio grafico T-Q

Il rapporto tra la potenza scambiata in un scambiatore equicorrente e quella in uno controcorrente è esprimibile con la formula:

$$\frac{Q_c(S)}{Q_c(S)} = \frac{1}{\frac{1}{G_1 c_{p1}} + \frac{1}{G_2 c_{p2}}} + \frac{\frac{S}{e^{G_1 c_{p1} R_t}} - \frac{S}{e^{G_2 c_{p2} R_t}}}{G_1 c_{p1}}$$

$$\frac{\frac{S}{e^{G_1 c_{p1} R_t}} - \frac{S}{e^{G_2 c_{p2} R_t}}}{G_2 c_{p2}} + \frac{\frac{S}{e^{G_1 c_{p1} R_t}} - \frac{S}{e^{G_2 c_{p2} R_t}}}{G_2 c_{p2}}$$

Per capire meglio la formula sopra enunciata è bene chiarire alcune variabili:

- ⑩ S = superficie
- ⑩ G= portata in massa
- ⑩ c_p= calore specifico
- ⑩ R_t= resistenza termicamente

Dalla formula si può dedurre che per superfici contenute lo scambiatore equicorrente sfrutta meglio la sua superficie, risultando su efficiente. Al crescere delle dimensioni, invece, il salto termico nella disposizione equicorrente si riduce progressivamente, la disposizione diviene meno efficiente e la funzione diventa quindi decrescente con andamento monotono, scendendo a fino a valori sotto l'unità. Per S=0 il rapporto ha valore 1. Crescendo con la superficie si giunge quindi fino ad un massimo, per poi tendere al valore asintotico di nullità.

Mentre nel nostro caso, siamo partiti da un progetto per poi ricavare la potenza termica che esso è in grado di sviluppare, è bene sapere che è possibile fare un'analisi economica per ricavarsi, una volta note le condizioni al contorno, la dimensione della superficie di massima economia, ovvero quella dimensione che ci permette di raggiungere il risultato desiderato col minimo costo di produzione. La superficie del nostro scambiatore misura è di 647625 mm² alette escluse. Quest'ultima scelta è stata fatta per semplificare l'analisi, date le difficoltà nel valutare la reale efficacia di ogni singola aletta, non potendo toccare con mano il progetto e poter rilevare dati sperimentali effettivi.

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:

$$VAN(S) = Q(S) \frac{uTc_q}{t_{eq}} - I(S)$$

con:

- ⑩ T = periodo di riferimento o periodo rateale
- ⑩ u = fattore di carico
- ⑩ c_q = costo specifico dell'energia termica
- ⑩ t_{eq} = tasso di ammortamento effettivo dell'energia termica
- ⑩ I(S) = costo del sistema di recupero in funzione delle dimensioni dello scambiatore

La funzione I(S) 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.

Derivando il VAN rispetto alla superficie di scambio otteniamo:

$$\frac{dVAN(S)}{dS} = \frac{uTc_q}{t_{eq}} \frac{dQ(S)}{dS} - \frac{dI(S)}{dS} = 0,$$

Ora supponendo di trovarci nel caso in cui i fluidi siano a correnti parallele avremo le seguenti relazioni:

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

L'equazione di ottimizzazione economica risulta quindi:

$$\frac{uTc_q(T_e - t_e)}{t_{eq} R_t \left(1 + \frac{S}{Gc_p R_t}\right)^2} - b = 0$$

da cui:

$$S_{ec} = G_{cp} R_t \left[\sqrt{\frac{u T c_q (T_e - t_e)}{b t_{eq} R_t}} - 1 \right]$$

