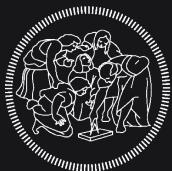


*pro*FONDO  
Coffee Pellet Machine



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

CdLM in Design & Engineering  
Laureando: Davide D'Amico  
Relatore: Giacomo Wilhelm

## **COFFEE PELLETT MACHINE**

Un totem per il riciclo dei fondi di caffè e il loro riutilizzo sotto forma di biocombustibile in stufe pirolitiche



### **Prova finale**

Politecnico di Milano

Scuola del Design

CdLM in Design & Engineering

Progetto e Ingegnerizzazione del prodotto industriale

A.A. 2019/2020

Laureando: Davide D'Amico

Matricola: 895642

Relatore: Giacomo Wilhelm

# ABSTRACT

Questa tesi affronta il tema del riciclo dei fondi di caffè partendo da uno scenario in forte espansione negli ultimi anni: quello del mercato del pellet e delle stufe pirolitiche.

Viene indagata la possibilità di utilizzare questa biomassa per la produzione di pellet attraverso la ricerca di articoli scientifici sull'argomento e analizzando dei casi studio di aziende che hanno mosso i primi passi in questo campo che rappresenta ad oggi una nuova frontiera.

Da un'attenta fase di ricerca che tiene conto di tutti gli aspetti legati all'argomento e cerca di cogliere possibili opportunità di mercato scaturisce il brief di progetto: realizzare un totem per il riciclo dei fondi di caffè prodotti quotidianamente in bar e caffetterie, in grado di essiccare e pellettizzare questa biomassa così da essere utilizzata come combustibile in stufe pirolitiche adibite al riscaldamento dello stesso locale.

Un sistema circolare che permette ai gestori di risparmiare del denaro e che allo stesso tempo aiuta l'ambiente producendo un pellet a chilometro zero in grado di essere bruciato con una fiamma pulita grazie alla tecnologia pirolitica.

# INDICE

## 0. INTRODUZIONE

0.1 - Dal caffè al biopellet pag. 10

## 1. ANALISI DELLO SCENARIO

1.1 Il mercato globale pag. 14

1.2 Usi e consumi in Italia pag. 19

- Il consumo settimanale pag. 19

- I luoghi e i momenti di consumo pag. 20

- Le tipologie e i metodi di preparazione pag. 21

1.3 Consumo pro capite nel mondo pag. 22

1.4 Processi e prodotti di scarto pag. 24

1.5 I fondi di caffè pag. 27

- Riciclo ed economia circolare pag. 28

1.6 I fondi di caffè come combustibile pag. 31

- Composizione chimica pag. 32

- Caratteristiche di combustione pag. 33

- La pellettizzazione dei fondi di caffè pag. 34

- Casi Studio pag. 36

- Pellet legno vs Pellet caffè pag. 39

- Emissioni e Sostenibilità pag. 40

1.7 La tecnologia pirolitica pag. 41

- Stufe pirolitiche pag. 43

1.8 Scenari possibili costi e consumi pag. 47

## 2 - ANALISI TECNOLOGIE

2.1 Requisiti tecnologici pag. 50

2.2 Essiccazione pag. 52

- Ventilazione di aria calda pag. 53

- Tipologie di Essiccazione:  
Verticale vs Orizzontale pag. 54

- Irraggiamento ad infrarossi pag. 56

- Benchmarking pag. 58

2.3 Pellettizzazione pag. 60

- Pellettatrice a trafilata piana pag. 61

- Benchmarking pag. 64

- Pellettatrice a trafilata anulare pag. 66

## 3 - BRIEF

3.1 Vincoli e requisiti progettuali pag. 70

3.4 Sfide e opportunità pag. 71

## 4. GENERAZIONE CONCEPT

4.1 Schizzi progettuali pag. 72

4.2 Design inspiration pag. 76

4.3 Moodboard inspiration pag. 81

4.4 Layout del prodotto pag. 84

## 5. DEFINIZIONE DEL DESIGN

5.1 Coperchio ed interfaccia pag. 88

- Immissione del caffè pag. 90

5.2 Assemblaggio superiore pag. 91

- Side view pag. 92

- Esploso pag. 93

- Elementi di supporto pag. 94

- Sistema di aggancio	pag. 95
- Dettagli di assemblaggio	pag. 96
- Selezione del motoriduttore	pag. 98
5.3 Processo di essiccazione	pag. 100
- Resistenze	pag. 102
- Mixer	pag. 104
5.4 Sistema di apertura	pag. 106
- Meccanismo	pag. 107
- Sensore di umidità	pag. 108
- Attuatore a scorrimento lineare	pag. 109
5.5 Pellettizzazione	pag. 110
- Esploso	pag. 111
- La matrice	pag. 112
- I rulli	pag. 114
- Esploso	pag. 115
- Coperchio matrice	pag. 116
- Pannelli di smistamento	pag. 117
5.6 Raccolta del pellet	pag. 118
- Raccolta del pellet	pag. 118
- Esploso	pag. 120
- Dettagli	pag. 121
5.7 Frame	pag. 122
- Esploso	pag. 123
- Dettagli	pag. 124
- Front view	pag. 125
5.8 Motoriduttore assieme	pag. 126
- Sincrono vs asincrono	pag. 127
- Brushed vs brushless	pag. 127
- Monofase vs trifase	pag. 128
- Ac vs Dc	pag. 128
- Requisiti e calcoli	pag. 129

## 6. MATERIALI E TECNOLOGIE

6.1 Scocca esterna	pag. 134
6.2 Assieme superiore	pag. 135
- Imbuto/interfaccia	pag. 136
- Anello di finitura	pag. 137
- Componenti di sostegno	pag. 138
6.3 Frame	pag. 140
- Container matrice	pag. 142
- Base generale	pag. 143
6.4 Container	pag. 144
6.5 Coperchio matrice/rulli	pag. 145
6.6 Matrice	pag. 146
6.7 Assieme rulli	pag. 148
6.8 Pellet container	pag. 149

## 7. BIBLIOGRAFIA

# 0.

## INTRODUZIONE

### DAL CAFFÈ AL BIOPELLET

Il caffè è una delle principali bevande consumate in Italia e nel mondo. La percentuale di italiani che lo bevono abitualmente, secondo l'Osservatorio Social Monitoring di Nomisma, è pari al 95% e si stimano 3,4 miliardi di tazzine consumate ogni anno. Parliamo dunque di una sostanza che deve essere smaltita in grande quantità e possibilmente nel modo corretto. Si tratta inoltre di una sostanza ricca di proprietà che si prestano ad essere sfruttate in svariati modi e che non smettono di stupirci. Proprio per questo è bene evitare di buttare i fondi di caffè nella pattumiera o peggio ancora nel lavandino e cercare di sfruttarne i benefici. Molti di questi utilizzi alternativi sono più o meno conosciuti nella tradizione popolare e si tra-

mandano nelle famiglie da parecchi anni; il più famoso è sicuramente l'utilizzo dei fondi di caffè come fertilizzante per il terreno e concime per le piante. Nuovi utilizzi sono sicuramente venuti alla ribalta negli ultimi anni grazie ad internet, i social network, i blog e tutte quelle piattaforme che permettono di condividere la conoscenza in rete. Si è scoperto così che è possibile utilizzare i fondi di caffè per un trattamento di bellezza, per la pulizia della casa, come colorante naturale e così via. Ma c'è un nuovo scenario che rischia di provocare un cambiamento paradigmatico nell'uso dei consumatori e nella percezione stessa che si ha quando estraiamo questa sostanza dalla moka, ovvero l'uso del caffè come combustibile

Fig.1 : Caffè macinato all'interno del suo apposito alloggiamento prima di essere preparato e diventare caffè espresso





Fig.2

naturale. L'idea nasce infatti in seguito alla pubblicazione, a partire dal 2008, di numerosi articoli scientifici che indagano sulla possibilità di usare questo materiale come carburante per caldaie. In Italia se ne inizia a parlare a partire dal 2013, quando un'azienda friulana, la Cattelan Distributori Automatici, dà il via al primo progetto di questo tipo. L'azienda si rivolge così all'Università degli studi di Udine e a Blucomb, un suo spin - off che si occupa di produzione e utilizzo di carbone vegetale, per analizzare e studiare le proprietà dei fondi di caffè. Si è così scoperto che i fondi di caffè hanno la consistenza adeguata per essere trasformati in pellet, che non hanno metalli pesanti al loro interno e che il potere calorifico dei pellet al caffè

è addirittura superiore rispetto a quello dei pellet di legno. Gli studi sulle proprietà del caffè come combustibile e la crescita del mercato per quanto riguarda le stufe a pellet vanno di pari passo, e così si aprono nuove fette di mercato che danno ampio spazio all'innovazione. Nascono diverse aziende e startup che si occupano di raccogliere i fondi di caffè dalle varie attività commerciali, che ne producono in grande quantità, e lo trasformano in pellet per il riscaldamento da rivendere ai privati cittadini o da destinare agli impianti industriali. Tuttavia per favorirne il riciclo ed essere economicamente ed ecologicamente vantaggioso l'utilizzo dei fondi di caffè dovrebbe avvenire all'interno dello stesso raggio di azione della fonte di approvvigionamento, ovvero dovrebbe essere utilizzato a chilometro zero. Nasce in questo modo l'idea di realizzare un prodotto che rendesse utilizzabile i fondi di caffè all'interno delle stesse attività commerciali che lo producono, accorciando così la filiera che prevedeva dei sistemi di raccolta con conseguente aumento dei costi e delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Trasformare il caffè in pellet significa infatti ricavare una risorsa da un rifiuto che viene prodotto quotidianamente, e allo stesso tempo aiutare l'ambiente riducendo le emissioni e l'impatto ambientale grazie a un pellet 100% ecologico ed autoprodotta. La sfida progettuale appariva sicuramente interessante trattandosi di uno scenario nuovo ed ancora poco battuto ed per questo

che è stato scelto come argomento di questa tesi di Design Engineering. Un prodotto del genere rappresentava secondo me a pieno il percorso accademico che mi accingo a concludere avendo quel giusto mix di Innovazione, Tecnica e Semantica a cui avrei dovuto avvicinarmi tenendo conto di quell'incontro e scontro tra la funzionalità interna di un prodotto e la sua comunicazione con l'utente e con il mondo attraverso le sue componenti esterne.



Fig.3

Fig.2 : Uno dei possibili usi alternativi dei fondi di caffè, ovvero concime per le piante

Fig.3 : Pellet di caffè realizzato dall'azienda Bio-Bean

# 1.

## ANALISI DELLO SCENARIO

### IL MERCATO GLOBALE

Analizzando lo scenario prospettato in precedenza sono partito dallo studio sugli usi e consumi del caffè in Italia e nel mondo per giungere passo passo al contesto più ristretto delle attività commerciali che lo comprano in chicchi tostati e dopo averlo macinato e preparato lo rivendono ai singoli utenti nelle svariate forme con cui esso è conosciuto. Quando si parla di caffè bisogna innanzitutto ricordare che ci stiamo riferendo ad una delle merci più scambiate al mondo, insieme al petrolio e all'acciaio. Si tratta infatti di un mercato globale che consta circa 90.000 milioni di dollari. Tra i produttori al primo posto vediamo il Brasile, che da solo produce quasi un terzo del caffè nel mondo; seguono Vietnam, Colombia, Indonesia, Messico,

India ed Etiopia. Il suo commercio è dominato da poche grandi multinazionali. Una élite di 20 grandi società, di cui una sola proviene da un grande paese produttore, controlla oggi più di tre quarti del mercato. La sua diffusione iniziò nel XV secolo quando a partire da luoghi come Etiopia, Persia e Yemen (di cui si ricorda la città di Mokha, una delle prime e più rinomate zone di produzione da cui prese il nome la famosa caffettiera italiana) la bevanda si diffuse in Medio Oriente e poi in Europa. Nel 1720 un ufficiale della marina francese salpò alla volta dei caraibi con due piantine di cui solo una sopravvisse. Da lì nei decenni seguenti le piante si diffusero rapidamente in tutto il Centroamerica e in Sud America, grazie tra l'altro alla

Fig.4 : Immagine rappresentativa di una grande quantità di chicchi di caffè appena tostati





pratica della schiavitù, abolita solo, peraltro formalmente, nel 1888. Le specie di caffè coltivate su grande scala sono tre: *Coffea arabica*, *Coffea canephora* e, in minor misura, *Coffea liberica*. Le specie differiscono per gusto, contenuto di caffeina, e adattabilità a climi e terreni diversi da quelli di origine. La specie Arabica (dalla quale proviene il 90% della produzione mondiale) è una pianta originaria dell’Etiopia del Sudan sud-orientale e del Kenya settentrionale e in seguito diffusasi nello Yemen, luogo in cui, peraltro, si ebbero le prime tracce storiche del consumo della bevanda. La particolarità è un contenuto di caffeina molto inferiore a quello delle altre specie di larga diffusione. La specie Robusta (*Coffea canephora*) è originaria

dell’Africa tropicale, tra l’Uganda e la Guinea, molto adattabile e perciò più economica, ha un più elevato contenuto di caffeina e pertanto è definita “robusta”. La specie Liberica è meno diffusa, originaria della Liberia e coltivata, oltre che in Africa occidentale, soprattutto in Indonesia e nelle Filippine. Gli esponenti della Cup of Excellence, ovvero una giuria che assegna gli Oscar del caffè, valutano alcuni parametri ritenuti fondamentali, tra i quali l’aroma, la dolcezza, il sapore, l’acidità, la mancanza di difetti, il retrogusto. In generale la qualità è in relazione con l’ambiente di crescita, con le pratiche adoperate nella coltura, con il tipo di lavorazione delle bacche (il grado e la loro omogeneità) e con il luogo di provenienza. Inoltre da



Fig.6

diverse qualità di caffè, tostate separatamente, si ottiene un aroma migliore. Secondo Pellegrino Artusi, la miscela ideale doveva essere composta da 250 g di Porto Rico, 100 di Santo Domingo e 150 di Moka. Tra i fattori di successo e di diffusione di questa sostanza vi è chiaramente la capacità di agire sul sistema nervoso grazie alla presenza della caffeina. Tale effetto ha una durata di circa due ore e allontana il senso di sonnolenza, potenzia la memoria, la capacità di apprendimento, la percezione degli stimoli sensoriali, stimola la vigilanza e l’attenzione, riduce la sensazione di fatica migliorando così l’efficienza fisica e mentale. Oltre ai benefici sulla memoria e sulla concentrazione, questa sostanza ha anche una forte azione preventiva

e protettiva nei confronti del diabete di tipo 2 e della malattia di Parkinson e contribuisce a ridurre i rischi di morte cardiovascolare. Non bisogna ovviamente esagerare con le dosi, ed infatti Il rapporto di EFSA (European Food Safety Authority), pubblicato da poco sulla caffeina, ritiene che “un’assunzione moderata, pari a 400 mg di caffeina al giorno (circa 4-5 tazzine di caffè), è sicura nella popolazione adulta se è parte di una dieta sana ed equilibrata e di uno stile di vita attivo”. Da tutti questi dati si evincono le ragioni di successo di questa bevanda che ha saputo conquistare milioni di utenti nel mondo. Passeremo quindi adesso ad analizzare i dati legati al consumo e le modalità di utilizzo della bevanda in Italia e nel mondo.



Fig.5

Fig.5 : Il tipico caffè espresso caratterizzato dall’essere molto concentrato e dallo strato di “cremina” che di conseguenza si forma

Fig.6 : Il caffè americano, molto più diluito, ma con una maggiore quantità di caffeina



## Il Consumo Settimanale

In Italia il caffè è un prodotto consumato in grandi quantità. Nonostante la materia prima non trovi spazio e condizioni climatiche per crescere sul territorio nazionale, la forte tradizione torrefattrice ha portato il Paese ai vertici mondiali della distribuzione di caffè e della produzione di macchine da casa, da bar, fino alle vending machine.

Un'indagine realizzata da Astra Ricerche a maggio 2014 ha fatto una fotografia delle abitudini di consumo del caffè da parte degli italiani, dalla quale sono emersi dati interessanti. Il 96,5% degli intervistati (il cui campione corrisponde a quasi 38 milioni di individui tra i 18 e i 65 anni) ha dichiarato di consumare bevande a base di caffè o che lo contengono. Andando più nel dettaglio la media si aggira sui 16,8 caffè a settimana con una percentuale bassa, del 15,8% che oscilla tra 1 e 6 caffè, che cresce al 20,5% per chi assume da 7 a 13 caffè, per salire al 36,4% che oscilla tra i 14 e i 20 caffè (e questo è il comparto più consistente), dopodiché si scende al 20,2% di persone che consumano da 21 ai 34 caffè settimanali, per arrivare a una piccola fetta della torta, pari al 7% che arriva ad assumere 35 o più caffè ogni sette giorni. In questo contesto gli uomini sono maggiori consumatori con 17,9 caffè a settimana contro i 15,7 delle donne. Mentre per quanto riguarda la geolocalizzazione, il Centro-Sud e il Nord-Ovest hanno una media superiore a 17, mentre le altre aree non arrivano a 16 caffè.

## USI E CONSUMI IN ITALIA

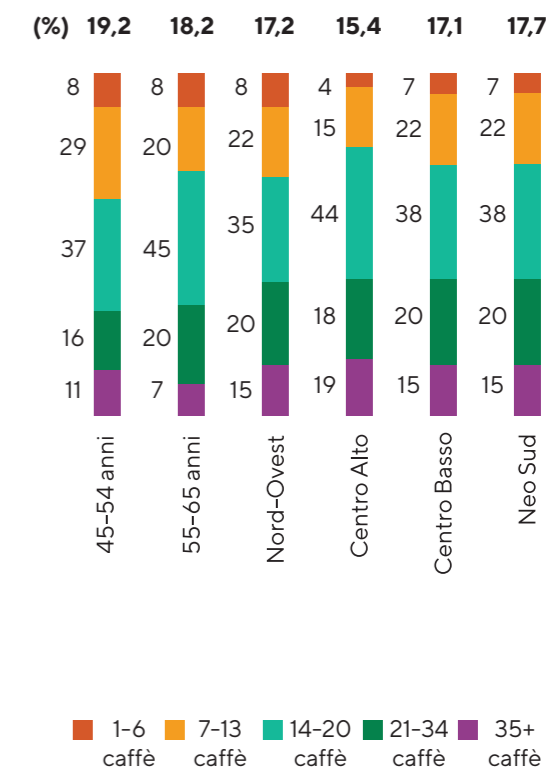
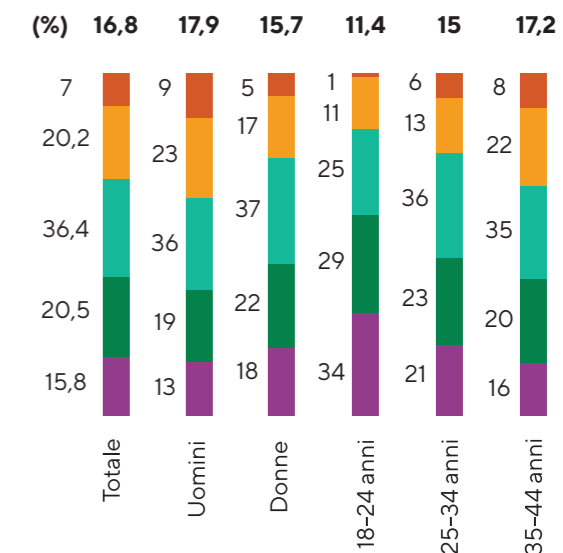


Fig.5 : Il Caffè nelle varie culture non rappresenta solo una bevanda ma anche un momento di relax e convivialità

Fig.6 : Consumo settimanale di caffè diviso per fasce di età e geolocalizzazione. Fonte : Astra Ricerche maggio 2014

### I luoghi e i momenti di consumo

Per quanto riguarda i luoghi di consumo, il caffè è un must prima di tutto a casa propria (89,4%), ma anche a casa di amici, parenti o conoscenti (54,9%). Anche il bar fa la sua parte ovviamente con il 77,5%, e il luogo di lavoro che scende al 46,8%. Tengono bene il ristorante, con il 37,6% e i distributori automatici nei luoghi pubblici con il 32%, e a seguire locali serali, pub e discoteche con il 16,5%. E' interessante anche analizzare i momenti di consumo. L'80% degli intervistati beve caffè la mattina appena sveglio e il 57,8% non rinunciarebbe mai alla tazzina mattutina. Anche la fascia di metà mattina è molto gettonata, con un consumo del 58,9%, valore superato

solo dal caffè dopo pranzo, apprezzato dal 75,5% dei testati. Anche il pomeriggio, soprattutto sul lavoro, è un momento importante, con il 49,8% che si concede un caffè. Prima di pranzo e prima di cena le percentuali di consumo scendono sotto i 10 punti, mentre quasi il 31% lo beve dopo cena. C'è poi un 1,8% che in controtendenza con la funzione energizzante si concede il caffè prima di andare a dormire.

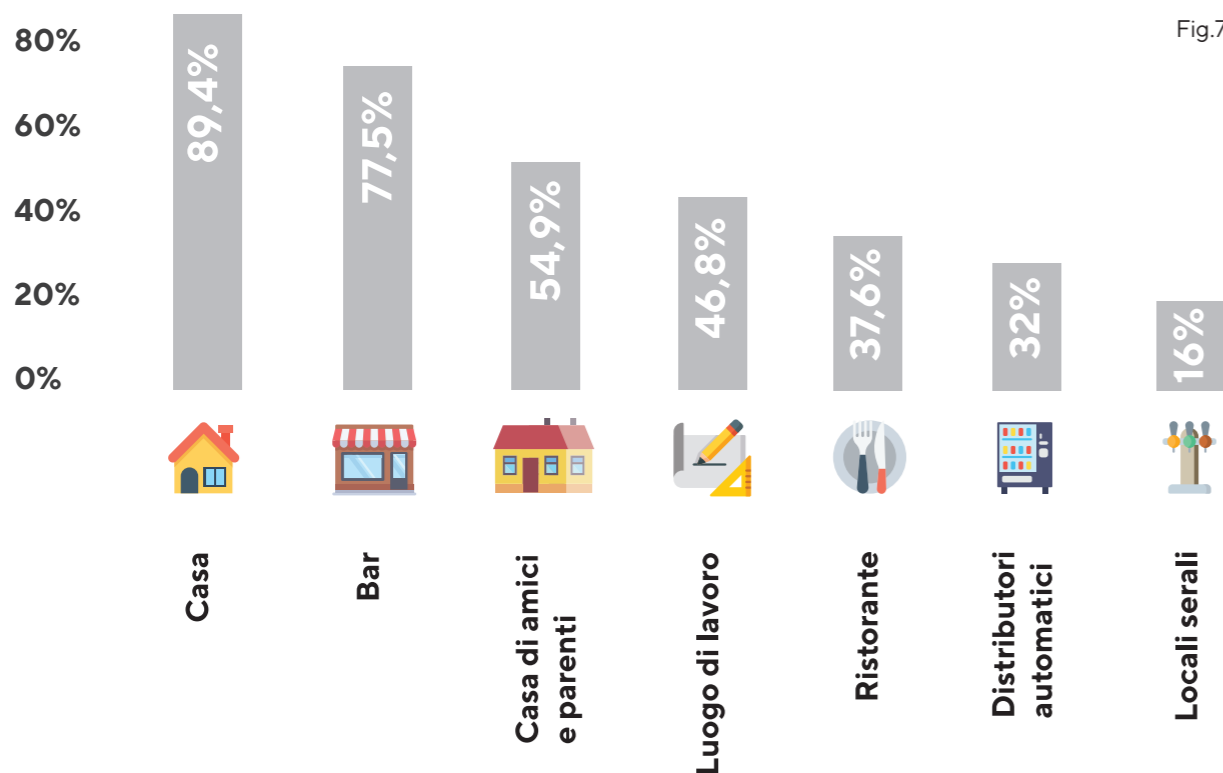
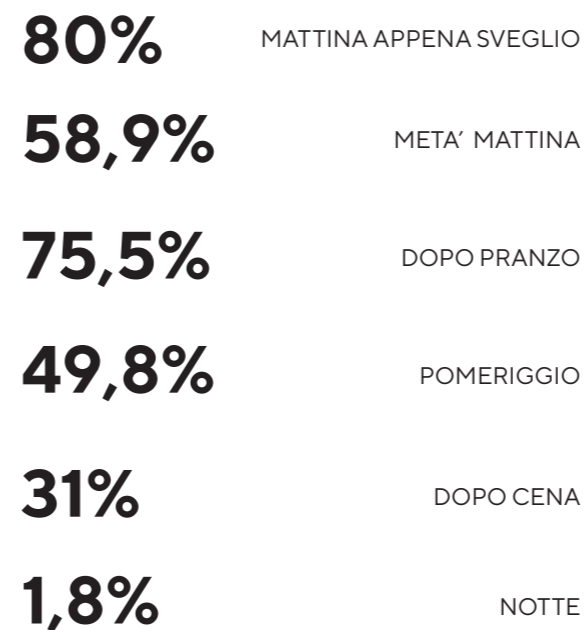


Fig.7

Fig.7 : Grafico sui luoghi principali di consumo del caffè in Italia. Fonte: Astra Ricerche, maggio 2014

### FREQUENZA E MOMENTI DI CONSUMO



### Le tipologie e i metodi di preparazione

Secondo l'Osservatorio social monitoring di Nomisma l'espresso viene scelto dal 93% dei consumatori di caffè. Residuale la percentuale di chi predilige il caffè americano, orzo o altre tipologie di caffè (7%). Più nel dettaglio, secondo l'indagine realizzata da Astra Ricerche, il caffè normale è scelto dal 76,2% degli intervistati ed è il preferito per il 51,2% di loro. Il cappuccino lo bevono il 41,2%; il 37,4 il caffè macchiato, mentre a parimero al 23,5 troviamo caffè ristretto e caffè latte. Il caffè lungo è il più bevuto dal 20,3% e a scalare il caffè al ginseng, il marocchino, il caffè decaffeinato, il caffè d'orzo e il caffè corretto. Per quanto riguarda i metodi di preparazione, a casa gli italiani prediligono ancora la moka (87%), utilizzando il caffè già macinato. A seguire la preferenza si orienta sul consumo di caffè in capsule e il caffè in chicco è ancora una nicchia in Italia. Le vendite di caffè a valore sono in crescita per capsule (21,3%), stabili per il caffè macinato moka e in calo per il macinato espresso (-2,8%), per le cialde (-5,8%), come per il caffè in grani (-1,3%) e il caffè solubile (-3,5%). Secondo Gabriella Baiguera, una tra le massime esperte di caffè in Italia, ci sono inoltre grandi differenze al livello geografico. Nel Nord Italia, ad esempio, si beve per lo più l'espresso nelle versioni normale, lungo o ristretto e per la maggior parte zuccherato. Se macchiato la preferenza si orienta sul latte caldo o con latte e cacao (marocchino) in vetro. Al Centro si preferisce il ristretto, a volte macchiato mentre al sud si beve prevalentemente un espresso ristretto, in tazzina molto calda, zuccherato e accompagnato da un bicchierino di acqua ghiacciata

96,5

La percentuale di italiani che beve abitualmente caffè



2,4

La media dei caffè bevuti in una giornata



259

Gli euro spesi in un anno per il consumo di caffè pro capite



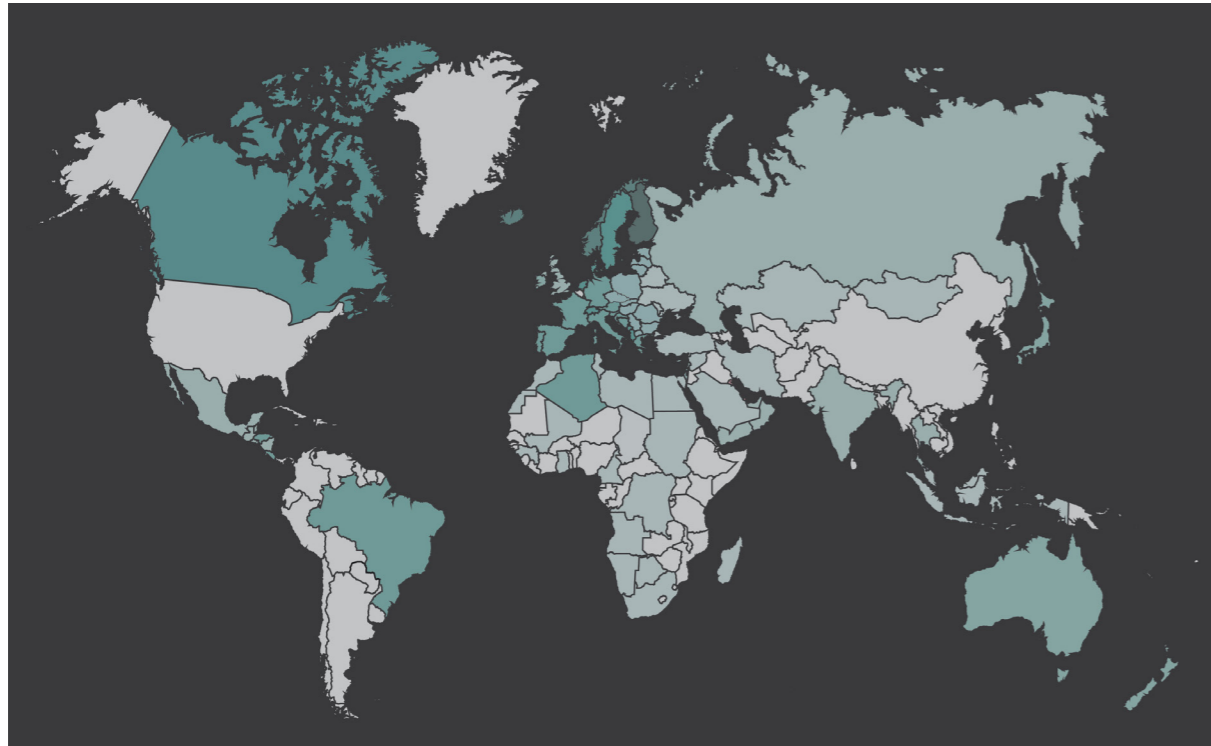


Fig.8

## CONSUMO PRO CAPITE NEL MONDO

Il caffè è la bevanda più diffusa al mondo dopo l'acqua. Ogni giorno, in qualunque angolo del pianeta, si consumano quasi 1,6 miliardi di tazze di caffè. Secondo i dati forniti dall'Organizzazione internazionale del caffè (Ico), nata a Londra nel 1693, Nei consumi pro capite, il primato è dei Paesi del Nord. In Finlandia, ad esempio, dove è molto popolare il «Kaffeost», rito che prevede di accompagnare il caffè con un formaggio a pasta semimorbida ogni cittadino beve in media 12 chilogrammi di caffè all'anno; in Norvegia 9,9 chilogrammi; in Islanda 9 chilogrammi e in Danimarca 8,7. L'Italia, nonostante nel mondo sia conosciuta per la cultura del caffè e l'invenzione della moka, è solamente tredicesima con 5,8 Kg annui, a fronte di una spesa annuale

pro capite di 259,40 euro e si piazza dietro a Paesi come Olanda (8,4 kg), Svizzera (7,9 kg), Belgio (6,8 kg) e Canada (6,2 kg), che usano soprattutto infusi e altri metodi di filtraggio diversi rispetto al nostro espresso. Questi dati si aggiungo a quelli sulle macchinette da ufficio. Al distributore automatico si consuma infatti ormai l'11% del caffè prodotto a livello globale, che equivale a circa 150 miliardi di consumazioni erogate attraverso le cosiddette "vending machine". Nel 2017 in Italia i distributori hanno dispensato 2 miliardi e 768 milioni di caffè (+0,59%) per un fatturato di 884 milioni di euro secondo le rilevazioni dell'annuale studio di settore realizzato da Accenture per Confida.

