



UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

DIPARTIMENTO DI  
INGEGNERIA MECCANICA,  
ENERGETICA E GESTIONALE  
DIMEG

---

*Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale*

TESI DI LAUREA

## **Innovazione di prodotto nel settore dei comignoli eolici**

*Relatore*

**Prof. Luigino Filice**

*Correlatore*

**Ing. Michele Perrelli**

*Candidato*

**Francesco Borda**

Matr. 207082

---

*Anno Accademico 2020-2021*

# Indice

Introduzione .....	1
Capitolo I.....	2
1.1 Storytelling del caminetto.....	2
1.2 I sistemi di riscaldamento.....	10
Capitolo II.....	16
2.1 I Comignoli .....	16
Capitolo III .....	22
3.1 Profiltek.....	22
3.2 Il comignolo eolico .....	24
Capitolo IV.....	26
4.1 Progetto d’innovazione .....	26
4.2 Proof of concept (PoC).....	26
4.3 Analisi potenza dei fumi di combustione.....	27
4.4 Analisi funzionamento motore in corrente continua .....	36
4.5 Prototipazione .....	38
4.6 Raccolta dei dati.....	41
4.7 Analisi delle correnti generate dalla dinamo.....	46
Capitolo V .....	52
5.1 Comignolo innovativo.....	52
5.2 Sistema “stand-alone” .....	52
5.3 Sistema “stand-alone” in serie.....	57
5.4 Sistema stand-alone come fonte di illuminazione.....	58
5.5 Ottimizzazione.....	59
Capitolo VI.....	61
6.1 Analisi dei costi .....	61

6.2 Posizionamento dell'azienda .....	62
Conclusioni .....	64
Bibliografia .....	65
Sitografia .....	65

## *Introduzione*

Nel seguente lavoro di tesi si vuole proporre un'innovazione riguardante un prodotto appartenente al settore della fumisteria. In collaborazione con l'azienda Profiltek di Soveria Mannelli, è stato pensato di sviluppare un terminale eolico innovativo. Quest'ultimo sarà sviluppato partendo dal concetto di riutilizzare l'energia prodotta durante la combustione e quella generata dal vento con l'obiettivo di ottimizzarne le funzionalità. In particolare, nel primo capitolo viene analizzato come è cambiato il caminetto nel tempo. Inoltre, attraverso le diverse epoche sono state applicate delle innovazioni che hanno modificato questo sistema di riscaldamento fino ai giorni nostri. Successivamente, viene studiato il funzionamento delle differenti tipologie di sistemi di riscaldamento; nello specifico, l'attenzione si sposta sui diversi tipi di terminale che possono essere installati sopra il sistema di scarico dei fumi generati durante la combustione. Viene descritto il processo di produzione del terminale eolico nell'azienda Profiltek. Nel capitolo successivo viene realizzato uno studio basato sul principio di funzionamento del caminetto e viene analizzato il comportamento dei fumi di combustione durante la risalita nel sistema di scarico. In seguito, viene studiato il principio di funzionamento di una macchina in corrente continua, che sarà poi utilizzata nella realizzazione del prototipo. Dopo la fase di analisi viene realizzato il prototipo sul quale vengono eseguite delle prove di fattibilità. Nei capitoli finali viene progettata una variante del comignolo eolico che è ottimizzato rispetto al primo prototipo, ed inoltre, viene realizzata un'analisi dei costi di produzione ed un possibile posizionamento dell'azienda rispetto al prodotto progettato.

# *Capitolo I*

## *1.1 Storytelling del caminetto*

L'abilità nel controllare il fuoco è una delle principali caratteristiche che distinguono la specie umana dalle altre. È possibile quindi, affermare che il moderno caminetto, che si trova oggi nelle abitazioni, affonda le sue origini nei focolai preistorici fino ad arrivare ai caminetti del primo medioevo. Infatti, è solo verso la fine del medioevo che il concetto di camino si evolve, non ha più solo il compito di svolgere le funzioni primarie, ovvero illuminare, scaldare e cucinare, ma diventa anche motivo di arredamento. Fino ad allora, infatti, il focolare era posto al centro della stanza, con un foro sul tetto per la fuoriuscita dei fumi. Questa soluzione era stata adottata perché permetteva di tenere il fuoco lontano dalle pareti, che erano solitamente di legno, ed inoltre, diffondeva il calore in modo uniforme, tuttavia erano presenti dei limiti ovvero la dispersione di calore era notevole e certamente la fuoriuscita dei fumi non avveniva nel modo corretto. Questa configurazione del focolare fu all'origine di numerosi incendi in quanto i tetti erano costruiti in paglia o in legno, materiali altamente infiammabili. Successivamente furono i normanni che pensarono di utilizzare un condotto che aveva l'obiettivo di convogliare il fumo prodotto dalla combustione nella parte terminale superiore del camino quindi oltre il tetto. Prima dell'introduzione e diffusione di tale sistema, generalmente il fuoco veniva fatto bruciare all'interno dell'abitazione in una stanza che veniva utilizzata appositamente per questa funzione. Nelle case romane veniva utilizzato l'atrio come stanza per il camino; infatti, l'etimologia della parola "atrio" che deriva dal latino "ater" cioè annerito conferma la teoria che questa stanza era stata pensata per svolgere tale funzione. L'avanzamento tecnologico portò alla scoperta di nuovi materiali edilizi e successivamente alla progressiva sostituzione delle case in legno con edifici realizzati in pietra e mattoni. Tale innovazione costruttiva cambiò anche la disposizione del camino all'interno delle abitazioni. La realizzazione di canne fumarie in pietra o mattoni, infatti, permetteva l'addossamento del camino alle pareti nonché la possibilità di porlo in qualunque ambiente a seconda della necessità di riscaldarsi o di cucinare, diminuendo allo stesso tempo il pericolo di incendio. Fu così che nacque il caminetto moderno. Il caminetto moderno, ovvero quello a parete fu un'invenzione dei paesi nordici. Grazie a questa importante scoperta la realizzazione di questa tipologia di caminetto venne portata anche in Europa e arrivò soprattutto in Italia settentrionale già tra il 1200 ed il 1300. La città in cui fu installato per la prima volta il camino fu Venezia, subito dopo arrivò anche a Pisa, mentre

raggiunse il centro Italia ed in particolare Roma nella seconda metà del 1300. La prima tipologia di caminetti fu quella a padiglione, la cui peculiarità era quella di essere completamente addossati alla parete, che ne costituiva il fondo, sovrastati da un'enorme cappa sostenuta da due colonne (figura 1).



*Figura 1: caminetto a padiglione.*

Questi caminetti necessitavano di grandi spazi poiché di grandi dimensioni ed inoltre la mancata protezione ai lati rendeva la risalita dei fumi difficile quindi il risultato era senz'altro la diffusione dei fumi nella stanza in cui era presente e soprattutto la dispersione del calore. L'esperienza e la voglia di migliorare le prestazioni e i benefici derivanti dall'installazione dei caminetti portò alla realizzazione di manufatti con dimensioni contenute e soprattutto meno sporgenti così da garantire la possibilità di installazione anche nelle camere da letto ed ai piani superiori. Infatti, se prima il caminetto era integralmente contenuto nel muro il quale doveva essere di grande spessore, rendendone difficile la realizzazione ai piani più alti, successivamente ne derivò una forma più contenuta, ovvero si adottò una soluzione intermedia, con il camino inserito solo per metà nello spessore del muro, riducendone comunque l'ingombro e portando beneficio in termini di prestazione e tiraggio.

Per quanto riguarda il tiraggio nell'enciclopedia Treccani viene definito come:

L'attivazione della circolazione d'aria in un camino, in una stufa, nel focolare di una caldaia o di un forno, allo scopo di fornire la quantità di ossigeno necessaria alla combustione, ottenuta sfruttando, o provocando artificialmente, un'opportuna differenza di pressione atta a imprimere alla massa gassosa una certa velocità e a vincere nello stesso tempo tutte le resistenze di attrito dovute all'attraversamento della griglia, dello strato di combustibile, dei condotti di fumo, e ancora dovute alla presenza di gomiti, cambiamenti di sezione, ecc.; t. naturale, quello dovuto al movimento naturale di un gas tra due punti a differente pressione, e precisamente dal punto a pressione maggiore a quello a pressione minore, ottenuto, negli impianti di caldaie, disponendo un camino, in muratura o cemento armato, al termine del percorso dei fumi, attraversato da questi a una temperatura notevolmente superiore a quella esterna e con una velocità (velocità di t.) dai 2 agli 8 metri al secondo; t. artificiale, quello realizzato con l'ausilio di un ventilatore quando non sia possibile sistemare un camino adeguato o convenga limitare le perdite di calore allo scarico.<sup>1</sup>

La storia del camino dal 1300 fino al 1600 cambia notevolmente sia per quanto riguarda gli stili che per quanto concerne le dimensioni. L'elemento più importante interessa le dimensioni; si passa, infatti, dai camini gotici le cui dimensioni erano spropositate (figura 2), fino a quelli rinascimentali sicuramente più piccoli ma con un elemento importante, cioè l'efficienza.



*Figura 2: caminetto gotico.*

---

<sup>1</sup> <https://www.treccani.it/vocabolario/tiraggio/>

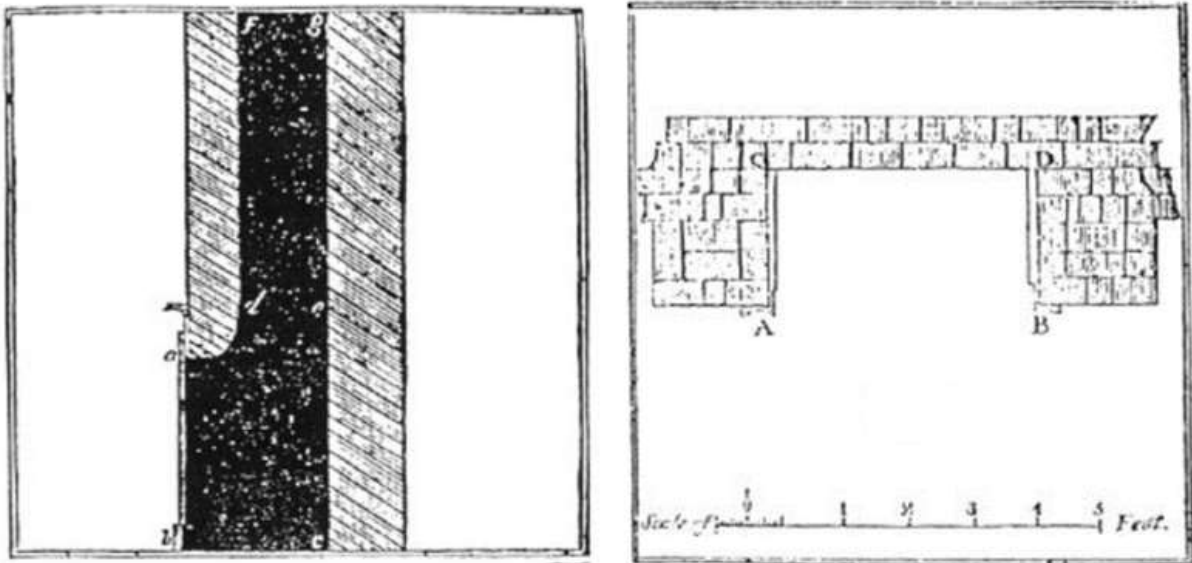
Il caminetto fu oggetto di studio anche di una delle più illustri menti di tutti i tempi, Leonardo da Vinci, il quale studia il modo in cui la fiamma può essere alimentata grazie all'utilizzo di una presa d'aria esterna a forma di imbuto. Leonardo Da Vinci lascia questa grande eredità nella sua più ampia raccolta di disegni e scritti denominata Codice Atlantico. Anche Leon Battista Alberti, importante figura artistica poliedrica del Rinascimento, parla nel *De re aedificatoria* della collocazione ideale del caminetto negli ambienti e ne descrive le caratteristiche dimensionali, dal focolare sino alla dispersione dei fumi.

È dagli inizi del XVII secolo che la storia tecnica dei caminetti inizia ad essere approfondita e studiata assiduamente: dopo aver raggirato i problemi architettonici e edilizi, è necessario lo studio della meccanica del funzionamento. Il caminetto diventa la prima modalità di riscaldamento in tutti gli ambienti della casa, e la nuova borghesia anche se imparagonabile ai ceti nobili desidera usufruire di questo bene; un nuovo ostacolo è quello del fumo, conseguenza inevitabile del cattivo tiraggio, il quale risulta essere un problema tecnico da risolvere. Importante è in questo periodo la stampa che grazie ai contenuti pubblicitari sponsorizza le nuove conoscenze. Nel 1624 l'architetto francese Savot costruisce nella biblioteca del Louvre un caminetto, la cui peculiarità è totalmente innovativa poiché egli riesce a scaldare l'intera stanza tramite il contatto con le pareti calde del focolare. Il caminetto che l'architetto riesce a realizzare è il primo caminetto a convezione naturale. Un'altra importante innovazione fu quella di Dalesme, un produttore che nel 1686 alla fiera di Saint-Germain riesce a mettere in scena per la prima volta un caminetto la cui fiamma anziché innalzarsi si abbassa così da evitare tramite la tecnica del tiraggio inverso la presenza di fumi nella stanza riscaldata. In seguito, nel 1714 viene introdotta un'importante novità che è la presa d'aria esterna, la quale svolge un ruolo molto rilevante nel mantenimento del calore nelle aree riscaldate poiché evita che queste si raffreddino con il risucchio d'aria dagli infissi.

Nella seconda metà del XVIII secolo sono presenti diverse tipologie di caminetti, i cosiddetti *cheminée économique*, *cheminée Nancy* e *cheminée prussienne*; questi rappresentano i precursori di quelle che poi saranno le stufe. In particolare, questi ultimi erano in lamiera di ferro e sfruttavano la conduttività del metallo per far diffondere il calore, perciò ricordano il meccanismo delle stufe. L'architetto Mansart realizza il camino focolaio girevole la cui particolarità è la costruzione tra due pareti divisorie così da garantire il riscaldamento a due ambienti adiacenti. Non si è però ancora giunti alla risoluzione di altri problemi quali il miglioramento del tiraggio, la resistenza dei materiali alle alte temperature, perciò vengono messe in atto delle ipotesi. Il cambiamento più importante arrivò grazie alla Rivoluzione

scientifico alla fine del Settecento, che favorì anche l'avvento delle scienze moderne, le quali avranno comunque un ruolo importante nel campo della ricerca. Per quanto riguarda il campo dei caminetti ci furono degli importanti cambiamenti, la rivoluzione avvenne ad opera di due coloni americani: Benjamin Franklin e Benjamin Thompson. Entrambi provarono a risolvere i problemi grazie alla loro intraprendenza e voglia di riuscire nella loro impresa. Franklin era giunto alla conclusione che il fumo avesse un peso maggiore rispetto all'aria quindi senza il supporto di una fonte di calore non sarebbe mai risalito nella canna fumaria. Inoltre, Franklin capì che l'aria calda e il fumo espulsi attraverso la canna fumaria causano uno scompenso d'aria all'interno delle stanze in cui è collocato il caminetto e giunse quindi alla conclusione che era necessario apportare al focolare aria fresca da poter utilizzare come comburente. Una possibile soluzione era l'inserimento di una presa d'aria nel focolare che immetteva aria dall'esterno. In secondo luogo, Franklin focalizzandosi sulle dimensioni del focolare, si concentrò sulla proporzionalità tra la bocca del camino e l'altezza della canna fumaria. Dunque, egli suggerì la possibilità di innalzare la canna fumaria oltre il colmo del tetto. Un'altra importante figura nell'evoluzione dei caminetti fu Benjamin Thompson, che grazie al suo interesse, alla sua versatilità e all'osservazione da vicino dei caminetti, riuscì a svolgere un ruolo fondamentale all'interno della società inglese. Una delle sue più importanti invenzioni fu la scoperta delle correnti di convezione e cioè la propensione naturale secondo cui l'aria fredda viene attirata e inglobata dall'aria calda e viceversa. Inoltre, Thompson arrivò a capire che il calore non è una sostanza bensì il prodotto del moto di particelle; inventò il calorimetro che serviva principalmente a calcolare il calore di combustione di legna, carbone ed altri combustibili. Grazie alla sua intraprendenza e alle numerose ricerche ed esperimenti che effettuò negli anni, fu il primo a comprendere e utilizzare il calore radiante e gettò le basi per permettere di costruire quasi in modo perfetto i caminetti da riscaldamento.

Lo studio su cui si concentrò maggiormente fu quello relativo ai fumi e sulla possibilità di invertire la naturale tendenza di questi a risalire su per la canna fumaria. Dal momento che le cappe e le canne fumarie erano sempre di dimensioni enormi bastava che il vento entrasse nella canna fumaria per far sì che il fumo incanalato riscendesse e provocasse la dispersione nella stanza che ospitava il caminetto (figura 3).



*Figura 3: a sinistra vista in sezione di un caminetto prima dell'intervento di Thompson, a destra una vista dall'alto del medesimo caminetto.*

La ragione per cui le dimensioni erano grandi era ovviamente legata alla necessità di poter permettere agli addetti alla pulizia dei condotti di infilarci senza problemi, quindi era necessario ovviare a questa problematica. Thompson, dunque, pensò di risolvere tramite un miglioramento della combustione rendendola più efficiente, e avendo così il vantaggio di mantenere i condotti puliti per un lasso di tempo maggiore rispetto al solito. Egli evitava così la necessità di ricorrere puntualmente ad interventi di manutenzione legati alla pulizia dei condotti; l'ottimizzazione della combustione poteva essere realizzata migliorando il tiraggio del caminetto. Tale miglioramento veniva realizzato per la prima volta da Thompson attraverso un restringimento della sezione della canna fumaria. Thompson, inoltre si preoccupò delle componenti dei materiali delle pareti interne delle canne fumarie, poiché erano fondamentali al fine di facilitare il passaggio dei fumi lungo il comignolo. Effettuando diversi studi, Thompson arrivò a capire che per rendere, dunque il passaggio dei fumi più semplice le pareti interne del camino dovevano essere lisce e sprovviste di angoli, importante era anche la verticalità del percorso e la posizione della canna fumaria direttamente sul caminetto. Dopo aver scoperto che il calore della combustione era radiante, Thompson realizzò di poter modificare la forma del caminetto, andando a cambiare principalmente la profondità che fino a quel momento era sempre stata maggiore. Importante fu anche l'inclinazione delle pareti laterali in modo da aumentare il calore nell'ambiente riscaldato. Tutte queste innovazioni garantivano non solo l'aumento di calore nell'ambiente ma favorivano inoltre l'espulsione dei fumi lungo il comignolo e non nell'ambiente (figura 4).

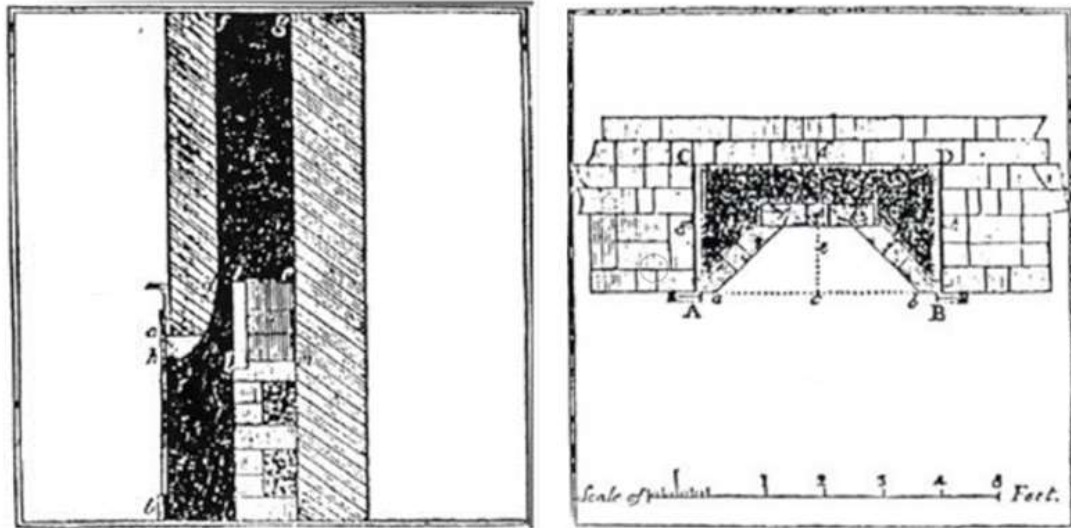


Figura 4: a sinistra vista in sezione di un caminetto dopo l'intervento di Thompson, a destra una vista dall'alto del medesimo caminetto.

Thompson cercò di continuare anche gli studi iniziati da Franklin, quest'ultimo aveva iniziato a parlare anche dell'importanza dei combustili utilizzabili; riallacciandosi dunque, Thompson a queste importanti considerazioni fu il primo a parlare di valvola dei fumi che veniva collocata tra la cappa e la canna fumaria.

Di fondamentale importanza è la realizzazione da parte di Thompson del caminetto di Rumford; quest'ultimo rappresenta un elemento innovativo poiché limitava l'apertura del camino per aumentare la velocità di uscita dei fumi. In particolare, decide di posizionare all'interno del focolare dei mattoni in modo da rendere le pareti laterali inclinate e grazie al restringimento del canale si creava così una circolazione d'aria all'interno del camino. Grazie all'introduzione dei mattoni il flusso dei fumi si staccava dalla parete esterna e creava una contro circolazione dell'aria esterna lungo la parte posteriore del camino e nello stesso momento una miscela di aria esterna e fumo scorreva sul lato opposto. L'aria proveniente dall'esterno, dunque, si mescolava ai fumi e risaliva lungo la canna fumaria così da favorire la fuoriuscita dei fumi lungo il canale. Il caminetto Rumford ebbe enorme successo, tanto da essere causa di numerosi cambiamenti all'interno delle abitazioni della popolazione londinese (figura 5).