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

- ⑩ Avendo posto il prodotto G_{cp} costante per aria e fumi, avremo
 $G_{cp} = 0,006 \cdot 1,1 = 0,0066$.
- ⑩ 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 $c_{si} = 150$ [W/m²K].
 s spessore dello scambiatore in ghisa, $s = 2 \cdot 10^{-3}$ [m].
 c_t conducibilità termica dell'acciaio, $c_t = 30$ [W/mK].
 c_{se} coefficiente di convezione esterna (naturale), $c_{se} = 100$ [W/m²K].
 Dunque otterremo $R_t = 1/150 + (2 \cdot 10^{-3})/30 + 1/100 = 0,0167$ [m²K/W].
- ⑩ Prendiamo il fattore di carico ipoteticamente pari a 10 [adimensionale].
- ⑩ Il periodo di riferimento $T = 10$ [s/anni].
- ⑩ La temperatura di ingresso dei fumi $T_e = 350$ °C = 623,15 °K.
- ⑩ La temperatura di ingresso dell'aria pari a quella ambiente
- ⑩ $t_e = 20$ °C = 293,15 °K .
- ⑩ Il costo della ghisa per unità di superficie $b = 0,31$ [€/m²].
- ⑩ Il tasso di ammortamento effettivo pari a $t_{eq} = 0,5$ [1/anni].
- ⑩ Il costo specifico dell'energia termica è $c_q = c_c / (k_i h_g)$ dove c_c è il costo specifico per unità di massa, k_i è il potere calorifico inferiore e h_g il rendimento (0.9 per il buon pellet) = $0,31 / (4,8 \cdot 0,90) = 0,072$ €/J

Quindi otterremo una superficie di massima economia $S_{ec} = 105599$ mm².

3.5 Analisi dei costi

Il punto di forza di questo progetto, oltre alle dimensioni contenute è il prezzo contenuto. I bassi costi di produzione di questo tipo di stufa sono alla base del dell'idea del progetto. Facendo un preventivo di quanto costi produrre tutto l'occorrente per assemblare la stufa ho diviso i componenti in 3 grandi gruppi: fusione in ghisa, lamiera, componenti commerciali. Il prezzo del telaio, ottenuto

per fusione in ghisa, non supera le 50 €. Il costo contenuto è raggiunto anche grazie alle dimensioni ridotte della stufa che permettono di contenere la quantità di materia prima necessaria e il peso. È proprio in base a quest'ultimo che si basa il costo di una fusione in ghisa. Il costo per la produzione delle lamiere è decisamente contenuto. Oggi giorno la tecnologia del taglio laser, abbinata alle tradizionali piegatrici permette di avere tempi di produzione ridotti e prezzi decisamente bassi. In questo caso ho considerato nel preventivo finale anche l'aumento di costi dovuto ai trattamenti da effettuare alle lamiere di acciaio, come la verniciatura. Questi trattamenti oltre ad essere necessari per motivi estetici lo sono anche per garantire una maggiore resistenza alle alte temperature raggiunte in fase di funzionamento a regime. Il costo totale delle lamiere supera di poco le 40 €. Una notevole parte dei costi è costituita dai componenti commerciali. Oltre ai tubi dove l'aria fresca circola e le varie componenti di bulloneria per l'assemblaggio, i costi di questa categoria sono innalzati per lo più dal vetro dello sportello, la coclea, la candeletta e il motoriduttore. In totale la spesa prevista per reperire tutto il necessario è di circa 90 €. Infine alla spesa va aggiunto il costo di produzione dello scambiatore. I numerosi interventi di saldatura necessari per le alette, fanno aumentare il costo di produzione e infine la stima prevista è sui 25 €. Sommando tutti i vari costi, la spesa totale necessaria per la produzione della stufa supera di poco le 200 €. Questo significa che può essere immessa nel mercato con un prezzo di 400 € circa.

Per il modello con l'optional della ventola per l'espulsione dell'aria riscaldata il prezzo sale leggermente. Infatti se con 20 € è possibile installare la ventola, significa che con meno di 450 € sarà acquistabile dal cliente finale.

Considerando che nel mercato odierno le stufe a pellet difficilmente scendono sotto i 600 €, il prezzo è veramente concorrenziale e accattivante.