## Consumo Pro-capite nel mondo

1	Finlandia	12 Kg	■ 2 Kg
2	Norvegia	9,9 Kg	
3	Islanda	9 Kg	
4	Danimarca	8,7 Kg	
5	Paesi Bassi	8,4 Kg	■ 4 Kg
6	Svezia	8,2 Kg	
7	Svizzera	7,9 Kg	
8	Belgio	6,8 Kg	
9	Lussemburgo	6,5 Kg	■ 6 Kg
10	Canada	6,2 Kg	
11	Bosnia Erzegovina	6,1 Kg	
12	Austria	5,9 Kg	■ 8 Kg
13	Italia	5,8 Kg	
14	Slovenia	5,8 Kg	
15	Brasile	5,5 Kg	
16	Germania	5,5 Kg	■ 10 Kg
17	Grecia	5,4 Kg	
18	Francia	5,1 Kg	
19	Croazia	4,9 Kg	
20	Cipro	4,8 Kg	■ 12 Kg



Fig.9

Fig.8 Una varietà di preparazione del caffè che rispecchia la diversità di culture nel mondo

## PROCESSI E PRODOTTI DI SCARTO

Il frutto della pianta di caffè è caratterizzato da una bacca che contiene in genere due semi. Ciascun seme è ricoperto da una sottile pellicola aderente chiamata "Silverskin". Un secondo rivestimento di colore giallino ricopre i due semini e la Silverskin ed è chiamato "Parchment". Il tutto è rinchiuso all'interno di una polpa ("Pulp") che presenta un rivestimento esterno più resistente ("Outer Skin"). I chicchi verdi di caffè, che sono il prodotto di maggiore interesse commerciale, rappresentano solamente il 50-55% del materiale che è possibile ottenere dal frutto della pianta di caffè.

**Coffee Husk :** Outer Skin + Pulp  
+ Parchment

**Coffee Pulp :** Outer Skin + Pulp

**Parchment Husk :** Parchment  
+ Silverskin

**Spent Coffee Grounds**

Fig.10

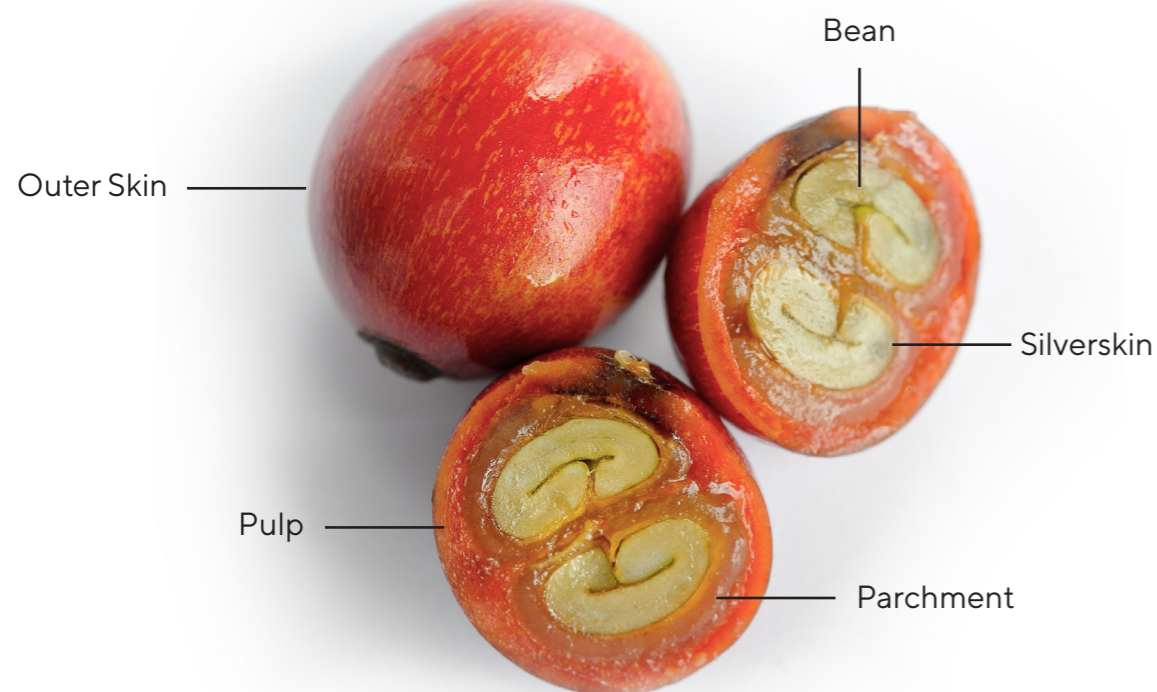


Fig.10 Bacca di caffè con vista interna delle varie parti che lo compongono

I due principali processi di lavorazione dei chicchi di caffè sono mostrati nella figura 10. Esistono infatti due metodi: a secco e ad umido. Il processo a secco è la tecnica più semplice; dopo averle raccolte, le bacche di caffè vengono essiccate fino a circa il 10-11 % di umidità. A questo punto i semi vengono separati dal materiale che li ricopre (outer skin, pulp, parchment and silverskin) per mezzo di una macchina meccanica. I residui solidi che ne derivano sono denominati "Coffee husks" (outer skin + pulp + parchment) e "Silverskin". L'essiccazione può avvenire per mezzo di metodi naturali (irraggiamento solare) o artificiali (essiccatori statici, rotatori, orizzontali o verticali). Nel processo a umido invece, il rivestimento esterno e

la polpa sono rimossi meccanicamente. I chicchi a questo punto possono essere fermentati per rimuovere ulteriori impurità o mandati direttamente al processo di essiccazione. Dopo aver raggiunto un livello di umidità pari al 12% i chicchi vengono nuovamente sgusciati per rimuovere parchment e silverskin. Le operazioni che seguono sono pulitura, classificazione a seconda delle dimensioni e smistamento per colore e densità. Questa ultima operazione è finalizzata ad eliminare i chicchi difettosi e di bassa qualità, i quali vengono destinati al consumo interno ed acquisiti dalle industrie della torrefazione che li mischiano con chicchi di prima scelta. Per questo motivo la qualità del caffè consumato in Brasile è in genere bassa.



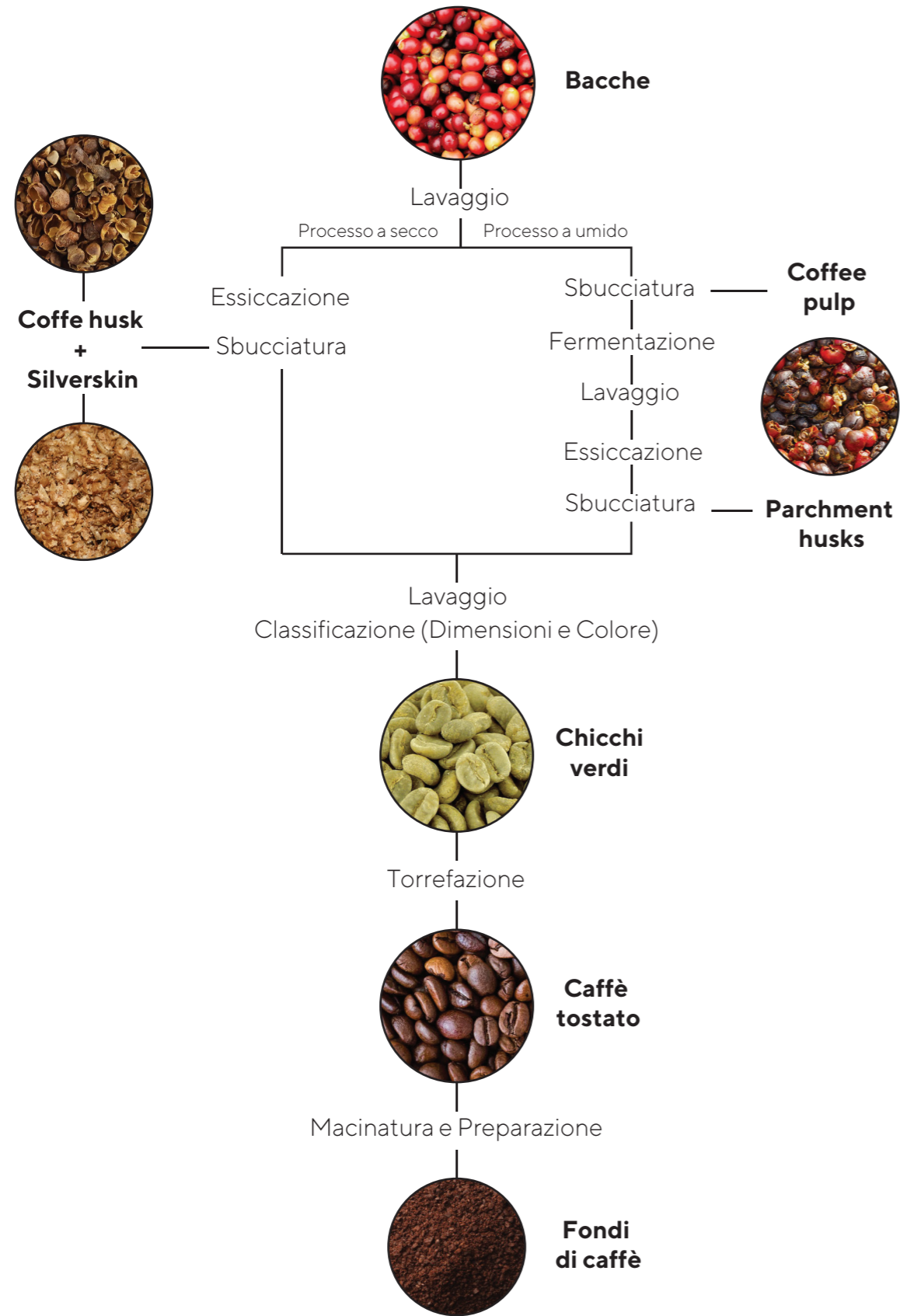
Fig.11

Fig.11 : Bacche di caffè prima di essere processate per ottenere i chicchi



Fig.12

Fig.12: Tipico processo di essiccazione (in questo caso per irraggiamento solare)



## I FONDI DI CAFFÈ

I fondi di caffè sono un residuo solido generato da un processo secondario di produzione di caffè solubile o espresso. In questo processo i chicchi di caffè tostati vengono attraversati da acqua calda pressurizzata in maniera da estrarre la materia solubile. Il residuo insolubile viene invece detto fondo di caffè ed è un materiale ricco di minerali e sostanze nutritive dalle proprietà molto interessanti. Questa sostanza viene prodotta ogni giorno in grande quantità e deve perciò essere smaltita. In Italia se ne producono ogni anno 360 mila tonnellate, mentre nel mondo la cifra si aggira intorno ai 6 milioni.

Viene da sé che, guardare a questo materiale come a un qualcosa da riutilizzare diventa di fondamentale importanza. In un mondo caratterizzato dalla continua crescita della popolazione e dei consumi, lasciarsi guidare dai principi dell'economia circolare diventa un dovere morale più che una semplice scelta.

Questo modello prende infatti spunto dalla natura, dove nessun rifiuto resta sprecato ma viene reintrodotta nel sistema a beneficio di altro. Il fulcro quindi non è solo produrre o sprecare di meno, ma ripensare la produttività in modo diverso, abbandonando il modello lineare



Fig.13

Fig.13 : Il residuo non solubile e con un alto contenuto di umidità dopo la preparazione di un caffè

del “prendi - produci - usa - getta”.

I vantaggi dell’economia circolare sono di tipo ambientale, economico e sociale: riduzione della pressione sull’ambiente, più sicurezza circa la disponibilità di materie prime, aumento della competitività, impulso all’innovazione, crescita economica e incremento dell’occupazione.

### Riciclo ed Economia Circolare

I fondi di caffè possono essere riciclati in svariati modi. Tra i principali ambiti di riutilizzo domestico abbiamo: il giardinaggio, le pulizie e la cosmesi.

Per quanto riguarda il primo ambito i fondi di caffè sono ricchi di potassio, fosforo, rame e magnesio; rilasciano azoto nel terreno e lo rendono leggermente

acido. Per questa ragione vengono utilizzati per arricchire il compost e per la concimazione dei fiori che amano i terreni acidi e che traggono in questo modo un maggiore nutrimento. Inoltre per via del forte odore agiscono anche come anti infestante e antiparassitario, tenendo lontane per esempio le formiche e le lumache.

Per quanto riguarda le pulizie della casa, i fondi di caffè aiutano a risolvere il problema delle incrostazioni nelle stoviglie, ma aiutano anche a rimuovere la cenere dai caminetti; inoltre uno degli utilizzi migliori è quello di contrastare i cattivi odori rilasciando un gradevole aroma se tenuti in frigo, in armadio, in auto, nel posacenere e così via.

I fondi di caffè mostrano inoltre inter-



Fig.15

essanti caratteristiche nel campo della cosmesi; possono essere usati infatti come ingrediente per ottenere uno scrub naturale per corpo e viso o per ottenere una crema naturale anti cellulite. Va ricordata anche la possibilità di sfruttarli come colorante naturale sia per capelli (aggiungendo il caffè all’hennè per ottenere riflessi scuri e caldi), sia per vestiti, stoffe etc.

Oltre a questi scenari, che sono quelli legati alla tradizione popolare e all’arte di “arrangiarsi”, negli ultimi anni ne sono nati di nuovi, legati invece al mondo dell’imprenditoria.

E’ il caso di “Funghi Espresso”, realtà toscana nata nel 2013 che a partire dai fondi di caffè produce tre tipologie di

funghi che sono in grado di crescere su questo tipo di substrato. Si tratta di una dimostrazione pratica di imprenditoria “a chilometri zero” che sposa perfettamente i principi dell’Economia circolare: i fondi sono infatti recuperati dai bar locali risolvendone il problema dello smaltimento, e i funghi sono poi rivenduti tramite i mercati locali o in dei kit dove le persone possono provare a continuare la coltivazione dei funghi in casa.

Nel 2016 un team internazionale di ricercatori, che fa capo all’Istituto Italiano di Tecnologia di Genova, ha elaborato una nuova strategia per depurare l’acqua dai metalli pesanti, usando i fondi del caffè. Il progetto e i test sono descritti in un articolo pubblicato sulla rivista



Fig.14

Fig.14 : Fondo di caffè con un basso contenuto di umidità appena estratto da una macchina

Fig.15 : Uno dei principali metodi per riciclare il caffè consiste nell’utilizzarlo per il compostaggio



Fig.16

*Sustainable Chemistry and Engineering* dell' American Chemical Society. Il team dell'IIT ha pensato di aggiungere al caffè zucchero e silicone per realizzare una sorta di spugna da usare come filtro. In acqua ferma, un pezzetto di una spugna da 200 milligrammi, è riuscito a rimuovere il 99% degli ioni di piombo e mercurio presenti. Nell'acqua in movimento, o quando la concentrazione degli ioni era superiore alle 200 parti per miliardo, l'efficienza della spugna era del 50-60%, un livello paragonabile a quello dei filtri già presenti in commercio, che però non sono fatti di materiali riciclati.

Infine un ulteriore esempio di imprenditoria, e sarà quello su cui ci concentreremo



Fig.17

mo per lo sviluppo di questa tesi, è dato da alcune aziende, italiane e non, che hanno puntato su una particolare proprietà dei fondi di caffè, venuta alla ribalta negli ultimi anni grazie alla pubblicazione di numerosi articoli scientifici, ovvero la possibilità di utilizzarli come combustibile.

Fig.17 : L'azienda "Funghi Espresso" dal 2013 commercializza dei kit a base di caffè per coltivare in casa i funghi

## I FONDI DI CAFFÈ' COME COMBUSTIBILE

L'idea di utilizzare i fondi di caffè come combustibile è relativamente recente; a partire dal 2008 vengono infatti pubblicati numerosi articoli scientifici che esplorano la possibilità di usare questo materiale di riciclo come carburante per caldaie. Alla base di questa intuizione vi è la composizione chimica di questo materiale ricco di minerali ed in particolare la presenza del carbonio e dell'idrogeno. Il tutto avviene in concomitanza con la nascita di un nuovo mercato, ovvero quello del pellet per caldaie, che nel 2012 vive un anno di boom. Si scopre così che anche il residuo solido di una moka o di una macchina

per espresso ha la consistenza adeguata per essere pellettizzato. Ma andiamo per gradi. L'utilizzo di questo materiale come carburante alternativo è stato incoraggiato in Europa dal ECS (European Committee for Standardization) e questo ha portato a numerose ricerche e progetti di sviluppo. I fondi di caffè sono infatti considerati una biomassa dato che sono costituiti da molecole organiche e possono essere convertiti attraverso processi termochimici o biochimici in diversi prodotti come biogas, biodiesel o bioetanolo, o possono direttamente essere sottoposti a combustione.



Fig.18

Fig.18 : I fondi di caffè possono essere compressati ed usati come combustibile in caldaie



**Composizione chimica**

I fondi di caffè sono un residuo solido di particelle sottili con un alto contenuto di umidità che si aggira intorno al 55 - 75%. Sono costituiti per la maggior parte da fibre detergenti neutre - NDF(45,2%) - sottoforma di cellulosa, emicellulosa e lignina, e da fibre detergenti acide - ADF (29,8%) - contenenti lignina e cellulosa. L'emicellulosa, un polisaccaride scarsamente solubile, è il componente principale presente al 39,1% ed è strettamente associata alla cellulosa, costituita da un gran numero di molecole di glucosio, che troviamo invece con la percentuale di 12,4. Altro componente molto importante è la Lignina, sia perchè presente in grande quantità (23,9%), sia perchè agisce come collante naturale nella struttura della biomassa se portato ad una determinata temperatura. Altri componenti sono le proteine (17,4%), i grassi (2,3%) e le ceneri (1,3%).

Per quanto riguarda gli elementi chimici, quello presente in percentuale maggiore è il Carbonio (61,1%), da cui dipende anche il potere calorifico di questo materiale, segue l'Ossigeno (26,6%), l'Idrogeno ( 8,99%), il Nitrogeno (2,91%) e lo Zolfo (0,37%). Questi due ultimi elementi sono da tenere molto in considerazione perchè, come vedremo in seguito, sono collegati al problema delle emissioni nell'atmosfera.

Tra i minerali presenti citiamo invece il potassio (11,7%) che garantisce un ottima efficienza di combustione, il Magnesio (1,9 %), il Fosforo (1,8%) lo Zolfo appunto (0,37%) e il Calcio (1,2%).

**Composizione (%)**

- Emicellulosa: **39,1**
- Lignina: **23,9**
- Proteine: **17,4**
- Cellulosa: **12,4**
- Grassi: **2,3**
- Ceneri: **1,3**

**Minerali (%)**

- Potassio: **11,7**
- Magnesio: **1,9**
- Fosforo: **1,8**
- Zolfo: **1,6**
- Calcio: **1,2**

**Umidità: 55 - 75%**

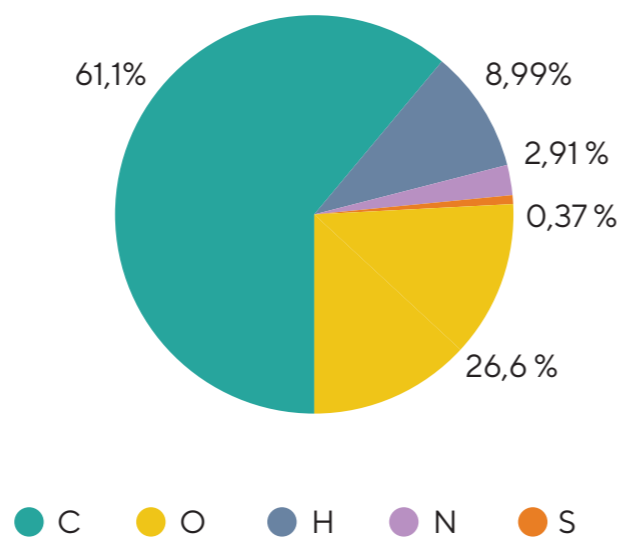


Fig.19

**Caratteristiche di combustione**

Uno dei principali modi per definire la qualità di un combustibile è conoscerne il potere calorifico. Questo è appunto la quantità di energia che si può ricavare convertendo completamente una massa unitaria di un vettore energetico in condizioni standard. Generalmente si distingue tra *Potere calorifico superiore* (PCS) e *Potere calorifico inferiore* (PCI). Il primo tiene conto del calore latente di evaporazione dell'acqua generata durante la combustione, mentre il secondo non tiene conto di questo fattore.

Nel caso dei fondi di caffè il potere calorifico dipende dal contenuto di umidità, per cui con un contenuto iniziale superiore

al 50 % il PCI ha un valore molto basso pari a circa 8,4 MJ/Kg, ma essiccando questa sostanza si arriva a valori molto più alti di altre biomasse, compresi i combustibili legnosi come i pellet e i tronchetti di segatura. Si giunge ovvero a un valore di circa 20 MJ/Kg. Anche l'efficienza di combustione in una stufa a pellet è molto elevata (86,3%) e indica quanto bene un carburante viene bruciato durante il processo di combustione. Il recupero di energia è invece pari all'80% ed è un dato molto interessante perchè si tratta di un materiale di scarto che spesso viene dismissed in una discarica o in un inceneritore.

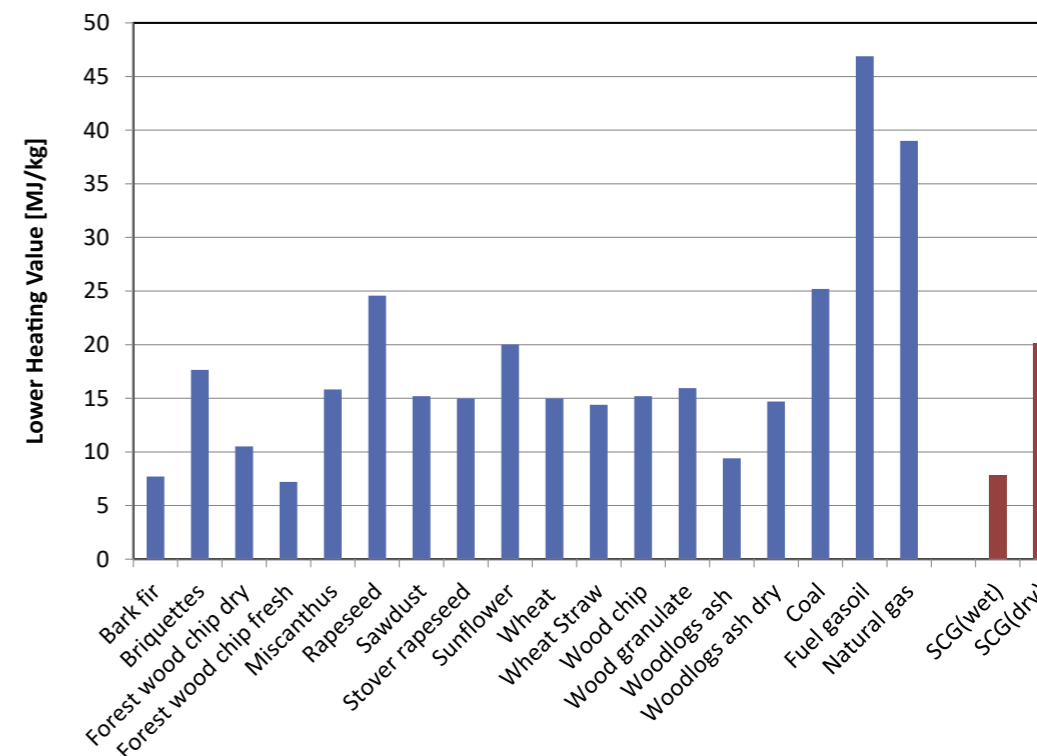


Fig.20

Fig.19 : Grafico degli elementi che compongono il residuo insolubile del caffè

Fig.20 : Grafico di comparazione del potere calorifico dei fondi di caffè (SCG) rispetto ad altri materiali

**La pellettizzazione dei fondi di caffè**

Nello scenario energetico mondiale, il pellet di legno rappresenta uno dei biocombustibili più tecnologicamente avanzati presenti attualmente sul mercato. È sicuramente quello che ha avuto negli ultimi anni il più ampio sviluppo sia a livello produttivo che di commercializzazione e vendita. Il motivo principale di questa grande diffusione è da ricercare nel cambiamento degli standard e degli interessi di produzione dell'energia. Le biomasse hanno mano a mano preso piede nel mercato globale dei combustibili, sostituendo in parte i tradizionali combustibili fossili. Quest'ultimi infatti, sono diventati insostenibili sia a livello economico che ambientale. I prezzi el

evati dei combustibili fossili, le tasse sui carburanti fossili, e gli incentivi per combustibili rinnovabili nei paesi europei hanno portato ad una costante crescita del mercato del pellet a partire dal 1990 fino a giungere ad una sua definitiva consacrazione nel 2012, anno in cui è entrato nelle case di milioni di persone. Si tratta di un materiale molto semplice da ottenere, fatto di solo legno e senza l'aggiunta di sostanze chimiche. La segatura viene solamente compressa all'interno di una trafilatura per mezzo di alcuni rulli; la lignina contemporaneamente si ammorbidisce perché raggiunge determinate temperature ed agisce da collante nella struttura del materiale. Si ottengono così quei cilindretti dal diametro di 6 - 8 millimetri,

facili da conservare e da maneggiare. Sono sempre più apprezzate le sue qualità di densità energetica (circa il doppio rispetto al legno), basse emissioni, elevato potere calorifico e soprattutto basso costo che lo rendono molto competitivo e i cui consumi sono stimanti oggi in Europa in circa 20 milioni di tonnellate l'anno, con l'Italia primo consumatore per uso domestico con 3,3 milioni di tonnellate.