*Figura 5: caminetto Rumford.*

Numerosi studi inoltre portarono alla rivalutazione dei combustibili usati. Si arrivò a capire che un combustibile come il carbon fossile permetteva lo sprigionamento di maggiore calore. Anche le leggi della fisica e della termodinamica assunsero un ruolo di primaria importanza, poiché grazie allo studio di queste vennero ideati dei metodi che volgevano a sfruttare al massimo anche il calore prodotto dai fumi di combustione.

Molto importante fu anche il riscaldamento per convezione che avveniva grazie all'introduzione di un'intercapedine attorno al focolare in cui veniva inglobata l'aria prelevata dall'ambiente, che a sua volta si riscaldava per venire poi riutilizzata come fonte di calore nel locale, da qui il principio del moderno inserto.

Grazie alle numerose scoperte e innovazioni riguardo alla realizzazione dei caminetti, la fine del secolo rappresenta un momento determinante per il progresso tecnologico e metallurgico, poiché dava inizio alla produzione in serie di stufe per riscaldamento. Ci fu anche un cambiamento riguardo alla tipologia di alimentazione delle stufe, inizialmente erano alimentate a legna e carbone e in seguito a gas, proprio perché garantivano più efficienza.

La stufa rappresenta un'innovazione del camino e di conseguenza andava così a sostituire quest'ultimo, soprattutto se si pensa alle nuove soluzioni abitative del XX secolo. In ogni caso molti non hanno rinunciato a questo elemento architettonico che in particolare andava ad essere parte integrante dello stile dell'abitazione, e anche a livello estetico era ritenuto importante. Ancora oggi l'utilizzo dei caminetti è molto accentuato nelle periferie e nelle case

indipendenti proprio perché grazie a combustibili ecologici e sostenibili garantiscono il riscaldamento e la produzione di acqua calda di un'intera abitazione. Anche la stufa è un elemento che garantisce la stessa funzionalità e soprattutto rappresenta una soluzione più immediata poiché è più semplice il processo di installazione dal momento che l'unico requisito necessario è la presenza di una canna fumaria al fine di permettere l'espulsione dei fumi generati dalla combustione (figura 6).



*Figura 6: stufa a legna.*

## *1.2 I sistemi di riscaldamento*

Il caminetto è stato il primo metodo di riscaldamento di un'abitazione. L'alimentazione del caminetto avviene normalmente mediante legna. Attualmente, sul mercato esistono più tipologie di caminetto ma si possono raggruppare essenzialmente in due tipi: a camera aperta ed a camera chiusa. Quello a camera aperta è il caminetto tradizionale. In questa tipologia il fronte del focolare, o braciere, è aperto verso il locale da riscaldare, libero di diffondere direttamente il calore della fiamma nel locale, principalmente per irraggiamento termico. Il funzionamento è simile ai caminetti tradizionali, ad eccezione di alcuni accorgimenti tecnici che hanno l'obiettivo di ottenere la massima efficienza, ovvero convogliare più calore possibile nell'ambiente, limitando al minimo quello che fuoriesce dal comignolo esterno; quest'obiettivo

è possibile raggiungerlo sia con accurati calcoli nel dimensionamento della bocca del focolare, del camino o canna fumaria, del comignolo e della presa d'aria, sia adottando specifici materiali termici riflettenti e/o isolanti. Il camino aperto tradizionale funziona in modo corretto quando si ha il tiraggio, ossia quando evacua senza problemi i fumi che si producono durante la combustione. Il buon funzionamento dipende da precise leggi fisiche; se non si tiene conto di quest'ultime nella costruzione si rischia di comprometterne il funzionamento. Infatti, sono molto frequenti i casi in cui un caminetto non può essere acceso, in quanto i fumi prodotti durante la combustione invadono la stanza in cui è stato installato. In particolare, un caminetto a camera aperta necessita di una grande quantità di aria comburente, aria che è necessario fornire dall'esterno. L'altra tipologia di caminetto esistente è quello a camera chiusa ovvero il moderno termocamino. Il focolare non è a diretto contatto con l'ambiente che deve riscaldare, ma è separato da uno sportello in vetro. Questa tecnologia risulta più costosa del caminetto aperto ma offre diversi vantaggi. In questo caso il braciere è contenuto all'interno di un monoblocco che viene prefabbricato e può essere di forma rettangolare o quadrata, la cui struttura è composta da ghisa e lamiera. Il fronte della fiamma è schermato verso l'ambiente da uno sportello in vetro, perciò la diffusione del calore nell'ambiente avviene per irraggiamento diretto e per convezione. I vantaggi di questa tipologia consistono in un maggior rendimento, maggiore autonomia e minore manutenzione. Tale tipologia di caminetto ha un'elevata efficienza poiché permette non solo di riscaldare la stanza in cui è installato ma anche le altre stanze. Un caminetto chiuso può funzionare riscaldando l'acqua o l'aria. Se si considera il primo caso, ovvero il termocamino ad acqua, un ulteriore vantaggio è dato dalla possibilità di sostituire l'impianto tradizionale, in quanto questa tipologia è in grado di produrre anche acqua calda sanitaria. Infatti, il calore prodotto dal processo di combustione viene utilizzato per riscaldare dell'acqua, che può alimentare il sistema di riscaldamento che può essere a pavimento o con i termosifoni. Il vantaggio principale dei termocamini ad acqua è ovviamente la possibilità di produrre calore ed acqua calda con un unico strumento; dunque, si presenta come una valida alternativa alle caldaie. Nel termocamino ad acqua è presente un serbatoio che consente di avere acqua calda per tutto il tempo che si desidera: questo particolare strumento è pensato per mantenere l'acqua sempre a temperatura e dunque non dover costantemente riscaldarla. Mentre se si considera il secondo caso, ovvero il termocamino ad aria, il trasferimento dell'aria riscaldata dal camino verso l'ambiente che deve essere riscaldato è realizzato attraverso dei tubi di diametro appropriato che permettono la circolazione dell'aria calda nelle stanze dell'abitazione attraverso un moto convettivo. Nel caso in cui il moto

convettivo non fosse sufficiente, il ricircolo dell'aria verrebbe forzato attraverso delle ventole che permettono la circolazione dell'aria calda nei diversi ambienti. Un limite di questa tipologia è costituito dall'impossibilità di produrre acqua calda sanitaria (figura 7).

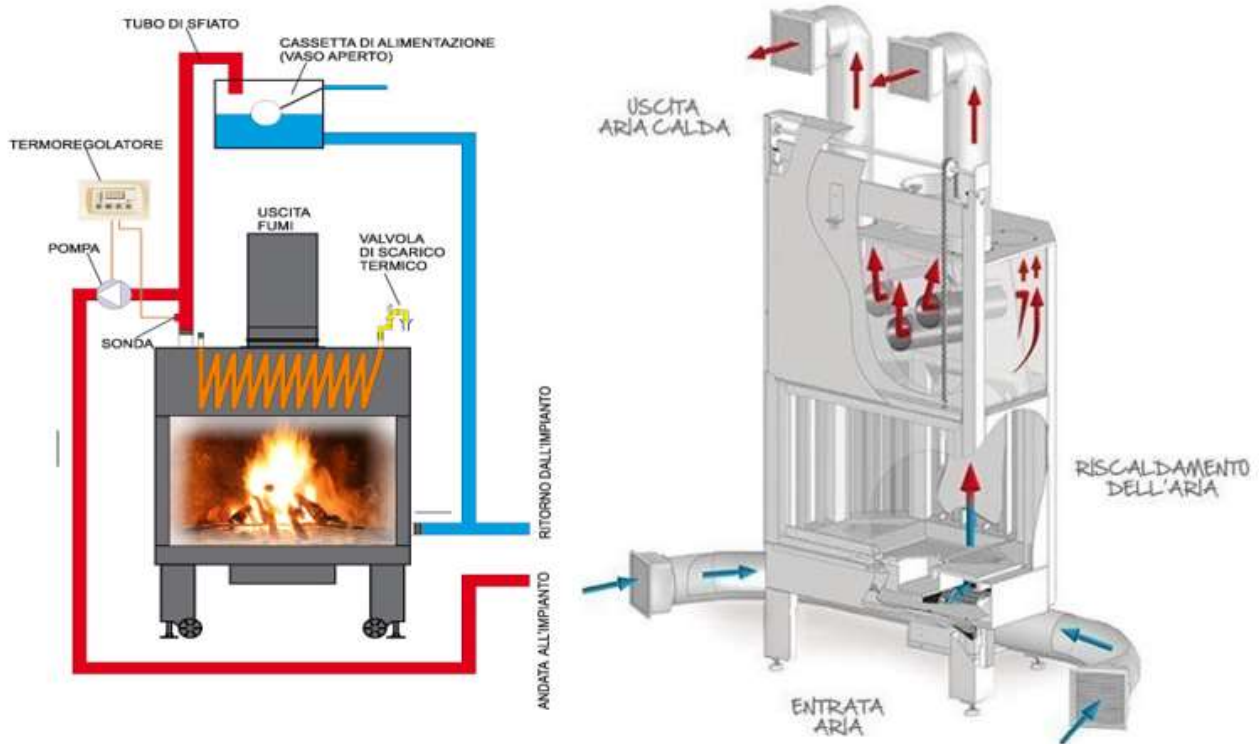


Figura 7: a sinistra uno schema del funzionamento di un termocamino ad acqua, a destra uno di un termocamino ad aria.

Sul mercato esistono altre tipologie di caminetto innovativo, che differiscono dai tradizionali principalmente per il tipo di alimentazione. Tali caminetti vengono definiti a combustione pulita poiché sfruttano una reazione di ossidazione del carbonio generando solo vapore acqueo ed anidride carbonica. Infatti, questi manufatti vengono alimentati a gas o a bioetanolo, ovvero due soluzioni più versatili nel mercato del riscaldamento ecologico. I primi possono essere installati ovunque purché si abbia a disposizione un allacciamento alla fornitura del gas. Questa tipologia di manufatto, se è a camera aperta, ha solo l'obiettivo di arredare l'abitazione, e quindi non necessita di una canna fumaria ed il calore prodotto è trascurabile; mentre se è a camera chiusa ha una notevole efficienza ed una buona capacità di fornire riscaldamento, ma necessita di una piccola canna fumaria che ha l'obiettivo di espellere i gas residui della combustione. Rispetto ad un caminetto tradizionale questa tipologia gode dei vantaggi di un impianto a gas, ovvero una grande precisione per quanto riguarda la regolazione della quantità di calore che si vuole produrre in quello specifico momento, il controllo del consumo di carburante ed un controllo da remoto attraverso un telecomando che ne permette le diverse regolazioni. Essi

sono generalmente più costosi rispetto ad un caminetto tradizionale ed anche il costo di esercizio sarà più elevato. I secondi, ovvero i caminetti a bioetanolo, sono dei manufatti che possono essere da parete o da incasso e consentono di bruciare un combustibile ecologico prodotto dalla fermentazione di sostanze vegetali. Tale combustibile non produce fumi o residui incombusti, inoltre non necessita di una canna fumaria per il suo funzionamento. Un "bio-camino" può andare ad integrare il sistema di riscaldamento domestico distribuendo calore in zone dell'abitazione lasciati scoperti dal sistema principale di riscaldamento. Il costo di esercizio di questo caminetto è dato dal costo del bioetanolo. Un'ulteriore tipologia di caminetto è quello alimentato ad elettricità, denominato caminetto elettrico. Esso è l'ideale per grandi spazi perché è in grado di generare un intenso calore istantaneamente che si diffonde rapidamente e in modo omogeneo nei diversi ambienti dell'abitazione; è semplice da installare poiché è un prefabbricato, inoltre, non ha bisogno di avere una canna fumaria e per azionarlo basta semplicemente fornirgli energia elettrica. Le criticità riguardanti le diverse tipologie di camini innovativi riguardano il fatto che non possono essere utilizzati per produrre acqua calda sanitaria, quindi, non possono essere sostituiti alla caldaia, perciò potranno essere usati solamente come fonte di riscaldamento ausiliaria.

Altri due tipi di caminetti differenti dai precedenti per il loro design sono quelli sospesi e quelli bifacciali. I primi, come si intuisce già dal nome, non hanno una base d'appoggio ma sono ancorati al soffitto con una particolare struttura che ne permette l'installazione ad un'altezza variabile. Questi caminetti soddisfano le esigenze di spazio ed hanno una struttura leggera ed innovativa. Possono essere alimentati a legna, pellet o bioetanolo. I secondi invece devono essere installati in una parete divisoria tra due ambienti ed hanno l'obiettivo di riscaldare contemporaneamente le stanze contigue dell'abitazione. Questa variante è costituita da due aperture su due lati che danno rispettivamente sui due ambienti, perciò è possibile riscaldare per irraggiamento e convezione entrambe le aree in cui viene installato. Inoltre, è possibile collegarlo all'impianto di riscaldamento a termosifoni o al sistema di ventilazione e distribuzione dell'aria calda. Può essere alimentato da legna o pellet (figura 8).



*Figura 8: a sinistra è raffigurato un esempio di caminetto sospeso, a destra uno bifacciale.*

In generale, il caminetto a camera aperta alimentato a legna, sebbene architettonicamente elegante, ha un'efficienza di riscaldamento più bassa rispetto ai caminetti a camera chiusa e alle stufe in quanto gran parte del calore prodotto, anche fino al 70%, si disperde nella canna fumaria ed è espulso per convezione, mentre tende a riscaldare l'ambiente quasi unicamente per irraggiamento termico. Allo stesso tempo, se viene progettato in modo efficiente, offre una maggiore sicurezza nell'evacuazione dei fumi rispetto alle stufe a legna convenzionali. Infatti, una delle criticità del caminetto tradizionale, quando non è progettato in modo corretto, è l'evacuazione dei fumi prodotti durante la combustione. Il loro smaltimento avviene attraverso un sistema composto essenzialmente di tre parti; la canna fumaria o camino che può avere una forma circolare, ellittica, quadrata o rettangolare; la base di sostegno e raccordo al tetto; ed infine, il comignolo. Quest'ultimo ha la funzione di disperdere i fumi provenienti dalla canna fumaria favorendo il tiraggio del camino.

Un efficace funzionamento del caminetto è funzione di tutto un insieme di condizioni fisico-ambientali che devono potersi verificare per far sì che si possa innescare il flusso ascendente dei fumi nel condotto del camino. La relazione che si nota dalla teoria di funzionamento di un camino afferma che il tiraggio del camino dipende da due fattori di moto del fluido, ovvero la componente cinetica e quella energetica. Tali fattori dipendono a loro volta dalla densità del gas che varia al variare della temperatura, dall'altezza del condotto e in funzione delle sue caratteristiche geometriche. In genere, qualunque gas, per effetto di un locale innalzamento di temperatura, che avviene nella camera del caminetto, cambia le proprie caratteristiche fisiche; in questo caso specifico è l'aria atmosferica contenuta nell'ambiente. Essa si dilata proporzionalmente alla temperatura raggiunta, di conseguenza la sua densità ed il suo peso specifico diminuiscono. Il gas così riscaldato, che nel caso analizzato è costituito dai fumi

generati dalla combustione e dall'aria posta nelle immediate vicinanze della fonte di calore, essendo più leggero dell'aria circostante che si trova a temperatura inferiore, tende a salire innescando così il moto ascensionale naturale e non forzato da cause esterne. Questo fenomeno garantisce al focolare una continua alimentazione di ossigeno, permettendo così che la fiamma resti accesa. Il fenomeno per il quale si verifica la dispersione del fumo, prodotto durante la combustione, nell'atmosfera circostante esterna all'abitazione è definito come tiraggio. Tale dispersione può avvenire in svariati modi e dipende da una serie di fattori come la pressione, la temperatura dei locali e la direzione dei venti. Il tiraggio del camino può essere meno efficiente se si ha difficoltà ad introdurre nella stanza la stessa quantità d'aria che aspira la gola del caminetto o se quest'ultima insieme alla canna fumaria hanno dimensioni insufficienti o nel caso opposto sono state sovradimensionate. Un altro fattore che può influenzare il tiraggio è il percorso della canna fumaria che se è costituito da molte curve quindi eccessivi tratti curvilinei fa sì che la velocità di uscita del fumo sia troppo bassa e che quindi quest'ultimo non fuoriesca dalla canna fumaria ma esca dalla gola del camino rendendo l'ambiente tossico per l'essere umano. Un fenomeno che può influenzare in modo negativo il tiraggio è il combustibile che viene utilizzato, ovvero non viene usata legna adatta alla combustione, perciò, la temperatura della fiamma e dei fumi che si genera è troppo bassa e non consente una corretta espulsione dei fumi. Per ciascuna delle criticità che sono state analizzate si può trovare una soluzione. È possibile, infatti, ridurre la sezione della gola o diminuire l'immissione dell'aria oppure ridurre la portata d'aria della canna fumaria riducendone la sezione o ancora nel caso opposto aumentarne l'altezza. Una soluzione per far sì che il caminetto abbia un tiraggio ottimale nella fase di accensione, nella quale i fumi non hanno ancora una temperatura ottimale, è quella di inserire nella parte terminale della canna fumaria un comignolo.

## *Capitolo II*

### *2.1 I Comignoli*

La parte terminale del camino o canna fumaria è denominata comignolo. Esso ha lo scopo di far fuoriuscire nell'ambiente esterno i fumi provenienti dalla canna fumaria, inoltre, l'obiettivo dell'installazione del comignolo è quello di favorire il tiraggio e proteggere le pareti interne del camino dall'azione degli agenti atmosferici. Infatti, un comignolo che non viene progettato in modo opportuno può compromettere l'intero funzionamento di un caminetto. Uno dei principali problemi che si possono presentare, anche se il comignolo viene progettato in modo corretto, è l'azione del vento, che se particolarmente forte compromette l'intero funzionamento del sistema di riscaldamento. A questo proposito è importante che la parte terminale della canna fumaria stessa sia collocata ad almeno un metro più in alto rispetto al colmo del tetto o di qualunque altra struttura che si trova ad una distanza inferiore ai dieci metri. Dunque, il comignolo non deve essere solo un oggetto di design, ma deve essere soprattutto funzionale, perciò, deve essere utilizzato un solo comignolo per ogni canna fumaria. Inoltre, se si hanno due comignoli vicini essi dovranno essere installati ad altezze differenti al fine di non ostacolare a vicenda il tiraggio. Sul mercato esiste un'ampia gamma di comignoli. La scelta di quello corretto dipende da diversi fattori quali il tipo di combustibile usato, le caratteristiche del caminetto, ovvero se è a camera aperta o chiusa ed inoltre, anche dai fattori ambientali, ovvero l'intensità del vento.

La prima tipologia di comignolo analizzata viene denominato "a botte". Questa variante di comignolo offre un'efficace protezione dagli agenti atmosferici come pioggia e neve ed in particolare dalle forti correnti ventose che possono provenire da diverse direzioni. La sua peculiarità è l'elemento interno simile ad una botte che ha un'ampiezza maggiore rispetto al condotto della canna fumaria. Al suo interno si verifica un decremento della velocità di uscita dei fumi provenienti dal condotto, il quale è di sezione minore, e di conseguenza un aumento della pressione di questi ultimi; tutto ciò porta al mantenimento della fluidità dei fumi in uscita dal condotto. In tal modo si verifica l'effetto Venturi<sup>2</sup>. Inoltre, è adatto a tutti i tipi di combustibili (figura 9).

---

<sup>2</sup> In fisica, in particolare in meccanica dei fluidi, l'effetto Venturi è il fenomeno idrodinamico, scoperto e studiato dal fisico Giovanni Battista Venturi, per cui la pressione di una corrente fluida aumenta con il diminuire della velocità.