Conclusioni



Dopo aver effettuato uno studio approfondito su questa tecnologia posso affermare di essere stato positivamente sorpreso dai numerosi vantaggi che essa offre. Nonostante i costi di installazione siano lievemente inferiori a quelli di una stufa a legna, questa tecnologia rimane molto più economica dei tradizionali combustibili ed è in grado di funzionare in perfetta autonomia, quasi come una caldaia tradizionale. Inoltre sfrutta una fonte di energia rinnovabile, rispettosa dell'ambiente e del nostro pianeta. Il pellet, il cui costo è decisamente contenuto e alla portata di tutti, sta così diventando la prima scelta per molte persone che sono indecise tra l'installazione di una stufa o di un camino. Gli impianti più complessi e moderni permettono addirittura di scaldare acqua e questo rende la nostra dipendenza dal gas sempre minore. Le dimensioni contenute della nostra stufa e il costo decisamente basso, rendono questo prodotto un ottimo acquisto per tutti coloro che hanno un'abitazione di piccole dimensioni. Le sue linee rustiche e classiche la rendono apprezzabile e godibile anche da un punto di vista estetico. La potenza contenuta di 3,4 kW sottolinea come questo tipo di impianto sia l'ideale su una metratura non vasta. Nonostante il prezzo contenuto, il prodotto rimane comunque robusto e durevole nel tempo grazie ai materiali

resistenti di cui è composto. Facile e pratica da installare come da pulire ed eventualmente smontare, sono altri punti di forza di questa stufa che può diventare sicuramente un prodotto di spicco, nella sua semplicità, in un mercato vasto e articolato come quello delle stufe a pellet.

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 alla mia famiglia, che mi ha sempre sostenuto moralmente durante tutto il periodo di studi. Mi ha dato la forza di superare i momenti difficili e le crisi di inizio percorso universitario dove i risultati non erano quelli sperati. Un ringraziamento speciale va anche alla fidanzata e agli amici, i quali mi hanno aiutato e soprattutto sopportato durante tutte le sessioni d'esame.

Infine un profondo ringraziamento a tutti i miei compagni di studi coi quali ho condiviso molto in questo lungo periodo universitario, poichè anche grazie al loro aiuto se ora sono arrivato alla fine di questo splendido percorso.

Bibliografia

- ⑩ Gentilini Marco, Impianti Meccanici, Bologna, Pitagora Editrice, 1999
- ⑩ Pulvirenti Beatrice, Termofluidodinamica Applicata, Rimini, Oltre I portici, 2010
- ⑩ Tesi di Laurea in tecnologie e industrie del legno: “Stufe a pellet: tecnologie e funzionamento”, Mario Pividori, 2012
- ⑩ Greg Pahl, Riscaldamento naturale della casa. Guida ai sistemi di riscaldamento a fonti rinnovabili, Franco Muzzio editore, 2006

Webliografia

- ⑩ www.pelletitalia.org
- ⑩ www.stufe-camini-forni.it
- ⑩ www.pelletgold.it
- ⑩ www.grifopellet.it
- ⑩ www.cfprojectsrl.it
- ⑩ www.zoboli.net
- ⑩ www.iron-foundry.com
- ⑩ www.ebay.it
- ⑩ www.edilkamin.it
- ⑩ www.caminettimontegrappa.it
- ⑩ www.palazzetti.it
- ⑩ www.altroconsumo.it
- ⑩ www.alfredoneri.com
- ⑩ www.caminisulweb.it
- ⑩ www.greenstyle.it
- ⑩ www.famarbrevetti.com
- ⑩ www.faidate360.com
- ⑩ www.lanordica-extraflame.com
- ⑩ www.prontostufe.it
- ⑩ www.kenta.it
- ⑩ www.idroponica.it
- ⑩ www.elicent.it
- ⑩ www.infopellet.it