Contemporaneamente all'ascesa di questo materiale, si assiste alla pubblicazione di numerosi articoli scientifici che mirano al riutilizzo dei fondi di caffè nell'ottica di un'economia circolare e sostenibile. I primi tentativi sono stati quelli di utilizzare i fondi come fertiliz-

zante (1974) ma l'alto contenuto di acidità e il basso contenuto di azoto rendevano questo scenario poco praticabile. Dopodiché si è pensato di riutilizzarli per la produzione di carbone attivo, ma un processo del genere richiedeva tempi lunghi e costi elevati per una produzione su larga scala. Si è investigato a questo punto sulla possibilità di produrre energia, ed ecco che avviene la svolta. Nel 2008 estraendo l'olio dai fondi di caffè viene prodotto il biodiesel e contemporaneamente si scopre che la polvere di caffè ha una consistenza adeguata per essere pellettizzata. Nel 2009 dai fondi viene ottenuto il Bioetanolo e nel 2012, grazie al processo di pirolisi, il carbone vegetale. Si aprono così nuove opportunità ed ampie fette di mercato.



Fig.21

**Casi Studio**

Per quanto riguarda le imprese che si sono gettate in questo nuovo settore tra le primissime abbiamo un'italiana, si tratta dell'azienda friulana *Cattelan Distributori Automatici* (C.D.A.) operante nella produzione di distributori automatici di bevande, che avendo fiutato le potenzialità dei fondi di caffè ha sollecitato e sostenuto la ricerca rivolgendosi all'Università degli Studi di Udine che ha avviato uno studio sulle proprietà degli scarti restituiti dai distributori automatici, valutandone qualità e potenzialità nella generazione di calore. Per fare ciò l'Università ha collaborato con *Blucomb*, un suo spin-off specializzato nello sviluppo di stufe e bruciatori alimentati a biomasse per la produzione di biochar, il carbone vegetale ottenuto dalla combustione per pirolisi. I dati raccolti hanno convinto l'azienda ad avviare un progetto di recupero degli scarti dai distributori per convertirli in pellet e utilizzare così il combustibile per riscaldare gli ambienti dell'azienda stessa. La combustione avviene all'interno delle stufe pirolitiche e il prodotto di scarto è un carbone vegetale di grande valore come ammendante del suolo in agricoltura. Il progetto ha vinto il primo premio nella categoria "Terziario" al "Good Energy Award 2014", inoltre per il valore scientifico dello studio e il carattere di economia circolare, il caso è stato scelto dal Ministero dello Sviluppo Economico tra le best practice italiane per l'*Inventory of Business examples for sustainable and inclusive growth* - Esempi di crescita economica sostenibile ed inclusiva, pubblicato sul sito del METI, il Ministero dell'Economia del Commercio

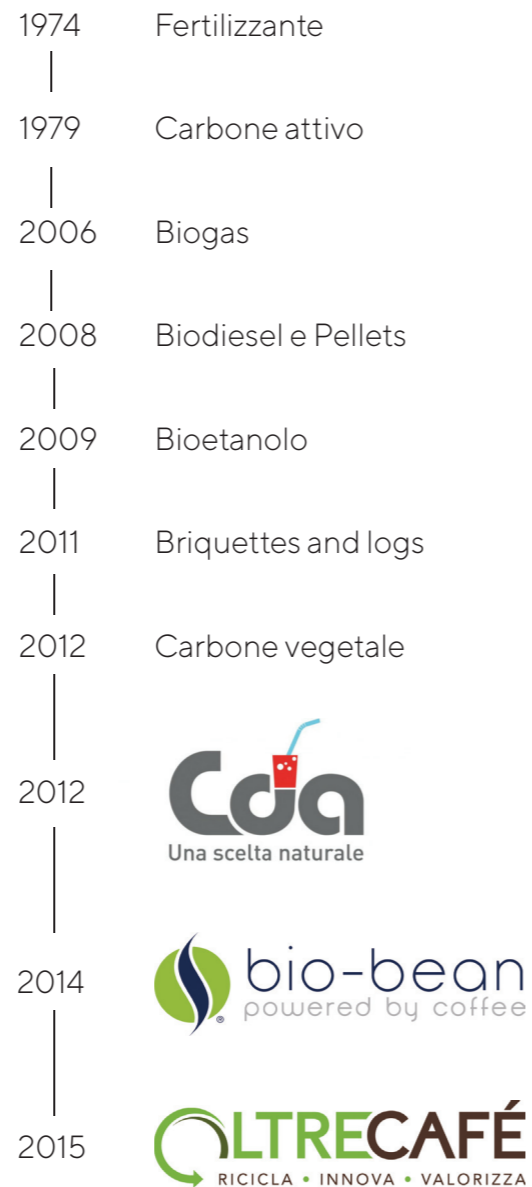


Fig.22

e dell'Industria giapponese. E' così arrivato sul tavolo dei ministri economici riuniti l'8 e il 9 giugno 2019 a Tsukuba per il G20 del Giappone. I criteri che ne hanno determinato la selezione sono stati: l'essere un progetto che ha un impatto sociale attraverso l'introduzione di nuove tecnologie e di modello economico, che dà un contributo alla comunità locale in termini di sostenibilità, che può avere una dimensione internazionale e che, secondo lo spirito del modello giapponese Sanpo-Yoshi, soddisfa tre parti del sistema: il produttore, il consumatore e la comunità.

Nata nel 2014 l'azienda britannica è specializzata nella produzione di pellet e biodiesel partendo dalla raccolta dei fondi di caffè.

Ha infatti stabilito una partnership con Caffè Nero, una catena di caffetterie, e First Mile, un'azienda specializzata nel riciclo con l'obiettivo di raccogliere in un anno 218 tonnellate di fondi di caffè dai negozi presenti nella capitale britannica e trasformarli in 98 tonnellate di pellet, sufficienti ad alimentare 435 case per un anno. L'idea è stata spostata anche da un'altra catena di caffetterie, Costa Coffee, che ha annunciato un'intesa con Bio-Bean in base alla quale raccoglierà tremila tonnellate di fondi di caffè da 800 punti vendita, destinate alla produzione di biocarburante. Il progetto prevede di utilizzare il combustibile sottoforma di pellet o tronchetti, in caldaie a biomassa per appartamenti domestici, aeroporti, uffici, supermercati e così via. L'azienda inoltre ha collaborato anche con Shell al fine di produrre un biocarburante, il B20, che contiene olio minerale e, per una quota



Fig.23

Fig.22: La raccolta dei fondi di caffè che vengono versati nella tramoggia per essere pellettizzati

Fig.23: I tronchetti di caffè che vengono venduti in dei sacchetti per essere utilizzati nelle stufe a biomassa

pari al 20%, olio di caffè, e può aiutare ad alimentare gli autobus della capitale britannica senza necessità di modifiche. Basti pensare che una tonnellata di fondi di caffè consente di ottenere 245 litri di biodiesel. Nel 2014 l'azienda è stata premiata con £400,000 dopo aver vinto il Postcode Lottery Green Challenge, mentre nel 2016 ha vinto il Virgin Media Business VOOM nella categoria "Grow".

Infine l'ultimo caso studio che verrà presentato è un'azienda modenese nata nel 2015 che si chiama OltreCafè ed è diventata la prima azienda in Italia a produrre e commercializzare un pellet 100% ecologico partendo dai fondi di caffè. I soci fondatori, dopo aver vinto un

concorso di idee di business si sono costituiti come startup. I fondi di caffè sono raccolti, essiccati, miscelati con legno selezionato e pellettizzati. L'azienda ha stabilito delle partnership nel territorio e offre il servizio di ritiro dei fondi a tutti quegli enti che producono questo scarto da smaltire e preferiscono avere la certezza del suo riutilizzo, piuttosto che lo smaltimento in discarica. Il prodotto è pensato per un utilizzo in stufe, termostufe, caminetti e caldaie a pellet. Il progetto nel 2018 ha vinto il *Good Energy Award*.



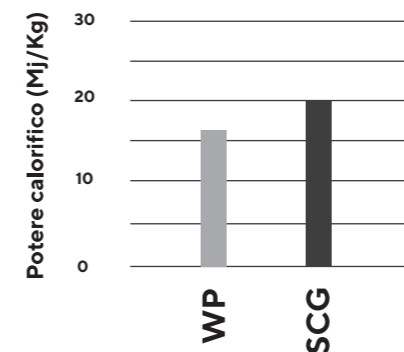
Fig.24

Fig.24: L'azienda modenese OltreCafè produce pellet al legno e pellet al caffè in sacchi da 15 KgWW

**Pellet legno vs Pellet caffè**

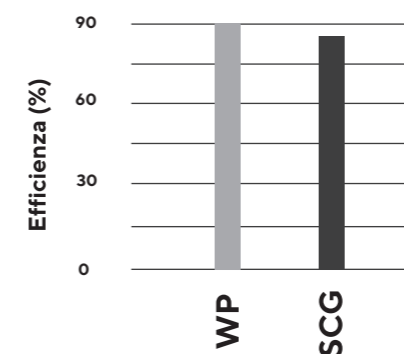
Se paragoniamo le caratteristiche dei due tipi di pellet possiamo osservare caratteristiche molto interessanti. Innanzitutto il potere calorifico del pellet di caffè è maggiore perchè si aggira intorno alla media di 20 MJ/Kg, mentre per quanto riguarda il pellet di legno la media è di 17 MJ/Kg. Questo significa che la quantità di calore sprigionata nell'unità di tempo sarà superiore e l'ambiente risulterà più caldo. L'efficienza di combustione (che indica la misura del carburante che viene effettivamente utilizzato durante il processo di combustione) è dovuta all'elevato contenuto di potassio ed è pari a 86,3%, un valore molto elevato e vicino a quello del pellet in legno, ovvero 90,8%. Il rendimento termico (testato su una caldaia a biomassa da 12 Kw alla potenza di 9Kw) è risultato superiore all'80%, mentre quello del pellet di legno era uguale all'84,3%.

Altre differenze per quanto riguarda i due materiali sono: il contenuto di ceneri, superiore nel caso del caffè e pari al 2,06% contro gli 0,55% del legno; il contenuto di idrogeno, anch'esso superiore e da cui dipende il maggiore potere calorifico; il contenuto di azoto (1,45% contro 0,42%) e di zolfo (0,05% contro 0,01%) a cui è legato il discorso delle emissioni.



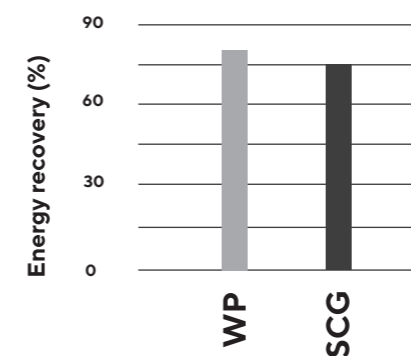
Potere calorifico SCG: **20 MJ/Kg**

Potere calorifico WP: **17 MJ/Kg**



Efficienza di combustione SCG: **86,3%**

Efficienza di combustione WP: **90,8%**



Rendimento termico SCG: **80%**

Rendimento termico WP: **84,3%**

	Ash	H	N	S
WP	0,55%	6,33%	0,42%	0,01%
SCG	2,06%	7,19%	1,45%	0,05%

Nelle tabelle riportate sopra "WP" sta per Wood Pellet mentre "SCG" sta per Spent Coffee Grounds

### Emissioni e Sostenibilità

Per quanto riguarda le emissioni, la combustione del pellet di caffè produce una quantità di CO<sub>2</sub> inferiore rispetto al pellet di legno pari al 5,41% contro il 6,43%. Le emissioni nell'atmosfera di sostanze volatili sono anche in questo caso inferiori, perchè nel caso del caffè si attestano al 70,03% mentre nel caso del legno giungono al 74,85%. In contrasto le emissioni di Nitrogeno e Zolfo sono superiori nella combustione del pellet al caffè, infatti per quanto riguarda il nitrogeno si parla di 163ppm contro 45 ppm, mentre per quanto riguarda lo zolfo abbiamo un'emissione dello 0,05% col pellet di caffè contro lo 0,01% nel caso del pellet a base di legno.

Va precisato che, trattandosi di un pellet derivante da scarti agro-industriali bisogna parlare di agripellet, il quale per essere bruciato nelle comuni caldaie domestiche necessita di essere certificato secondo la norma UNI EN ISO 17225-6. Tuttavia, nel caso dei pellet da fondi di caffè, il contenuto di nitrogeno e azoto emesso nell'atmosfera non permette di raggiungere tale certificazione. Questo significa che i pellet di caffè possono essere utilizzati specificatamente nelle caldaie a biomassa, che dispongono di un bruciatore adatto a fronteggiare il problema delle emissioni, o nelle stufe pirolitiche, che garantiscono la completa assenza di fumi nocivi.

#### Stufe a pellet

Possono utilizzare il pellet di caffè se mischiato con opportune quantità di segatura così da raggiungere la certificazione di qualità.

#### Stufe a biomassa

Possono utilizzare il pellet di caffè perchè dispongono di bruciatori adatti a fronteggiare le emissioni di questo tipo di materiali.

#### Stufa Pirolitica

E' la tecnologia più affine a questo materiale di scarto perchè utilizza le biomasse e garantisce la completa assenza di fumi nocivi

	SCG	vs	WP	
<b>VM %:</b>	70,03		74,85	✓
<b>CO<sub>2</sub>:</b>	5,41%		6,43%	✓
<b>NO<sub>x</sub>:</b>	163ppm		45ppm	⬆
<b>S%:</b>	0,05		0,01	⬆



Fig.25

## LA TECNOLOGIA PIROLITICA

La tecnologia pirolitica è il processo che meglio si adatta alle caratteristiche di questo prodotto, che ha lo scopo appunto di utilizzare uno scarto come quello del caffè, per ottenere energia. Si tratta di un processo che ha radici molto antiche, ma che è stato riscoperto solo recentemente. Veniva applicato già dagli antichi Egizi per produrre carbonella dal legno. In tempi più recenti, si ricordano invece le carbonaie e i "Pojat" che si utilizzavano nelle zone montane e boschive d'Italia fino agli inizi del Novecento per produrre il carbone. Durante la II Guerra Mondiale, la pirolisi veniva già impiegata nella produzione di combustibili per veicoli e macchinari, per superare alla scarsa circolazione dei combustibili tradizionale.

La grande disponibilità di petrolio che si è avuta a partire dal Dopoguerra ha però causato un generale abbandono della ricerca in questo campo, che è stata ripresa solo in tempi relativamente recenti. E' un processo di decomposizione termochimica di materiali organici, ottenuto mediante l'applicazione di calore e in completa assenza di un agente ossidante (normalmente ossigeno). In pratica, se si riscalda il materiale in presenza di ossigeno avviene una combustione che genera calore e produce composti gassosi ossidati; effettuando invece lo stesso riscaldamento in condizioni anossiche (totale assenza di ossigeno), il materiale subisce la scissione dei legami chimici originari con formazione

Fig.25: Sistema elementare di un bruciatore pirolitico

di molecole più semplici. Oggi come oggi questo processo viene utilizzato sia su larga scala per il trattamento dei rifiuti e per la produzione di biocarburanti, sia su piccola scala attraverso le stufe pirolitiche, per la produzione di calore.

**Tattamento dei rifiuti**

Si tratta di impianti nei quali i rifiuti vengono trattati attraverso la dissociazione molecolare, un processo di degradazione termica in assenza di ossigeno che converte i rifiuti in prodotti solidi (coal o char da pirolisi), liquidi (*tar* o *olio di pirolisi*) e/o gassosi (*syngas*), in proporzioni che dipendono dai metodi di pirolisi (veloce, lenta, o convenzionale) e dai parametri di reazione. Questi prodotti poi, attraverso alcuni processi di trasformazione, possono essere utilizzati per la produzione di energia. In pratica circa il 90% del volume totale può essere riutilizzato mentre solo il 10% rappresenta il prodotto di scarto.

**Produzione di Biocarburanti**

Esistono diverse tecniche allo studio, una di queste riguarda la pirolisi "flash" che converte la biomassa in un particolare olio che viene successivamente convogliato presso una centrale che produce il carburante. Un altro metodo consiste invece nella produzione di un olio intermedio ("biosyncrude"), caratterizzato da alta densità, per mezzo di un riscaldamento effettuato in ambiente privo di aria. Alla fine del processo è possibile ottenere combustibile diesel, idrogeno e metanolo.



Fig.25



Fig.26

Fig.25: Impianto pirolitico per il trattamento dei rifiuti nella città di Modica.

Fig.26: Biocarburanti avanzati prodotti a partire dalla pirolisi di biomasse e distillazione del catrame risultante

**Stufe Pirolitiche**

In questo caso la tecnologia viene utilizzata per la produzione di calore, infatti in questo tipo di caldaie avviene lo scambio di calore tra i gas di combustione ed i fluidi di processo (acqua, olio diatermico, ecc.). Se si utilizzano come combustibili sostanze ricche di glucidi strutturati (cellulosa e lignina) e con contenuti di acqua inferiori al 35% la combustione avviene con buoni rendimenti. Le stufe pirolitiche, hanno una tecnologia che si è fatta avanti nel mercato negli ultimi anni e che oggi ci appare come altamente innovativa ed ecologica.

Durante la combustione tradizionale, la molecola del legno quando arriva intorno

ai 270 gradi si scinde rilasciando gas combustibili come metano, idrogeno, metanolo ed altri.

Questi gas, incontrando e miscelandosi con l'ossigeno presente nell'aria, si incendiano e generano la fiamma che poi vediamo svilupparsi dal legno.

La combustione tradizionale ha però il difetto di riuscire a far bruciare circa solo un terzo dell'emissione gassosa generata dal processo di pirolisi in quanto la salita dei gas, al di sopra della fiamma, è molto rapida, violenta e turbolenta.

Questo fenomeno fa sì che la normale combustione provochi la liberazione molto veloce, e a temperature di oltre i 300 gradi, di gas incombusti.



Fig.27

Fig.27: Sezione di un bruciatore pirolitico. Le intercapedini e i fori permettono all'ossigeno di incontrarsi con i gas sprigionati



Fig.28

Fig.28: Bruciatore pirolitico a incasso da interno EK200 a legna, pellet e cippato

Ciò ha come conseguenza un enorme spreco di energia e anche il grosso deposito carbonioso all'interno delle canne fumarie.

Pirolizzando invece si può controllare completamente la produzione dei gas che, fatti poi incontrare più in alto, e a distanza dalla massa legnosa con una corrente laminare d'aria, si incendiano generando una fiamma quasi completamente esente da emissioni nocive.

In questo modo si riesce a valorizzare la biomassa fino ad oltre il 280% in più rispetto ai sistemi convenzionali.

Una volta accesa la fiamma con i metodi manuali tradizionali, questa viene chiusa nella parte alta e l'ossigeno non riesce più ad entrare in contatto con la biomassa

in quanto si è formato "un tappo di chiusura". Questo si ottiene perché l'aria fresca, salita nell'intercapedine laterale, va ad incontrare il syngas caldo appena prodotto

Ecco che questo gas (formato da metano, idrogeno, metanolo ed altri) brucia completamente trattenendo la CO<sub>2</sub>, che lentamente si carbonizza, dando vita alla vera pirolisi ottimizzata.

Il residuo che si ottiene è *biochar*, carbone vegetale, ottimo per la concimazione dato che apporta una significativa quantità di nutrienti al suolo (calcio, magnesio, fosforo e potassio) aumentandone la fertilità. Abbassa inoltre l'acidità del suolo e migliora la capacità di ritenzione idrica del terreno.

### Combustione tradizionale

Legno e Carbone  
2/3 gas incombusti  
Spreco energia  
Emissioni nocive  
Ceneri

### Combustione pirolitica

Qualsiasi biomassa  
Combustione totale gas  
Resa maggiore (+280%)  
Fiamma pulita  
Carbone vegetale

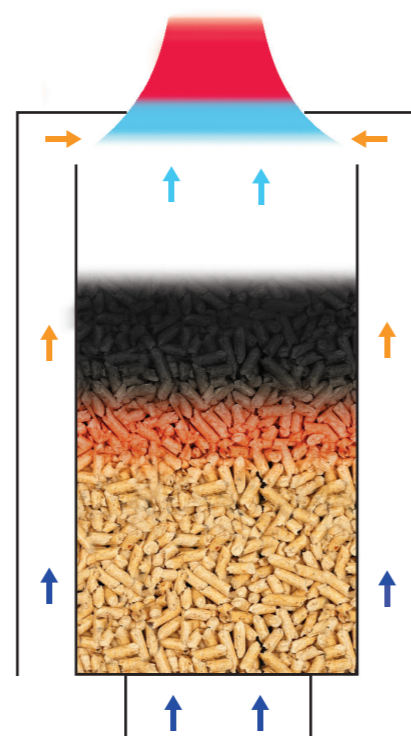


Fig.29

Fig.29  
 Aria Fresca  
 Aria Preriscaldata  
 Syngas



Fig.30

Fig.30: Fungo pirolitico dell'azienda Pyreco in acciaio Inox, dotato di contenitore-bruciatore pellet intercambiabile

Oggi come oggi, oltre che negli impianti industriali, possiamo ritrovare la tecnologia pirolitica in tre tipologie di prodotti: i barbecue, le stufe per interno e i funghi pirolitici da esterno. Per lo sviluppo di questo progetto ci focalizzeremo sul terzo tipo di prodotto perchè è strettamente connesso al luogo di produzione della materia di scarto, ovvero i bar e le caffetterie. Questi esercizi commerciali producono infatti ogni giorno grandi quantità di fondi di caffè e molto spesso possiedono una area esterna che necessita di essere riscaldata nella stagione invernale. I funghi pirolitici vengono spesso utilizzati a questo scopo e aprono uno scenario molto interessante per quanto riguarda la pellettizzazione dei fondi di caffè.



Fig.31

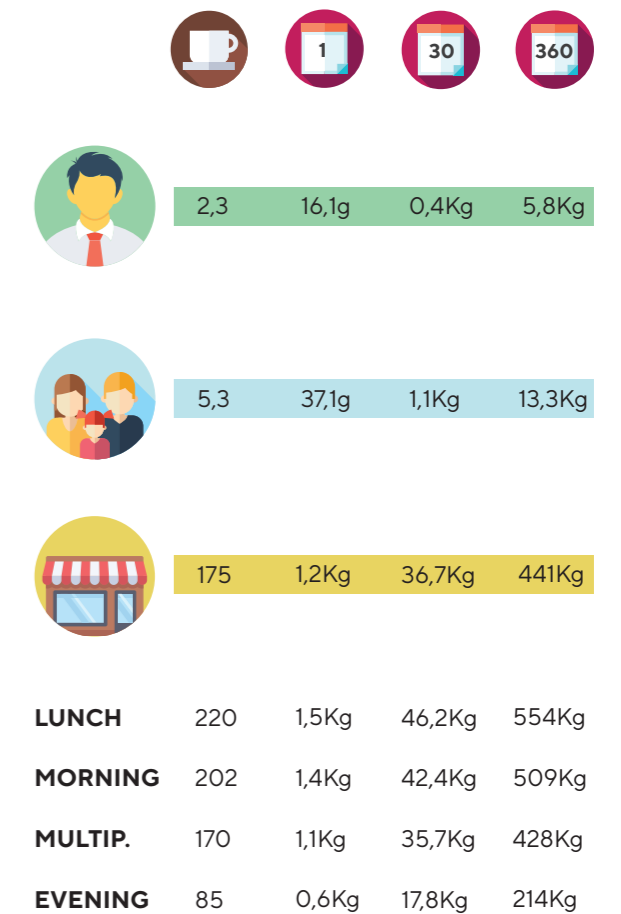
Fig.31: Esempi di prodotti in commercio in cui è utilizzata la tecnologia pirolitica. Rispettivamente una caldaia, un barbecue e un fungo pirolitico

Sono stati analizzati due possibili scenari, ovvero uno legato al consumo domestico di caffè, e uno legato alle attività commerciali come bar e caffetterie. In entrambi i casi sono stati calcolati il numero di caffè, consumati o prodotti, e quindi la quantità di fondi di caffè ricavata; inoltre, sulla base dei costi di riscaldamento e della materia prima da usare come fonte di energia, sono state calcolate la fattibilità dell'idea progettuale e quindi lo scenario più interessante.

Quello domestico, è apparso da subito uno scenario poco credibile, perchè calcolando la media di 2,4 caffè al giorno a persona, e sapendo che per prepararne uno servono almeno 7 grammi, in un anno si sarebbero prodotti circa 6 chili di fondi di caffè. Anche estendendo il ragionamento ad un nucleo familiare non si sarebbero superati i 14 chili di media all'anno. Siccome il pellet viene venduto in sacchi da 15 chili al costo medio di 5 euro lo scenario appariva poco conveniente per un utente.

Il discorso cambia se si pensa alle attività commerciali dato che un bar o una caffetteria prepara in media 175 caffè in un giorno, ma questo chiaramente varia a seconda del tipo di attività. In un *lunch bar* si arriva infatti a 220 caffè al giorno, che significa una quantità di fondi di caffè pari a circa 554 chili in un anno. Il costo medio che una attività deve affrontare per il riscaldamento invernale è di circa 60 euro al mese, questo se si ipotizza un utilizzo di 8 ore per 4 giorni a settimana con una stufa pirolitica, che

## SCENARI POSSIBILI: COSTI E CONSUMI



### STUFA A PELLETT TRADIZIONALE

Potenza:  
5-12 kW (35 - 105 mq)

Consumo medio:  
0,25Kg/h per kW di potenza  
Stufa da 10 kW= 2,5 Kg/h  
Fabbisogno termico medio:  
(abitazione 100mq durante la stagione invernale) = 12 MWh

### FUNGO DA ESTERNO GPL

Potenza media:  
13Kwh = 0,013MWh  
Costo GPL: 233€/MWh  
Consumo orario:  
0,013MWh x 233€ = 3€/h



di per sè è già molto conveniente, ed utilizza un combustibile, il pellet, che è davvero economico. I costi crescono vertiginosamente se si passa a stufe a pellet tradizionali, che consumano una media di 0,5 Kg / h per Kw di potenza, o alle classiche stufe a GPL che sono caratterizzate da un elevato costo del combustibile (233 euro per sprigionare la potenza di un MWh).

Nel caso di stufe pirolitiche è possibile quindi abbattere i costi, già esigui, risparmiando ulteriormente sul combustibile e facendo sì che si possa utilizzare lo stesso scarto, prodotto quotidianamente, per alimentare la stufa. Questo significa che, sempre considerando un *lunch bar*, ci sarebbe un ris

parmio di 184 euro per quanto riguarda la stagione invernale (3,5 mesi), e quindi a fronte di un utilizzo medio della stufa (8h al giorno, 4 giorni a settimana) si arriverebbe ad un costo di soli 25 euro del combustibile durante i 3 mesi e mezzo invece che 210.