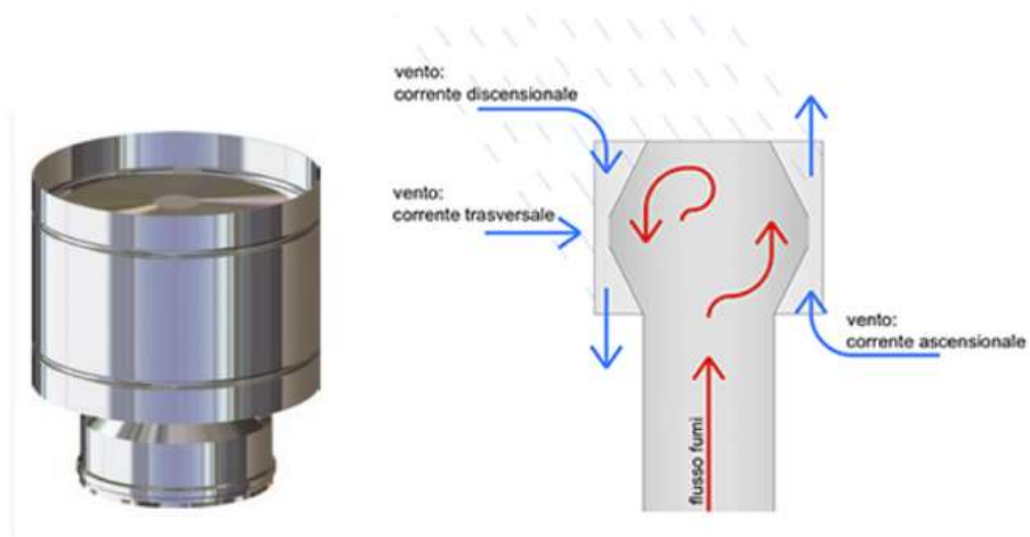


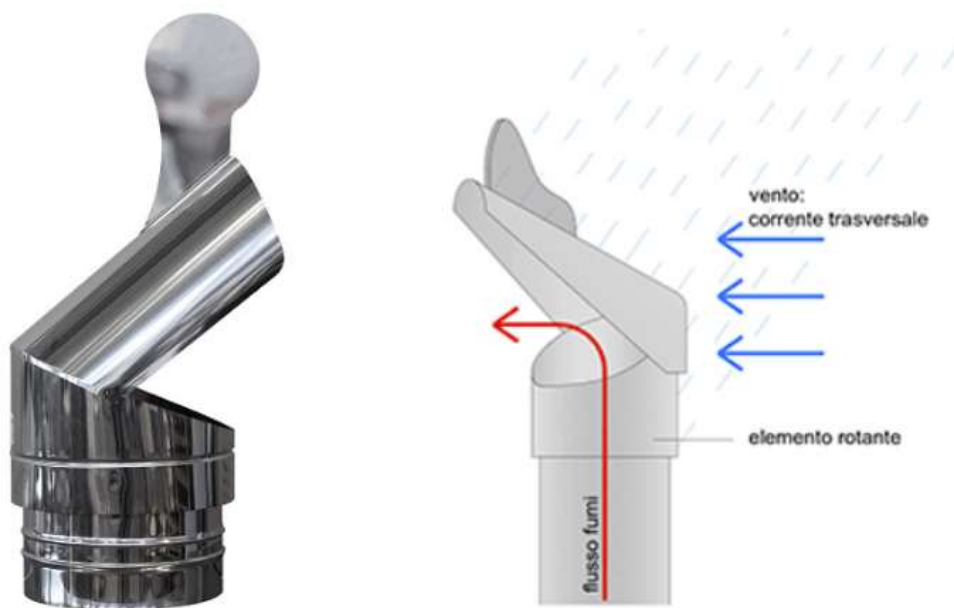
Figura 9: comignolo "a botte" e relativo funzionamento.

La seconda tipologia di terminale analizzata è il comignolo "cinese". Tale comignolo è adatto a zone geografiche in cui le condizioni climatiche non sono particolarmente estreme. Infatti, forti venti potrebbero comprometterne il funzionamento, poiché potrebbero generare un effetto tappo che non consentirebbe ai fumi prodotti dal caminetto di essere espulsi, ma al contrario si disperderebbero nel locale in cui è installato. Allo stesso tempo, eventuali forti piogge potrebbero infiltrarsi nel camino poiché ha un'ampia sezione di sbocco che permette l'espulsione dei fumi, ma allo stesso tempo permette l'ingresso di acque meteoriche. Questa tipologia può essere utilizzata con diversi tipi di combustibile (figura 10).



Figura 10: comignolo "cinese" ed effetto tappo con correnti ventose forti.

Un altro tipo di comignolo presente sul mercato è il terminale girevole “a testa di gallo”. Questa variante è costituita dal condotto di espulsione dei fumi che ha la sezione di sbocco libera ed ha un sistema di cuscinetti che permette all’elemento inclinato che si trova al di sopra di ruotare. Questo elemento funge da cappello, che in presenza di vento ruota nella direzione opposta al verso del vento, facendo sì che quest’ultimo non interferisca con il flusso dei fumi in uscita. Dunque, è molto efficace in presenza di vento ma non offre una forte copertura in presenza di forti piogge, che potrebbero entrare all’interno del caminetto (figura 11).



*Figura 11: comignolo "a testa di gallo" e relativo funzionamento.*

Un'altra variante di terminale è rappresentata dal terminale “girevole” o “eolico”. Questo tipo di terminale è costituito da una calotta dotata di lamelle inclinate che hanno l’obiettivo di sfruttare le correnti generate dai venti per avviare la rotazione della calotta al fine di creare un sistema di aspirazione che aiuti il tiraggio del caminetto. La calotta può ruotare grazie ad un sistema a cuscinetto a sfera. Quest’ultima, inoltre, permette di avere un riparo dagli agenti atmosferici, tuttavia in assenza di vento tale sistema potrebbe diventare un ostacolo per il deflusso dei fumi (figura 12).

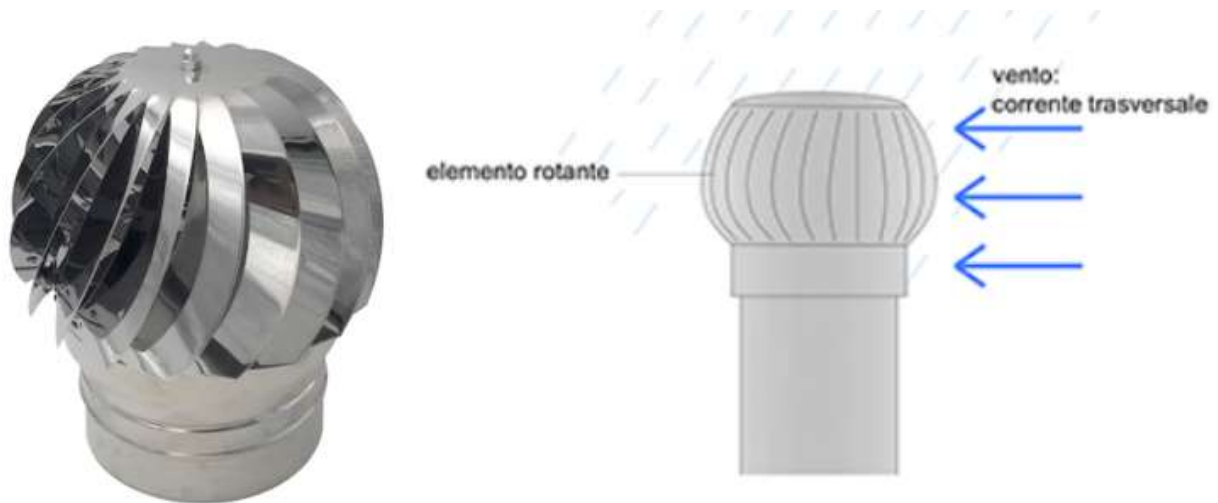


Figura 12: comignolo eolico e relativo funzionamento.

Una tipologia di terminale adatto in situazioni in cui sussiste il problema di spazio è rappresentata dal fumaiolo definito “ad H” per la sua forma. Infatti, grazie alla particolare forma consente di evitare l’ingresso della pioggia ed inoltre, garantisce l’uscita dei fumi anche in zone particolarmente ventose (figura 13).

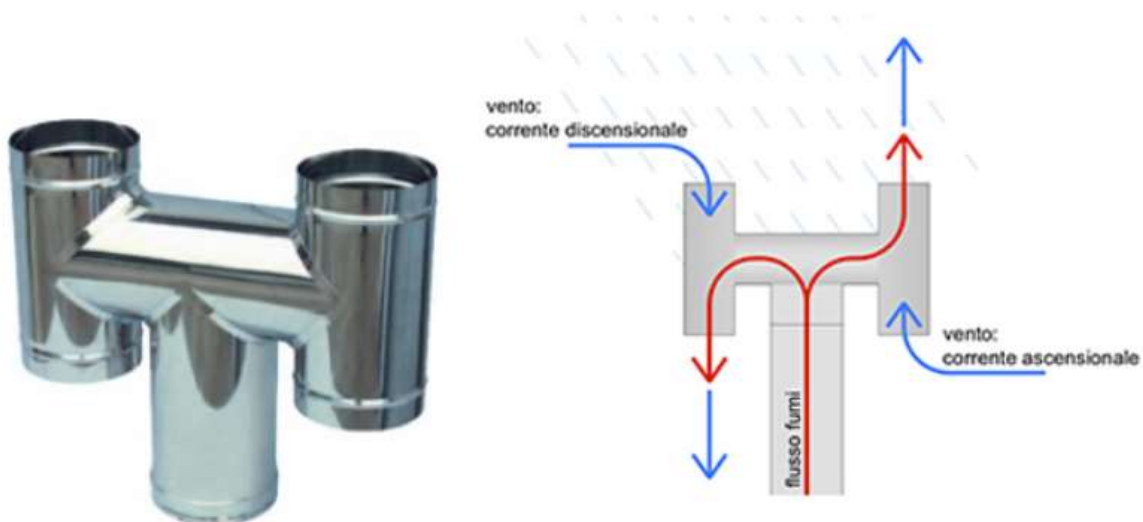


Figura 13: comignolo “ad H” e relativo funzionamento.

Inoltre, è stato analizzato il funzionamento di altre due tipologie di terminale quello denominato “lamellare” e quello “veneziano”. Il primo è dotato di lamelle che sono disposte lungo il perimetro del comignolo ed hanno la funzione di riparare la canna fumaria dall’ingresso di pioggia o altri agenti atmosferici, ma anche dalle correnti di vento che scontrandosi con le

lamelle vengono frammentate garantendo, dunque, un deflusso dei fumi efficiente (figura 14). Il secondo, invece, prende il nome dai tipici comignoli veneziani, mentre per quanto concerne il funzionamento è simile a quello "cinese" con la differenza che è avvolto da un elemento che ha la forma di un tronco di cono rovesciato. Inserendo quest'ultimo elemento, il comignolo viene reso più efficiente rispetto a quello cinese poiché riesce a riparare dai venti trasversali ed indebolisce quelli discensionali che potrebbero creare un effetto tappo (figura 15). Entrambi possono essere impiegati per diverse tipologie di combustibile, a partire dal legno fino, anche alle biomasse ed ai policomcombustibili.

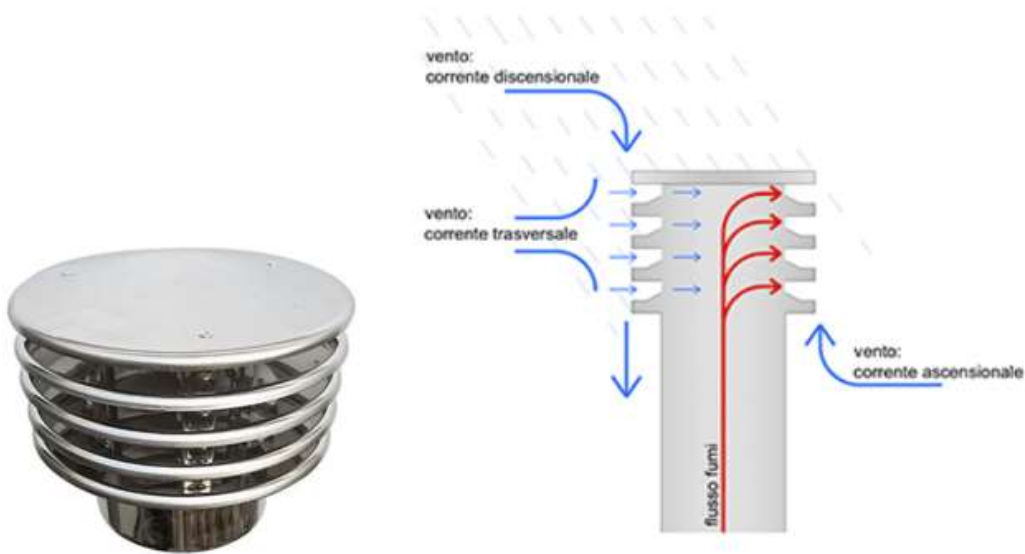
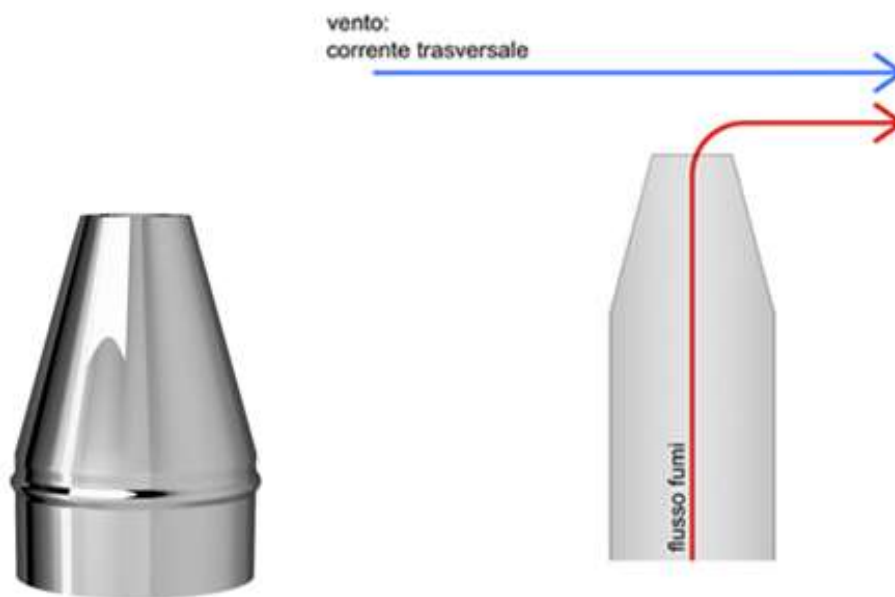


Figura 14: comignolo "lamellare" e relativo funzionamento.



Figura 15: comignolo "veneziano".

Infine, si ha il terminale “a tronco conico”. Quest’ultimo ha una progettazione molto semplice, ovvero è realizzato mediante un restringimento della sezione finale che ha l’obiettivo di aumentare la velocità d’uscita dei fumi. In questo caso a differenza dei precedenti, il sistema non può utilizzare la forza dei venti per aumentare il tiraggio, né offrire protezione dalla pioggia o dalla neve (figura 16). Può essere installato in senso orizzontale, mentre se viene installato verticalmente bisogna prevedere alla base della canna fumaria un sistema di scarico delle condense e delle acque piovane.



*Figura 16: comignolo "a tronco conico" e relativo funzionamento.*

Tutti i terminali analizzati sono realizzati in rame o acciaio inox ed inoltre, vengono fabbricati già assemblati, pronti per essere installati sopra al condotto di evacuazione dei fumi. Tuttavia, esistono dei prefabbricati realizzati anche in cemento o calcestruzzo. Oltre ai prefabbricati alcuni comignoli possono essere realizzati in cantiere con tegole e mattoni creando delle aperture proporzionali al sistema di riscaldamento che è installato; se queste ultime non vengono progettate in modo adeguato tendono a ridurre l’efficienza di tiraggio del caminetto.

## Capitolo III

### 3.1 Profiltek

Nel 1987 è stata avviata una piccola impresa artigianale denominata Gronda Unica dalla famiglia Mezzatesta. Successivamente, nel 2007 grazie alle idee ed alla vision della seconda generazione ha avuto un grande slancio diventando l'azienda Profiltek (figura 17) che oggi è un'importante realtà industriale nel comparto edile-siderurgico. Tutto ciò è avvalorato da una partnership lunga e consolidata con l'organizzazione Arcelor-Mittal, colosso mondiale nella produzione degli acciai. Questa realtà si è affermata non solo all'interno del territorio nazionale, ma anche in altri paesi europei. L'azienda è situata nella zona industriale del comune di Soveria Mannelli. Lo stabilimento produttivo è specializzato in tecnologie che permettono la produzione di manufatti nel settore della lattoneria, ovvero lamiere grecate e di tipo coppo e nel settore della fumisteria con la produzione di sistemi per lo scarico dei fumi, quali canne fumarie inox semplici, ma anche coibentate ed inoltre, nella realizzazione di diverse tipologie di comignoli.



Figura 17: azienda Profiltek.

Quest'organizzazione è la dimostrazione che è possibile fare impresa positiva poiché grazie alla giusta attenzione nei confronti del cliente, alla formazione dei propri dipendenti e ad una vision chiara che mette al primo posto la ricerca e l'innovazione è riuscita ad avere una forte crescita. Infatti, in controtendenza rispetto al comparto edile, continua ad accrescere il proprio organico;

attualmente, ha al suo interno più di 30 dipendenti oltre ai membri della famiglia. Oltre all'ampliamento dell'organico, è in atto anche un'espansione dal punto di vista logistico (figura 18). Infatti, è stato realizzato un nuovo capannone che è in fase di allestimento, all'interno del quale saranno installati dei nuovi macchinari dotati di tecnologia 4.0 e tali macchinari si occuperanno della lavorazione del cartongesso. Tutto ciò si riflette, con esiti positivi, sia sull'economia locale, ma al contempo coinvolge anche le zone limitrofe.



*Figura 18: nuovo locale in allestimento.*

La Profiltek, inoltre, contribuisce a ridurre il proprio impatto ambientale investendo molte risorse in diversi ambiti. L'azienda ha investito per la realizzazione di una completa autosufficienza energetica, infatti è stato realizzato un impianto fotovoltaico che permette di generare energia in grado di alimentare l'intero stabilimento ed anche la zona comprendente gli uffici. Inoltre, è stato realizzato un sistema di canalizzazione delle acque provenienti dai tetti dello stabilimento che vengono raccolte per poi essere utilizzate dall'impianto antincendio in eventuali situazioni di emergenza. L'organizzazione si impegna per ridurre i gas prodotti durante i processi produttivi utilizzando un sistema di filtraggio che li ripulisce e successivamente vengono introdotti nuovamente nell'atmosfera. Sempre in quest'ottica, l'azienda ha investito per costituire una flotta di veicoli con sistema antinquinamento di ultima generazione, questi ultimi permettono di abbattere il loro impatto ambientale. Dunque, Profiltek sostiene la filosofia green avvertendo un profondo senso di responsabilità verso l'ambiente e verso l'uomo.

## 3.2 *Il comignolo eolico*

Uno dei reparti dell'azienda Profiltek, nello specifico, si occupa dello sviluppo, della progettazione e della produzione di sistemi di scarico e di terminali per le diverse tipologie di sistemi di riscaldamento. Per quanto riguarda il settore della fumisteria vengono realizzati camini in acciaio inox e terminali sia fissi che con sistema rotante, i quali possono essere assemblati sulle diverse dimensioni di canna fumaria. Nello specifico, per la realizzazione di un prototipo innovativo, l'azienda ha fornito un terminale eolico realizzato in acciaio inox, che è possibile montare al di sopra di un camino con sezione di 120 mm. In particolare, il processo di produzione del comignolo eolico, in Profiltek, è costituito dalla realizzazione di due componenti che vengono assemblati alla fine del processo. Per la realizzazione del primo componente, ovvero il cappello eolico, la lavorazione inizia da una bobina in acciaio inox dello spessore adeguato alla tipologia di prodotto che deve essere realizzato, in questo caso lo spessore sarà di 5/10. Successivamente, il materiale viene srotolato nella zona di taglio; qui attraverso un sistema di taglio al plasma, tecnologia molto performante per il taglio di lamiere in acciaio e per spessori non troppo elevati, vengono realizzate due operazioni di taglio. La prima consiste nell'andare a definire il diametro del cappello eolico, che sarà diverso a seconda della sezione del camino su cui sarà installato; nel caso in esame avrà un diametro compatibile con un camino di sezione 120 mm. La seconda operazione di taglio viene effettuata per la realizzazione delle alette che costituiranno il componente finito. Il pezzo viene spostato nella stazione di foratura e saldatura, all'interno della quale viene prima realizzato un foro centrale che servirà poi per installare la calotta sull'albero, che andrà a costituire il sistema rotante, e dopo attraverso la dima viene piegato, e mediante un processo di saldatura le alette vengono fissate ad un collettino in acciaio inox di dimensioni appropriate che era stato realizzato in precedenza, per raggiungere, infine, la tipica forma a cappello. Per la realizzazione del secondo componente, invece, la lamiera in acciaio viene piegata con l'obiettivo di realizzare una forma cilindrica, in questo caso con sezione di 120 mm, poi tagliata ad un'altezza adeguata ed infine, spostata nella stazione di saldatura; qui, all'intero della parte cilindrica viene inserito un componente formato da un cuscinetto a sfera e da un albero, i quali costituiscono il sistema rotante, tenuti insieme da una staffa che viene saldata all'interno della parte cilindrica. Infine, nella postazione di assemblaggio attraverso la dima, l'operatore assembla insieme i due componenti che costituiscono il prodotto finito (figura 19).



*Figura 19: terminale eolico.*

Generalmente un camino è influenzato negativamente dal vento e dagli agenti atmosferici, perciò, per migliorare l'uscita dei fumi è possibile inserire al di sopra della parte terminale della canna fumaria un aspiratore eolico. Il comignolo eolico, descritto in precedenza, infatti, è un sistema di ventilazione dotato di una calotta rotante grazie alla quale quando vi è un passaggio di vento essa inizia a ruotare. Inoltre, evita l'ingresso di acqua all'interno del camino in caso di pioggia. Il vantaggio principale di questo sistema rispetto ai terminali di tipo fisso è dato dalla rotazione della calotta che fa sì che si crei un sistema di aspirazione che facilita l'uscita dei fumi dal camino. Dunque, questo sistema garantisce una maggiore efficienza dal punto di vista del tiraggio del camino. Allo stesso tempo, potrebbe capitare che in determinate condizioni meteorologiche, ovvero in assenza di vento, la calotta non giri; perciò, i fumi provenienti dal caminetto verranno espulsi lentamente oppure se il sistema di riscaldamento dell'abitazione non avesse un tiraggio efficiente questo terminale potrebbe essere d'impedimento all'uscita dei fumi che, di conseguenza, andrebbero a disperdersi nell'ambiente, creando problemi di salute.