**Consumo energetico con stufa pirolitica e risparmio stagionale**

	Tazzine giornaliere	Consumo giornaliero	Consumo Mensile	Consumo Annuale	Ore annuali di autonomia	Risparmio stagionale
Lunch bar	220	1,5 Kg	46,2	554Kg	403	184,67 €
Morning bar	202	1,4Kg	42,4Kg	509Kg	370	169,67 €
Multipurpose bar	170	1,1Kg	35,7Kg	428Kg	311	143 €
Evening bar	85	0,6Kg	17,8Kg	214Kg	156	71 €
Media	175	1,2Kg	36,7Kg	441Kg	321	147 €

Consumo (Kg/h)	1,4
Autonomia per Kg (h)	0,7
Autonomia per Kg (m)	44
Costo pellet (15Kg)	€ 5,00
Costo pellet (1Kg)	€ 0,33

Volume fondi umidi	1,25Kg/l
1 caffè	7 g
1 fondo di caffè	12,25g
Incremento (%)	75%

Diametro	6 mm
Lunghezza	35mm
Volume	989 mm
Densità	0,0006

**Tab1**

	1g/sett	2g/sett	3g/sett	4g/sett	5g/sett	6g/sett	7g/sett
4h/g	5,6	11,2	16,8	22,4	28	33,6	39,2
5h/g	7	14	21,2	28	35	42	49
6h/g	8,4	16,8	25,2	33,6	42	50,4	58,8
7h/g	9,8	19,6	29,4	39,2	49	58,8	68,6
8h/g	11,2	22,4	33,6	44,8	56	67,2	78,4
9h/g	12,6	25,2	37,8	50,4	63	75,6	88,2
10h/g	14	28	42	56	70	84	98
11h/g	15,4	30,8	46,2	61,6	77	92,4	107,8
12h/g	16,8	33,6	50,4	67,2	84	100,8	117,6

**Tab2**

	1g/sett	2g/sett	3g/sett	4g/sett	5g/sett	6g/sett	7g/sett
4h/g	22,4	44,8	67,2	89,6	112	134,4	156,8
5h/g	28	56	84,2	112	140	168	196
6h/g	33,6	67,2	100,8	134,4	168	201,6	235,2
7h/g	39,2	78,4	117,6	156,8	196	235,2	274,4
8h/g	44,8	89,6	134,4	179,2	224	268,8	313,6
9h/g	50,4	100,8	151,2	201,6	252	302,4	352,8
10h/g	56	112	168	224	280	336	392
11h/g	61,6	123,2	184,8	246,4	308	369,6	431,2
12h/g	67,2	134,4	201,6	268,8	336	403,2	470,4

**Tab3**

	1g/sett	2g/sett	3g/sett	4g/sett	5g/sett	6g/sett	7g/sett
4h/g	€ 7,47	€ 14,93	€ 22,40	€ 29,87	€ 37,33	€ 44,80	€ 52,27
5h/g	€ 9,33	€ 18,67	€ 28,00	€ 37,33	€ 46,67	€ 56,00	€ 65,33
6h/g	€ 11,20	€ 22,40	€ 33,60	€ 44,80	€ 56,00	€ 67,20	€ 78,40
7h/g	€ 13,07	€ 26,13	€ 39,20	€ 52,27	€ 65,33	€ 78,40	€ 91,47
8h/g	€ 14,93	€ 29,87	€ 44,80	€ 59,73	€ 74,67	€ 89,60	€ 104,53
9h/g	€ 16,80	€ 33,60	€ 50,40	€ 67,20	€ 84,00	€ 100,80	€ 117,60
10h/g	€ 18,67	€ 37,33	€ 56,00	€ 74,67	€ 93,33	€ 112,00	€ 130,67
11h/g	€ 20,53	€ 41,07	€ 61,60	€ 82,13	€ 102,67	€ 123,20	€ 143,73
12h/g	€ 22,40	€ 44,80	€ 67,20	€ 89,60	€ 112,00	€ 134,40	€ 156,80

Tab1: Consumo pellet settimanale (kg)

Tab2: Consumo pellet mensile (kg)

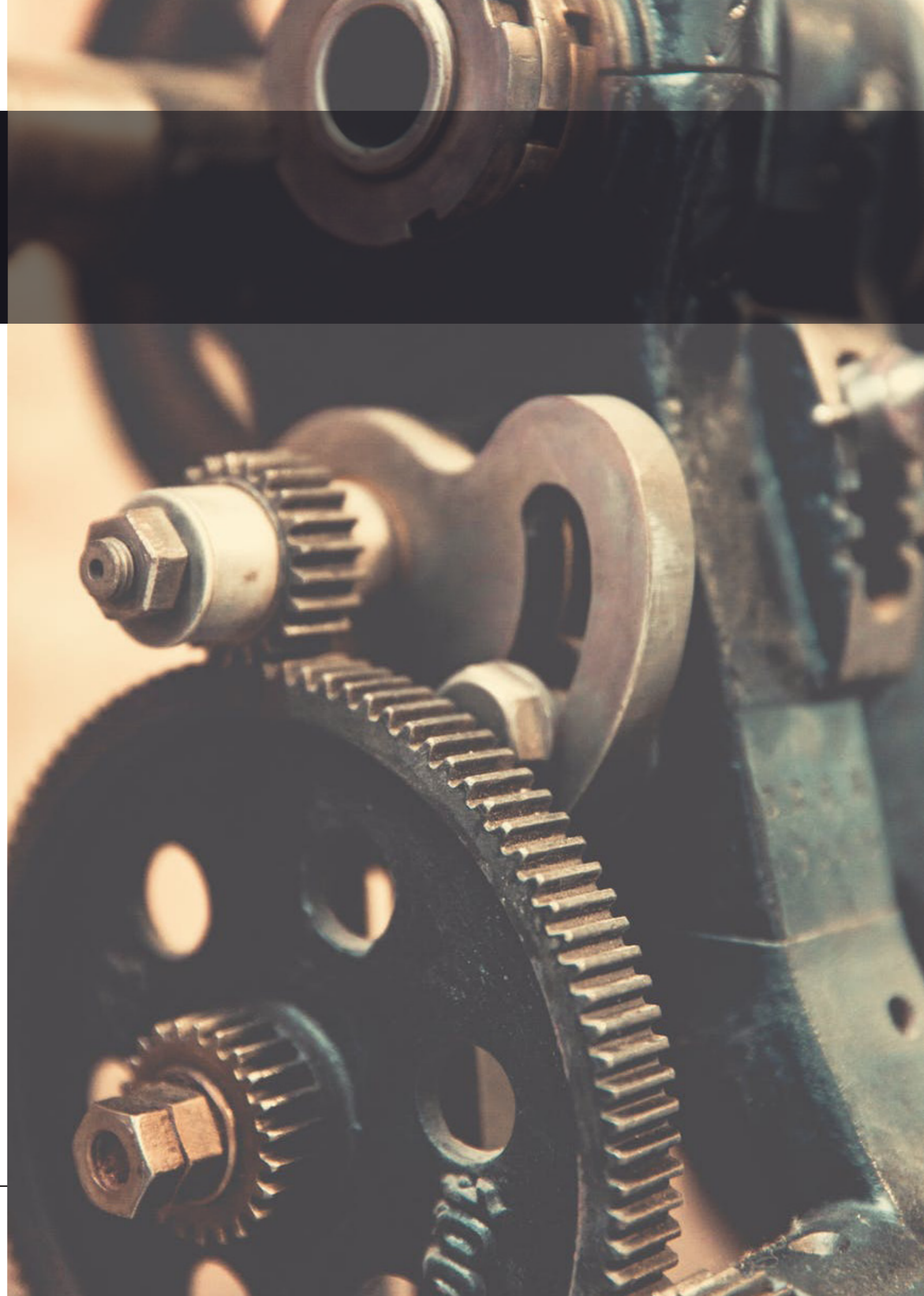
Tab3: Consumo pellet mensile (kg)

# 2.

## ANALISI DELLE TECNOLOGIE

### REQUISITI TECNOLOGICI

Per realizzare un elettrodomestico in grado di trasformare i fondi di caffè in pellet occorre unire in un unico prodotto due tecnologie diverse e già esistenti, ovvero un essiccatore e una pellettatrice. Il primo serve a ridurre il grado di umidità del materiale, che in genere varia dal 55 al 75%; la seconda invece attua una compressione meccanica che riscalda il materiale e lo comprime facendolo passare attraverso dei fori. Mentre l'essiccatore è una tecnologia che viene utilizzata in ambito domestico, ed è quindi presente sul mercato con svariati modelli e differenti layout, la pellettatrice è un prodotto che ha un'origine industriale, ed è presente sul mercato con un design standard che non comunica affatto con l'utenza.



## ESSICCAZIONE

Il processo di essiccazione è oggi molto comune per la preparazione e conservazione degli alimenti. Frutta e verdura possono essere infatti disidratate attraverso un elettrodomestico che ne rimuove il contenuto di umidità, senza dar luogo a cottura, e mantenendo intatte le sostanze nutritive. Questo procedimento prevede una separazione tra elementi liquidi e solidi che si verifica quando l'acqua, presente nei vari cibi, inizia ad evaporare.

Disidratare i cibi equivale quindi a bloccare la proliferazione di microbi e a far fronte ad un'eventuale ossidazione. Le temperature ideali per ottenere questo

risultato variano dai 20 ai 55° arrivando ad un massimo di 65°.

Le tecnologie maggiormente in uso sono due:

- ventilazione di aria calda;
- irraggiamento attraverso lampada infrarossi.



VENTILAZIONE



IRRAGGIAMENTO



Fig. 33

Fig. 33: Procedura di essiccazione con essiccatore a raggi infrarossi e vassoi in acciaio inossidabile



Fig. 34

### Ventilazione di aria calda

Negli essiccatori con tecnologia di ventilazione, la deidratazione avviene mediante l'emissione di aria calda in maniera costante ed omogenea tra i vari scomparti dell'elettrodomestico. In un prodotto di questo tipo i componenti principali sono: ventola, resistenza e sfogo dell'aria. Questi tre elementi lavorano insieme per il circolo dell'aria e la rimozione del contenuto di umidità. L'aria, spinta dalla ventola passa attraverso la resistenza e una volta riscaldata viene immessa all'interno. L'umidità evapora e viene emessa all'esterno grazie agli sfoghi che permettono il ricircolo dell'aria.

### COMPONENTI PRINCIPALI

- Ventola
- Resistenza
- Sfogo

### COMPONENTI SECONDARI

- Vassoi
- Termostato
- Timer
- Pannello di controllo

Fig. 34: Rappresentazione del flusso di aria calda all'interno di un essiccatore

**Tipologie di Essiccazione: Verticale vs Orizzontale**

Gli essiccatori presentano due tipi di tecnologie in base a come è orientato il flusso dell'aria: c'è la tecnica orizzontale, che risulta più veloce e che riproduce in maniera più vicina la procedura di essiccazione naturale, pur essendo un elettrodomestico; la tecnologia verticale prevede, invece, diversi tipi di essiccazione in base a come sono stati riposti gli alimenti sui vari cestelli. Si disidrateranno prima gli alimenti posti nelle vicinanze dell'aria calda, meno quelli più lontani.

Gli essiccatori con tecnologia verticale sono caratterizzati dal fatto che sia la fonte di calore che la ventola siano collocate su uno dei due lati dell'apparecchio. Questi due elementi si possono trovare, infatti, entrambi sulla base dell'elettrodomestico o sul coperchio: di conseguenza il calore verrà emesso in modo verticale. Può capitare, nel momento in cui l'aria parte dal basso e raggiunge il lato superiore dell'apparecchio, che l'umidità arrivi sino agli scomparti più alti, creando qualche problema all'essiccazione degli alimenti più lontani dalla fonte di calore. Il punto debole di un essiccatore verticale sta nella diversa propagazione dell'aria calda: il calore, infatti, non viene distribuito in modo omogeneo in tutti gli scomparti. Gli alimenti, posizionati sui vassoi vicini alla fonte di calore, tenderanno a seccarsi più rapidamente rispetto agli altri.

Gli essiccatori ad erogazione orizzontale, così come dice il nome stesso, emettono l'aria calda secondo una direzione orizzontale. In questi

articoli, a differenza di quelli verticali, la ventola e la fonte di calore sono ubicate sul retro dell'elettrodomestico.

Questi prodotti, che erogano aria calda in orizzontale, consentono anche una propagazione uniforme del calore. Inoltre questa procedura fa sì che gli odori e gli aromi non vadano a mescolarsi. Uno dei punti deboli di un essiccatore orizzontale è sicuramente quello rappresentato dalle sue dimensioni. Questi apparecchi sono più grandi ed ingombranti se confrontati con i prodotti verticali. Gli essiccatori ad erogazione verticale sono infatti meno costosi e hanno dimensioni più ridotte.



Fig. 35

Fig. 35: Ripiano di un essiccatore, in cui la frutta è stata completamente disidratata.

**TECNOLOGIA VERTICALE**

- Ventola e resistenza posizionate nella parte superiore o inferiore
- Flusso d'aria verticale

- ❌ Propagazione non uniforme
- ❌ Essiccazione più lenta
- ❌ Mescolazione di odori ed aromi
- ❌ L'umidità arriva agli scomparti alti
- ✅ Dimensioni minori
- ✅ Prezzo inferiore

**TECNOLOGIA ORIZZONTALE**

- Ventola e resistenza posizionate nella parte posteriore
- Flusso d'aria orizzontale

- ✅ Propagazione uniforme
- ✅ Essiccazione più veloce
- ✅ Odori ed aromi non si mescolano
- ✅ L'umidità fuoriesce dai lati
- ❌ Dimensioni maggiori
- ❌ Prezzo più elevato

**Irraggiamento ad infrarossi**

Gli essiccatori a infrarossi sono una tipologia nuova di prodotti che si sono da poco affacciati sul mercato. Questa tecnologia utilizza i NIR (Near Infra-Red-Ray) per essiccare. Tali raggi possiedono specifiche lunghezze d'onda comprese tra 0,78 e 2,5  $\mu\text{m}$  e hanno lo stesso effetto sul cibo dei raggi solari.

Questa modalità permette di preservare una maggiore quantità di nutrienti e tassi più elevati di vitamine C e D.

La temperatura di controllo varia dai 35 ai 70°.

Rispetto agli essiccatori tradizionali, questa tecnologia permette tempi di asciugatura più brevi, un più basso consu-

**COMPONENTI PRINCIPALI**

Lampada infrarossi



Sfogo

**COMPONENTI SECONDARI**

Vassoi



Termostato



Timer



Pannello di controllo



Sensore



Fig. 36

Fig. 36: Rappresentazione grafica del sistema di ventilazione all'interno di un essiccatore a raggi infrarossi

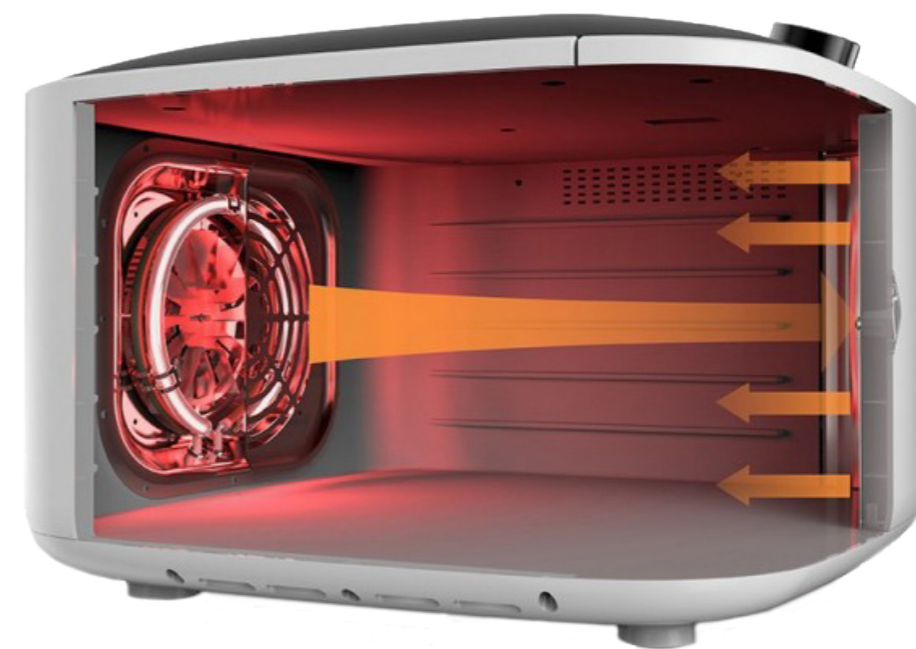


Fig. 37

mo di energia e maggiore permanenza dell'intensità dei sapori e dei colori nei cibi. Questa tecnologia permette una disidratazione naturale degli alimenti perchè stimola la pressione osmotica dall'interno del cibo e favorisce il continuo assorbimento dell'umidità con una circolazione costante e omogenea di aria calda e raggi infrarossi corti.

Oltre a questa modalità di essiccazione in questo tipo di prodotti viene affiancata anche la modalità tradizionale, ovvero ventilazione di aria calda. Vi sono dunque due sistemi, quello per l'essiccazione solare e quello per l'essiccazione all'ombra, una modalità ad hoc per cibo fermentato (aceto di vino, yogurt, soia)

Anche in questo caso la tecnologia viene affiancata ad un'interfaccia che permette di modificare i programmi e rileva la temperatura e il grado di umidità all'interno della camera di essiccazione. La disidratazione avviene in maniera uniforme perchè la fonte di calore è posizionata sulla parte posteriore del prodotto e l'aria dopo essere circolata fuoriesce lateralmente attraverso gli sfoghi.

Fig. 37: Rappresentazione grafica del sistema di riscaldamento all'interno di un essiccatore a raggi infrarossi

**Benchmarking**

VENTILAZIONE VERTICALE

Fascia di prezzo : 25 - 70 €

VENTILAZIONE ORIZZONTALE

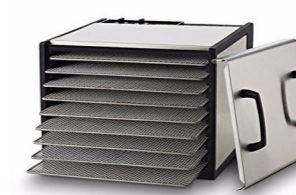
Fascia di prezzo : 90 - 580 €







VENTILAZIONE ORIZZONTALE

Fascia di prezzo : 90 - 580 €

VENTILAZIONE + IRRAGGIAMENTO

Fascia di prezzo : 280 - 570 €



	<b>AICOOK</b>	<b>MAXXO</b>	<b>MAGIC MILL MFD-6100</b>	<b>KOGAN</b>	<b>EXCALIBUR 2900</b>	<b>EXCALIBUR FPTH0154</b>	<b>CONCEPT</b>	<b>SOUL</b>
	245 W	500 W	480 W	800 W	400 W	600 W	500 W	500 W
	40 - 70°	35 - 70°	35 - 70°	35 - 70°	35 - 70°	40 - 74°	35 - 70°	35 - 70°
	37x37x29cm	34x27 cm	48 x 38 x 34 cm	51x38x61 cm	48x43x31 cm	48x43x31 cm		46x40x28cm
	Ventilazione	Ventilazione + Rotazione	Ventilazione	Ventilazione	Ventilazione	Ventilazione	Infrarossi + Ventilazione	Infrarossi + Ventilazione
	2,3 Kg	2,3 Kg	7 Kg	9,3 Kg	10 Kg	10,8 Kg		5 Kg
	35 €	35 €	99 €	140 €	220 €	470 €	289 €	569 €

## PELETTIZZAZIONE

Il pellet è prodotto dalla compressione meccanica tra rulli e stampo.

La forte frizione fra questi due elementi riscalda il materiale, portandolo a circa 80°. A questa temperatura la lignina si ammorbidisce comportandosi da collante naturale e donando al pellet quella superficie lucida, quasi plastica.

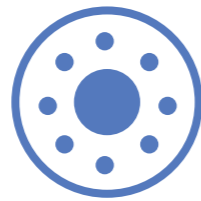
La biomassa infatti, passando attraverso dei fori di dimensioni specifiche, viene estrusa e finisce in un contenitore.

I rulli che determinano la compressione possono essere 2 o 4 e sono montati alle estremità dell'albero che ruota a sua volta intorno ad un altro albero connesso al motore. I buchi nello stampo sono

molteplici e hanno in genere un diametro compreso tra 2,5 e 10 mm.

Le tipologie esistenti sul mercato sono essenzialmente due:

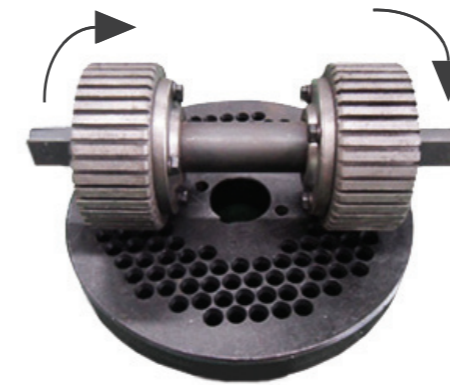
- pellettatrice a trafilatura piana
- pellettatrice a trafilatura anulare.



TRAFILA PIANA



TRAFILA ANULARE



SISTEMA 1  
Rotazione dei rulli  
Stampo fermo



SISTEMA 2  
Rotazione stampo  
Rulli fermi



Fig. 38

### Pellettatrice a trafilatura piana

La pellettatrice a trafilatura piana è adatta ad un uso domestico. Ha una struttura molto semplice caratterizzata da uno stampo piatto e da rulli che comprimono il materiale nei buchi della trafilatura. I rulli possono essere 2 o 4 e sono montati alle estremità di un albero.

Esistono due sistemi principali: quello a trafilatura fissa e i rulli in movimento, e quello che sfrutta la rotazione dello stampo ma mantiene i rulli ben saldi.

Il primo sistema ha una struttura più funzionale e una maggiore capacità ma un costo più elevato.

La pellettatrice a trafilatura piana, rispetto a quella anulare, risulta piccola leggera e portatile. Il costo è molto più contenuto.

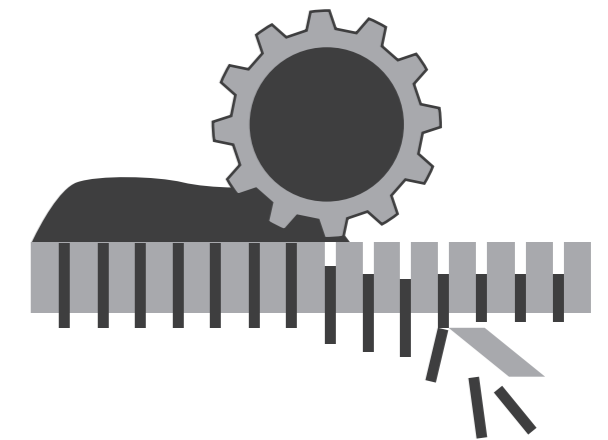


Fig. 39

Fig. 38: Pellettatrice con presa di forza ad uso domestico

Fig. 39: La macina spinge dentro i fori dello stampo il materiale che viene poi tagliato in uscita da una lama

I componenti principali di una pellettatrice a trafilatura piana sono il motore (la cui potenza può variare da 1,5 kW a 30 kW), dei rulli (fino a quattro), l'albero di trasmissione montato a un sistema di ingranaggi che aumenta la coppia disponibile, la tramoggia (da cui viene inserito il materiale da pellettizzare) e il canale di sbocco da cui fuoriescono i pellet.

Tra i componenti secondari spiccano il pannello di controllo, una lama che agisce sui pellet in maniera da ottenere dimensioni prestabilite, un dado di regolazione per aumentare o diminuire la tolleranza tra stampi e rulli così da adattare il macchinario a diversi materiali e delle ruote per poter muovere agevolmente il prodotto.

**Materiale stampo:**  
Ghisa o acciaio inossidabile

**Materiale rulli:**  
Acciaio altolegato, 5560 HRC

**Diametro fori:**  
2,5 - 10 mm

**Tolleranza rulli stampo:**  
0,1 - 0,3 mm

**Capacità:**  
100 Kg - 1 t /h



Fig. 40

Fig. 40: Pellettatrice domestica a trafilatura piana. Motore da 15kW, Production rate pari a 300Kg/h

**COMPONENTI PRINCIPALI**

-  Stampo
-  Rulli
-  Motore
-  Albero di trasmissione
-  Tramoggia
-  Sbocco

**COMPONENTI SECONDARI**

-  Riduttore a ingranaggi
-  Pannello di controllo
-  Lama
-  Dado di regolazione
-  Basamento
-  Ruote

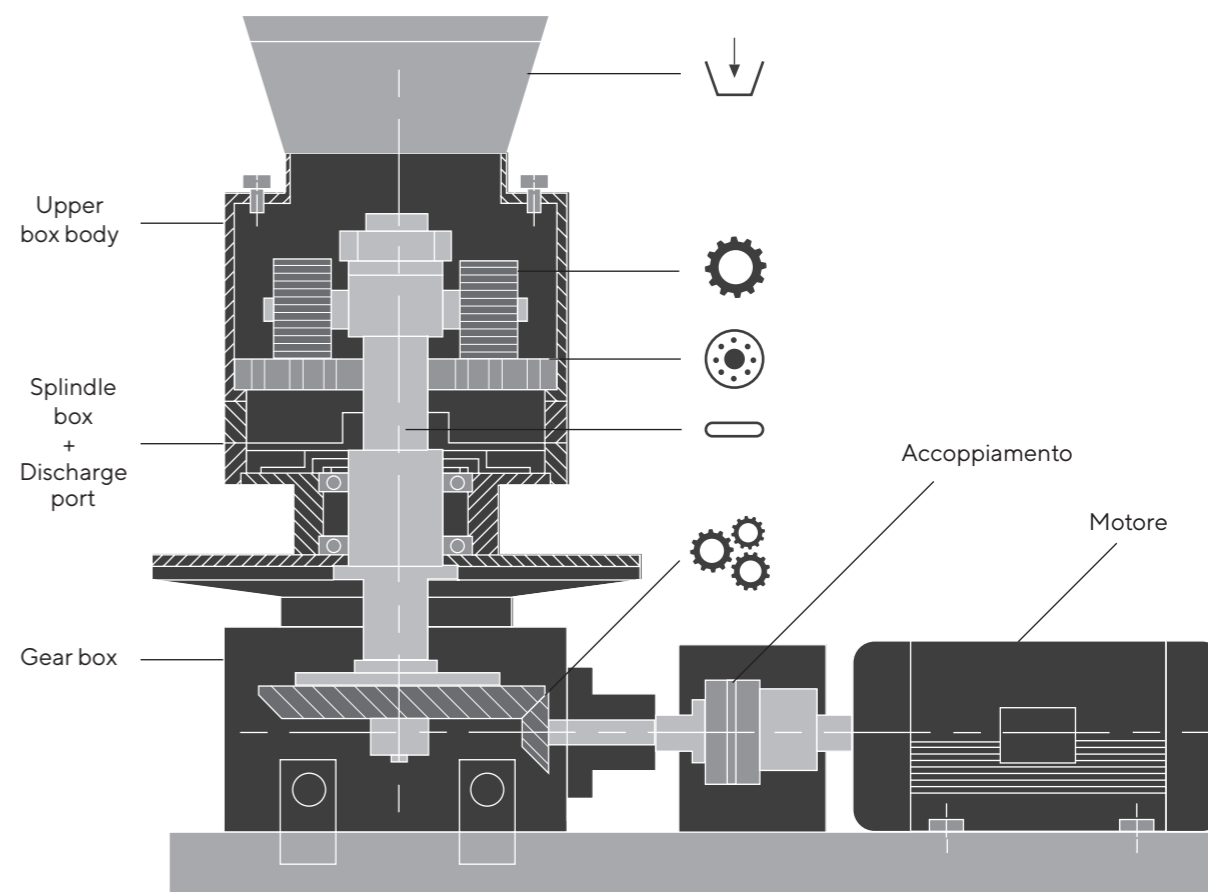


Fig. 41

Fig. 41: Vista in sezione di una pellettatrice in cui sono ben evidenti i componenti principali



**Benchmarking**

SISTEMA VERTICALE

Fascia di prezzo : 400 - 500 €

SISTEMA ORIZZONTALE

Fascia di prezzo : 500 - 1500 €

SISTEMA ORIZZONTALE

Fascia di prezzo : 500 - 1500€

SISTEMA INTEGRATO

Fascia di prezzo : 2000 - 3500€



**KL120L**

**KL125**

**LIMA 230B**

**TZ315**

**Ceccato Olindo**

**EWPM200T**



1,5 Kw

4 Kw

11Kw

15Kw

4Kw

30Kw



103 x 65 x 43

80 x 85 x 40

114 x 97 x 50

130 x 130 x 60

112 x 85 x 70

152 x 121 x 60



95 Kg

75 Kg

280 Kg

450 Kg

135 Kg

600 Kg



40/60 Kg/h

80/100 Kg/h

150/200 Kg/h

200/300 Kg/h

25/35 Kg/h

300/350 Kg/h



407 €

500 €

1000 €

1500 €

2700 €

3400 €

**Pellettatrice a trafilatura anulare**

Questo sistema è caratterizzato da una vite senza fine, un condizionatore, dei rulli, uno stampo anulare, un canale di scarico, un motore elettrico e un sistema ad ingranaggi.

Il motore è connesso agli ingranaggi attraverso un sistema di accoppiamento e gli ingranaggi muovono a loro volta l'albero motore che fa ruotare i rulli all'interno dello stampo ad anello.

Questo sistema ha un'elevata capacità produttiva (da 800Kg a 20t ogni ora) perchè la superficie di contatto tra rulli e stampo ad anello è maggiore. Si tratta di un prodotto con un costo decisamente elevato ma un consumo energetico per

unità inferiore. Il materiale è immesso nella tramoggia e spinto da una vite senza fine, dopodichè viene ammorbidito attraverso l'immissione controllata di vapore che lo lubrifica e migliora la forza adesiva, ottimizzando il risultato finale. Il materiale così processato è immesso nella camera di pellettizzazione dove, grazie alla forza centrifuga, viene spinto all'interno dei buchi dello stampo. L'alta temperatura e l'alta compressione determinano il cambiamento fisico-chimico del materiale.

Quando vengono espulsi dallo stampo diventando dei cilindretti vengono tagliati da una lama e vengono incanalati nel canale di sbocco.

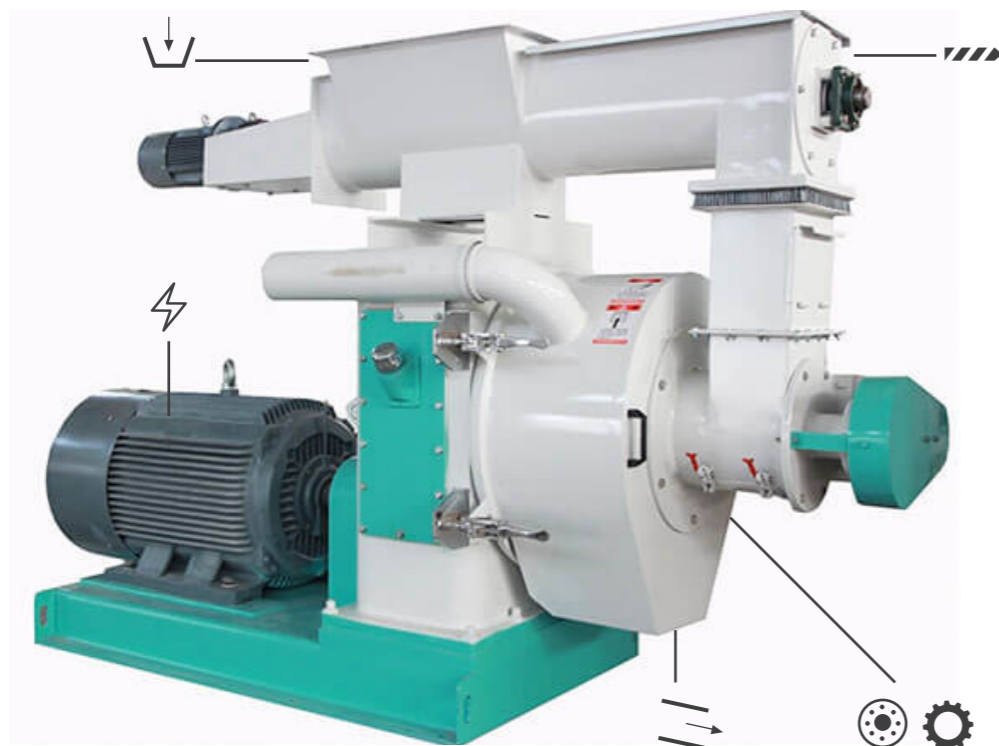


Fig. 42

Fig. 42: Pellettatrice industriale a trafilatura anulare

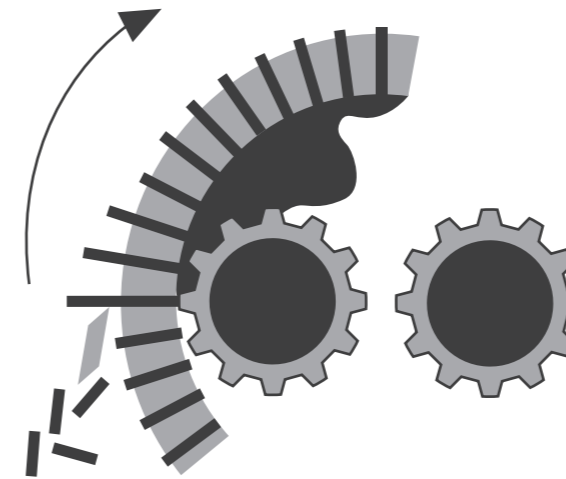


Fig. 43

Fig. 43: Rappresentazione del sistema di compressione tra stampo anulare e rulli

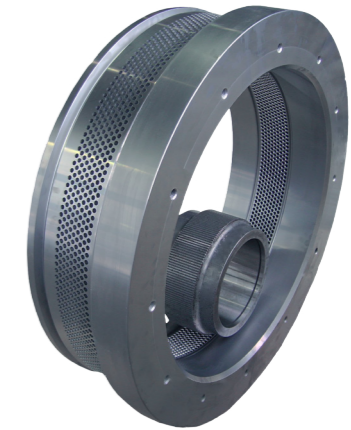






Fig. 44

Fig. 44: Stampo anulare e rullo

**COMPONENTI PRINCIPALI**

-  Stampo ad anello
-  Rulli
-  Motore
-  Vite senza fine
-  Albero di trasmissione

**COMPONENTI SECONDARI**

-  Condizionatore
-  Tramoggia
-  Sbocco
-  Lama

# 3.

## BRIEF

Dopo un'attenta fase di ricerca e un'analisi dettagliata dello scenario si è deciso di realizzare un elettrodomestico che fosse in grado di essiccare e pellettizzare i fondi di caffè in modo da poter essere usati come combustibile in stufe pirolitiche. Lo scenario in cui questo prodotto verrà utilizzato è quello delle attività commerciali (bar, caffetterie, ristoranti ecc..) che hanno l'esigenza di riscaldare un'area esterna adiacente al locale, e che allo stesso tempo producono grandi quantità di fondi che altrimenti verrebbero semplicemente buttati. Questo sistema circolare non solo permetterebbe alle attività commerciali di risparmiare grandi quantità di denaro ma allo stesso tempo aiuterebbe l'ambiente producendo un pellet a km 0 in grado di essere bruciato con una fiamma pulita e senza emissioni grazie alla tecnologia pirolitica.

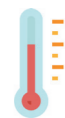


Fig. 45: Moodboard: Macchina da espresso, Stufa a pellet da esterno, Fondo di caffè, Pellet da fondi di caffè



### Umidità

Il grado di umidità dei fondi di caffè si aggira in genere tra il 55 e il 75 %. Questo valore deve essere abbassato fino a circa il 10 - 15 % per avere una buona pellettizzazione



### Temperatura

Il materiale deve raggiungere la temperatura di circa 70 - 80°, temperatura alla quale la lignina si ammorbidisce e agisce come collante, grazie alla frizione tra rulli e stampo



### Sensore

Un sensore deve essere in grado di calcolare l'esatto contenuto di umidità del materiale così da fermare il processo una volta raggiunta la temperatura esatta



### Tempi di essiccazione

I tempi di essiccazione dipendono fortemente dallo spessore della massa. In ogni caso dato che un'attività commerciale produce del nuovo materiale ogni giorno, questo processo dovrà certamente avvenire nell'arco delle 24 ore



### Dimensioni

I fondi di caffè sono un materiale poroso e questo è un bene perché l'aria calda circola all'interno. Per via della consistenza acquisisce però uno spessore variabile



### Consistenza del materiale

Il prodotto deve avere delle dimensioni contenute in relazione alla sua capacità produttiva che sarà di circa 1-1,5 Kg al giorno così da poter essere utilizzato all'interno delle attività commerciali

Tra le opportunità da cogliere nel progetto abbiamo la valorizzazione del prodotto che piuttosto che stare relegato agli spazi retrostanti dovrà cercare di prendere la scena e trovare posto al centro dell'ambiente caffetteria in un'ottica di comunicazione dell'approccio sostenibile che l'azienda ha deciso di adottare e del ridotto impatto ambientale che si ottiene dalla pellettizzazione dei fondi di caffè. Il prodotto dovrà cercare quindi di comunicare con gli utenti e spiegare attraverso il suo design la propria funzione. Le esigenze di chi dovrà amministrare la macchina dovranno

essere tenute in considerazione, così come gli utenti che vi stanno intorno. L'user experience dovrà essere tale da facilitare le modalità di inserimento del caffè (dando la possibilità di travasare tutto il contenuto in una volta) e la manutenzione o pulizia del prodotto. Per ridurre i tempi di essiccazione si potrebbe pensare di movimentare il materiale favorendone una mescolazione. In questo modo si eviterebbe alla necessità di tenerne minimo lo spessore.



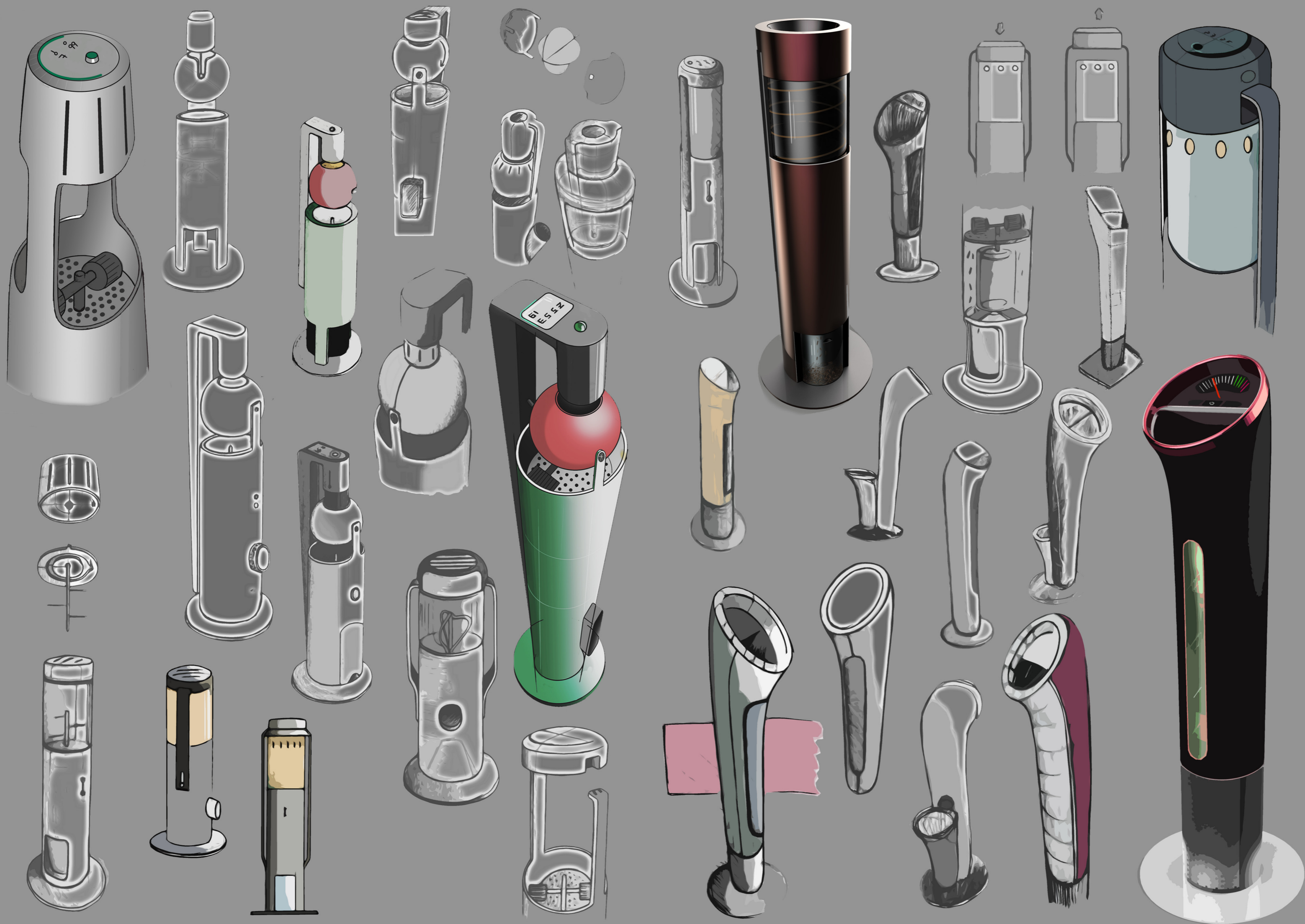
# 4.

## GENERAZIONE DEL CONCEPT

### SCHIZZI PROGETTUALI

Partendo dai requisiti e dai vincoli progettuali si è arrivati alla definizione di un layout e di un concept di prodotto valutando tutte le possibili configurazioni e analizzandone gli aspetti negativi e positivi in relazione alle questioni tecnologiche. Si è provveduto ad una ricerca formale, attraverso numerosi schizzi progettuali, per trovare un'estetica che ben si sposasse con quelle che erano le componenti interne. In questa fase sono stati valutati i bisogni dell'utente e gli aspetti legati all'user experience; si è cercato di mantenere una visione il più ampia possibile così da cogliere ogni opportunità; si è via via fatto convergere le diverse proposte e i diversi spunti in una singola idea di progetto.





## DESIGN INSPIRATION

Volendo dare al prodotto una configurazione verticale, e trattandosi di un oggetto che attraverso un flusso che si articola secondo diverse operazioni trasforma lo scarto del caffè in pellet, si è pensato di utilizzare l'idea del tubo lasciandosi ispirare dal mondo industriale e navale.

Questa tipologia formale appariva la più adatta al mio progetto per diverse ragioni:

- **Si sposa perfettamente con le componenti interne** che si snodano intorno al cuore del progetto, ovvero una matrice circolare.



Fig. 46

Fig. 46: 88 Wood Street - Richard Rogers

- **Agevola l'immissione del materiale** formando una sorta di imbuto grazie alla sua forma che va allargandosi ad una estremità

- **Sul piano semantico rappresenta molto bene l'idea del flusso** dato che il caffè attraversandolo subirà una trasformazione per diventare pellet combustibile.

Il tubo d'altronde è un elemento ricorrente nel design, specialmente nell'architettura, ed è stato spesso utilizzato come elemento stilistico affiancando sapientemente *funzionalità ed estetica*.

Ne è un esempio il design audace e innovativo del **Centro Pompidou** che



Fig. 47

Fig. 47: Centro Pompidou, Parigi

"ha rovesciato l'architettura mondiale" divenendo uno dei simboli dell'architettura del XX secolo.

Il progetto, scelto tra altri 681, fu realizzato dai giovanissimi ed allora sconosciuti **Richard Rogers** e **Renzo Piano** e venne inaugurato nel 1977.

La grande innovazione del Centro Pompidou risiede nello spostamento sull'involucro di elementi statici, impianti, collegamenti, scale, ascensori, ecc. Fino ad allora ogni costruzione anche la più innovativa, aveva cura, se non di nascondere, almeno di non esibire i propri "segreti". Benchè questo si voglia far scaturire da pure esigenze funzionali, si traduce in realtà in una ricerca stilistica. I tubi che si articolano tra di loro, insieme alla scala esterna, presente nel prospetto principale, sono diventati gli elementi più caratteristici dell'intera composizione.

I diversi colori delle tubature esterne, che caratterizzano il design dell'intero edificio, sono differenziati in base al loro utilizzo: quelle gialle per l'elettricità, le rosse per gli ascensori e le scale mobili, verde per l'acqua, blu per l'aria.

Questo tipo di estetica industriale, insieme ad un linguaggio ispirato all'adattabilità e alla trasparenza, sono poi diventati il tratto caratteristico dello stesso Richard Rogers che li ha poi declinati in diverse forme, come nel progetto **88 Wood Street**, un grattacielo commerciale nel cuore di Londra caratterizzato da vetri ultra trasparenti a basso contenuto di ferro che permettono di esprimere al meglio la leggibilità delle componenti interne.

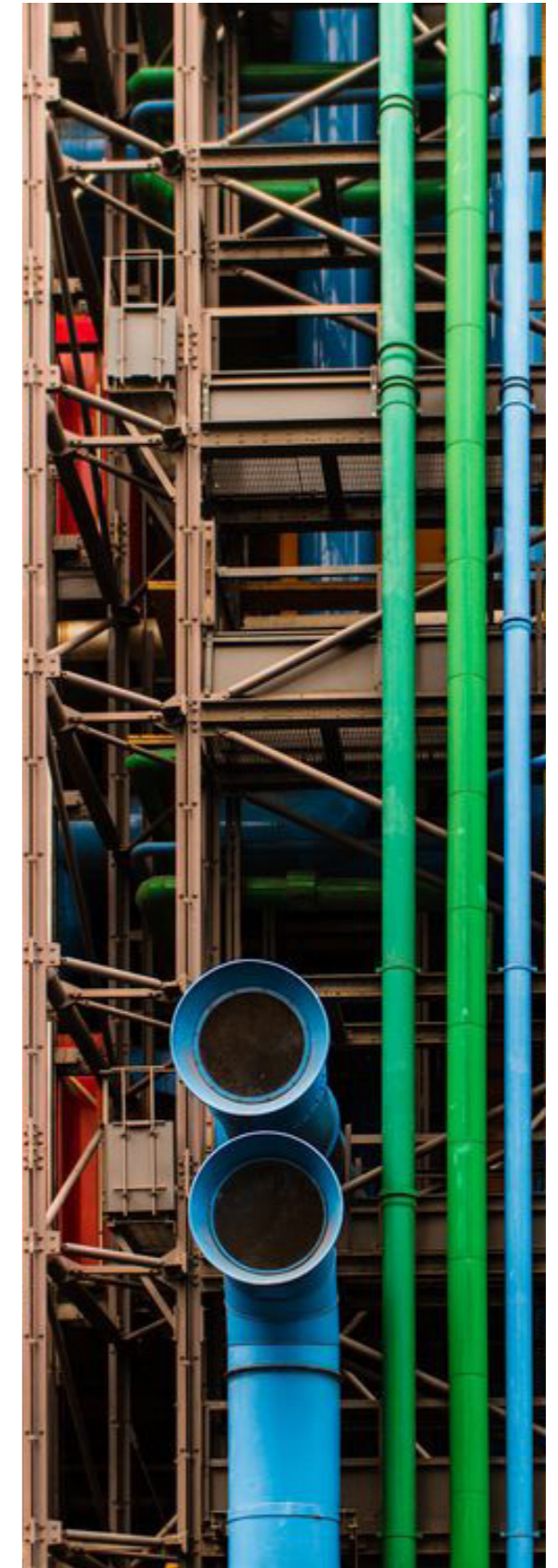


Fig. 48

Fig. 48: Centro Pompidou, Parigi

Dopo aver definito l'idea di base, si è cercato di accompagnare quest'idea ad un'estetica forte che caratterizzasse l'oggetto. Cercando dei riferimenti nel mondo della cultura si è ragionato sul fatto che il prodotto in questione:

- Nasce dal mondo **industriale**
- E' fortemente legato al mondo del caffè, e quindi alla **tradizione**
- E' proiettato verso il **futuro**, trattandosi di un nuovo settore merceologico

Per queste ragioni si è ritenuto lo 'Steampunk' un riferimento ideale e coerente da cui trarre spunti interessanti per applicarli alla progettazione. Ma vediamo di cosa si tratta..



Fig. 49

Fig. 49: Lampada da tavolo in stile Steampunk

### Cos'è lo Steampunk?

Lo steampunk nasce come un filone della **narrativa fantascientifica**, ma non è solamente uno dei tanti suoi sottogeneri; è in realtà una vera e propria corrente dato che coinvolge la letteratura e, per osmosi, il cinema, il comparto delle arti visive, l'ambito della moda e persino il design.

Per comprenderne le coordinate è bene partire dal nome, coniato dallo scrittore K. W. Jeter nel 1987:

Steampunk deriva dall'accostamento di "steam" (vapore, in inglese: la principale fonte energetica della Rivoluzione Industriale) e il genere *cyberpunk*, da cui riprende però solo alcuni temi.

Piuttosto che enfatizzare i temi della distopia informatica, la robotica e la nanotecnologia della narrativa cyberpunk, lo steampunk tende a concentrarsi più attentamente sulla tecnologia (autentica, teorica o cinematografica) dell'era vittoriana, con macchine a vapore, congegni meccanici e a orologeria, macchine differenziali.

**Si presenta dunque come il tripudio della meccanica** in opposizione all'elettronica cyberpunk.

La sua caratteristica principale è quella di introdurre una **tecnologia anacronistica** all'interno di un'ambientazione storica, spesso il XIX secolo e in particolare la Londra vittoriana, o viceversa presentare delle **ucronie** (i "corsi alternativi della storiografia ufficiale") in cui i macchinari e le armi sono ancora azionati dalla forza del vapore e dalla meccanica (se non da congegni ad orologeria), anziché dall'elettronica e dai computer.

Fig. 50: Personaggio di fantasia vestito alla maniera tipica di questo sottogenere letterario



Fig. 50

Fig. 50: Personaggio di fantasia vestito alla maniera tipica di questo sottogenere letterario



Fig. 51

Fig. 51: Occhiali steampunk, da cui è ben visibile il tripudio della meccanica e lo stile Retrò



Fig. 52

Fig. 52: Tipico futuro distopico in cui passato e futuro si mescolano in uno scenario unico





Fig. 53

Un modo per descrivere l'atmosfera steampunk è riassunto nello slogan "come sarebbe stato il passato se una scoperta futura fosse avvenuta prima".

Lo stile Steampunk è **un'estetica che unisce lo stile rétro al riutilizzo di gadget all'apparenza obsoleti, come se provenissero davvero da un passato che "non ha mai avuto luogo"**.

Lo stile steampunk è a metà tra il punk e il gotico riletto in chiave "industriale", ed ha confini non sempre netti. Tra i suoi accessori figurano orologi, fibbie, occhiali protettivi, borchie, maschere in pelle e tutto quanto abbia rotelline o ingranaggi a vista.

Un'altra cosa di cui ho tenuto conto nella definizione dell'estetica del prodotto è l'appartenenza al mondo del caffè, un mondo fatto di aromi e tradizioni. Esiste infatti un universo di prodotti, legati a questa bevanda, da cui poter attingere per degli spunti interessanti.

Se andiamo nel settore degli elettrodomestici di fascia alta un colore spesso utilizzato è il nero, accostato ad un metallo come l'acciaio o il rame. Questo perchè si cerca di comunicare professionalità e qualità, e d'altronde queste colorazioni e materiali sono legate al mondo della caffetteria

Il rame inoltre è un materiale ben presente nell'immaginario di tutti come il materiale dell'utensileria ed è spesso associato al caffè, soprattutto in quegli oggetti più antichi e legati alla tradizione come il macinino o il cezve, il tipico bricco di rame e ottone con il lungo manico per la preparazione del caffè turco.



Fig. 54

Fig. 53: Dispenser cilindrico di chicchi di caffè

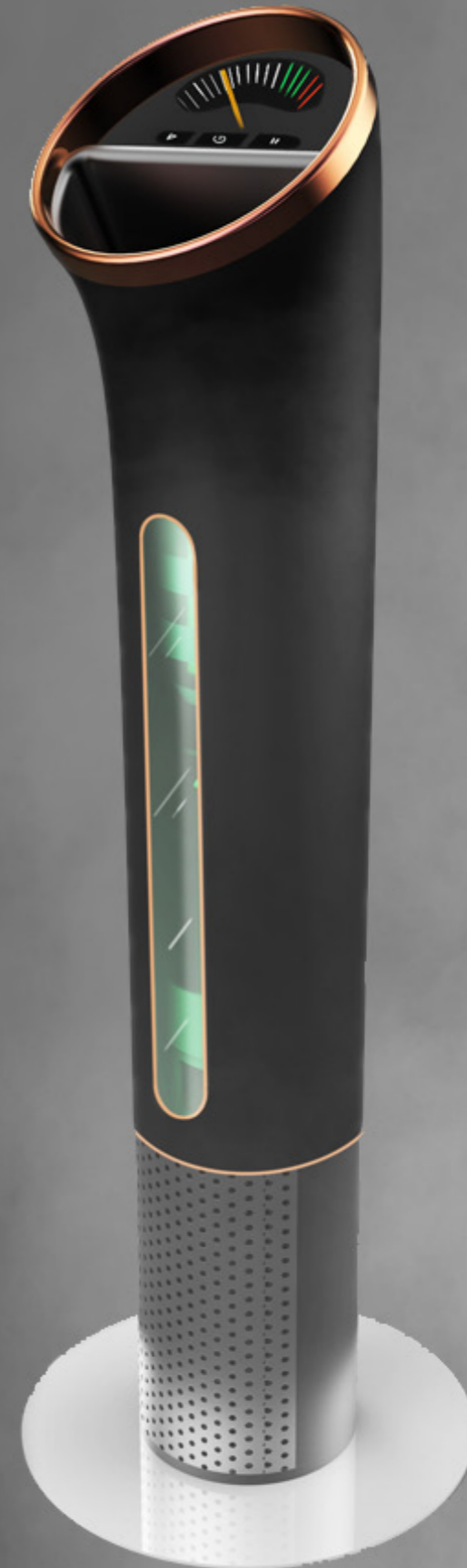
Fig. 54: Macinacaffè



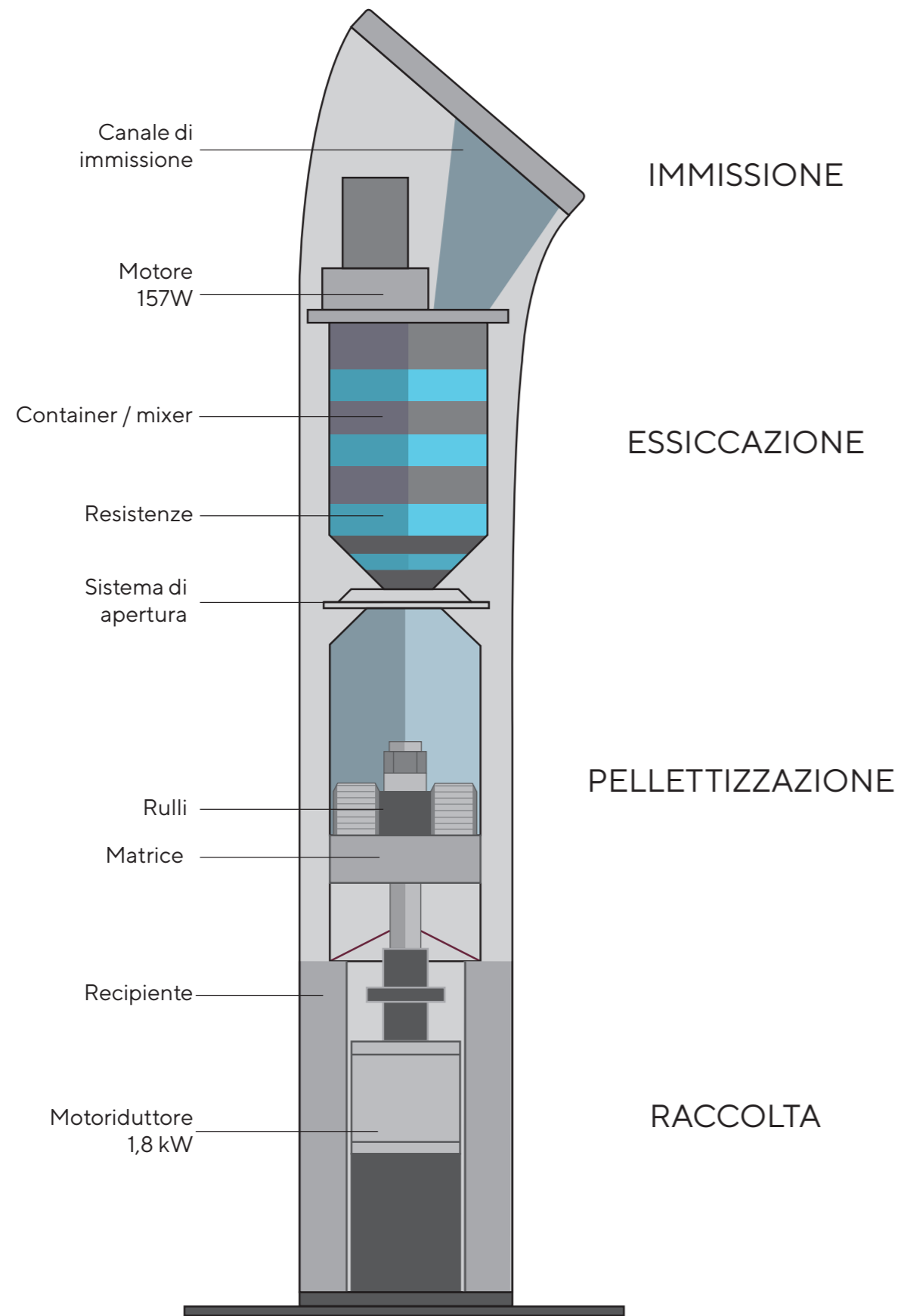
MOODBOARD  
INSPIRATION



*pro***FONDO**  
Coffee Pellet Machine



## LAYOUT DEL PRODOTTO



FONDI DI CAFFE'



Umidità 55-75%



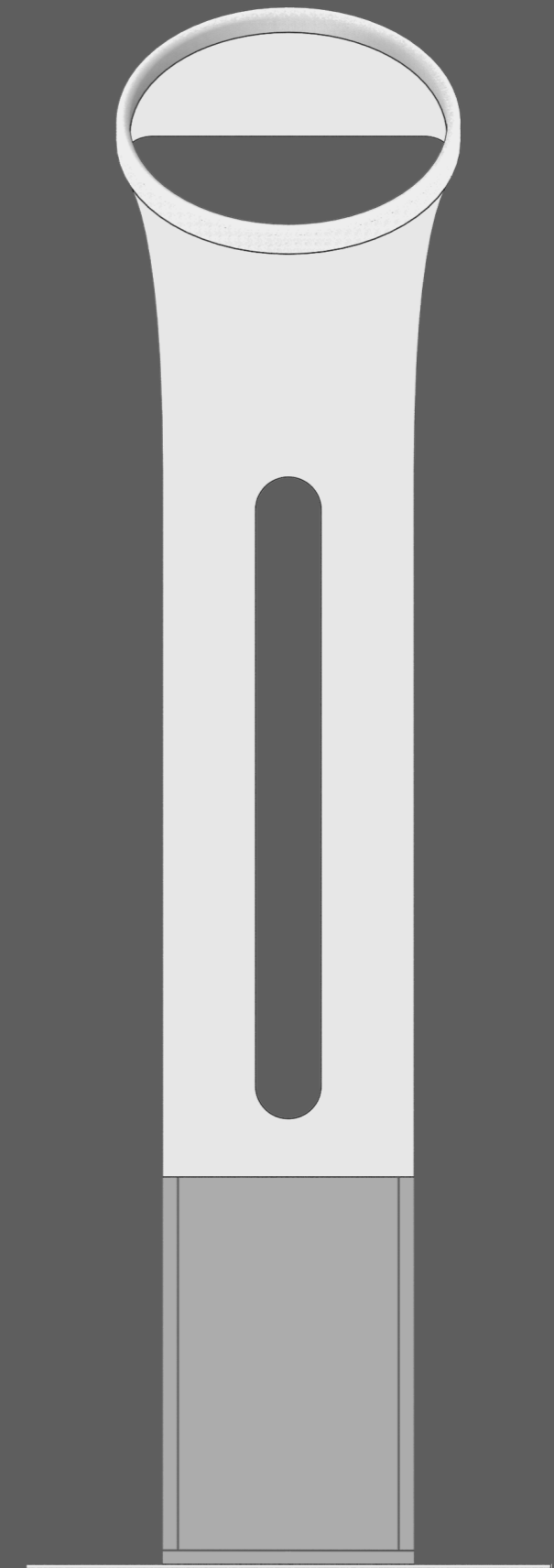
Umidità 10-75%



Umidità 10-15%



PELLET AL CAFFE'



# 5.

## DEFINIZIONE DEL DESIGN

Di seguito verrà spiegata nel dettaglio la configurazione e l'assemblaggio delle varie componenti. Per fare ciò si dividerà ipoteticamente il prodotto in quattro parti, a seconda della loro funzione: immissione, essiccazione, pellettizzazione e raccolta.