## *Capitolo IV*

### *4.1 Progetto d'innovazione*

Le principali problematiche del comignolo eolico si presentano in assenza di vento oppure quando i fumi di combustione hanno una bassa temperatura, quindi in fase di accensione o se si utilizza un combustibile con caratteristiche non ottimali per la combustione in caminetto, ovvero della legna non abbastanza secca. Infatti, in tali condizioni i fumi non hanno velocità sufficiente per essere espulsi dal camino e perciò si genera un'inefficienza di tiraggio nel sistema di riscaldamento. Per ovviare a queste problematiche è stata proposta una soluzione innovativa che apporta alcune modifiche al terminale eolico standard. Dunque, il progetto d'innovazione del comignolo prevede la realizzazione di un prototipo che ha come obiettivo la risoluzione delle criticità che possono presentarsi quando si verificano le condizioni sopracitate. Nello specifico, l'obiettivo è quello di fornire un sistema di trascinamento della girante e che quindi, quest'ultimo attivi la rotazione del terminale eolico quando le condizioni meteorologiche non permettono che esso ruoti. Allo stesso tempo questo sistema sarà in grado di convertire l'energia meccanica, prodotta con la rotazione della girante, in energia elettrica nelle altre situazioni che potrebbero presentarsi. Dunque, il sistema avrà una fase di funzionamento attivo che permetterà di avviare la girante in assenza di vento o durante la fase di accensione del caminetto; ed una fase di funzionamento passivo durante la quale si genererà energia elettrica, poiché la girante avrà una rotazione garantita dalla presenza di vento oppure dall'uscita dai fumi di combustione dal camino nell'istante successivo a quello di accensione, ovvero quando i fumi avranno una velocità tale per cui il tiraggio sarà ottimale. L'energia elettrica prodotta in quest'ultima fase sarà immagazzinata e potrà essere successivamente riutilizzata.

### *4.2 Proof of concept (PoC)*

Nello studio svolto per far sì che l'innovazione possa essere efficace, viene, innanzitutto, realizzato un proof of concept, ovvero viene fatta una prova di concetto del progetto allo scopo di provarne la fattibilità e quindi dimostrare che alcuni principi e concetti, che vengono applicati e che sono alla base della riuscita del progetto, sono fondati. Nella realizzazione di un

PoC devono essere seguite alcune fasi, ciascuna della quali contribuisce alla realizzazione del progetto finale (figura 20).

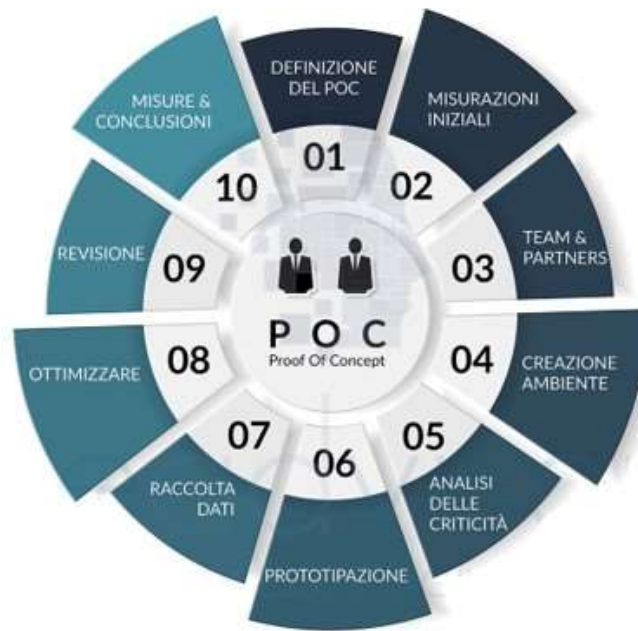


Figura 20: fasi del Proof of Concept.

Il PoC nella fase iniziale serve a comprendere se l'intuizione di base può essere realizzata con successo. Dunque, nel seguente studio, inizialmente, vengono fatte alcune ipotesi per quanto concerne l'installazione del sistema di riscaldamento. Queste ultime serviranno poi, per ricavare la velocità di risalita dei fumi di combustione all'interno del camino, capire la potenza generata dai fumi e verificare qual è la potenza necessaria a vincere le perdite di carico che si generano all'interno del camino. Una seconda parte dello studio si occuperà, invece, della scelta del sistema di conversione dell'energia prodotta dai fumi e dal vento in energia elettrica.

### 4.3 *Analisi potenza dei fumi di combustione*

Nell'analisi viene ipotizzato che il sistema di riscaldamento sia a camera aperta, che quest'ultimo abbia un camino, ovvero il proprio sistema di scarico dei fumi, di altezza  $H$  pari a 10 metri; inoltre, è stato ipotizzato che la sezione del camino abbia un diametro  $D$  pari a 120 millimetri; e nella parte terminale del camino viene montato un terminale eolico anch'esso di diametro pari a 120 millimetri. Infine, nello studio viene ipotizzato che il sistema di scarico dei fumi sia dritto e non abbia tratti curvilinei.

Per la seguente analisi, il sistema di riscaldamento da utilizzare è costituito da una stufa a legna standard, poiché la sezione del camino di tale sistema è pari a 120 millimetri, quindi

compatibile con le dimensioni del comignolo utilizzato. Inoltre, dalle caratteristiche tecniche della stufa è stato ricavato che essa sviluppa una potenza termica nominale  $P$  pari a 15000 watt. Il rendimento  $\eta$  della stufa è stato posto pari al 90%. È possibile stimare il volume dell'ambiente  $V_{ambiente}$ , che questo sistema riesce a riscaldare; si ipotizza che per riscaldare  $1 \text{ m}^3$  siano necessarie all'incirca 35 kcal, perciò ipotizzando un'altezza dell'ambiente, che deve essere riscaldato, pari a 2,8 metri e sapendo che 1 watt è pari a  $0,86 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$ , dalla seguente formula si ottiene che:

$$V_{ambiente} = \frac{15000 \text{ W} \times 0,86 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{2,8 \text{ m} \times 35 \text{ kcal}} \cong 132 \text{ m}^3$$

Perciò, il volume teorico che una stufa con queste caratteristiche riesce a scaldare e pari all'incirca a  $132 \text{ m}^3$ .

Dalla successiva tabella è stato ricavato il potere calorifico della legna da ardere (tabella 1).

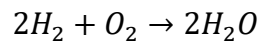
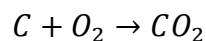
Specie	Umidita'	PCI (Mj/kg)	PCI (kWh/kg)	PCI (kcal/kg)	Massa volumetrica solido (Kg/m3)	Massa volumetrica cippato (kg/m3)
faggio	30%	12.7	3.5	3033	920	287
pioppo	30%	10.1	2.8	2408	500	-
faggio	50%	10.7	3.0	2556	1100	402
pioppo	50%	6.8	1.9	1634	850	-
abete	30%	13.4	3.7	3201	540	192
pino	30%	12.2	3.4	2923	650	223
larice	30%	11.5	3.2	2752	750	244
abete	50%	11.3	3.1	2699	1150	269
pino	50%	-	-	-	1100	313
larice	50%	-	-	-	1000	342

Tabella 1: potere calorifico delle diverse tipologie di legna.

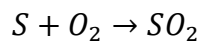
È stato ipotizzato di immettere all'interno della stufa 1 kg di legna di abete mediamente stagionato con una percentuale di umidità pari al 30%, di conseguenza il suo potere calorifico è di  $3200 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ . Inoltre, sapendo che il calore specifico dell'acqua  $cp_{acqua}$  è pari a  $4187 \frac{\text{J}}{\text{kg} \times \text{K}}$ , è possibile calcolare qual è la portata in massa della stufa scelta, utilizzando come combustibile la tipologia di legna indicata. Dunque, la portata massica della legna è pari a:

$$\dot{m}_{legna} = \frac{15000 \text{ W}}{0,9 \times 3200 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times 4187 \frac{\text{J}}{\text{kg} \times \text{K}} \times 3600 \text{ s}} = 4,48 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Bisogna, inoltre, calcolare la portata massica dell'aria all'interno della stufa. Per farlo, si deve trovare il rapporto stechiometrico di combustione tra il comburente ed il combustibile utilizzati, che nel caso in esame sono rispettivamente l'aria e la legna. Il processo di combustione consiste nell'ossidazione del carbonio  $C$  e dell'idrogeno  $H$  contenuti nel combustibile. L'ossidazione completa di questi due componenti avviene secondo le seguenti reazioni chimiche:

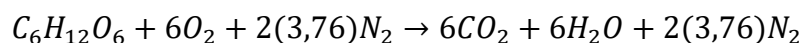


Poiché nel combustibile sono presenti anche tracce di zolfo, avviene anche la seguente reazione:

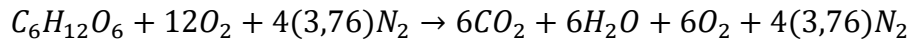


Inoltre, nelle reazioni chimiche, il numero di atomi e la massa di ciascun elemento chimico rimane costante, e se la reazione avviene in modo completo la massa totale dei prodotti è pari alla massa totale dei reagenti. Generalmente, come anche nel caso in esame il comburente utilizzato per l'ossidazione dei combustibili è l'aria, la cui composizione volumetrica è data dal 78% di azoto  $N_2$ , dal 21% di ossigeno  $O_2$  e dall'1% di gas rari; è possibile assimilare i gas rari nell'azoto e perciò si otterrà che quest'ultima è composta dal 79% di azoto e dal 21% di ossigeno. Il rapporto 79/21 vale 3,76 il che significa che nell'aria una molecola di ossigeno è accompagnata da 3,76 molecole di azoto. Il combustibile utilizzato nella stufa è la legna che viene classificata come combustibile solido. Quest'ultimo dal punto di vista chimico è costituito essenzialmente da cellulosa e lignina, perciò la sua composizione chimica può essere approssimata ad un polisaccaride la cui composizione corrisponde alla formula  $C_6H_{12}O_6$ .

Dunque, la reazione di combustione della legna in aria può essere espressa nel seguente modo:



Nella precedente reazione chimica oltre al polisaccaride si trova anche l'ossigeno e l'azoto ovvero i due componenti presenti nel comburente utilizzato, ovvero l'aria; poiché la quantità di aria realmente usata è maggiore rispetto all'aria teorica si applica alla reazione un eccesso di aria del 100%; perciò la reazione diventa:



In termini di massa, approssimando le masse chilo-molari, si ha:

$$180 \text{ kg } C_6H_{12}O_6 + (12 \times 32 = 384) \text{ kg } O_2 + (15,04 \times 28,16 = 423) \text{ kg } N_2 \rightarrow$$

$$(6 \times 44) \text{ kg } CO_2 + (6 \times 18 = 108) \text{ kg } H_2O + (6 \times 32) \text{ kg } O_2 + (423) \text{ kg } N_2$$

Il rapporto aria-combustibile AF (Air-fuel) è pari, per definizione, ai chilogrammi di aria impiegati per la combustione di un chilogrammo di combustibile. Perciò il rapporto di combustione sarà:

$$AF_{teorico} = \frac{(384 + 423) \text{ kg aria}}{180 \text{ kg combustibile}} = 4,48 \frac{\text{kg aria}}{\text{kg combustibile}}$$

Poiché la quantità d'aria realmente usata durante la combustione è circa il doppio il rapporto AF reale sarà:

$$AF = 4,48 \frac{\text{kg aria}}{\text{kg combustibile}} \times 2 \cong 8,5 \frac{\text{kg aria}}{\text{kg legna}}$$

È possibile, inoltre, calcolare i chilogrammi di combustibile bruciati per ogni chilogrammo d'aria impiegato; tale valore sarà dato dall'inverso del precedente rapporto, ovvero  $\frac{1}{8,5} = 0,117 \rightarrow 11,7\%$ .

Dunque, la portata massica dell'aria durante la combustione sarà costituita dal prodotto tra la portata massica della legna e il rapporto di combustione, perciò si ottiene:

$$\dot{m}_{aria} = 4,48 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 8,5 \frac{\text{kg aria}}{\text{kg legna}} = 38,08 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Dunque, è possibile calcolare la portata massica dei fumi, che è data dalla somma delle portate trovate precedentemente:

$$\dot{m}_{fumi} = (4,48 + 38,08) \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 42,56 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

È possibile valutare la portata massica totale dei fumi, in termini di kg al secondo, che è pari a 0,012.

Inoltre, si può calcolare la densità dei fumi  $\rho_{fumi}$  sia alla base che all'interno del camino; ipotizzando che alla base della stufa la temperatura dei fumi di combustione sia pari a 500° Celsius ovvero 773 Kelvin, e che all'interno del camino questi ultimi abbiano un abbassamento

di temperatura che è stato ipotizzato di 400° C fino a raggiungere, quindi nella sezione di uscita del camino, una temperatura di 100° Celsius ovvero 373 Kelvin, si ha:

$$\rho_{base} = \frac{101325 Pa}{773 \times 286,9} = 0,46 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{camino} = \frac{101325 Pa}{373 \times 286,9} = 0,95 \frac{kg}{m^3}$$

Inoltre, è possibile calcolare la densità media dei fumi che è data dalla media tra i due valori di densità calcolati nei punti estremi, ed è pari a:  $\rho_{media} = 0,7 \frac{kg}{m^3}$ .

Dopo aver calcolato la densità media dei fumi si ricava il valore della velocità dei fumi in uscita dal camino  $v_{camino}$ , che può essere espresso dalla seguente relazione:

$$v_{camino} = \frac{\frac{42,54 \frac{kg}{h}}{3600 s}}{0,7 \frac{kg}{m^3} \times 0,0113 m^2} = 1,49 \frac{m}{s}$$

da quest'ultima relazione è possibile ricavare la portata massica media dei fumi  $\dot{m}_{media}$ , come il prodotto della velocità, dell'area del camino e della densità media dei fumi:

$$\dot{m}_{media} = 1,49 \frac{m}{s} \times 0,0113 m^2 \times 0,7 \frac{kg}{m^3} = 0,0118 \frac{kg}{s}$$

Nella seguente analisi si può calcolare la pressione sviluppata dai fumi all'interno del camino. Quest'ultima viene trovata con l'ausilio della legge di Bernoulli<sup>3</sup> facendo delle opportune ipotesi. La legge di Bernoulli è rappresentata nel seguente modo:

$$\frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{v_2 - v_1}{2g} + (z_2 - z_1) = 0$$

---

<sup>3</sup> Daniel Bernoulli (1700-1782) – Studiò matematica con il padre e il fratello maggiore Nicolas, poi cominciò gli studi di medicina a Basilea nel 1716, più tardi ad Heidelberg e Strasburgo, ottenendo il dottorato nel 1721. In mancanza di una cattedra disponibile a Basilea, si trasferì a Venezia nel 1723, per formarsi presso il primario della città, Professor A. Micoletti. Divenne matematico e scienziato di grande fama grazie ai suoi lavori sul gioco del faraone, il flusso dei liquidi nei recipienti, l'equazione differenziale di Riccati e sulle proprietà delle figure/curve delimitate. Nel 1738 fu pubblicata a Strasburgo la sua opera principale, "L'idrodinamica", in cui spiegava per la prima volta le proprietà macroscopiche di un gas attraverso il moto microscopico delle sue molecole, e con i suoi lavori lanciò la teoria cinetica dei gas. La legge delle correnti di Bernoulli, la legge dell'energia per le correnti stazionarie, formulata per la prima volta nel testo "L'idrodinamica", sono la base dell'idrodinamica e dell'aerodinamica moderne, e dunque della tecnologia aeronautica.

I termini di tale equazione nell'ordine in cui sono stati scritti rappresentano rispettivamente la differenza delle altezze piezometriche e delle altezze cinetiche ed il dislivello geodetico.

Nel caso in esame, è possibile sostituire gli apici "1" e "2" con gli apici "c" e "b", i quali rappresentano rispettivamente ciò che succede nella parte terminale del camino ed alla base di quest'ultimo.

Dunque, è possibile riscrivere l'equazione di Bernoulli nel seguente modo:

$$\frac{p_b}{\rho g} + \frac{v_b^2}{2g} + z_b = \frac{p_c}{\rho g} + \frac{v_c^2}{2g} + z_c$$

È possibile ricavare la pressione nel camino  $p_c$ , poiché precedentemente è stata ricavata la velocità dei fumi all'interno del camino  $v_c$ . Inoltre, sapendo che la velocità dei fumi alla base, all'istante iniziale è nulla, si elide il termine che contiene la velocità; ed anche la quota  $z_b$  è nulla, poiché alla base si ha altezza pari a zero; allo stesso modo è possibile elidere la pressione alla base, poiché si trova a pressione atmosferica. Dunque, si ottiene:

$$p_c = -g \left( \frac{v_c^2}{2g} \rho_{media} + z_c \Delta \rho \right)$$

Per quanto riguarda la quota contenente la velocità dei fumi si ipotizza di utilizzare la densità media dei fumi all'interno del camino, mentre per quanto riguarda la quota geodetica si utilizza la differenza di densità che si verifica nei fumi quando questi ultimi attraversano il condotto dalla quota iniziale pari a 0 metri fino alla quota finale  $z_c$  pari a 10 metri. Perciò dalla precedente relazione è possibile ottenere la pressione dei fumi all'interno del camino che sarà:

$$p_c = -48,83 \text{ Pa}$$

Il simbolo negativo è dato dal fatto che la pressione appena calcolata non è una pressione assoluta, ma, bensì, una pressione relativa che si verifica all'interno del camino.

Dopo aver calcolato la pressione è stata trovata la potenza generata dai fumi. Quest'ultima è composta da due quote; la prima è stata calcolata come potenza per caduta di pressione ed è data da:

$$W_{id} = 0,0118 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 0,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 48,83 \text{ Pa} = 0,82 \text{ W}$$

Mentre la seconda quota è stata calcolata come potenza per caduta di temperatura e portata, poiché si ipotizza che i fumi escano dal camino, e quindi attraversano le alette della girante del

comignolo eolico, subendo una piccola caduta di temperatura pari a 2° Celsius. Dunque, questa seconda quota viene definita come potenza per caduta su girante ed è pari a:

$$W_{caduta\ su\ girante} = 0,0118 \frac{kg}{s} \times 1005 \frac{J}{kgK} \times 2 = 23,72\ W$$

Dove, per quanto concerne la prima quota, 0,0118 kg/s rappresenta la portata dei fumi, 0,7 kg/m<sup>3</sup> rappresenta la loro densità media, e l'ultimo termine rappresenta la pressione dei fumi; mentre per la seconda quota si ha 1005 J/kg K che rappresenta il calore specifico dell'aria secca ed il valore 2 rappresenta il  $\Delta T$  ovvero la differenza di temperatura dei fumi quando attraversano la girante del comignolo eolico.

Dunque, la potenza totale sviluppata dai fumi quando si avvia la combustione di 1kg di legna di abete all'interno di una stufa dotata di un sistema di scarico dei fumi che è composto da un camino di lunghezza pari a 10 metri ed ha nella parte terminale un comignolo eolico è data dalla somma delle due quote trovate in precedenza ed è pari a:

$$W_{totale} = (0,82 + 23,72)\ W = 24,54\ W$$

Nello svolgimento di questa analisi sono state, inoltre, analizzate le possibili perdite di carico. Un fluido che passa all'interno di una tubazione è soggetto a perdite di carico, ovvero ad un calo di pressione dovuto all'attrito che si sviluppa all'interno dello stesso. L'obiettivo è quello di riuscire a calcolarle, anche se in maniera approssimativa. Per quanto riguarda le perdite di carico possono essere classificate in due categorie: quelle localizzate e quelle continue. Si parla di perdite di carico localizzate  $y_l$ , quando all'interno di una tubazione sono presenti dei restringimenti, delle valvole o delle curve a gomito che causano una discontinuità nella corrente del fluido. Mentre, si parla di perdite di carico continue  $y_c$ , quando esse sono presenti nel condotto in modo continuo per tutta la lunghezza di quest'ultimo. La somma di queste due aliquote costituisce le perdite di carico totali  $Y$ , presenti in un condotto. Nel caso analizzato non sono presenti perdite di carico localizzate, poiché è stato ipotizzato di utilizzare un condotto che mantiene la stessa sezione durante tutta la sua lunghezza ed inoltre, esso non presenta dei tratti curvilinei; perciò, le perdite di carico totali saranno costituite solamente dall'aliquota che indica le perdite di carico continue ovvero:

$$Y = y_c$$

L'aliquota rappresentate la perdita di carico continua  $y_c$  è definita come:

$$y_c = \lambda \frac{l v^2}{D 2g}$$

dove  $\frac{v^2}{2g}$  rappresenta il carico cinetico,  $l$  e  $D$  rispettivamente la lunghezza ed il diametro del camino; mentre,  $\lambda$  è un coefficiente adimensionale che rappresenta il fattore d'attrito. Quest'ultimo dipende dal tipo di regime che assume il fluido all'interno del camino. Per questo, un fluido in moto è possibile descriverlo secondo due modelli, ovvero il regime laminare e quello turbolento; il primo prevede che il fluido sia suddivisibile in tante lamelle che scorrono l'una sull'altra e parallelamente al tubo; il secondo, invece, si basa sull'idea che le varie molecole si muovano in modo caotico, formando dei vortici. Si sceglie un modello o l'altro a seconda del valore di un parametro, il numero di Reynolds, definito da:

$$Re = \frac{\rho D v}{\mu} = \frac{D v}{\nu}$$

dove,  $D$  rappresenta il diametro del camino,  $v$  la velocità dei fumi e  $\nu$  la viscosità cinematica. Sapendo, inoltre che la viscosità cinematica dei fumi durante la combustione è pari a  $35 \frac{mm^2}{s}$  è possibile calcolare il numero di Reynolds che risulta essere  $Re = 51059 \cong 5 \times 10^4$ . Dal coefficiente di Reynolds appena trovato si ottiene che il moto del fluido nel camino è fortemente turbolento poiché maggiore del valore soglia che è pari a 4000. Dunque, il fattore d'attrito  $\lambda$  risulta funzione del numero di Reynolds e della rugosità relativa del camino. La rugosità relativa  $\varepsilon_{relativa}$  è data da:

$$\varepsilon_{relativa} = \frac{\varepsilon}{D}$$

dove,  $\varepsilon$  rappresenta la scabrezza e  $D$  il diametro del camino. Per il caso di studio la scabrezza  $\varepsilon$  è quella dell'acciaio inox ed è pari a 0,03 mm, mentre il diametro  $D$  è sempre pari a 120 mm. Dunque, il valore di scabrezza relativa calcolato è pari a  $2,5 \times 10^{-4}$  mm. Attraverso il seguente diagramma di Moody è possibile calcolare il valore del coefficiente d'attrito (grafico 1).