La prima parte sarà quindi dedicata all'introduzione del caffè attraverso un apposito canale, e all'interfaccia, si passerà quindi all'essiccazione, dove il caffè verrà mescolato e riscaldato con delle resistenze, così da ottenere una disidratazione dello stesso.

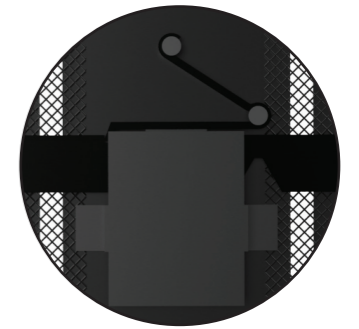
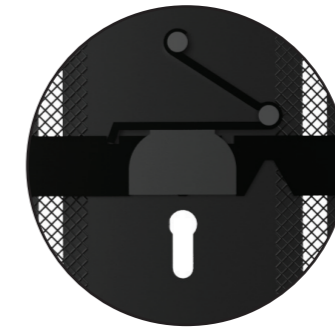
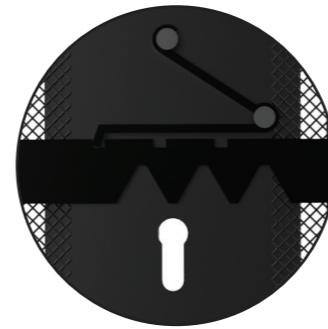
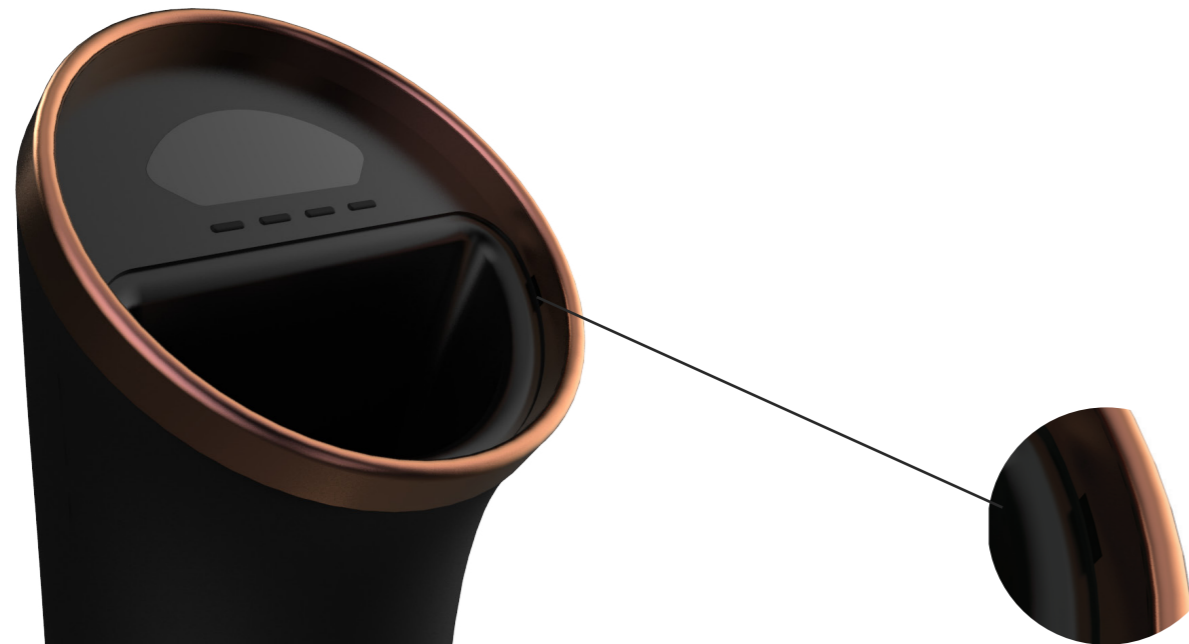
Nella camera di pellettizzazione il caffè viene forzato a passare attraverso i fori della matrice e diventa pellet. Viene infine smistato e raccolto attraverso un apposito cassetto che si trova alla base.



## COPERCHIO ED INTERFACCIA

La parte di interfaccia del prodotto è costituita da un display che comunica le informazioni relative allo stato dei fondi di caffè una volta immessi all'interno. Il sensore di umidità fornisce infatti i dati circa il livello di umidità e la temperatura. Altri dati utili per una corretta *user experience* sono il tempo necessario alla fine del processo e la velocità di rotazione del mixer che può essere aumentata o diminuita.

Per questo motivo l'interfaccia prevede quattro tasti: "start/stop" per avviare o bloccare il funzionamento del prodotto, "mode" per decidere se modificare la velocità di rotazione o la temperatura, "up" e "down" per aumentare o diminuire.



Il coperchio è un elemento necessario per evitare che all'interno del prodotto vengano gettati dei rifiuti compromettendo il funzionamento della macchina. Esso è dotato quindi di una serratura che ne blocca il movimento e impedisce l'apertura.

Il funzionamento è semplice e consiste in un'asta che viene spinta in avanti dalla rotazione della chiave.

L'asta rimane in posizione grazie a una molla che viene sollevata al momento della rotazione della chiave da un elemento mobile che riceve la spinta della chiave e si sposta verticalmente. Un ulteriore elemento protegge il meccanismo e funge da fine corsa della chiave. I due elementi che fuoriescono dal coperchio vanno incastrati negli appositi

alloggiamenti ricavati nell'anello di finitura. Un terzo alloggiamento riceverà l'asta che si muove e fuoriesce non appena si gira la chiave.

## Immissione del caffè

Una volta aperto il coperchio i fondi di caffè vengono versati, attraverso un imbuto che è parte integrante dell'interfaccia, all'interno della camera di pellettizzazione.

I fondi vengono prodotti quotidianamente dai bar e dalle caffetterie. Il cestino dove vengono depositati si trova in genere appena sotto la macchina del caffè, per agevolare l'operazione e aumentare la velocità del barista, che con un gesto risoluto sbatte l'oggetto che li contiene su di una sbarra metallica e li lascia scivolare giù. Il sacchetto viene poi sostituito, in genere a metà mattinata o a fine giornata a seconda della grandezza della caffetteria.

Questi sacchetti vengono poi gettati nell'umido, ma grazie alla pellettatrice possono essere invece riciclati per la produzione di pellet.

La quantità accumulata in una giornata è in genere intorno ai 2 Kg e mezzo. Il contenuto del sacco, una volta riempito, viene quindi versato all'interno del macchinario.

Una volta inserito sul display apparirà il livello di umidità dei fondi di caffè e quindi il tempo necessario alla fine del processo.

Premendo "Start" si dà avvio all'essiccazione e una volta che il caffè avrà raggiunto il giusto livello di umidità andrà a finire in maniera automatica nel cassetto di raccolta.



Fig. 55



## ASSEMBLAGGIO SUPERIORE

La parte superiore del prodotto è un assieme che viene fissato al frame e può essere smontato per svolgere le funzioni di manutenzione.

Gli elementi principali di cui è composto sono il motoriduttore, l'interfaccia/imbuto, l'anello di finitura, la struttura di supporto e la base.

Il **motoriduttore** ha la funzione di muovere il mixer per il mescolamento del caffè durante la fase di essiccazione.

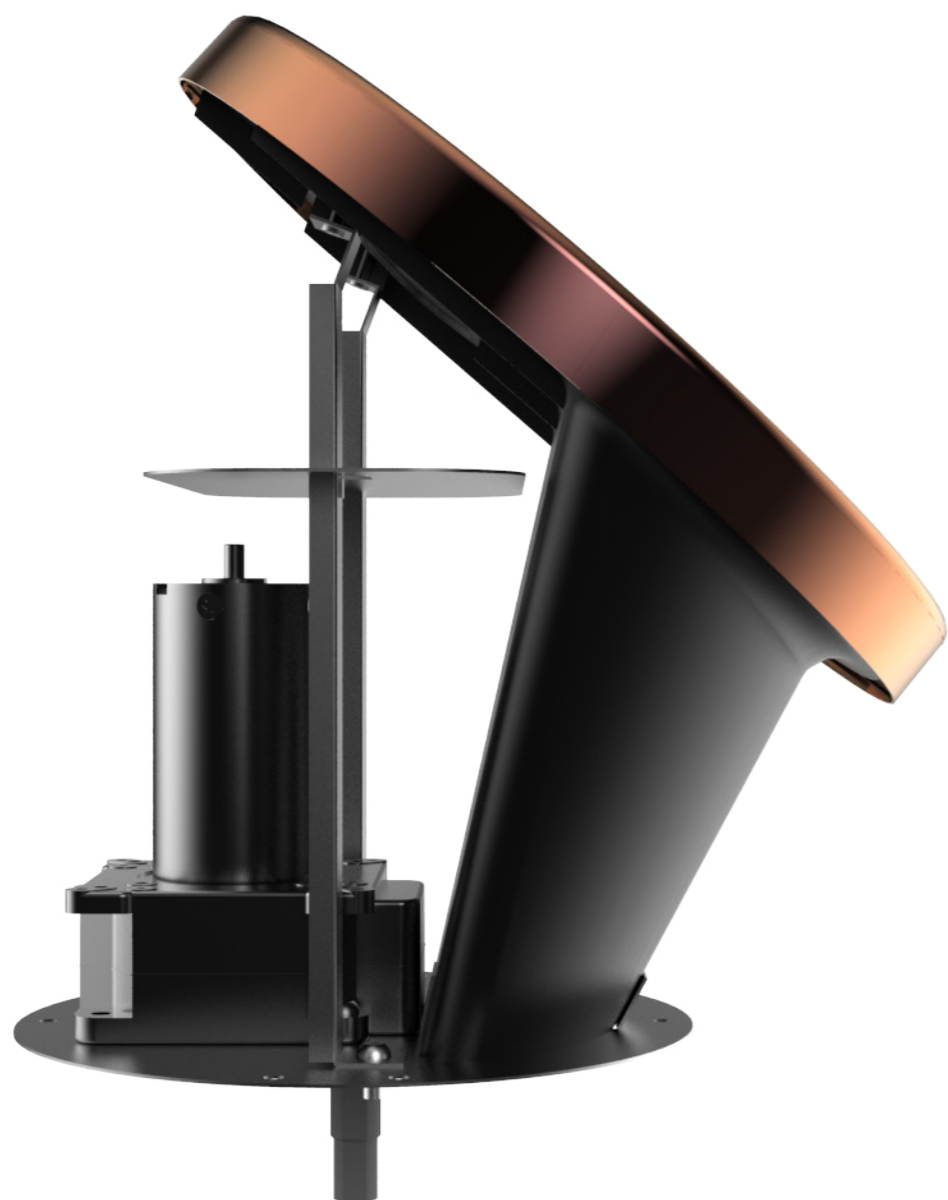
L'**interfaccia/imbuto** contiene il display e i tasti di comando e permette di inserire agevolmente il caffè all'interno della camera di pellettizzazione

L'**anello di finitura** ha una funzione estetica e funzionale perchè rappresenta un dettaglio importante ai fini del design del prodotto, e perchè serve a bloccare il coperchio e permetterne la chiusura.

La **struttura di supporto** serve a sorreggere l'interfaccia e a contenere le componenti elettroniche quali la piattaforma hardware e il controller di velocità

La **base** tiene insieme i vari elementi, bloccando il motore, l'imbuto e la struttura e permettendo all'assieme di essere fissato al frame.

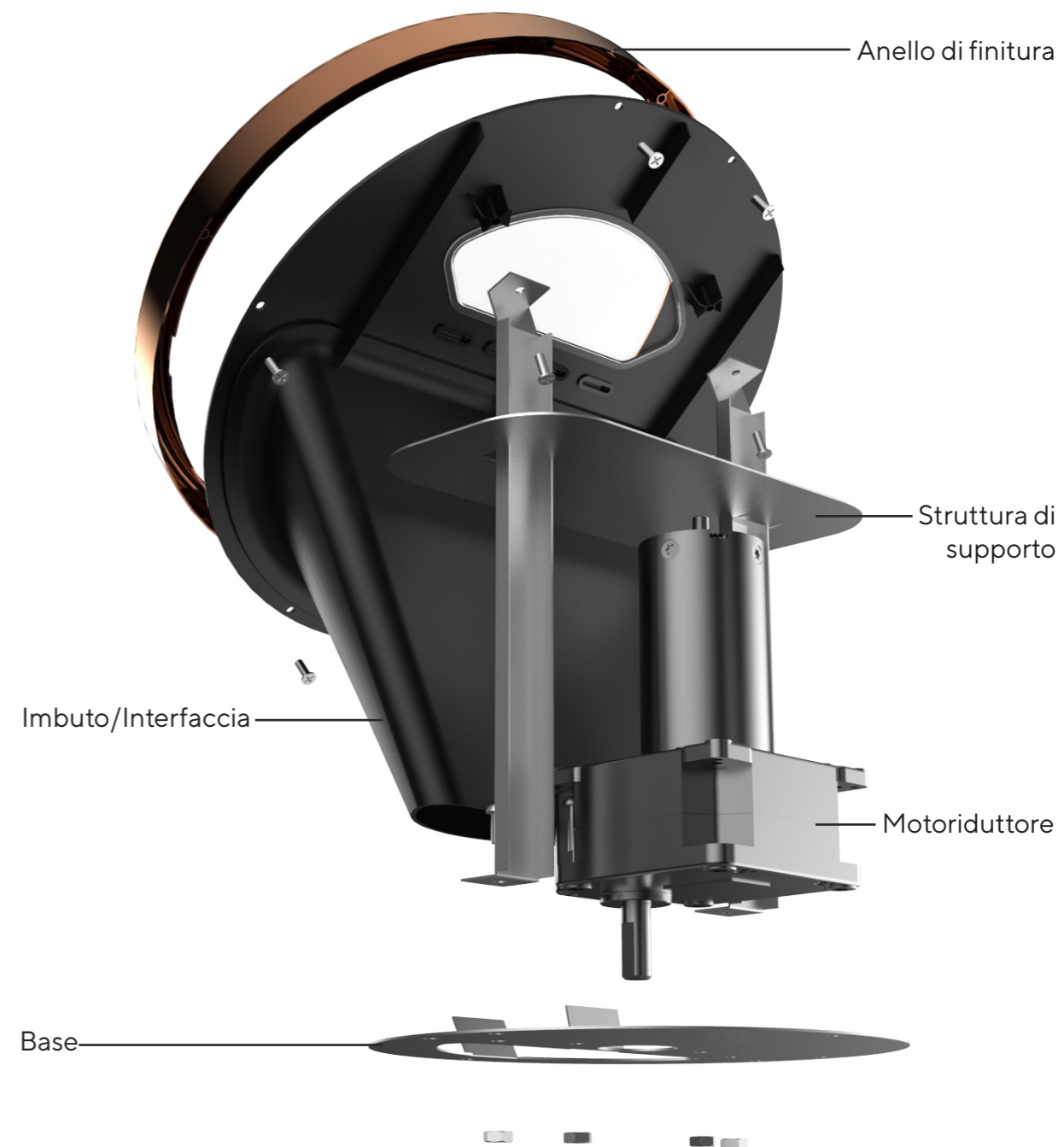
## Side view



Dalla vista laterale è possibile capire la macrodisposizione degli elementi ovvero un motoriduttore fissato alla base che movimenterà il mixer che verrà agganciato al suo albero, un imbuto che funge da canale per il passaggio del caffè e una struttura che sorregge e tiene insieme gli elementi.

## Assemblaggio superiore

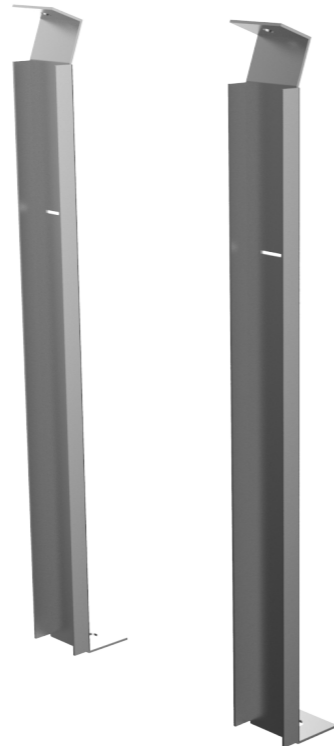
## Esploso



L'esploso rappresenta la maniera in cui i vari elementi verranno assemblati. La struttura di supporto è fissata con delle viti alle nervature presenti all'interfaccia. Lo stesso sistema blocca l'interfaccia all'anello di finitura. La base è invece collegata agli altri elementi con un sistema di dadi e bulloni.

### Elementi di supporto

Questa struttura reggerà la parte di interfaccia, costituita da imbuto e anello di finitura, per mezzo dei due elementi verticali che saranno fissati alla base dell'assieme superiore. Il piano invece si troverà in una posizione intermedia rispetto alle sezioni a C e servirà a sorreggere le componenti elettroniche come la piattaforma hardware e il controller di velocità del motoriduttore.



### Assemblaggio superiore

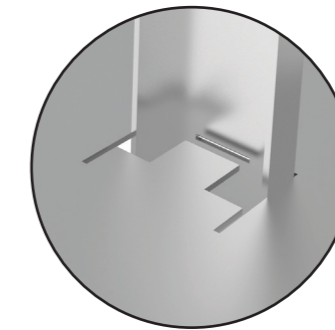
### Sistema di aggancio

Il piano di appoggio presenta due fori (A e B) che servono a fare passare i due elementi verticali. Una volta raggiunta una posizione intermedia gli elementi 'C' e 'D' vengono fatti passare attraverso la sezione a C e si procede dunque con un'operazione di piegatura che ha lo scopo di bloccare gli elementi.

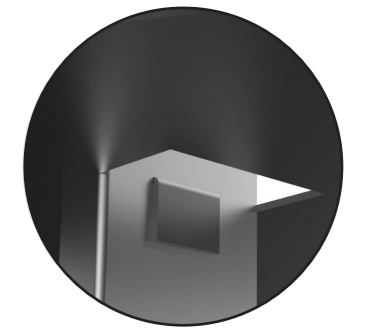
I fori del piano sono localizzati su parti opposte dell'asse di simmetria così che gli elementi vengono piegati in due direzioni diverse dando stabilità alla struttura.



STEP 1



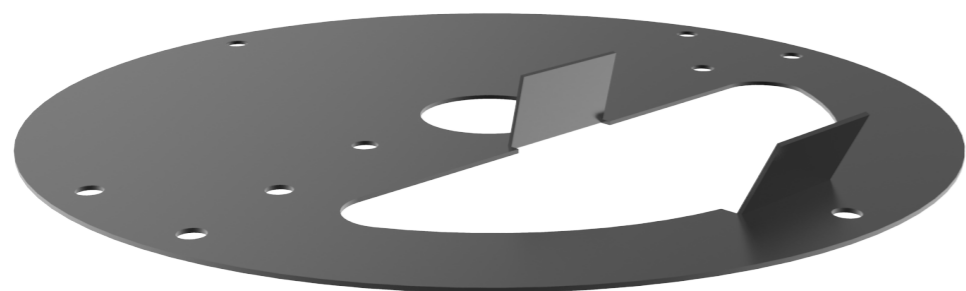
STEP 2



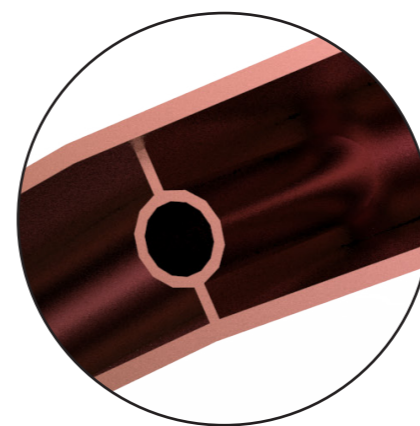
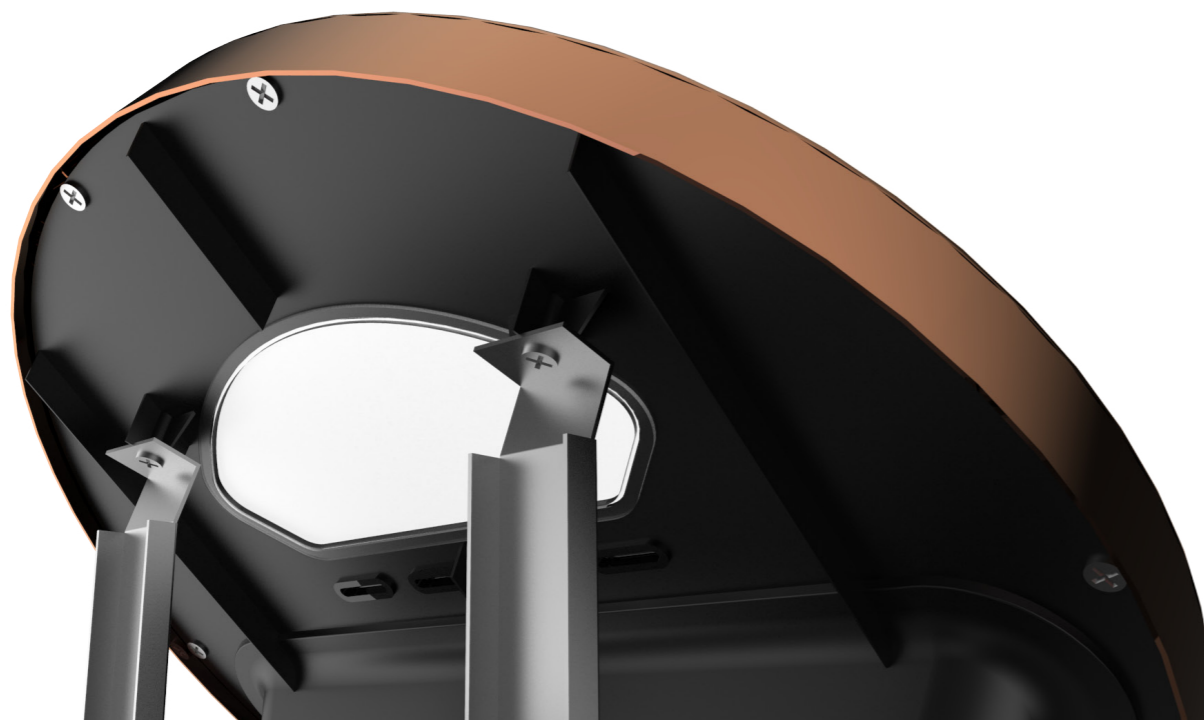
STEP 3



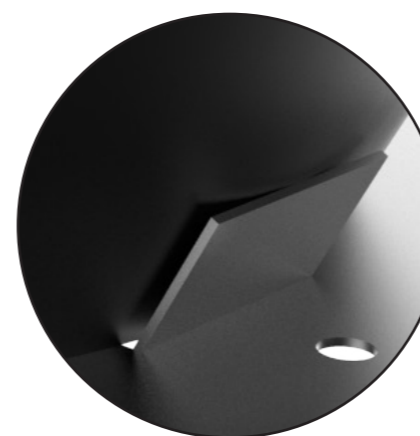
**Dettagli di assemblaggio**



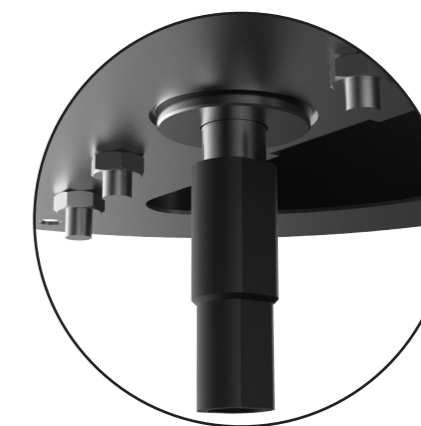
La base è forata e presenta delle pieghe che seguono la forma dell'imbuto/interfaccia. Dall'immagine sotto si possono notare i dettagli delle nervature che ospitano le viti di assemblaggio. Inoltre è visibile la copertura del display in materiale trasparente e i tasti di controllo



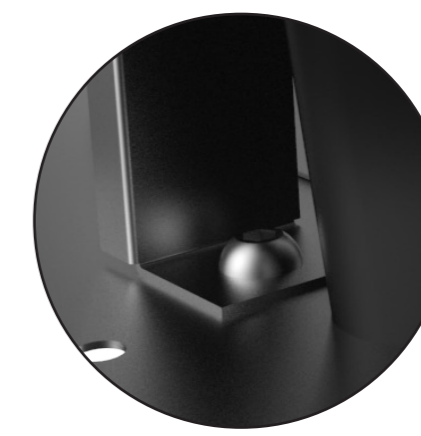
Le nervature nell'anello di finitura permettono di assemblare questo elemento direttamente all'interfaccia per mezzo di viti



Gli elementi di piega nella base servono a vincolare geometricamente l'imbuto impedendone la rotazione



Nell'albero in uscita del motoriduttore viene agganciato un connettore per permettere l'assemblaggio del mixer attraverso un sistema maschio/femmina



La sezione a C è fissata alla base, precedentemente forata, grazie a un sistema dado-bullone

Assemblaggio superiore

### Selezione del motoriduttore

La potenza consumata da un mixer durante il processo di mescolamento dipende dalla velocità di rotazione e dalle caratteristiche del materiale da miscelare, in particolar modo dalla coesione del materiale.

Questa va ad influire su variabili come la densità apparente della miscela, dipendendo dalla dimensione e forma delle particelle e dalle forze esistenti tra i vari granuli tra cui:

**Forze di van der Waals** attrattive e repulsive dovute ad interazioni intermolecolari;

**Forze elettrostatiche:** generate dal contatto tra corpi con differente potenziale elettrico;

**Forze capillari:** dovute alla presenza di un menisco di liquido tra le particelle e che presenta una tensione superficiale.

In letteratura sono presenti precedenti studi per trovare correlazioni tra potenza richiesta per il mixing e caratteristiche del materiale.

In particolare è stato molto utile il lavoro di ricerca di S. Masiuk denominato *Power consumption, mixing time and attrition action for solid mixing in a ribbon mixer* (1987) in cui viene analizzato il comportamento di un miscelatore alimentato con granuli di sabbia di dimensioni comprese tra 0.3 e 0.385 mm, a **velocità di rotazione, umidità e load ratio** variabili, trovando così correlazioni empiriche tra la potenza e tali variabili.

Avendo la sabbia un peso specifico (1500 Kg /m<sup>3</sup>) superiore rispetto ai fondi di caffè (365,18Kg/m<sup>3</sup>), e una simile granulometria sono state utilizzate queste correlazioni per stimare la coppia necessaria per il mescolamento dei fondi di caffè.