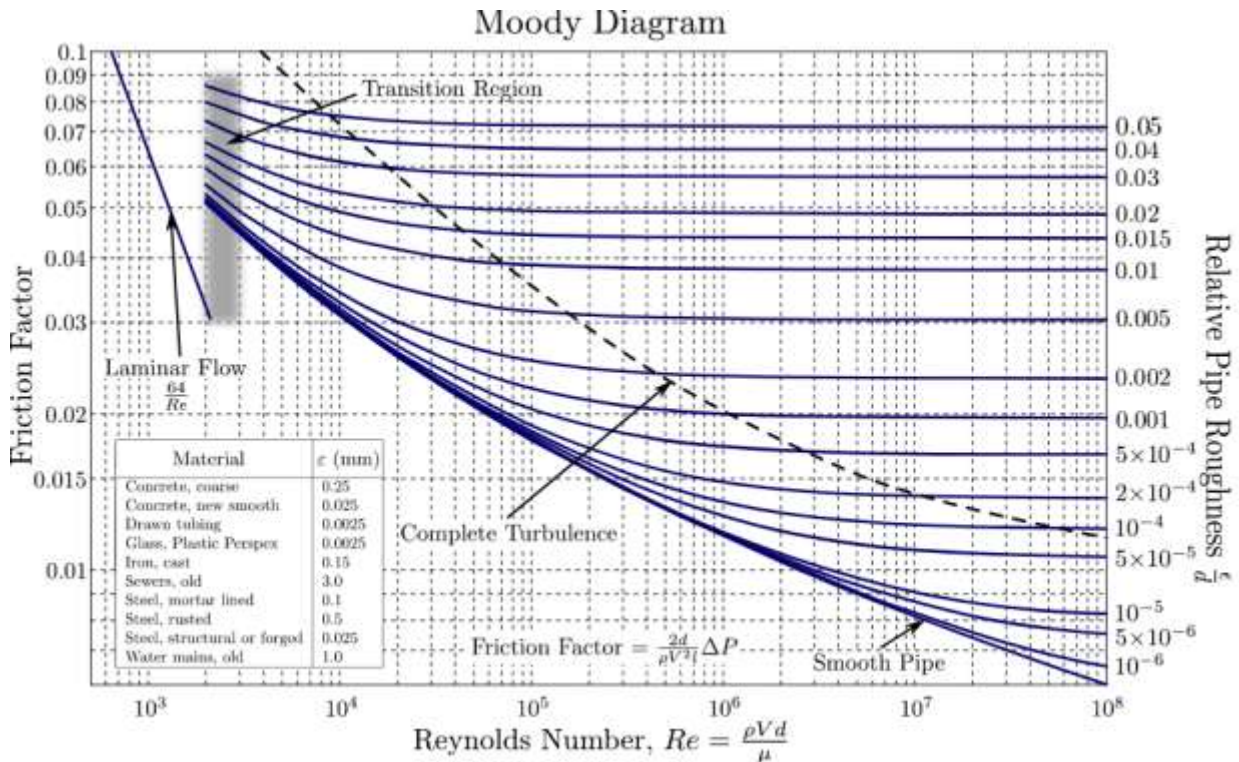


Grafico 1: diagramma di Moody.

Dal diagramma è stato trovato che il fattore d'attrito  $\lambda$  è pari a 0,038. Dunque, ora è possibile calcolare le perdite di carico che si verificano all'interno del condotto utilizzando la formula che rappresenta le perdite di carico continue. Da quest'ultima è possibile stimare che  $Y = 0,36 \text{ m}$ . Dalle perdite di carico continue appena calcolate è possibile stimare la caduta di pressione per unità di lunghezza  $\frac{\Delta p_c}{l}$ , che può essere espressa in funzione della portata massica dei fumi  $\dot{m}$ , espressa in  $\text{m}^3/\text{s}$ , e del diametro del condotto  $D$ ; perciò può essere espressa come:

$$\frac{\Delta p_c}{l} = \lambda \frac{\rho v^2}{D}$$

dove,  $\rho$  e  $v$  rappresentano rispettivamente la densità e la velocità dei fumi e  $\lambda$  il coefficiente d'attrito. Dunque, le perdite di carico per unità di lunghezza nel caso analizzato sono pari a:

$$\frac{\Delta p_c}{l} = 0,43 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

Inoltre, è stato possibile valutare la caduta di pressione all'interno del camino, poiché si conosce la lunghezza di quest'ultimo, che è stata ipotizzata pari a 10 metri. Perciò, si ha  $\Delta p = 4,3 \text{ Pa}$ .

Conoscendo, dunque, la caduta di pressione è possibile stimare la potenza  $P$ , richiesta per mantenere in moto i fumi nel camino, ovvero la potenza necessaria a vincere la perdita di carico che è stata calcolata. Tale potenza è data dal prodotto della portata dei fumi  $\dot{m}$ , espressa in  $\text{m}^3/\text{s}$ , per la caduta di pressione  $\Delta p$  associata a quella determinata perdita di carico  $Y$ :

$$P = \dot{m} \times \Delta p$$

perciò, dalla precedente relazione è stata determinata la potenza necessaria a vincere la perdita di carico, che è:  $P = 5,08 \times 10^{-5} W$ ; una potenza relativamente piccola che non condiziona in modo particolare l'efficienza di tiraggio del camino.

Dunque, dalla prima fase del PoC, quindi dalle misurazioni iniziali, è stato dimostrato che i fumi generano una piccola potenza, che può essere riutilizzata.

#### 4.4 *Analisi funzionamento motore in corrente continua*

Una delle fasi successive del proof of concept è costituita dalla realizzazione del prototipo. Però prima della realizzazione di quest'ultimo sono state fatte alcune considerazioni che hanno come obiettivo la scelta di un sistema adeguato che possa essere collegato al comignolo eolico e che possa convertire l'energia generata durante la rotazione in energia elettrica. Perciò, è stata innanzitutto valutata la velocità di rotazione che si genera quando i fumi attraversano il comignolo eolico. Successivamente, è stata analizzata la geometria del comignolo ed è stato ipotizzato che le alette abbiano un'inclinazione pari a  $60^\circ$ , perciò il raggio del comignolo  $r_{comignolo}$ , può essere considerato di lunghezza pari a 0,05 metri. Inoltre, conoscendo la velocità dei fumi  $v_{camino}$ , che è di 1,49 m/s, è possibile stimare la velocità di rotazione del comignolo quando quest'ultimo è influenzato solamente dai fumi prodotti dalla combustione e quindi in assenza di vento. Tale velocità di rotazione, espressa in giri al minuto, viene calcolata nel seguente modo:

$$\omega = \frac{v_{camino}}{r_{comignolo}} = 29,8 \text{ rad/sec}$$

$$rpm = \frac{60 \times \omega}{2\pi} = 284,6 \cong 285 \text{ giri/min}$$

Dunque, sulla base della velocità di rotazione trovata, dopo aver fatto opportune ricerche, è stato scelto come sistema di trascinamento del comignolo un motore a corrente continua a magneti permanenti. La macchina a corrente continua (c.c.) trasforma l'energia elettrica sotto forma di corrente continua, in energia meccanica oppure potrebbe verificarsi anche il caso opposto. Essa ha la struttura di una macchina rotante (figura 21), ed è composta da uno statore esterno fisso e da un rotore che ruota all'interno dello statore. Tale tipologia di macchina è reversibile, cioè la stessa macchina può funzionare indifferentemente nei due sensi di trasformazione energetica. Quando quest'ultima trasforma l'energia elettrica in energia

meccanica assume il nome di motore, mentre, quando trasforma l'energia meccanica in elettrica, prende il nome di dinamo. Nella macchina a corrente continua il campo magnetico è generato dallo statore. I poli sono costituiti da magneti permanenti quando le macchine hanno minor potenza, oppure da nuclei in ferro eccitati da apposite bobine di campo se le macchine hanno una potenza maggiore. Inoltre, è presente uno strato d'aria fra il rotore e i poli dello statore che è detto traferro. Sulla periferia del rotore sono disposti, all'interno di apposite cave, i conduttori attivi che, muovendosi in modo trasversale rispetto al verso del flusso magnetico, diventano sede di tensione. L'insieme dei conduttori attivi è detto avvolgimento indotto o anche armatura.

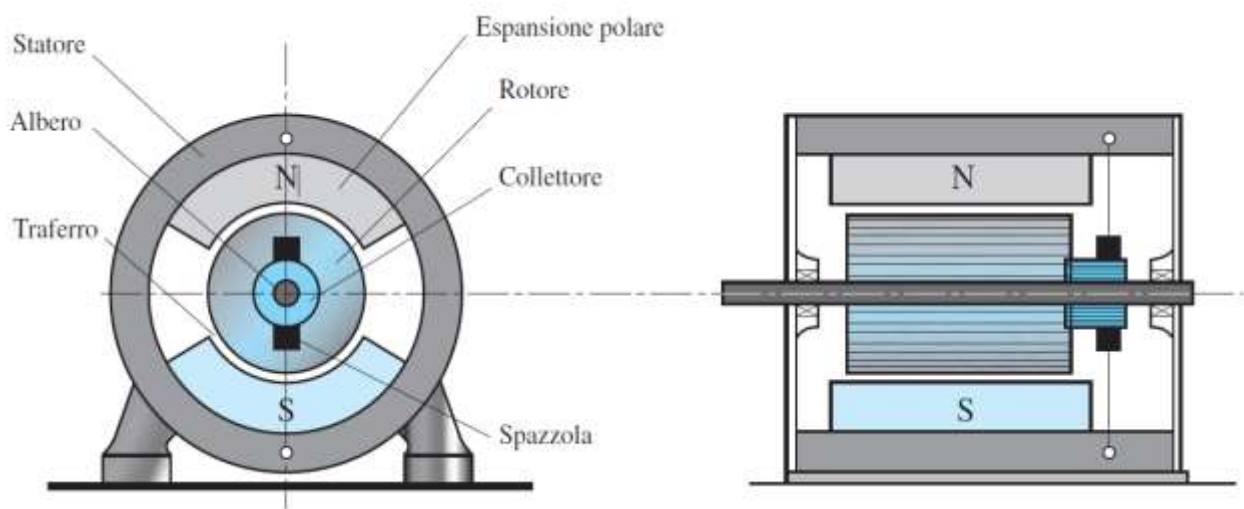


Figura 21: macchina a corrente continua.

Nel funzionamento come dinamo l'albero viene mantenuto in rotazione da un motore primo, che nel caso in esame è costituito dalla rotazione del comignolo quando è attraversato dai fumi di combustione oppure se è presente del vento. Il motore primo fornisce la potenza meccanica e contemporaneamente, dai morsetti della macchina, è possibile prelevare potenza elettrica. Nel funzionamento come motore, invece, si fornisce potenza elettrica ai morsetti della macchina, mentre dall'albero si preleva potenza meccanica.

Inoltre, tenendo conto della velocità di rotazione generata dal passaggio dei fumi di combustione, è stata scelta una tipologia di motore adeguata. L'obiettivo è quello di scegliere un motore a magneti permanenti che abbia una coppia adeguata ad avviare la rotazione della girante del comignolo e che non abbia un'eccessiva velocità di rotazione. Dunque, tenendo in considerazione le precedenti ipotesi, per la realizzazione del prototipo è stato scelto un motore in corrente continua a magneti permanenti modello 775. Tale dispositivo ha una velocità massima di rotazione pari a 4000 giri al minuto, quest'ultima sarà adeguata al prototipo

utilizzando un opportuno rapporto di trasmissione, che andrà a ridurre di un fattore 10 la sua velocità massima.

## 4.5 Prototipazione

Dopo aver analizzato i concetti secondo i quali vi è la possibilità di innovare il prodotto, viene realizzato un prototipo. Quest'ultimo non sarà il prototipo definitivo, ma è una prima rappresentazione di ciò che è stato pensato di fare. In virtù di questo, tale prototipo sarà utilizzato per fare altri studi con l'obiettivo di migliorarlo e renderlo più efficiente. Prima di tutto, nella fase di prototipazione si inizia riproducendo il comignolo eolico su un file CAD. Nel caso specifico, è stato riportato il comignolo sul software di modellazione 3D Autodesk Inventor (figura 22).



*Figura 22: comignolo eolico.*

Successivamente è stato progettato un sistema che ha l'obiettivo di mantenere il motore a magneti permanenti, scelto precedentemente, parallelo al comignolo eolico ed attraverso un sistema costituito da cinghia dentata e puleggia, l'assieme comignolo-motore riesce a ruotare (figura 23).



*Figura 23: assieme comignolo-motore. "Prototipo 0" realizzato con software di modellazione 3D Autodesk Inventor.*

Dopo aver progettato la prima idea di prototipo, denominato "prototipo 0", del comignolo eolico innovativo, nel passo successivo quest'ultimo viene realizzato in laboratorio con l'obiettivo di poterne testare la fattibilità, ma soprattutto analizzarne le eventuali criticità. Queste ultime, infatti, non possono essere tutte constatate attraverso il prototipo realizzato mediante il software. La realizzazione del "prototipo 0" in laboratorio evidenzia, infatti, alcune criticità (figura 24).



*Figura 24: prototipo 0 realizzato in laboratorio.*

Il problema che si presenta nella fase di avvio è rappresentato dal rapporto di trasmissione tra cinghia dentata e pulegge. Infatti, quando si prova ad avviare la girante del comignolo eolico insieme al motore, l'albero del motore impone una resistenza tale per cui la girante non riesce a ruotare liberamente. Tale criticità si presenta perché il rapporto di trasmissione tra la puleggia dell'albero del motore e la girante del comignolo non è ben proporzionato. Infatti, la puleggia posizionata sull'albero del motore a magneti permanenti ha un diametro di 15 mm, mentre la girante del comignolo ha un diametro di 150 mm. Nel prototipo 0 è stata utilizzata come puleggia la girante del comignolo poiché come detto in precedenza si vuole utilizzare tale prototipo per effettuare solo dei rilevamenti, quindi successivamente sarà ottimizzato. Analizzando la precedente criticità è stata fatta una valutazione rispetto al rapporto di trasmissione, dalla quale è emerso che il rapporto è 1 a 10. Per ovviare a questa problematica è stata, quindi, progettata una nuova puleggia con un rapporto di trasmissione adeguato, affinché il comignolo abbia una rotazione libera senza che il motore imponga un'eccessiva resistenza. Quindi, nello specifico, è stato utilizzato un rapporto di trasmissione più proporzionato, ovvero un rapporto 1 a 3. Sulla base di questa ipotesi, è stata progettata e realizzata attraverso un tornio una nuova puleggia in alluminio di diametro pari a 50 mm (figura 25).



*Figura 25: realizzazione puleggia.*

Successivamente, come è possibile notare nella figura sottostante (figura 26), è stata assemblata la nuova puleggia sul prototipo 0. In questa fase, poiché il rapporto di trasmissione

è adeguato, la girante del comignolo ruota in modo corretto senza subire il rallentamento che si era verificato durante il primo test.



*Figura 26: assemblaggio puleggia sul prototipo 0.*

Dunque, dopo aver analizzato e risolto la problematica è stato possibile effettuare un nuovo test, attraverso il quale è stato possibile rilevare alcuni dati.

#### *4.6 Raccolta dei dati*

In questa fase il prototipo 0 viene fatto lavorare a regime e in questo periodo di tempo vengono raccolti alcuni dati che serviranno per un'analisi successiva. Nello specifico, viene testato il funzionamento del motore a magneti permanenti quando quest'ultimo viene fatto lavorare come dinamo, ovvero nella fase in cui il motore produce corrente. Per realizzare il seguente test, poiché il prototipo non poteva essere assemblato su un camino e quindi non poteva essere utilizzata la velocità dei fumi di combustione per far ruotare il comignolo eolico, è stato ipotizzato di utilizzare dell'aria compressa che ha l'obiettivo di simulare la forza del vento. In precedenza, è stata calcolata la velocità di uscita dell'aria dal compressore. Questa valutazione è stata fatta preventivamente in modo tale da ovviare ad un'eventuale criticità, ovvero che la velocità dell'aria in uscita dal compressore non fosse sufficiente ad avviare la rotazione della

girante del comignolo. Per effettuare tale valutazione è stata applicata la legge di Bernoulli, facendo delle opportune ipotesi e avendo, inoltre, come dato noto la pressione dell'aria all'interno del compressore. Dunque, il calcolo viene eseguito nel seguente modo; sapendo che la legge di Bernoulli può essere espressa come:

$$P + \rho \frac{v^2}{2} + \rho gh = cost$$

e che, quindi, si ha:

$$P_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} + \rho gh_1 = P_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} + \rho gh_2$$

poiché, si ipotizza che l'aria nella sezione 1 ovvero all'interno del compressore abbia velocità nulla è possibile elidere il termine contenente  $v_1$ , inoltre, ipotizzando che l'aria della sezione 1 si trova alla stessa quota della sezione 2 è possibile elidere anche i termini contenenti  $h_1$  e  $h_2$ . Dunque, si ottiene:

$$P_1 = P_2 + \rho \frac{v_2^2}{2}$$

da quest'ultima equazione è possibile ricavare la velocità dell'aria nella sezione 2, ovvero all'uscita dal compressore, poiché è nota la pressione dell'aria nella sezione 1, ovvero all'interno del compressore, che è pari a 6 bar; ed inoltre, sapendo che nella sezione 2, ovvero in uscita dal compressore, la pressione sarà quell'atmosferica<sup>4</sup>; e altresì nota la densità  $\rho$  dell'aria, quindi si ottiene:

---

<sup>4</sup> Pressione Atmosferica: Elemento primario delle condizioni meteorologiche è la pressione atmosferica. Essa rappresenta il peso della colonna d'aria che sovrasta una superficie unitaria. Si misura equilibrando tale peso con quello di una colonna di mercurio, che sarà alta, in media, 760 mm. (barometro a mercurio) oppure con altri sistemi come, per esempio, la reazione elastica di un corpo deformabile (la capsula barometrica) del barometro aneroido. Per ragioni pratiche, si è convenuto di adoperare, quale unità di misura della pressione, di millibar che equivale a 1000 dine/cm<sup>2</sup>. Poiché, talvolta è anche usato, come unità di misura, il pollice (inch) è opportuno vederne la correlazione: 760 mm. Di mercurio = 1013.25 millibar = 29.92 pollici. Con buona approssimazione per passare da millimetri di mercurio a millibar basta moltiplicare il primo per 4/3 o viceversa (il secondo per 3/4). L'organizzazione meteorologica mondiale, di recente ha convenuto di introdurre, quale unità di misura l'Hectopascal 1 hPa = 1 mb.

I valori della pressione atmosferica vengono misurati contemporaneamente nei diversi punti della Terra, ad ore convenute (ore sinottiche) e riportati ad un livello comune (livello del mare) per consentire che gli stessi riportati sulle carte del tempo, possano essere tra loro confrontabili ed abbia senso parlare di alte o basse pressioni. Nelle suddette carte del tempo, unendo i punti con uguali valori di pressione si ottengono delle linee dette Isobare.

$$v_2 = \sqrt{\frac{(P_1 - P_2) \times 2}{\rho}} = \sqrt{\frac{(6 - 1,01325) \text{ bar} \times 2}{1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 2,85 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Dal valore di velocità dell'aria appena trovato è stato possibile, inoltre, trovare la velocità di rotazione della girante del comignolo con questa velocità dell'aria. Infatti, conoscendo il raggio della girante che è pari a 0,05 metri è possibile calcolare:

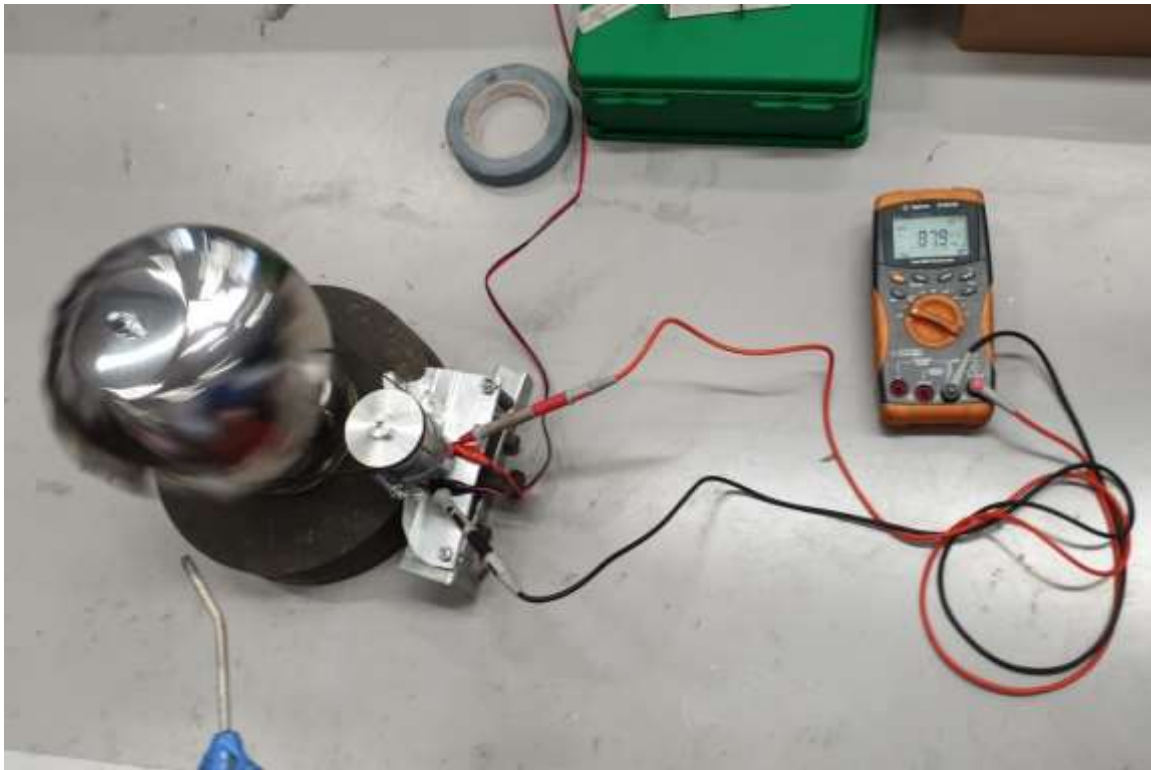
$$\omega = \frac{2,85 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,05 \text{ m}} = 57 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\text{rpm} = \frac{60 \times \omega}{2\pi} = 545 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$$

Dalla precedente equazione è stata calcolata la massima velocità di rotazione che la girante può raggiungere, se si utilizza un getto d'aria compressa con le caratteristiche elencate in precedenza, per simulare il vento che impatta sulle alette del comignolo eolico.

Dopo aver calcolato, quindi, che la girante del comignolo riesce ad avviarsi utilizzando un getto d'aria compressa è possibile fare dei rilevamenti dai quali è possibile raccogliere alcuni dati. In laboratorio è stato realizzato un secondo test con l'obiettivo di misurare la velocità di rotazione e la differenza di tensione elettrica che si genera quando il motore a magneti permanenti viene fatto ruotare da un motore, definito motore primo, che in questo caso è rappresentato dalla rotazione della girante del comignolo.

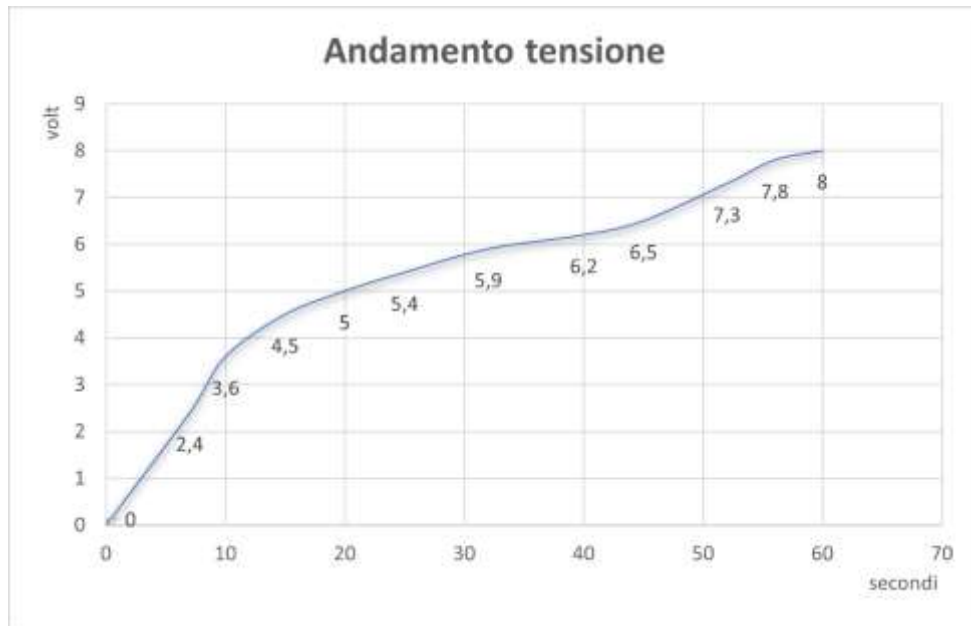
Durante il test la girante è stata sollecitata da un getto d'aria compressa. Quest'ultima ha permesso di raggiungere la massima velocità di rotazione possibile tramite la velocità dell'aria compressa calcolata in precedenza. Al tempo stesso, la girante è collegata al motore a magneti permanenti mediante la cinghia e con il rapporto di trasmissione progettato in precedenza; il motore in questa fase funge da dinamo, quindi genera corrente. La tensione di corrente è stata misurata con l'ausilio di un voltmetro (figura 27).



*Figura 27: rilevamento con voltmetro.*

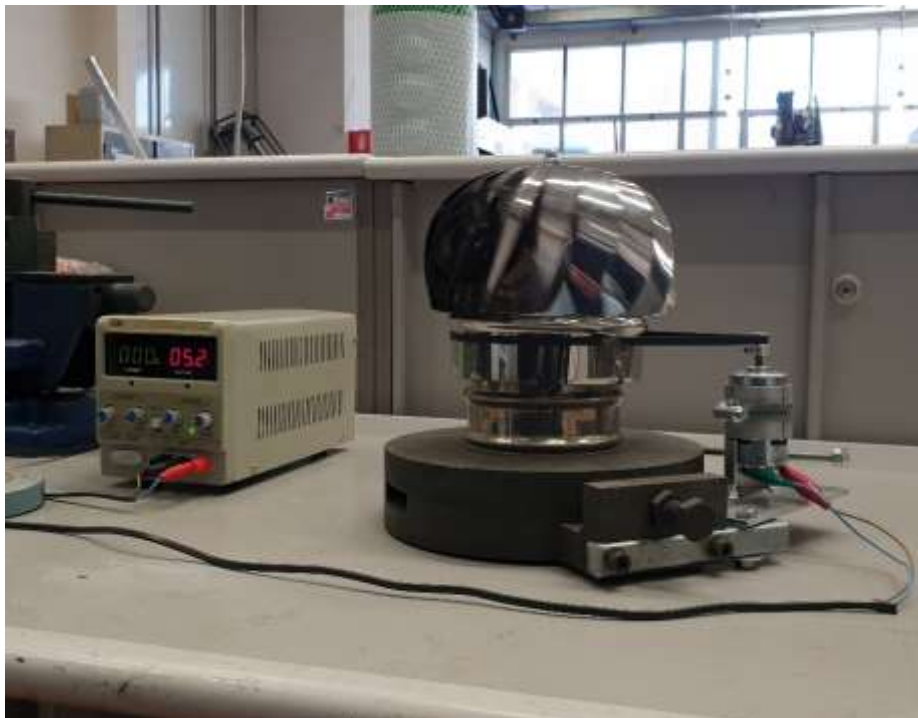
Nella fase di avvio del test è stata simulata la forza del vento e con l'ausilio dell'aria compressa il sistema è stato portato a regime. In questo intervallo di tempo è stato notato che quando il sistema raggiunge la velocità di regime, ovvero i 545 giri al minuto che è possibile avere in laboratorio, il motore genera una differenza di potenziale, cioè una differenza di tensione elettrica pari a 8 volt.

Inoltre, durante il test è stato valutato l'andamento della tensione che genera la dinamo. Tale valutazione è stata realizzata dall'intervallo di tempo iniziale, in cui si avvia il test, quindi a velocità di partenza pari a 0, fino al raggiungimento della velocità di regime. I dati raccolti sono stati inseriti nel seguente grafico, realizzato tramite il software Excel; questi ultimi rappresentano l'andamento della tensione all'aumentare del numero di giri nei diversi intervalli di tempo (grafico 2).



*Grafico 2: tensione generata dalla dinamo a diverse velocità di rotazione in diversi intervalli di tempo.*

La seconda parte del test consiste nell'alimentare il motore a magneti permanenti, per far sì che quest'ultimo possa fungere da motore e, quindi, mettere in movimento la girante del comignolo. Nello specifico durante questa fase è stato utilizzato un alimentatore dotato di un regolatore di tensione che permette di variare i volt con cui viene alimentato il motore. L'obiettivo del test è stato quello di capire qual è il voltaggio minimo con cui il motore a magneti permanenti riesce ad avviare la rotazione del comignolo eolico (figura 28).



*Figura 28: test motore a magneti permanenti.*

Dal test eseguito è emerso che il motore riesce ad avviare la girante utilizzando solamente una tensione di 0,5 volt; utilizzando questo valore di tensione è stato rilevato che il motore assorbe all'incirca 0,18 ampere, che in questo caso sono stati forniti dall'alimentatore collegato alla rete elettrica.

#### 4.7 Analisi delle correnti generate dalla dinamo

Come è stato descritto in precedenza il motore a magneti permanenti può essere utilizzato da generatore di corrente poiché esso è una macchina reversibile. In tal caso viene definito dinamo ovvero un generatore di corrente continua, diversamente dall'alternatore che genera corrente alternata. La figura sottostante mostra le parti costituenti una dinamo, in questa rappresentazione si fa riferimento al caso di una macchina a due poli e due vie interne (figura 29).

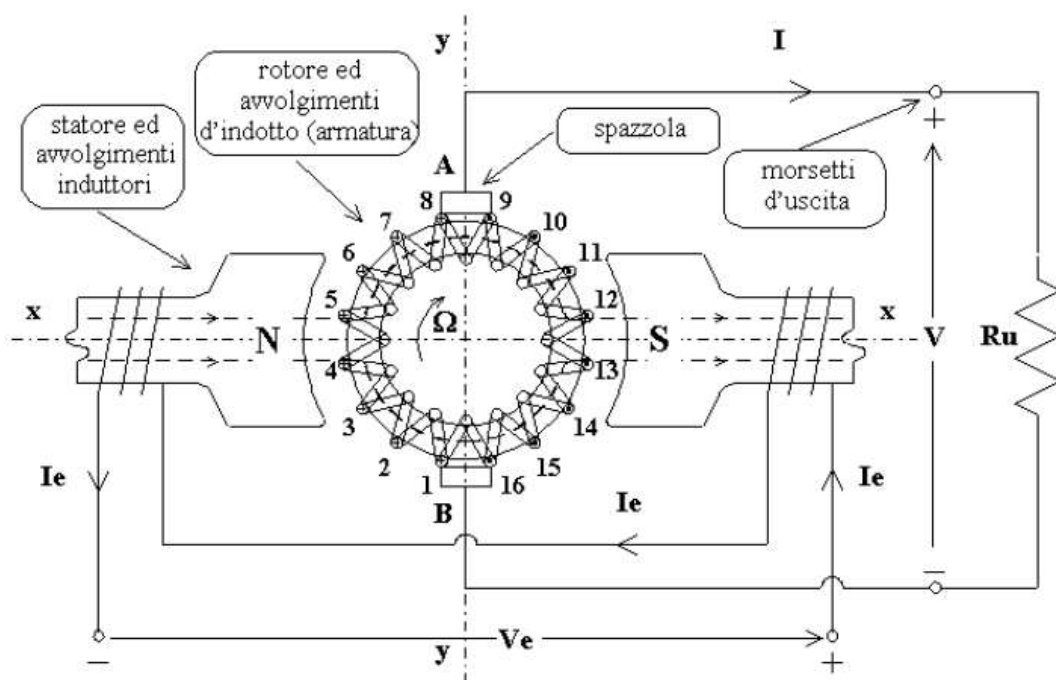


Figura 29: schema dinamo.

Le macchine attuali differiscono significativamente dalla schematizzazione fatta. In particolare, per quanto riguarda gli avvolgimenti d'indotto, i quali sono realizzati a tamburo e per la corrente continua generata, che è erogata attraverso un sistema di spazzole e collettore a lamelle. Il sistema induttore è ricavato nello statore della macchina. Quest'ultimo è composto da un nucleo di ferro, che ha la funzione di convogliare il campo magnetico verso i poli, e da un avvolgimento induttore eccitato in corrente continua  $I_e$ , che ha lo scopo di generare il campo

magnetico induttore. Il sistema d'indotto è ricavato nel rotore ed è costituito da un nucleo realizzato con lamierini e dall'avvolgimento d'indotto. Nella figura, tale avvolgimento è raffigurato nella forma dell'anello di Pacinotti<sup>5</sup>. Mentre la corrente continua  $I$ , viene erogata mediante due spazzole di opportuno materiale che appoggiano sui conduttori attivi, che costituiscono l'avvolgimento d'indotto. Tali spazzole, sistemate sull'asse interpolare, definito asse neutro, sono tenute ferme insieme allo statore e, quindi, realizzano un contatto strisciante sul rotore.

Durante il test in laboratorio, il motore in corrente continua a magneti permanenti è stato azionato per mezzo della girante del comignolo; quest'ultima è stata azionata da un getto d'aria compressa. In questo intervallo di tempo il motore, quindi, funziona da dinamo e dal momento in cui si avvia inizia a generare una tensione. La tensione generata da un singolo conduttore appartenente alla spira all'interno della dinamo è espressa dalla seguente relazione:  $e = B \times l \times v$ ; dove  $B$  rappresenta il campo magnetico indotto,  $l$  rappresenta la lunghezza del lato attivo del rotore, mentre  $v$  è la velocità periferica del rotore; quest'ultima è data dal seguente prodotto  $v = \omega \times r$ , dove  $\omega$  rappresenta la velocità angolare espressa in  $rad/s$  e  $r$  è il raggio del rotore espresso in metri. La tensione generata in un singolo conduttore, perciò, risulta essere espressa come:

$$e = B \times l \times r \times \omega$$

Dunque, la tensione totale ai capi delle spazzole, presenti all'interno della dinamo, è ottenuta come la somma dei contributi della metà dei conduttori attivi che si trovano in parallelo all'altra metà. Poiché le tensioni nei diversi conduttori attivi non sono uguali tra loro perché nei conduttori che si trovano in zona neutra i valori di tensione si annullano, bisogna, quindi, utilizzare un valore medio della tensione del conduttore, indicato con  $e_m$ . Considerando lo schema rappresentato in fig. 29, quindi una macchina a due poli, si ottiene:

---

<sup>5</sup> Antonio Pacinotti (1841-1912) - è stato un patriota, politico e scienziato italiano, a cui si deve l'invenzione della dinamo e del motore elettrico in corrente continua. Fu in seguito alle lezioni del Professor Riccardo Felici che Pacinotti sviluppò l'interesse per i fenomeni elettrici. Indirizzatosi così verso i problemi della fisica ed in particolare su quelli dell'elettrologia, si occupò delle tecniche per le misure delle correnti elettriche e si applicò in seguito allo studio volto a realizzare dei generatori dinamici di elettricità. Nel 1858 la prima intuizione dell'anello (noto oggi come l'anello di Pacinotti) che diventerà la base per la realizzazione della dinamo, arrivando per primo a costruire il 10 gennaio 1859 un generatore dinamo-elettrico di corrente continua sperimentale. Nel corso del 1869, Pacinotti, sperimentando assiduamente, si rese subito conto che la macchina era reversibile; notò infatti che collegando una batteria piombo-acido al fine di ricaricarla, accadeva che rilasciando la manovella questa si metteva a ruotare in senso inverso; scoprì quindi che applicando una tensione elettrica al suo "anello" questi produceva una coppia meccanica determinando così la rotazione del rotore. L'anello è quindi capace di funzionare sia come dinamo che come motore elettrico.

$$E = N \times e_m = N \times B \times l \times r \times \omega$$

dove,  $N$  rappresenta la metà dei conduttori attivi, coincidente con il numero di spire che compongono l'avvolgimento del rotore. Tale tensione risulta essere proporzionale al flusso di macchina, definito come somma dei flussi di tutti i poli della macchina ed è indicato con  $\phi$ . Nella macchina rappresentata in fig. 29 che è a due poli, il flusso di macchina è pari al doppio del flusso di ciascun polo. L'induzione media risulta quindi:  $B_m = \frac{\phi}{S} = \frac{\phi}{2\pi r l'}$ , dove  $S$  rappresenta la superficie cilindrica del rotore. Dunque, la nuova espressione della tensione diventa:

$$E = N \times \phi \times \frac{\omega}{2\pi}$$

Esprimendo la velocità angolare in numero di giri al minuto  $n$ , ed essendo  $\frac{\omega}{2\pi} = \frac{n}{60}$ , è possibile ottenere il valore di tensione nel seguente modo:

$$E = N \times \phi \times \frac{n}{60}$$

Perciò la tensione generata risulta direttamente proporzionale al flusso di macchina e al numero di spire, che sono costanti costruttive della dinamo, ed inoltre, è proporzionale alla velocità angolare del rotore, che può variare a seconda delle necessità, oppure come nel caso in esame, a seconda della forza del vento, che spinge il motore primo ovvero la girante del comignolo. Le costanti costruttive della dinamo vengono raggruppate in un unico fattore  $K_E$ , detto costante di tensione, definito come:

$$K_E = \frac{N \times \phi}{2\pi} = N \times B \times l \times r$$

Dunque, la tensione generata dalla dinamo risulta essere:

$$E = K_E \times \omega$$

Poiché, la tensione  $E$  è misurata in volt e  $\omega$  è misurata in  $rad/s$ , la costante di tensione risulta essere espressa in  $V \times s/rad$ .

La costante di tensione  $K_E$ , è un parametro fondamentale della macchina a corrente continua ed è legato al valore del flusso. In fase di progetto si scelgono i valori di flusso  $\phi$ , e il numero di conduttori attivi  $N$ , in modo da realizzare la costante di tensione richiesta. Se invece, come nel seguente caso di studio, si ha un motore a magneti permanenti che lavora come dinamo, perciò, di una dinamo già costruita, la costante di tensione  $K_E$  viene determinata per mezzo di una

prova: si rileva la tensione  $E$  tra le spazzole quando la macchina ruota alla velocità  $\omega$  costante, e si calcola il rapporto:

$$K_E = \frac{E}{\omega}$$

Quest'ultima formula può essere utilizzata su dinamo con qualunque numero di poli.

Infatti, poiché il motore utilizzato per il prototipo è un motore a magneti permanenti modello 775, quindi una dinamo già costruita, durante il test in laboratorio, è stato fatto ruotare a velocità costante. Tale velocità è stata ricavata in precedenza dalla velocità d'uscita dell'aria dal compressore, perciò, è stato possibile conoscere la velocità del motore primo e di conseguenza quella della dinamo. Dunque, sapendo che la velocità del motore primo ovvero la girante del comignolo eolico è pari a 545 giri/min, è stato possibile ricavare la velocità angolare  $\omega$ , che è pari a:

$$\omega = \frac{2\pi \times 545 \text{ giri/min}}{60} = 57 \text{ rad/s}$$

Inoltre, poiché la dinamo è stata fatta girare a velocità costante, è stata rilevata attraverso il voltmetro una tensione  $E = 8 \text{ volt}$ . Conoscendo, inoltre, dal principio di funzionamento della dinamo, che la tensione  $E$  è rappresentata dal prodotto della velocità angolare  $\omega$  per la costante di tensione  $K_E$ , utilizzando la formula inversa è stato possibile ricavare il valore della costante di tensione  $K_E$ , che è pari a:

$$K_E = \frac{E}{\omega} = \frac{8 \text{ V}}{57 \text{ rad/s}} = 0,14 \text{ V} \times \text{s/rad}$$

È possibile, inoltre, stimare il valore della corrente  $I$  generata durante il funzionamento della dinamo. La corrente  $I$  erogata dalla dinamo si suddivide nei due rami in parallelo dell'avvolgimento rotorico, ciascuno dei quali viene così percorso da  $\frac{I}{2}$ . Poiché i conduttori percorsi da questa corrente sono immersi in un campo magnetico, vengono sottoposti ciascuno a una forza elementare  $f$ . Il valore medio della forza elementare vale:

$$f_m = B \times l \times \frac{I}{2}$$

Quindi, la coppia media elementare risulta essere:

$$c_m = f_m \times r = B \times l \times \frac{I}{2} \times r$$

Il contributo di tutti i conduttori produce la coppia complessiva  $C$ :

$$C = 2N \times c_m = 2N \times B \times l \times \frac{l}{2} \times r = N \times B \times l \times r \times I$$

dove  $B$  è il campo magnetico indotto,  $l$  la lunghezza e  $r$  il raggio del rotore espressi in metri;  $C$  è misurata in Nm. La coppia è proporzionale alla corrente ed è diretta in senso opposto a  $\omega$ , perciò tende a frenare il rotore. Per mantenere in rotazione a velocità costante la dinamo sotto carico è quindi necessario fornire al suo albero una coppia motrice  $C_m$  uguale e opposta a  $C$ , ovvero  $C_m = C$ . Questo compito viene svolto dal motore primo. Inoltre, sapendo che:

$$K_E = N \times B \times l \times r$$

l'espressione del valore di coppia  $C$  risulta essere pari a:

$$C = K_E \times I$$

La costante di tensione  $K_E$  in questo caso viene utilizzata per rappresentare il valore di coppia da applicare all'albero della dinamo per tenerla in rotazione a velocità costante ed è data dal prodotto di  $K_E$  per la corrente erogata  $I$ .