Definendo il load ratio come:

$$\varphi = \frac{M}{M_0} \quad (1)$$

e in presenza di umidità come:

$$\varphi_w = \frac{M + W}{M_0} \quad (2)$$

Con:

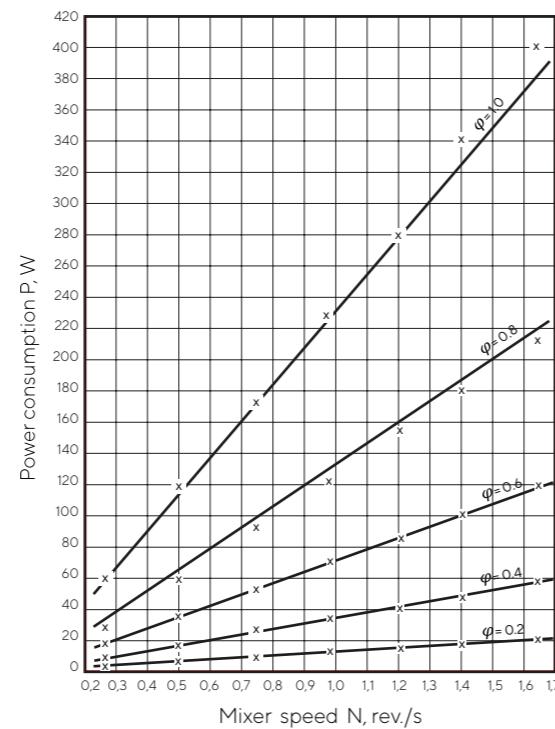
$M$  = massa asciutta di materiale caricata [Kg];

$W$  = massa di acqua caricata [Kg];

$M_0$  = capacità totale [Kg];

Con questo studio, sono state trovate le seguenti leggi:

$$\frac{P}{N} = 63.566 \cdot e^{[1.286(\log\varphi + \varphi)]}$$



Partendo dalla quantità di 1,5 Kg, che corrisponde a 220 caffè giornalieri, ovvero un valore superiore rispetto alla media di 1,2 Kg, e considerando la per

centuale di umidità presente nei fondi di caffè (circa il 75%), ho calcolato il load ratio secondo l'equazione 2.

Volume container = 5,7L

$M = 1,5 \text{ Kg} = 1,9 \text{ L}$  (per misurazione)

$W = 1,5 \times 75 / 100 = 1,125 \text{ Kg}$

$1,5 \text{ Kg} : 1,9 \text{ L} = M : 5,7 \text{ L}$

$M = 1,5 \text{ Kg} \times 5,7 \text{ L} / 1,9 \text{ L} = 4,5 \text{ Kg}$

$$\varphi = \frac{1,5 \text{ Kg} + 1,125 \text{ Kg}}{4,5 \text{ Kg}} = 0,6$$

Una volta trovato il load ratio vado ad individuare nel grafico la retta corrispondente al valore 0,6. A questo punto scelgo arbitrariamente sull'asse delle ascisse il valore di 1 rev/s, per quanto riguarda la velocità del mixer, e seleziono il valore corrispondente di potenza **P** sull'asse delle ordinate.

Conoscendo questi due parametri posso a questo punto calcolare la coppia **T** necessaria per mescolare la mia massa sfruttando la seguente formula:

$$T = P / \omega$$

Dove  $\omega$  è la velocità angolare in radianti al secondo

$$1 \text{ rev/s} = 2 \text{ PI} = 6,28 \text{ rad/sec}$$

$$T = 70 \text{ W} / 6,28 = 11,14 \text{ N.m}$$

## Immissione del caffè



### SPECIFICHE MOTORE

Produttore:	<b>KELVIN</b>
Modello:	<b>K200 / 1.25.058.201</b>
Rated Voltage:	<b>24 v</b>
Power:	<b>157W</b>
Typology:	<b>Brushless gear motor</b>
Input Speed:	<b>3200 rpm</b>
Gear ratio:	<b>56.34:1</b>
Output speed:	<b>57 rpm</b>
Rated torque:	<b>17.5 Nm</b>

## PROCESSO DI ESSICCAZIONE

Una volta che il caffè viene versato per mezzo dell'imbuto, finisce all'interno della camera di essiccazione, ovvero un container metallico riscaldato da **resistenze flessibili** che avvolgono le sue pareti.

Un **mixer**, agganciato al motore che si trova nella parte superiore, mescola il caffè e garantisce l'uniformità del riscaldamento.

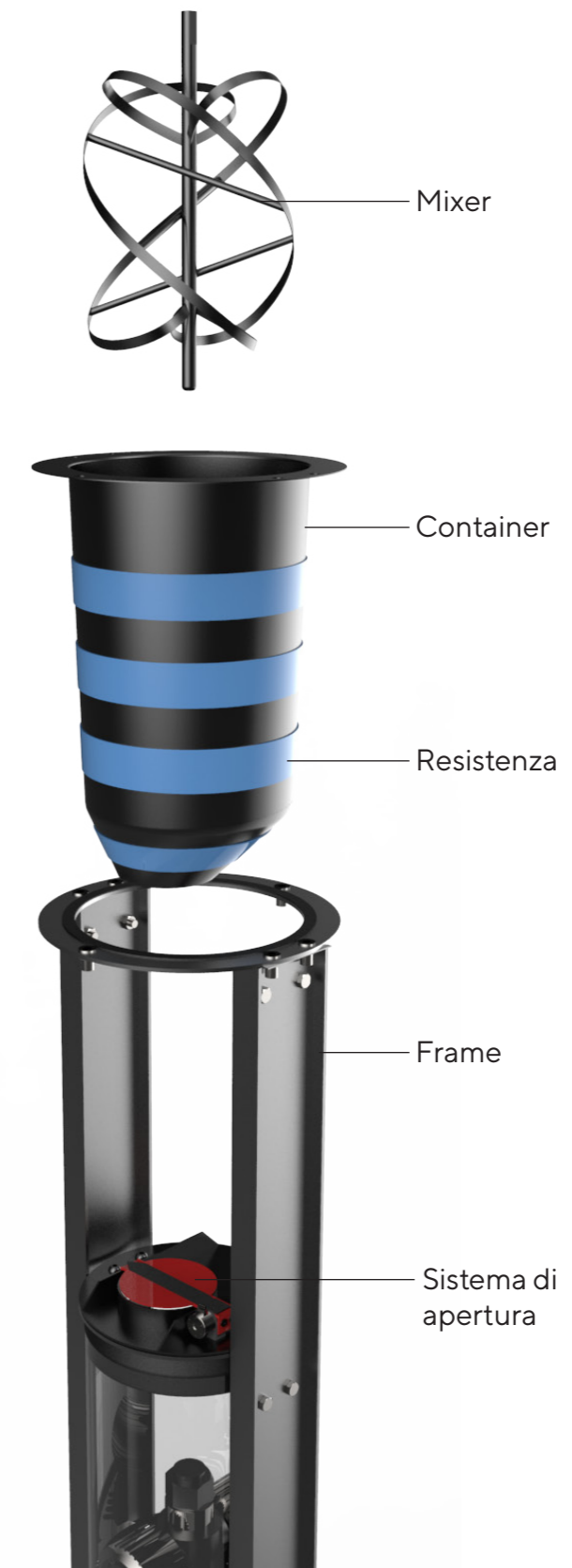
Il container è chiuso nella parte inferiore da un **diaframma** che si apre non appena viene raggiunto il corretto livello di umidità. Il caffè quindi scende nella camera di pellettizzazione dove verrà trasformato ulteriormente.



Il livello di umidità dei fondi di caffè all'inizio del processo è pari al 55-75% e verrà abbassato fino al 10-15%.

Il container viene fissato direttamente al frame e può essere rimosso per la manutenzione estraendolo in maniera verticale, dopo aver scollegato il sottoassieme della parte di immissione precedentemente analizzato.

## Esploso



## Resistenze

Per il riscaldamento del caffè sono state utilizzate delle resistenze flessibili in silicone, perchè queste permettevano di adattarsi alla forma cilindrica del container così da riscaldarlo dall'esterno.

L'elemento riscaldante, (filo o lamina) viene impresso tra due layer di Silicone o PTFE all'occorenza, per assicurare un riscaldamento molto intenso delle applicazioni in un ingombro ridotto. I fogli isolanti di silicone, infatti, sono spessi 0,8 mm e garantiscono un'ottima efficienza e distribuzione termica.

I riscaldatori possono avere un lato adesivo o essere direttamente vulcanizzati su supporti metallici, inoltre possono essere preformati

Gli etched foil in silicone garantiscono un ciclo di vita praticamente infinito e sono realizzati per un ampio intervallo di temperature da  $-60^{\circ}\text{C}$  a  $+270^{\circ}\text{C}$ . Garantiscono affidabilità funzionale e operativa e riducono al minimo le spese di manutenzione e riparazione.



Fig. 57

## Vantaggi

- Estremamente flessibili e sottili
- Elevato trasferimento di calore
- Omogenea distribuzione di calore
- Completamente customizzabile
- Possibili forme piatte, cilindriche o concave
- Facilità di installazione



Fig. 56

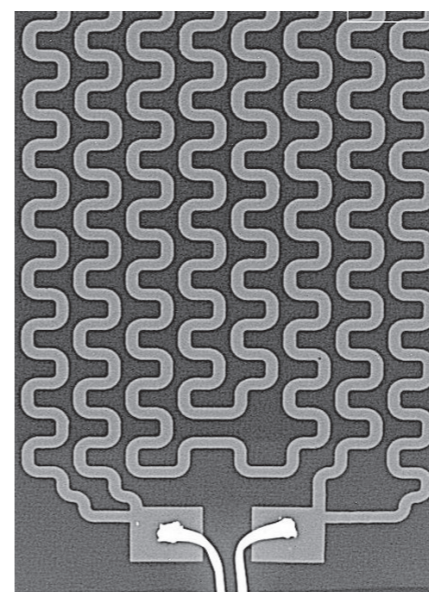


Fig. 58

## Specifiche tecniche

Model number: SRFGA-118/\*-P  
 Dimensioni: 30mm x 460 mm  
 Potenza: 90W  
 Volt: 120Vac  
 Tolleranza:  $\pm 1$  mm  
 Spessore: 1mm  
 Raggio di curvatura: 10mm  
 Densità energetica: 5 W/cm<sup>2</sup>  
 Conducibilità termica a  $+100^{\circ}\text{C}$ : 1W/mK  
 Standards: UL, EN 45545, EN 50264, EN 50306, FDA, IP67  
 Range di temperature: da  $-56^{\circ}\text{C}$  a  $149^{\circ}\text{C}$

Fig. 58: Lamine metalliche tra i fogli di silicone

## Processo di essiccazione

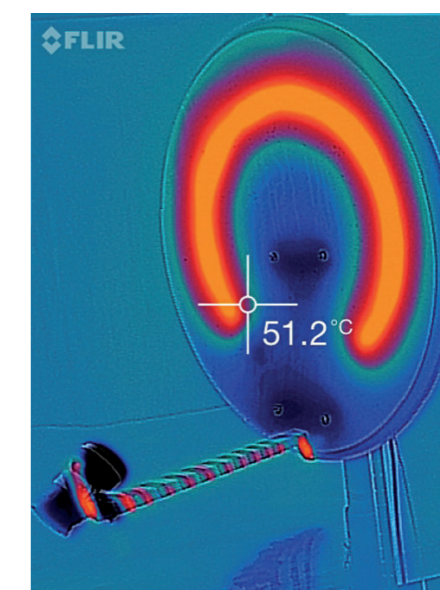


Fig. 59

## Metodi di fissaggio

Meccanico (molle, velcro)  
 Adesivo standard (fino a  $160^{\circ}\text{C}$ )  
 Adesivo speciale (fino a  $220^{\circ}\text{C}$ )

## Opzioni

Corrente diretta  
 Cavo di alimentazione  
 Sensore di temperatura  
 Limitatore  
 Termostato  
 Selezione del colore

Fig. 59: Termografia - distribuzione omogenea del calore

Fig. 56: Hotform Silicon Heating Elements

Fig. 57: Applicazione delle resistenze al container

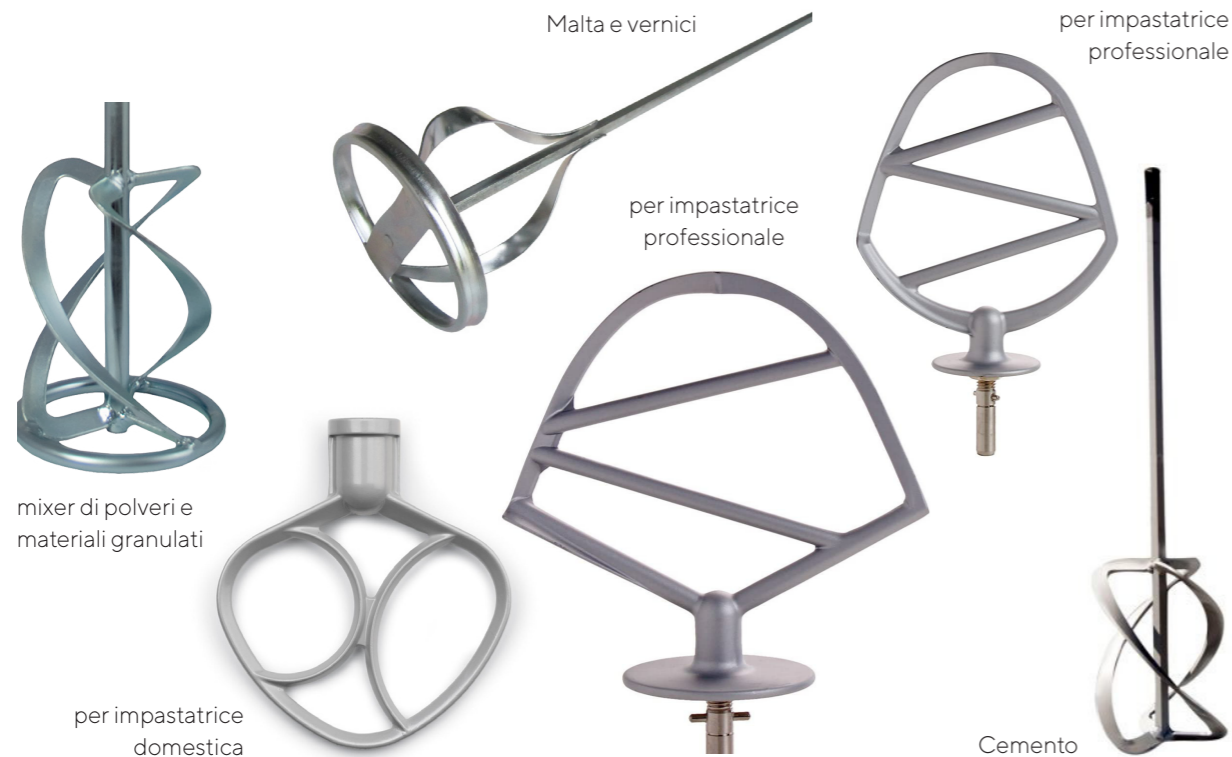


Fig. 60

## Mixer

Per la progettazione del mixer è stata compiuta una indagine di mercato cercando di ottenere una sintesi da tutte le tipologie che è possibile trovare. In particolare sono stati individuati due tipi principali: i **mixer delle impastatrici** (professionali e domestiche) e quelli per il **mescolamento di materiali fluidi, in polvere o granulati** come i cementi, le malte o le vernici.

La prima tipologia viene utilizzata nelle cucine per realizzare degli **impasti** che notoriamente sono molto densi, l'elemento mescolante ruota rimanendo fermo sul suo asse o compie piccoli spostamenti e si compone di diverse par-

ti che giacciono tutte sullo stesso piano. In genere è costituito da un elemento che fa da contorno, e da altri che si intrecciano all'interno. I materiali sono in genere plastica o metallo.

La seconda tipologia è in genere costituita da componenti che si muovono a **spirale** in uno spazio a tre dimensioni intrecciandosi tra di loro.

Questi mixer sono in metallo e di solito abbastanza lunghi perchè invece di essere montati a degli elettrodomestici sono agganciati a dei **miscelatori manuali**, quindi chi lo utilizza ha la possibilità di muoverlo a piacimento all'interno del container.

Dato che il prodotto che vado a realizzare appartiene a un nuovo settore merceologico si è cercato di progettare un mixer specifico unendo gli aspetti positivi delle diverse tipologie analizzate.

La tipologia di mixer per miscelatori manuali sembrava quella più adatta dato che viene utilizzata proprio per quei **materiali granulati** come i fondi di caffè.

Gli elementi a spirale d'altronde favoriscono un mescolamento **dal basso verso l'alto** ma non hanno intrecci all'interno quindi il caffè che si trova al centro non verrebbe movimentato abbastanza dato che il mixer nel mio caso avrà delle dimensioni maggiori rispetto all'originale.

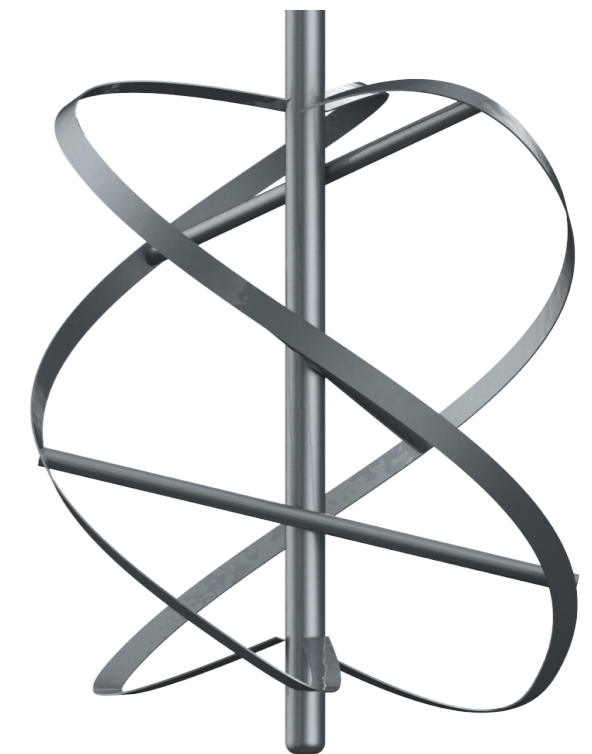
## Processo di essiccazione

Viceversa quello utilizzato per impastatrici e planetarie non favorisce lo spostamento dal basso verso l'alto ma agevola il movimento **dall'interno all'esterno** grazie ai componenti che si intrecciano dentro il contorno.

Per cui unendo agli elementi a spirale delle barrette interne ho progettato il mixer che appariva più adatto rispetto alle esigenze del mio prodotto.



Top view



Front view

## SISTEMA DI APERTURA

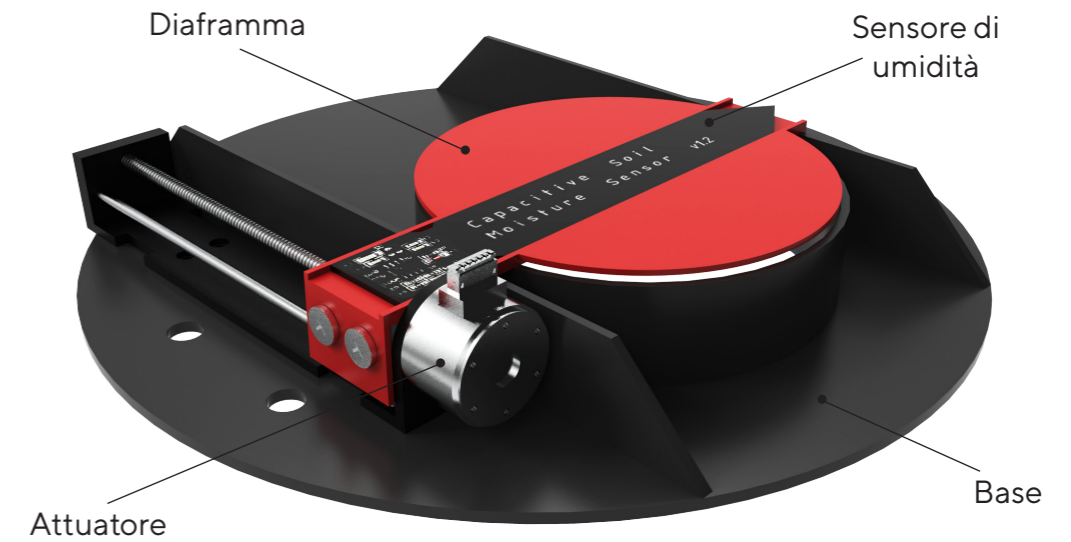
Il prodotto è fatto in maniera tale da permettere il passaggio del caffè in maniera automatica dalla camera di essiccazione a quella di pellettizzazione.

Alla base di questo processo vi è un sensore di umidità che comunica con la piattaforma hardware circa la temperatura del caffè e la quantità di acqua presente. Al momento opportuno l'attuatore montato alla base riceve un impulso e si aziona trasformando la rotazione del suo albero in un movimento lineare del diaframma a cui è collegato, grazie ad un sistema di scorrimento a vite che permette l'apertura del canale.



Fig. 61

Fig. 61: Discesa del caffè all'interno della camera di pellettizzazione a seguito dell'apertura del diaframma azionato da un attuatore lineare

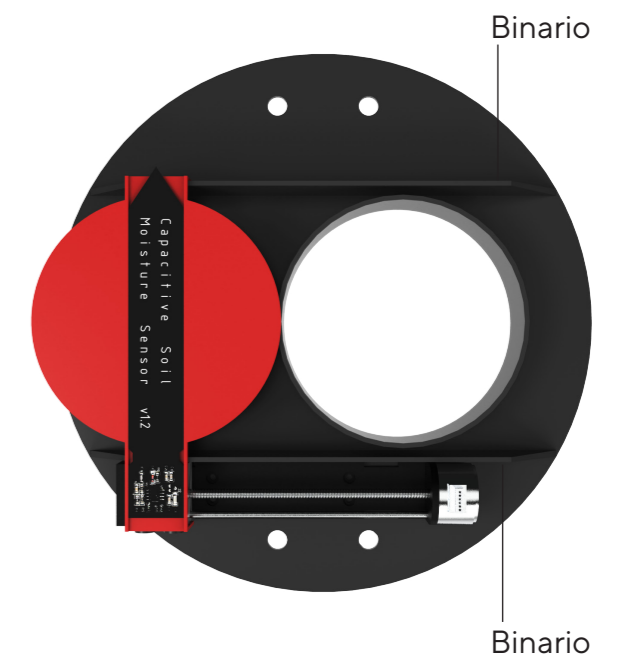


### Meccanismo

Il sistema di apertura è composto da un diaframma che scorre tra i due binari su cui è fissato per mezzo di un attuatore lineare che aprendo il passaggio permette al caffè di scendere giù.

L'attuatore si aziona non appena è stato raggiunto un livello di umidità pari al 10-15%. Il sensore è posizionato in un alloggiamento del diaframma così da entrare in contatto diretto con il materiale umido e rilevare in modo corretto la quantità di acqua presente.

L'elemento di supporto a cui sono fissati i componenti e su cui sono presenti i due binari, è a sua volta reso solidale al frame del prodotto grazie ad un sistema di fissaggio dado/bullone.



## Sensore di umidità

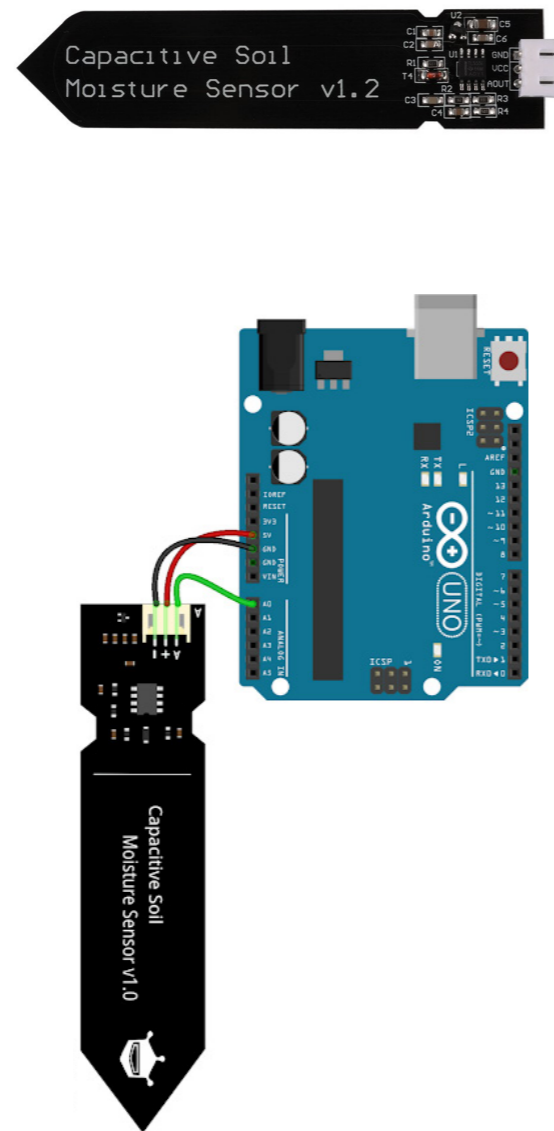
Per la rilevazione dell'umidità è stato utilizzato un **sensore capacitivo** che viene fissato al diaframma. Questo tipo di sensore, rispetto a quello resistivo, possiede il vantaggio di non avere parti metalliche direttamente a contatto con il terreno umido, risultando quindi molto meno soggetto alla corrosione.

Il principio su cui si basa è la variazione della **permettività elettrica** del materiale dielettrico al variare dell'umidità. Dal punto di vista costruttivo è costituito da un condensatore, tra le cui armature viene inserito un opportuno materiale dielettrico la cui **costante dielettrica** varia con l'umidità. Il metodo più comunemente utilizzato per la fabbricazione di questo sensore consiste nell'utilizzo di una pellicola di **polimero igroscopico** (impiegato come dielettrico) alle cui estremità vengono depositati gli elettrodi delle armature.

I vantaggi dei sensori di umidità capacitivi sono numerosi; tra questi possiamo citare i seguenti: tensione di uscita pressoché lineare, elevata stabilità di funzionamento nel tempo, ampia gamma di misura RH e costo contenuto. Occorre comunque tenere in considerazione che il sensore di umidità capacitivo, per sua natura, non deve essere posizionato troppo distante dal circuito elettronico di controllo.

Viene utilizzato soprattutto in applicazioni in cui costo, ingombro e robustezza sono dei requisiti obbligatori.

Il sensore è fornito di tre cavi, due per l'alimentazione (positivo e negativo) e un terzo per la lettura del segnale su un ingresso analogico, cosichè è abbastanza semplice collegarlo ad Arduino come in figura.



### SPECIFICHE TECNICHE

Modello: V1.2 S93818

Tensione di funzionamento: CC3.3-5.5V

Tensione in uscita: CC0-3.0V

Interfaccia: PH2.0-3P

Dimensione: 99x16mm/3.9x0.63

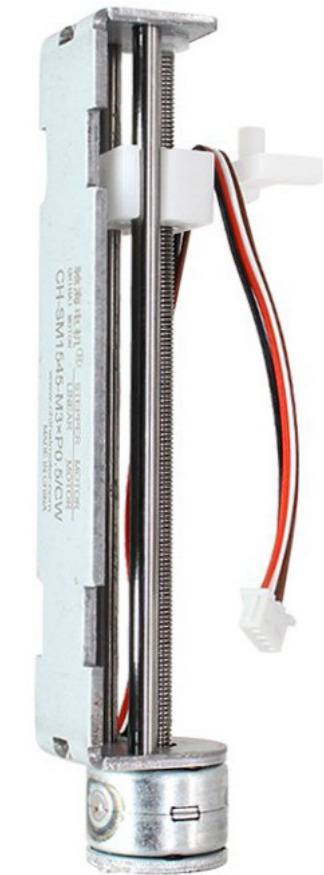
## Attuatore a scorrimento lineare

L'attuatore lineare è necessario allo scorrimento del diaframma sui due binari.

Questo funziona grazie ad una vite senza fine che ruota grazie ad un piccolo motorino che si trova all'estremità. Alla vite è poi vincolato un elemento mobile che sfrutta la rotazione per compiere uno spostamento lineare.

Sul pezzo mobile dell'attuatore viene poi fissato il diaframma che determina l'apertura e la chiusura della camera di essiccazione.