Dunque, quando la costante  $K_E$  viene utilizzata per il calcolo della coppia, viene detta costante di coppia e viene indicata con  $K_T$ , utilizzando tale notazione si ha quindi:

$$C = K_T \times I$$

Dalla precedente relazione si evince il valore di coppia della dinamo, e sapendo che la costante di tensione  $K_E$  è uguale alla costante di coppia  $K_T$ , e che quest'ultima è espressa in Nm/A, è possibile dunque stimare il valore di corrente generato dalla dinamo quando quest'ultima viene messa in movimento dalla girante del comignolo.

Per calcolare il valore di coppia  $C$  bisogna tener conto dei dati di targa riferiti dal costruttore del motore che riferisce una potenza nominale  $P$  pari a 1,68 W. Per cui il valore di coppia  $C$ , è calcolato come:

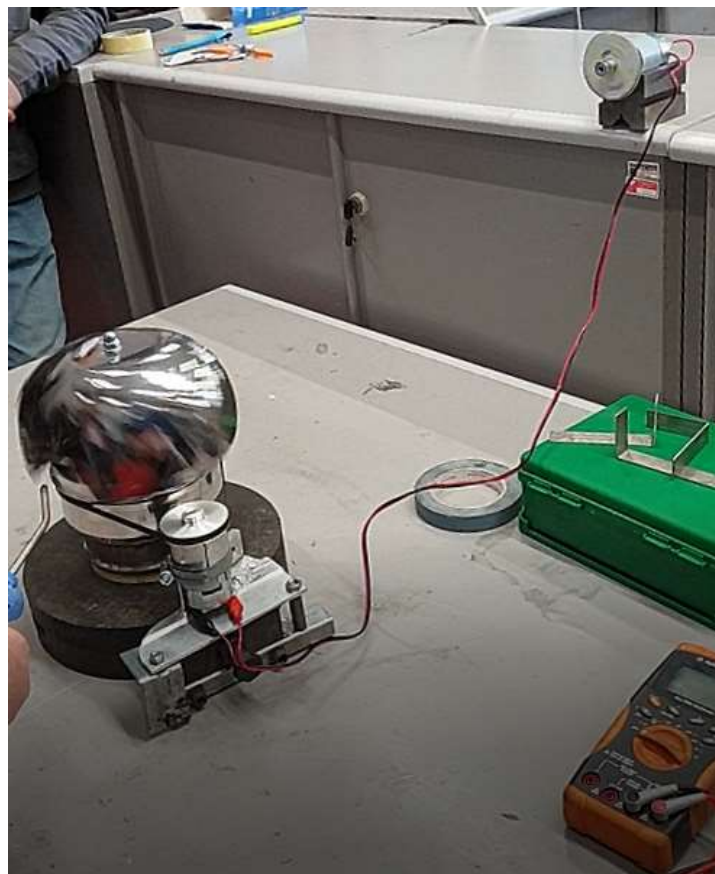
$$C = \frac{60 \times P}{2\pi \times 545 \text{ giri/min}} = 0,03 \text{ Nm}$$

Successivamente, è possibile stimare il valore di corrente  $I$ , che viene generato dalla dinamo. Quest'ultimo è espresso dalla seguente relazione:

$$I = \frac{C}{K_T} = \frac{0,03 \text{ Nm}}{0,14 \text{ Nm/A}} = 0,21 \text{ A}$$

Dunque, è stata calcolata la corrente generata dal motore quando viene avviato dalla girante del comignolo. L'obiettivo dello studio è il riutilizzo di questa corrente.

Per quanto riguarda la corrente generata dal motore utilizzato come dinamo è stato supposto che essa potesse alimentare un nuovo motore. Successivamente tutto ciò è stato dimostrato attraverso un'opportuna prova in laboratorio che ha confermato la precedente ipotesi, come è mostrato nella figura sottostante (figura 30).



*Figura 30: test riutilizzo corrente generata.*

Nello specifico, durante la prova in laboratorio è stato utilizzato un getto d'aria compressa che ha messo in rotazione la girante del comignolo, simulando l'azione del vento. Quest'ultima è collegata al motore a magneti permanenti scelto in precedenza, che durante il test è alimentato dall'aria, perciò si comporta come una dinamo; la dinamo è stata collegata in serie ad un altro motore a magneti permanenti, avente le medesime caratteristiche di quello scelto in precedenza, che grazie alla corrente generata dalla dinamo riesce ad avere una rotazione.

## *Capitolo V*

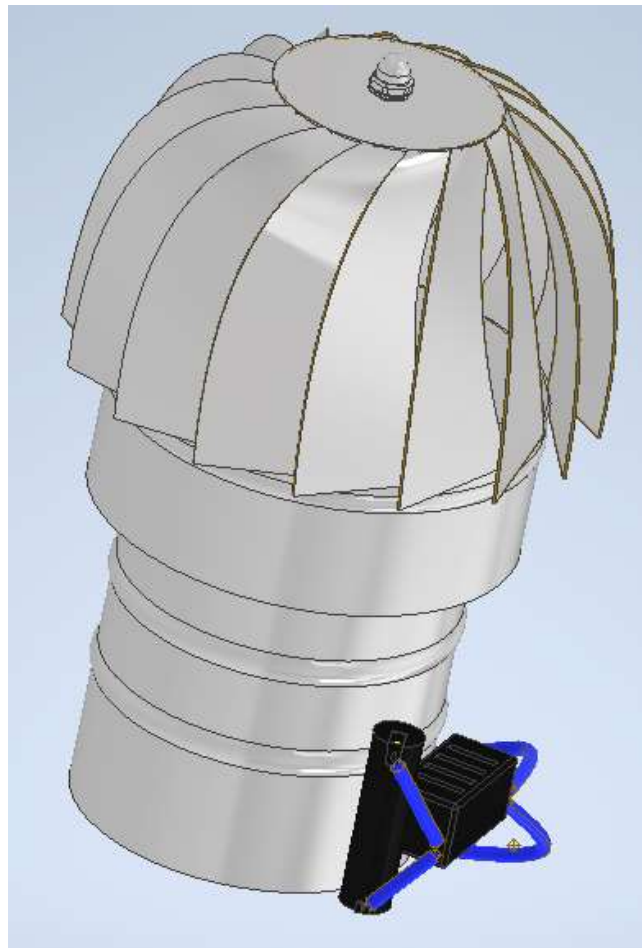
### *5.1 Comignolo innovativo*

L'obiettivo dello studio è la realizzazione di un comignolo innovativo. L'innovazione si muove nell'ottica del riutilizzo dell'energia prodotta al fine di rendere più efficiente il comignolo e quindi, renderlo più competitivo nel proprio mercato di riferimento. Infatti, tale innovazione mira, non solo ad aumentare l'efficienza del comignolo, quindi migliorare il tiraggio del sistema di riscaldamento, ma allo stesso tempo eliminare alcuni dei limiti tecnologici che la tipologia standard di terminale possiede. Nello specifico, si è pensato alla realizzazione di diversi prototipi che hanno in comune il concetto del riutilizzare l'energia generata, al fine di migliorare le performance del terminale stesso. Nel fare ciò, è stata intrapresa una strada che consente, senza particolari modifiche al sistema di riscaldamento e al camino, di sostituire il terminale standard con quello innovativo. Inoltre, si vuole rendere questo sistema totalmente automatizzato in modo tale da aumentarne l'efficienza. In particolare, sono state ideate due tipologie di prototipo. Entrambe le tipologie sono basate sul concetto di "storage" dell'energia elettrica prodotta, la differenza sostanziale sta nell'utilizzo dell'energia elettrica immagazzinata. In un caso l'energia sarà utilizzata sul dispositivo che l'ha generata, mentre per quanto riguarda la seconda opzione l'energia sarà utilizzata da un altro dispositivo. Quindi, a seconda dell'opzione scelta varierà il campo di utilizzo ed il luogo d'installazione. Nei successivi paragrafi saranno analizzate le diverse varianti di comignolo innovativo.

### *5.2 Sistema "stand-alone"*

La prima variante di comignolo innovativo che viene descritta è rappresentata da un sistema stand-alone, ovvero un sistema che può funzionare in modo indipendente, senza dover essere collegato, ma semplicemente, sostituito al dispositivo che si trova già nella parte terminale del camino. Tale sistema in virtù del fatto che non ha bisogno di particolari tipologie di installazioni, ovvero non sarà un sistema invasivo che richiederà l'intervento di tecnici specializzati, nella sua parte esterna può essere facilmente scambiato con un terminale eolico standard. Quest'ultimo ha subito delle modifiche solo internamente, che ne hanno potuto aumentare l'efficienza e lo hanno reso allo stesso tempo del tutto automatico. Nel dettaglio, prima di descrivere le sue caratteristiche tecniche, bisogna soffermarsi sulle principali criticità della tipologia standard di terminale eolico. Quest'ultimo, infatti, ha la peculiarità di essere un ottimo

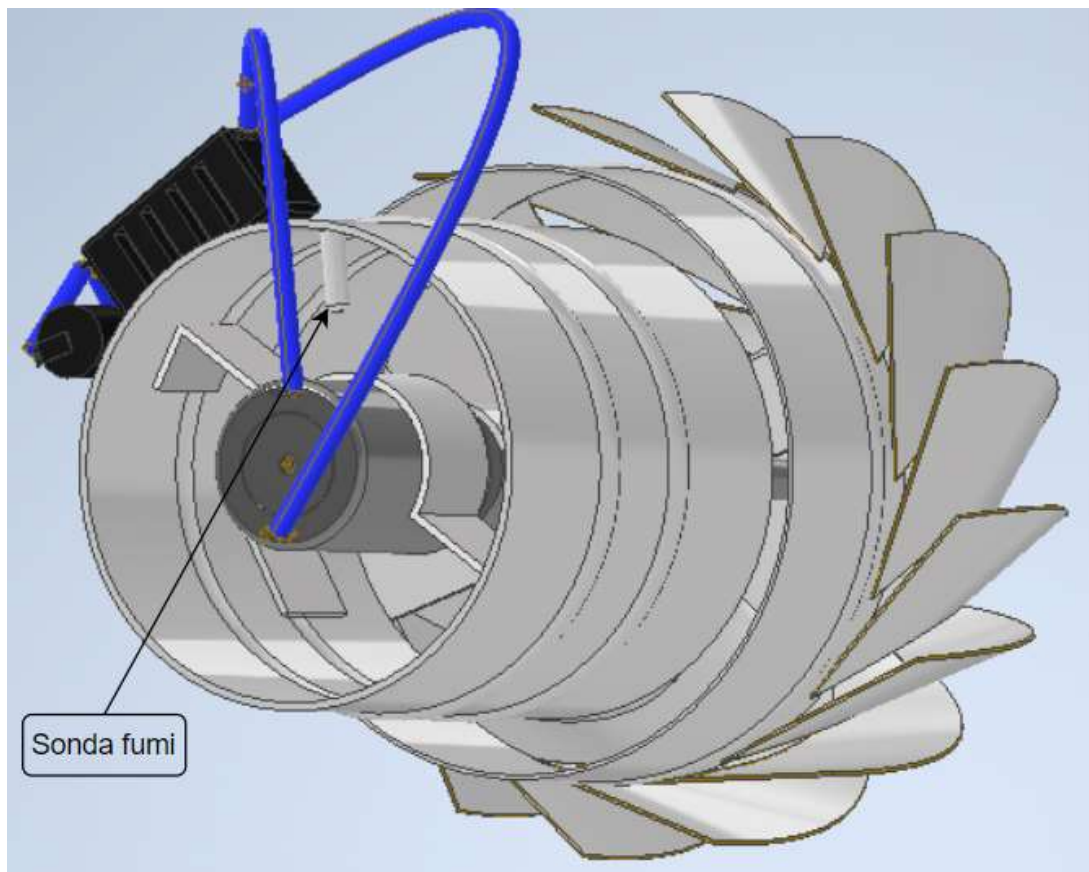
sistema di tiraggio in momenti della giornata in cui la forza del vento è sufficiente a far ruotare la girante che lo costituisce, ma allo stesso tempo la girante stessa, potrebbe fungere da tappo, per la fuoriuscita dei fumi, quando non è presente vento. Un'altra criticità del sistema standard è data dal cattivo tiraggio in particolari momenti. Questo problema si presenta in fase di accensione del sistema di riscaldamento, poiché siccome in questa fase la temperatura dei fumi di combustione è bassa, il processo di combustione non è ancora ottimale; di conseguenza la velocità dei fumi non è sufficiente affinché questi ultimi possano uscire dal camino, ma si disperdono nell'ambiente in cui è installato il sistema di riscaldamento. Per ovviare, quindi alle criticità presenti nel sistema standard è stato progettato, tramite il software di modellazione 3D Autodesk Inventor, il seguente sistema innovativo (figura 31).



*Figura 31: sistema innovativo stand-alone.*

Questo tipo di sistema è costituito da alcune componenti che saranno parte integrante del dispositivo stesso per permetterne il funzionamento. Quest'ultimo sarà costituito da: un regolatore di carica, una centralina, una pila, una sonda per la temperatura, alcuni cavi per i vari collegamenti, un motore a magneti permanenti, scelto in fase di analisi, e naturalmente, un comignolo eolico. Nello specifico come è possibile notare dalla figura sottostante (figura 32), a

differenza del prototipo 0, in questo dispositivo è stata modificata la collocazione del motore a magneti permanenti; infatti, non è più situato all'esterno del comignolo ma si trova posizionato al suo interno. Il motore è sostenuto da un sistema di staffe collegato direttamente all'albero del terminale eolico. Attuando questa soluzione si aggira il problema che si era presentato nel prototipo 0, ovvero la resistenza all'avvio dovuta ad un rapporto di trasmissione poco equilibrato.



*Figura 32: vista dal basso comignolo innovativo con sistema stand-alone.*

Nel prototipo definitivo il meccanismo propulsore sarà schermato dal calore prodotto dai fumi di combustione, attraverso un apposito sistema di alette. Quest'ultimo è progettato in modo tale da permettere che i fumi possano essere deviati verso la sezione d'uscita, senza che il calore possa intaccare il funzionamento del motore. Sul motore sarà inserito un apposito motoriduttore che ha la funzionalità di ridurre la rotazione del propulsore di un fattore 10, al fine di evitare il raggiungimento di velocità di rotazione della girante troppo elevate, che possano inficiarne la durata. L'albero del motore a magneti permanenti sarà collegato all'albero che è già presente all'interno del terminale eolico. Inoltre, sarà installata una sonda, come mostrato in figura 32, che rileva la temperatura dei fumi di combustione. Il meccanismo di propulsione e la sonda saranno collegati con un apposito sistema di cablaggio, anch'esso

schermato opportunamente per resistere al calore, ad una centralina che sarà programmata per lavorare in modo completamente automatico. Nello specifico, la centralina si occuperà del controllo, e sarà presente anche un regolatore di carica che si occuperà di far accumulare l'energia elettrica, prodotta dal motore quando funziona da dinamo, all'interno di una pila. Infine, sia il sistema di controllo che il sistema di accumulo saranno inseriti all'interno di una scatola di derivazione, apposta per l'esterno, che servirà per schermare i dispositivi elettrici dagli agenti atmosferici. Quest'ultima sarà fissata su un lato del dispositivo, per facilitare il montaggio del comignolo sul camino. In particolare, il funzionamento del dispositivo avverrà secondo due fasi. In una prima fase sarà il dispositivo a produrre energia che sarà accumulata, mentre nella seconda fase l'energia elettrica che è stata accumulata viene riutilizzata dal dispositivo stesso. La prima fase, nel dettaglio, consiste nell'avvio della girante per mezzo del vento; durante la rotazione il motore funziona come una dinamo, perciò, comincia a produrre energia elettrica che attraverso il regolatore di carica sarà accumulata all'interno di una pila al litio. La seconda fase invece, rappresenta la fase in cui l'energia accumulata viene sfruttata, quindi nel dettaglio, il motore mette in movimento la girante assorbendo l'energia che era stata accumulata durante la prima fase. Agendo in questo modo i fumi vengono aspirati ed espulsi all'esterno, migliorando il tiraggio. Inoltre, la presenza della sonda che ha il compito di rilevare la temperatura dei fumi di combustione funge da interruttore tra la prima e la seconda fase. Infatti, quando la sonda rileva una temperatura dei fumi che è al di sotto di un valore soglia, impostato tramite centralina, fa sì che il motore si metta in funzione poiché essa rileva che i fumi di combustione sono freddi, perciò, ci sarà un cattivo tiraggio, che deve essere ottimizzato con l'avvio della girante; nel momento in cui i fumi avranno una temperatura adeguata alla combustione la sonda rileva tale temperatura, ed il motore non assorbe più energia elettrica. In questo momento si ha il passaggio da quella che è stata definita fase due a quella che è stata definita come fase uno, ovvero il motore si comporta da dinamo ed inizia ad accumulare energia nella pila che è stata installata. Inoltre, quando la combustione è stata avviata, ed i fumi raggiungeranno la temperatura ottimale, dall'analisi fatta in precedenza è stato valutato che essi hanno una velocità di 1,49 m/s, ed è stato dimostrato che questi ultimi riescono ad avviare la rotazione della girante, perciò anche se le condizioni climatiche non presentano delle correnti ventose, il motore riuscirà ugualmente ad immagazzinare energia elettrica.

Infine, poiché dall'analisi fatta è stato dimostrato che il motore riesce ad avviare la rotazione della girante anche utilizzando valori di tensione molto bassi, è possibile fare alcune affermazioni: se si utilizzasse il motore con una tensione pari a 1 volt, esso, dai dati raccolti,

assorbirebbe 0,36 ampere. Considerando tali evidenze, se nel sistema di controllo del prototipo verrà inserita una pila al litio con una capacità pari a 3600 mAh<sup>6</sup>, ovvero 3,6 Ah, è possibile stimare che il dispositivo potrà rimanere in rotazione all'incirca per 10 ore, ad una minima velocità di rotazione, impostata tramite la centralina.

Nella successiva figura è rappresentata una vista in sezione del prototipo di comignolo innovativo, nella quale è possibile notare la collocazione dei diversi componenti (figura 33).

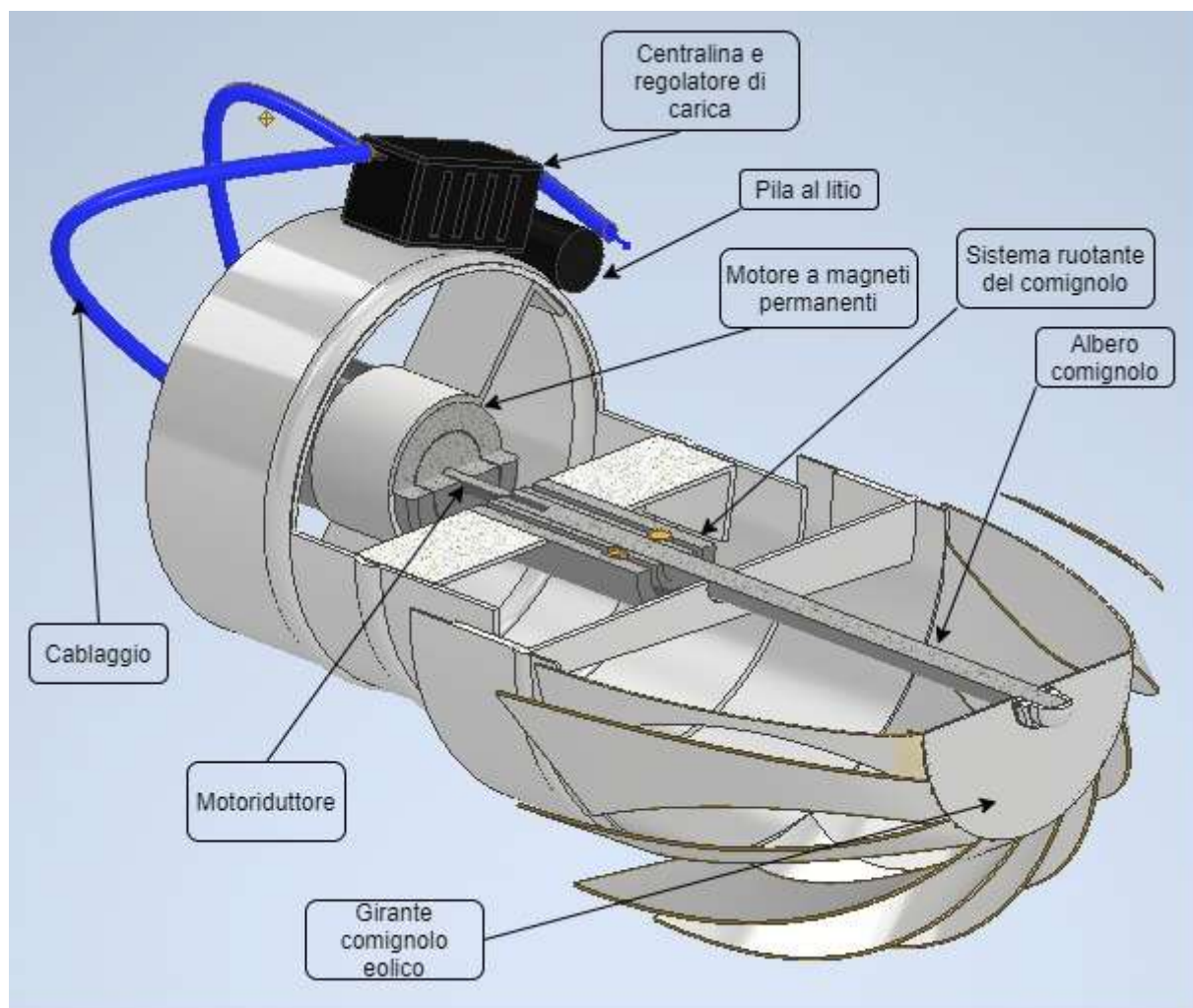


Figura 33: vista in sezione del sistema stand-alone.

Naturalmente il sistema di cablaggio sarà sistemato in modo opportuno al fine di evitare che possa essere d'intralcio all'assemblaggio del comignolo sul camino.

---

<sup>6</sup>Il milliampereora è un sottomultiplo dell'ampere-ora (Ah), pari a un millesimo di amperora. Il suo simbolo è mAh, ma si può trovare anche scritto come mA·h. Essendo una misura abbastanza piccola, è utilizzata soprattutto nella misura della carica di batterie stilo tascabili o comunque di dimensioni ridotte. Equivale anche ad un milliampere erogato per 3600 secondi (1 ora).

Conoscendo la tensione della batteria, si può ottenere la carica in milliampereora partendo dall'equivalente in Wattora con la seguente formula:  $Wh \times 1000/V = mAh$ .

Una possibile variante di questo sistema potrebbe essere rappresentata da un sistema che necessita di un'installazione leggermente più invasiva, ma che allo stesso tempo offre maggiori vantaggi all'utente. In particolare, questa seconda variante non avrà il sistema di controllo assemblato sul dispositivo ma potrà essere installato nel sottotetto. Inoltre, disporrà di un pannello di controllo (figura 34), in prossimità del sistema di riscaldamento all'interno dell'abitazione, che permetterà all'utente di visualizzare alcuni parametri del dispositivo. Attraverso l'utilizzo di questo sistema, infatti, l'utente sarà in grado di poter variare la velocità di rotazione del comignolo a seconda delle proprie necessità; inoltre, potrà visualizzare la percentuale di carica residua della pila ed attraverso i dati rilevati dalla sonda di temperatura potrà rilevare la temperatura dei fumi di combustione, così da ricevere informazioni riguardanti il processo di combustione, e capire se quest'ultimo sta avvenendo in modo efficiente.



Figura 34: pannello di controllo.

### 5.3 Sistema "stand-alone" in serie

La seconda variante di comignolo innovativo si distingue dalla precedente per il diverso utilizzo dell'energia accumulata quando il dispositivo è azionato o dal passaggio dei fumi oppure dalla forza del vento. In questo caso, infatti, l'energia viene immagazzinata, ma il sistema di controllo non utilizza quest'ultima per il comignolo che l'ha generata, ma per un altro comignolo che si trova sul medesimo tetto. Dai test eseguiti nei precedenti capitoli, è stato dimostrato che è possibile avviare un secondo motore con l'energia elettrica generata dal primo motore. Dunque, questa tipologia di comignolo permette che l'energia immagazzinata dal comignolo, definito

nella figura sottostante come comignolo A, venga utilizzata per azionare il comignolo B, questo tipo di collegamento potrà essere ripetuto per tutti gli n comignoli eolici presenti sul tetto. Naturalmente l'energia generata dall'ennesimo comignolo sarà utilizzata per alimentare il comignolo A. Dunque, in questo caso sarà effettuato un collegamento in serie dei comignoli (figura 35).



*Figura 35: comignoli collegati in serie.*

Questa tipologia di comignolo, a differenza della precedente, è stata pensata per abitazioni in cui è installato più di un camino, perciò potrebbe essere maggiormente impiegata in palazzi.

#### *5.4 Sistema stand-alone come fonte di illuminazione*

Un'ulteriore innovazione potrebbe essere il diverso riutilizzo dell'energia elettrica che è stata immagazzinata dal dispositivo quando quest'ultimo viene azionato dal vento o dai fumi di combustione. L'energia immagazzinata dal sistema di storage potrà essere impiegata per alimentare una piccola fonte di illuminazione. L'autonomia che il dispositivo stand-alone potrà fornire varierà in base alla capacità del sistema di storage utilizzato ed all'assorbimento generato dalla fonte di illuminazione che quest'ultimo dovrà alimentare. In particolare, tale soluzione potrà essere impiegata in abitazioni situate in zone rurali dove non è presente la linea elettrica e quindi potrà essere utilizzato anche come piccolo generatore di energia elettrica (figura 36).

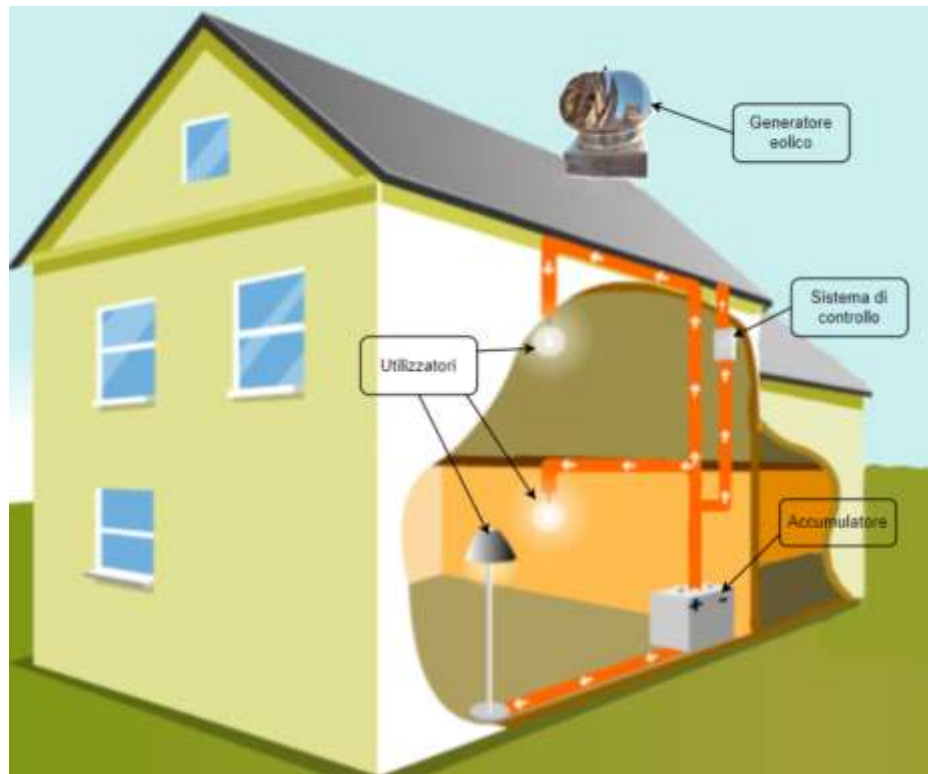


Figura 36: dispositivo stand-alone utilizzato come piccolo generatore di energia elettrica.

## 5.5 Ottimizzazione

Inoltre, è stata proposta un'ottimizzazione del sistema stand-alone. Una criticità che si è verificata durante il test del prototipo 0 riguardava il fatto che il rapporto di trasmissione tra la girante ed il motore non era ben proporzionato. Perciò il motore imponeva una resistenza sulla girante del comignolo che ne impediva la rotazione; tutto ciò è stato risolto cambiando il rapporto di trasmissione nel prototipo 0. Nel sistema stand-alone, invece, è stato installato il motore direttamente sull'albero della girante. Inoltre, per evitare che il motore abbia un'eccessiva velocità è stato installato anche un motoriduttore, il quale risolve il problema, però riduce il rendimento del motore, poiché girerà ad una velocità inferiore. Allo stesso tempo, quando quest'ultimo funzionerà da dinamo, avrà una minore velocità di rotazione e quindi produrrà meno energia elettrica. Dunque, la risoluzione del problema ha portato il verificarsi di una situazione poco efficiente. Per ottimizzare questo dispositivo è stato pensato di utilizzare un sistema di frizione a secco completamente automatica. Nello specifico, il principio tecnico con cui lavora la frizione è l'attrito. Per questo motivo saranno presenti dei materiali d'attrito sugli elementi mobili che quando entrano in contatto tra loro riescono a garantire un bloccaggio totale, che permettono di trasmettere tutto il moto sviluppato dal motore sull'albero che

inizialmente è fermo. Nel caso proposto che è di tipo automatico, la frizione sfrutta il concetto di forza centrifuga. In questo tipo, infatti, gli elementi su cui è presente il materiale d'attrito, tecnicamente chiamate ganasce, ruotano all'interno di un tamburo. All'aumentare dei giri l'espansione di questi elementi, contrastata da alcune molle, porta il materiale d'attrito a contatto del tamburo, che tecnicamente viene chiamato campana, trasmettendo quindi la potenza dal dispositivo che è in rotazione a quello che è inizialmente fermo. Nello specifico, si andrà ad inserire il suddetto sistema tra l'albero del motore a magneti permanenti e l'albero del comignolo eolico, così che la frizione si agganci all'albero del motore solo quando il comignolo avrà una velocità sufficiente a mettere in rotazione il motore a magneti permanenti. Questo permetterà al motore, nel momento in cui funziona da dinamo, di essere più efficiente, poiché raggiungerà una maggiore velocità di rotazione. Quando, invece, quest'ultimo dovrà mettere in movimento la girante lo farà solo dopo aver raggiunto una determinata velocità di rotazione sufficiente all'avvio della girante. La frizione si aggancia per via della forza centrifuga e si sgancia per via della resistenza imposta da alcune piccole molle. La costante elastica e quindi la rigidità di queste ultime dovrà essere opportunamente calcolata per permettere l'innesto ed il disinnesto della frizione alla corretta velocità di rotazione. Dunque, utilizzando tale sistema il prototipo con sistema stand-alone potrà essere ottimizzato.

## Capitolo VI

### 6.1 Analisi dei costi

Nel seguente capitolo verrà realizzata una valutazione dei costi che dovranno essere sostenuti per la realizzazione del sistema innovativo di comignolo eolico, nel caso in cui l'azienda decidesse di produrlo. Tale valutazione sarà realizzata partendo dal costo di produzione del dispositivo standard e poi nel calcolo sarà tenuto conto del costo di ciascun componente che è stato utilizzato per la progettazione del dispositivo.

Nella seguente tabella verrà illustrato il costo totale per la realizzazione del prototipo (tabella 2):

Componenti	Quantità (pz)	Costo unitario (€)
Comignolo eolico mm 120	1	22,43
Motore a magneti permanenti (c.c.)	1	12,00
Motoriduttore	1	8,59
Regolatore di carica	1	13,99
Centralina e pannello di controllo	1	17,49
Pila al litio	1	7,30
Sonda fumi	1	9,50
Cablaggio e scatola di derivazione	1	10,00
<b>Costo totale</b>		<b>101,30</b>

Tabella 2: costo dei componenti.

Come si evince dalla tabella il costo totale dei componenti utilizzati per la realizzazione del dispositivo è all'incirca di € 100. Per effettuare una valutazione più dettagliata bisogna, inoltre, analizzare il costo delle figure professionali impiegate nella realizzazione del sistema innovativo. L'obiettivo di analizzare tali costi è finalizzato al calcolo dell'incidenza che il costo di tali figure può avere sul prezzo di vendita finale. L'azienda produttrice dovrà avere un ritorno economico dalla realizzazione del suddetto sistema, dovrà quindi tenere in considerazione tali costi nel fissare il prezzo di vendita finale. Per la realizzazione del prototipo è necessaria una figura professionale che abbia competenze in ambito meccanico ed elettrico. È possibile prevedere il tempo necessario per la realizzazione del dispositivo, che si ipotizza pari a 30

giorni; inoltre, sapendo che il costo mensile che l'azienda dovrà sostenere per tale figura sarà circa pari al doppio dello stipendio, viene ipotizzato un costo di 3.000 € mensili.

Se l'azienda decidesse di ammortizzare le spese sui primi 100 ordini di vendita avrà un'incidenza del costo della figura professionale pari a 30,00 € per ogni pezzo venduto. Perciò, il costo totale del dispositivo sarà incrementato del costo di progettazione, e sarà quindi pari a 131,30 €. Inoltre, si deve tener conto del costo della manodopera utilizzata per la realizzazione del dispositivo; per quest'ultimo si ipotizza un incremento del 10% del costo totale di realizzazione. Nella seguente tabella viene riepilogato il costo totale del dispositivo (tabella 3).

Voci di costo	Costi (€)
Costo di produzione	101,30
Incidenza unitaria costi di progettazione	30,00
Incidenza unitaria costo di manodopera	13,13
<b>Costo totale di produzione</b>	<b>144,43</b>

*Tabella 3: costo totale di produzione del dispositivo.*

Dunque, il costo totale di produzione si ipotizza di 145 €. Il prezzo finale di vendita potrebbe essere incrementato del 30% affinché ci possa essere un margine di profitto. Sulla base di queste ultime ipotesi il prezzo finale di vendita sarà 188,50 €. Considerando che soluzioni simili sul mercato hanno un prezzo di vendita superiore ai 250 €, il suddetto sistema potrebbe essere altamente concorrenziale.

## 6.2 Posizionamento dell'azienda

Infine, è stata realizzata un'analisi di mercato con l'obiettivo di esaminare i principali produttori di sistemi che hanno caratteristiche simili al dispositivo realizzato in questo studio, poiché tali produttori saranno i principali competitors del suddetto dispositivo. Durante la fase di analisi, a seconda delle caratteristiche dei prodotti realizzati dai competitors è stato ipotizzato per ciascuno un valore di qualità che varia in un intervallo da 1 a 5; dove con 1, si intende un dispositivo difficile da installare e poco intuitivo per l'utente, mentre con 5, si intende un dispositivo facilmente sostituibile al vecchio terminale e di facile utilizzo per l'utente. Inoltre, da ogni azienda tramite il proprio catalogo è stato rilevato il prezzo di vendita di ciascuno dei dispositivi prodotti. Utilizzando, quindi, i dati ricavati dalle ricerche è stata realizzata una

mappa di posizionamento all'interno della quale sono presenti sia i competitors che l'azienda Profiltek. Infatti, sulla base delle caratteristiche dei dispositivi competitor, è stato assegnato un valore di qualità anche al comignolo innovativo progettato. Nella figura successiva è mostrata la mappa di posizionamento realizzata (figura 37).

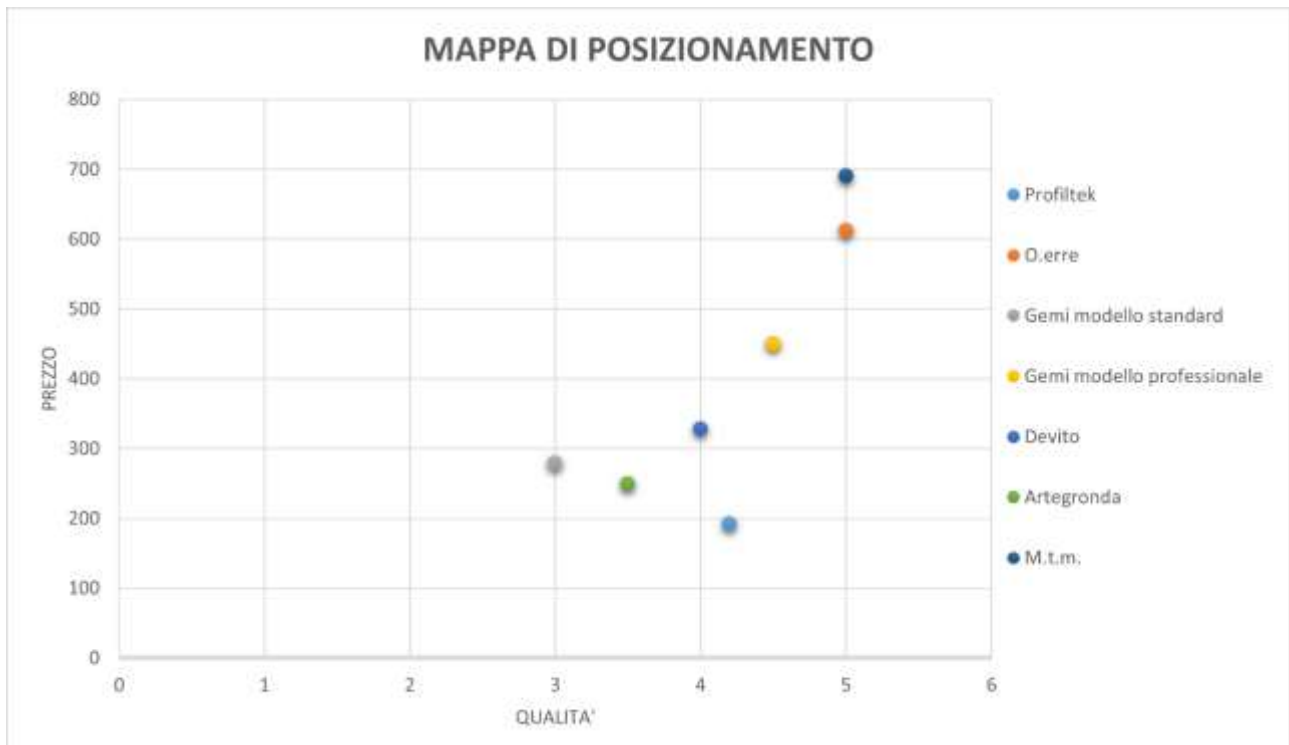


Figura 37: mappa di posizionamento.

Come è possibile notare dalla precedente mappa, sebbene l'azienda Profiltek si trovi nella fase iniziale per quanto riguarda questa tipologia di produzione, dall'analisi fatta riuscirebbe ad avere un ottimo valore di qualità rispetto ai prodotti realizzati dai competitors. Allo stesso tempo riuscirebbe a mantenere bassi i costi di produzione, perciò potrebbe ottenere un prezzo di vendita al cliente altamente concorrenziale. Tutto ciò potrebbe, quindi, garantire all'azienda un buon profitto.

## *Conclusioni*

Nello studio realizzato è stato dimostrato che è possibile sfruttare l'energia elettrica generata durante la combustione per ottimizzare il tiraggio del sistema di riscaldamento. Nello specifico l'obiettivo dello studio è stato quello di realizzare una prova di concetto per poter poi innovare il terminale eolico. È stato dimostrato che il tiraggio del sistema standard può essere migliorato progettando il suddetto prototipo. Inoltre, è stato possibile rendere il prototipo autosufficiente perché si può notare che il dispositivo è in grado di accumulare energia elettrica per essere utilizzata quando il sistema lo richiede. Dall'analisi dei costi è emerso che l'azienda, se deciderà di produrre questo nuovo prodotto, potrà avere un vantaggio competitivo costituito da un prezzo di vendita inferiore rispetto ai prodotti dei competitors, ma allo stesso tempo potrà raggiungere dei parametri di qualità uguali a quelli dei prodotti già presenti sul mercato, garantendosi, quindi, un buon margine di profitto.

## *Bibliografia*

1. Bobbio G., Sammarco S., (2013) *Elettrotecnica*, Novara: Petrini.
2. Brisi C., (1990) *Chimica applicata*, Torino: Levrotto e Bella Editrice.
3. Cornetti G., Millo F., (2007) *Macchine Idrauliche*, Torino: Edizioni Il Capitello Spa.
4. Cucumo M., Marinelli V., (1999) *Termodinamica applicata*, Bologna: Pitagora Editrice.
5. GI Brown, Count Rumford: *The Extraordinary Life of a Scientific Genius*, Sutton Publishing (1999). Camino Rumford
6. Guidi D., Cesano D., (2006) *Servizio ambiente e territorio della comunità montana del Mugello* - [www.ecosolution.it](http://www.ecosolution.it)
7. Marchi E., Rubatta A., (1981) *Meccanica dei fluidi. Principi e applicazioni*, Torino: Utet.
8. Taraschi N., Martinetto M., (2017) *Le canne fumarie*, Palermo: Grafill.

## *Sitografia*

1. <https://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/criteri-progettuali/camini>.
2. [https://www.architettodileo.it/camino\\_comignolo.html](https://www.architettodileo.it/camino_comignolo.html)
3. <http://www.profiltek.it/it>
4. [https://it.wikipedia.org/wiki/Pagina\\_principale](https://it.wikipedia.org/wiki/Pagina_principale)
5. <https://www.treccani.it/enciclopedia/>

## *Ringraziamenti*

*A conclusione di questo elaborato, desidero menzionare tutte le persone, senza le quali questo lavoro di tesi non esisterebbe nemmeno.*

*Un ringraziamento particolare va al mio relatore, il professore Luigino Filice che mi ha seguito, con la sua infinita disponibilità, in ogni step della realizzazione dell'elaborato con i suoi preziosi consigli. Sempre pronto a darmi le giuste indicazioni in ogni fase della realizzazione dell'elaborato, fin dalla scelta dell'argomento. Grazie anche al mio correlatore, l'ingegnere Michele Perrelli per avermi suggerito puntualmente le giuste modifiche da apportare alla mia tesi. Grazie a voi ho accresciuto le mie conoscenze e le mie competenze.*

*Un ringraziamento speciale va al signor Giovanni Mezzatesta, CEO dell'azienda Profiltek, grazie alla sua disponibilità è stato possibile realizzare il prototipo, oggetto dell'elaborato.*

*Ringrazio il personale del laboratorio universitario per l'immensa disponibilità.*