In questo caso abbiamo quattro cavi (nero, rosso, bianco, marrone) che verranno connessi ad arduino per l'alimentazione e per il controllo del suo movimento. L'attuatore è poi fissato alla base per mezzo di giunzioni meccaniche



### SPECIFICHE TECNICHE

Motor type: 2 phase 4 wire

Driving Voltage: DC 4-9V / 500mA

Step Angle: 18 degrees

Screw Length: 90mm / 3.5"

Screw Diameter: 3mm / 0.1"

Slider Width: 15mm / 0.6"

Effective Stroke: 80mm / 3.1"

Screw Pitch: 0.5mm / 0.02"

Stage Size: 105 x 15mm / 4.31" x 0.59"

Speed: maximum 25mm/s

## PELETTIZZAZIONE

Il caffè dopo essere sceso all'interno della camera di pellettizzazione viene forzato a passare attraverso i fori della matrice grazie all'azione dei rulli che lo comprimono. In questo modo la sua temperatura aumenta per via della forte frizione e raggiunge i 70-80°C.

A questo punto la lignina contenuta nei fondi di caffè si ammorbidisce e agisce come collante. Una volta uscito dai fori il caffè sarà trasformato in pellet mantenendo la sua caratteristica forma cilindrica e un'adeguata rigidità. La matrice viene inserita all'interno di un container metallico che servirà allo smistamento dei pellet e passerà attraverso l'albero motore che farà girare i rulli.

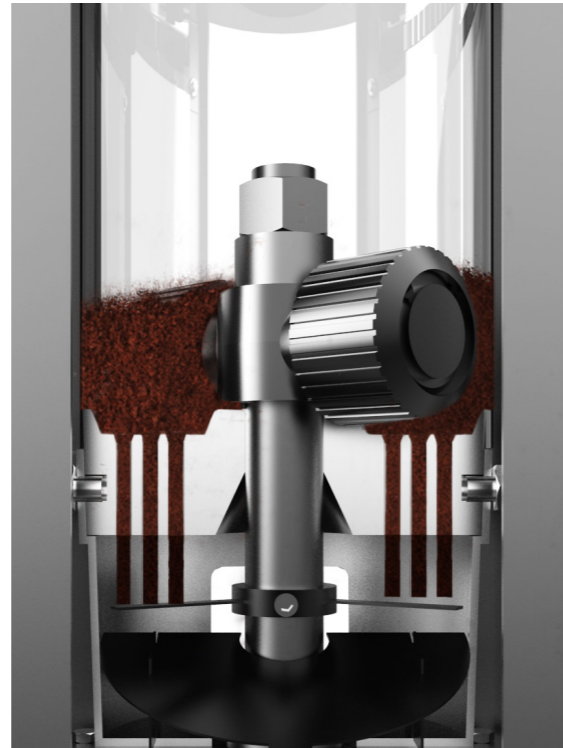


Fig. 62

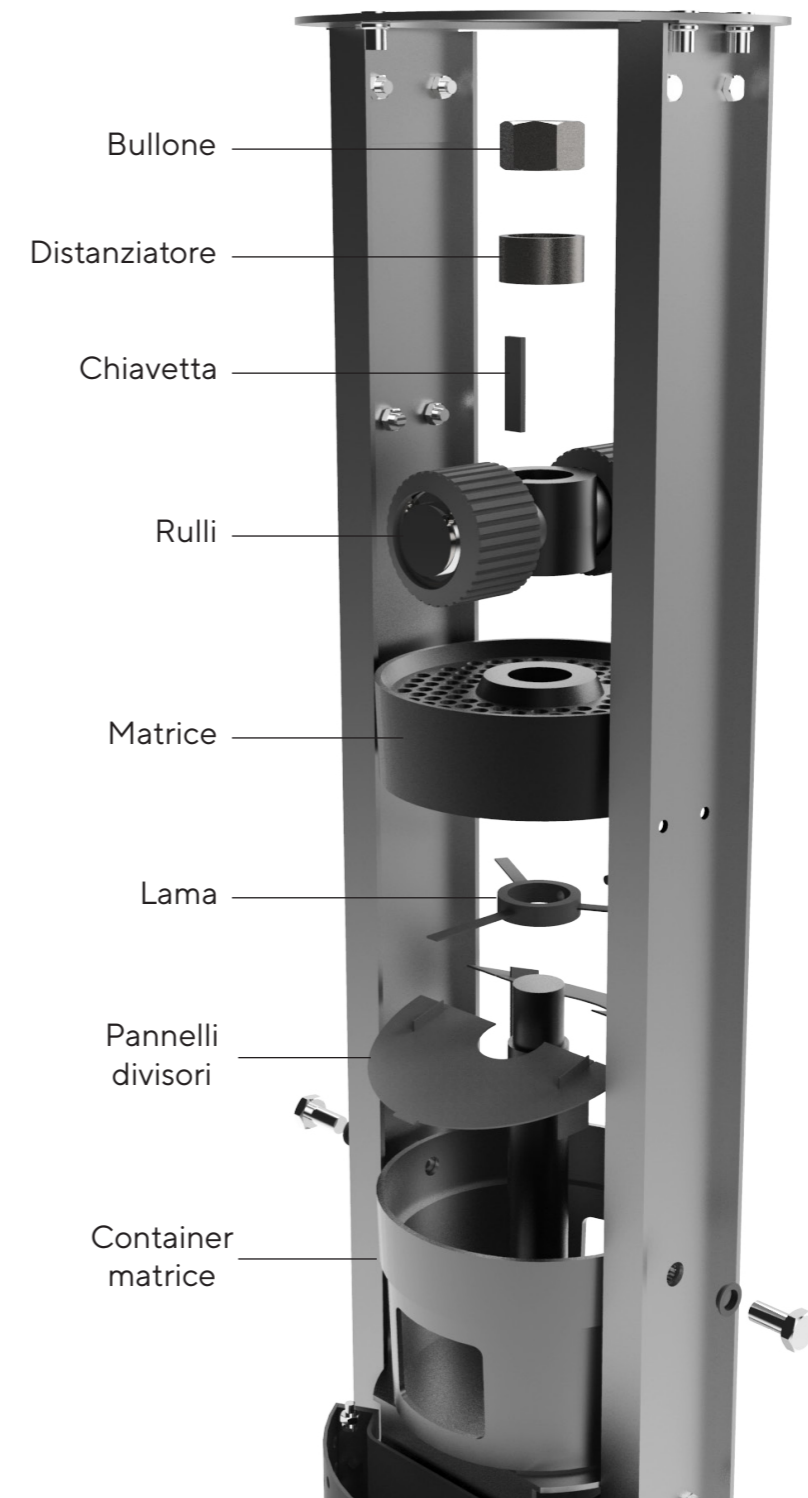
Questi ultimi sono fissati all'albero per mezzo di una chiavetta e serrati con un bullone e un distanziatore. La distanza tra rulli e trafilatura deve essere pari a 0,2 - 0,3 mm per ottenere una compressione ottimale.

Una lama viene resa solidale all'albero motore e taglia il pellet fuoriuscito così da ottenere elementi della lunghezza di 25 mm, pari cioè allo standard per questo tipo di combustibile.

Il pannello inclinato che si trova sotto la matrice permette di incanalare i pellet verso il foro di sbocco così che una volta fuoriuscito verrà accumulato all'interno del contenitore.

La rotazione della matrice all'interno del container è impedita da un bullone che è vincolato al frame con un dado, ed entra nella matrice grazie ad un foro precedentemente realizzato.

## Esploso





## La Matrice

La matrice è una parte molto importante del progetto perchè regola il dimensionamento di tutte le altre componenti e determina la qualità finale del pellet.

Dalla sua grandezza dipende il volume di produzione che nelle pellettatrici più semplici è di circa 40/60 Kg l'ora.

Nel progetto in questione il volume di produzione è limitato dalla capacità stessa di reperire la materia prima (circa 1,5-2 Kg in una giornata) di conseguenza si è optato per una dimensione minima di questo componente.

Questo ha anche permesso di mantenere contenute le dimensioni del prodotto finale.

Per quanto riguarda il **diametro esterno** sono state analizzate le matrici già sul mercato e le dimensioni standard per pellettatrici di piccole dimensioni sono: 120/150/200/230/260/300/400 mm.

Il **diametro dei fori** è di 6 mm considerando che per i pellet di legno varia in genere tra 6 e 8 mm.

Per favorire l'immissione del materiale all'interno dei fori è stato dato uno **smusso** di 40° considerando che questo è in genere compreso tra 30° e 40°

La **lunghezza dei fori** è di 36mm.

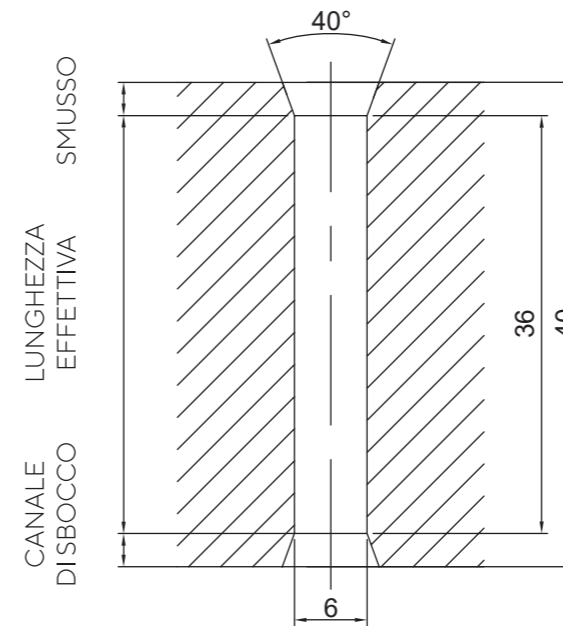
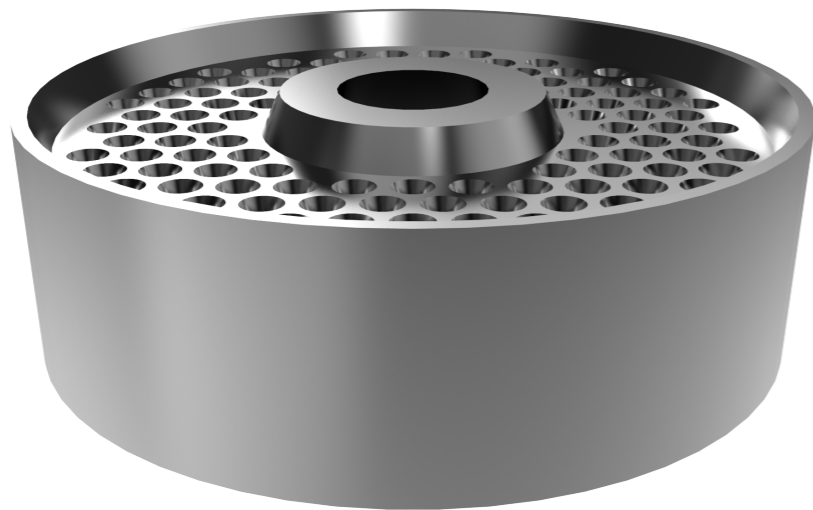


Fig. 64

Questa lunghezza non è casuale, ma determinata dal **fattore di compressione**.

Il fattore di compressione è il rapporto tra la lunghezza effettiva del foro e il suo diametro. Da questo dipende la qualità finale del pellet. Questo valore varia in genere da 4 a 7,5.

Nel mio progetto si è optato per un valore di questo parametro pari a 6.

Per cui utilizzando tale fattore, e considerando che il diametro dei fori è pari a 6, la lunghezza necessaria risulta essere di 36 mm.

Per quanto riguarda il **pattern geometrico** ne esistono di due tipi: esagonale e radiale. Quello esagonale è comune

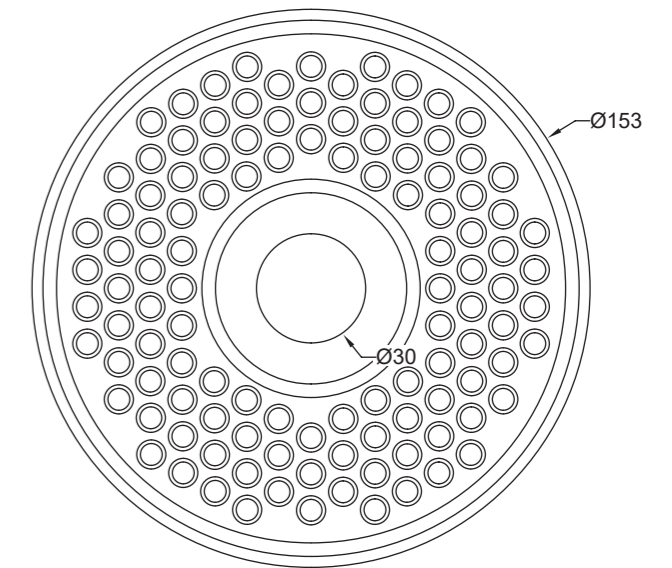


Fig. 65

mente utilizzato per pellettatrici piccole e medie ( con diametro fino a 400 mm), quello radiale è efficiente solo con matrici di grandi dimensioni ( da 450 mm in su) per cui è stato utilizzato un disegno esagonale.



Fig. 64: Dimensionamento del foro, vista in sezione

Fig. 65: Vista dall'alto della matrice

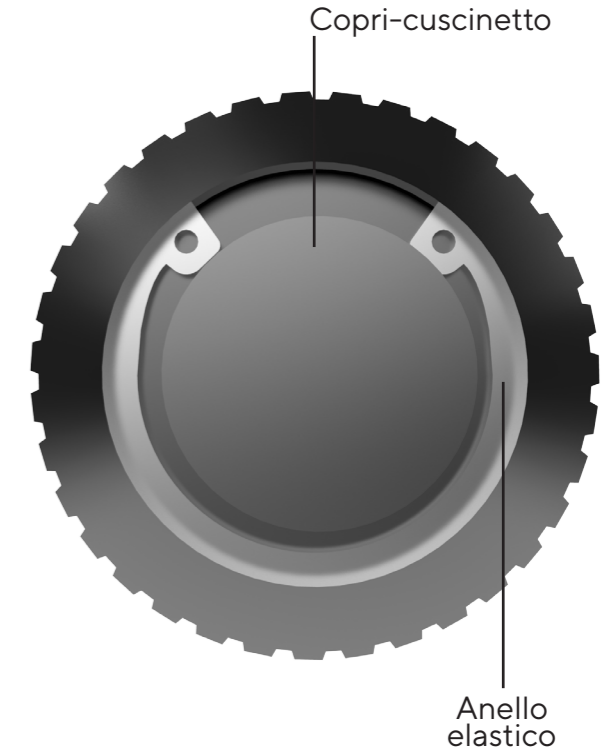
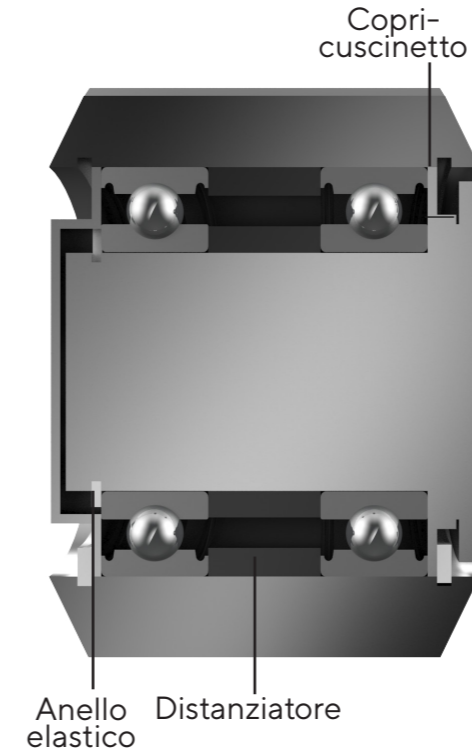
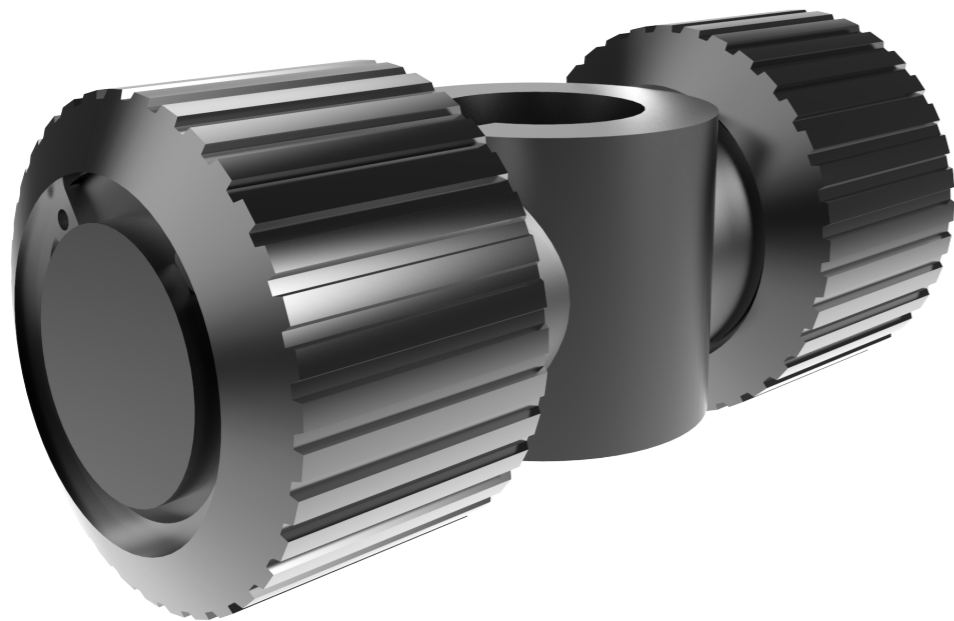
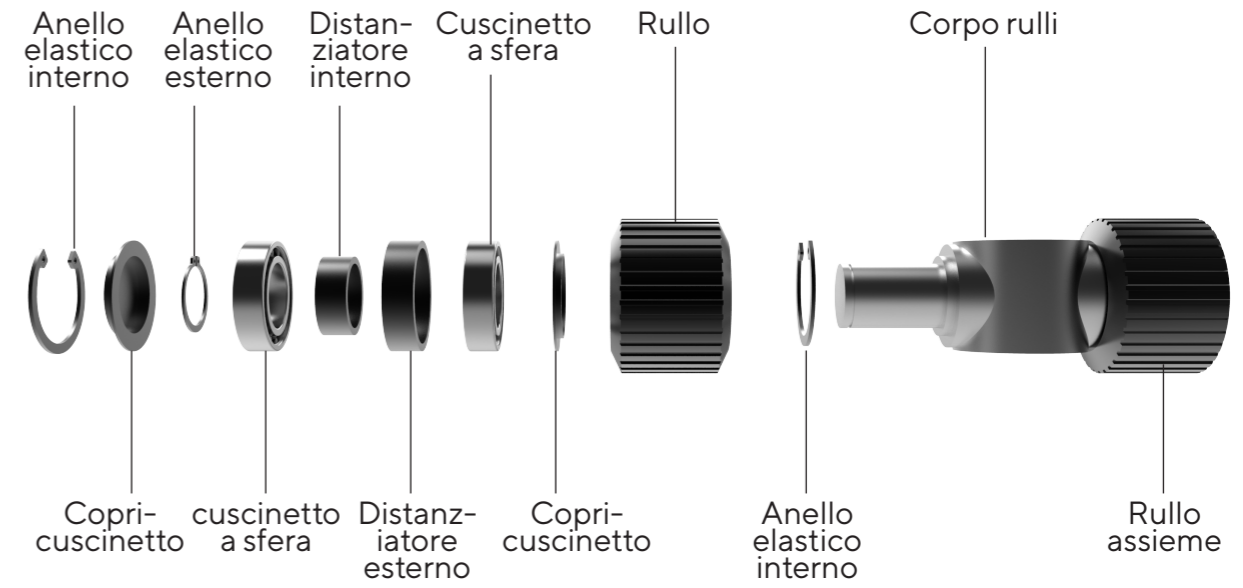
### I Rulli

I rulli girano intorno alla matrice man mano che comprimono il caffè all'interno dei fori. Questo avviene grazie a un sistema di cuscinetti per cui mentre essi girano intorno all'albero motore, ruotano anche attorno all'albero a cui sono vincolati.

Per assemblare il tutto si inserisce un anello elastico interno nell'apposito intaglio ricavato nel rullo. Dopodiché si procede con il copricuscinetto che impedisce alla polvere di caffè di entrare e danneggiare le parti. A questo punto vanno inseriti i due cuscinetti e si può procedere a fissare l'assieme al corpo principale che sarà reso solidale all'albero motore. Per fare ciò si utilizza un anello elastico

esterno da agganciare all'albero su cui è presente un rilievo. Infine si utilizza un secondo copricuscinetto bloccato con un anello elastico interno che va ad agganciarsi al rullo. Quando la procedura è stata ripetuta dalla parte opposta si può procedere a fissare il tutto all'albero motore per mezzo di chiavetta, distanziatore e bullone.

### Esploso



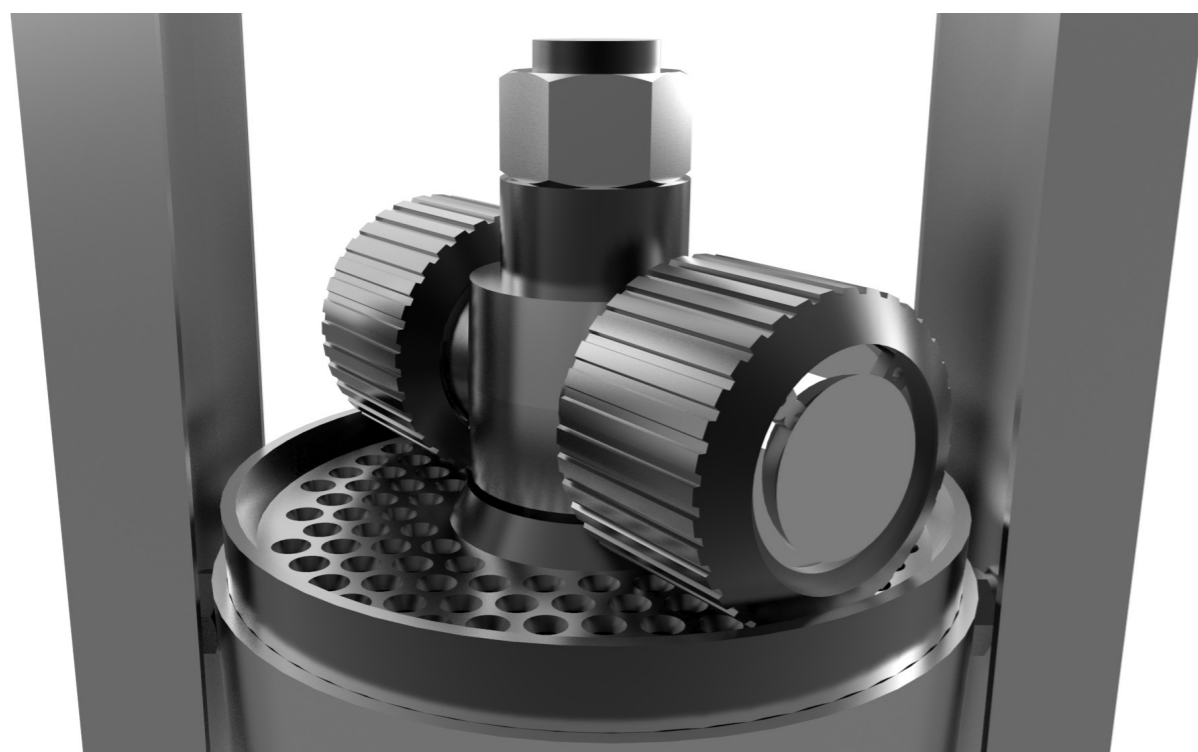


Fig. 66

### Coperchio matrice

I due contenitori che chiudono la camera di pellettizzazione sono in materiale trasparente per permettere agli utenti di vedere il meccanismo e capire la funzione del prodotto.

Le due metà sono realizzate per estrusione e si incastrano l'una all'altra agganciandosi all'esterno della matrice e poggiando sul container che contiene i pannelli.

Nella parte superiore è presente un profilo in silicone con la funzione di guarnire e impedire la fuoriuscita di caffè.



Fig. 66: Dettaglio di assieme tra matrice e rulli

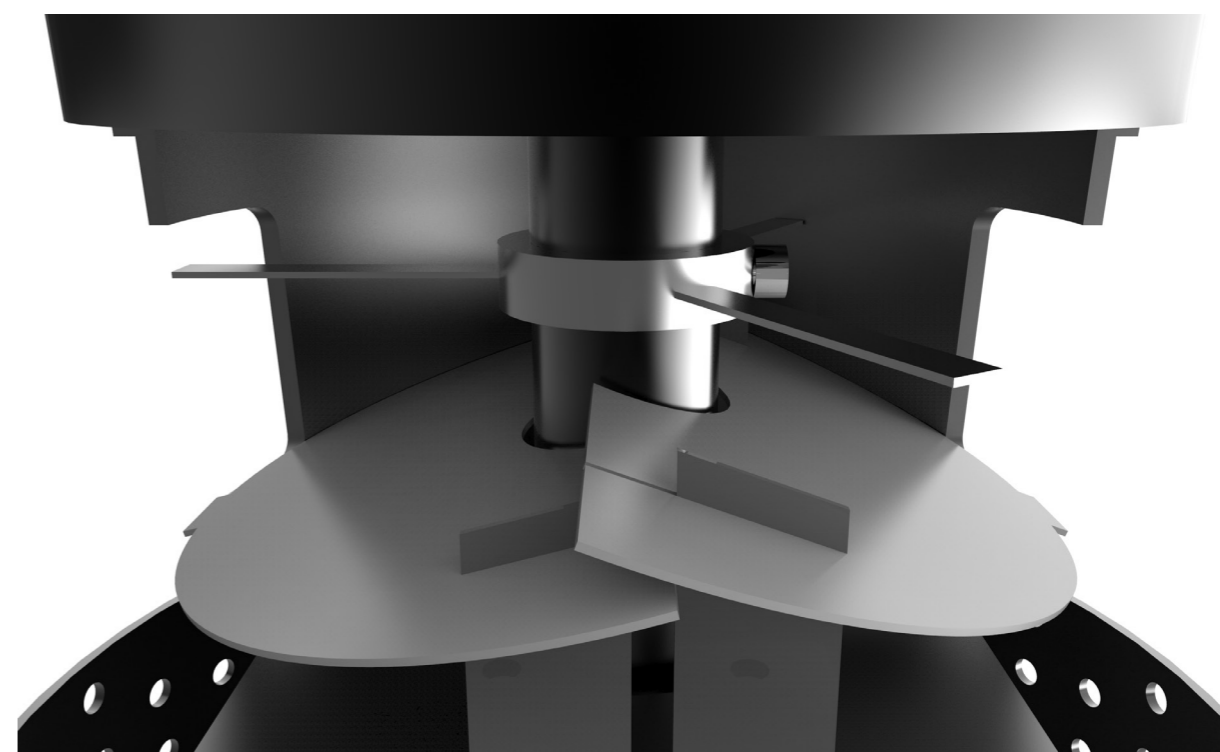


Fig. 67

### Pannelli di smistamento

I pannelli sono realizzati da un unico foglio di materiale che viene tagliato con tecnologia CNC così da ottenere la forma voluta.

Sui pezzi ricavati vengono effettuati degli intagli così da riuscire ad incastrare i pezzi tra di loro e permettere alla struttura di auto-sorreggersi.

Il sistema trova un terzo punto di appoggio sul container della matrice e ha la funzione di incanalare i pellet all'interno dei cassette che si trovano esattamente di fronte al foro del container.



Fig. 67: Dettaglio del sistema di smistamento con il prodotto in sezione

## RACCOLTA DEL PELLET

Una volta che il pellet è fuoriuscito dalla matrice viene incanalato per mezzo di un pannello inclinato verso il foro di sbocco. Qui confluisce all'interno del cassetto dove viene immagazzinato e una volta riempito verrà conservato in dei sacchi o gettato direttamente all'interno della stufa a pellet. Il cassetto si trova alla base del prodotto e qui è collocato anche il motoriduttore che fa ruotare i rulli e permette la pellettizzazione. Questo è fissato alla struttura portante ed è estraibile per mezzo di un coperchio che si trova sotto che ne permette la sostituzione



Fig. 68

### Pellet container

Per via della sua profondità si è deciso di realizzare il contenitore dei pellet utilizzando tre diverse lamiere risolvendo così i problemi dimensionali e semplificando le lavorazioni.

L'assieme risulta così composto da una parte frontale calandrata, una posteriore piegata e una inferiore, piana, che viene incastrata tra le due.

Per fare ciò si utilizzano quattro rivetti che bloccano tra loro le lamiere.

Quella inferiore viene incastrata grazie a degli intagli precedentemente ricavati nelle pareti.

La lamiera frontale presenta un pattern con dei fori che alleggeriscono il com-

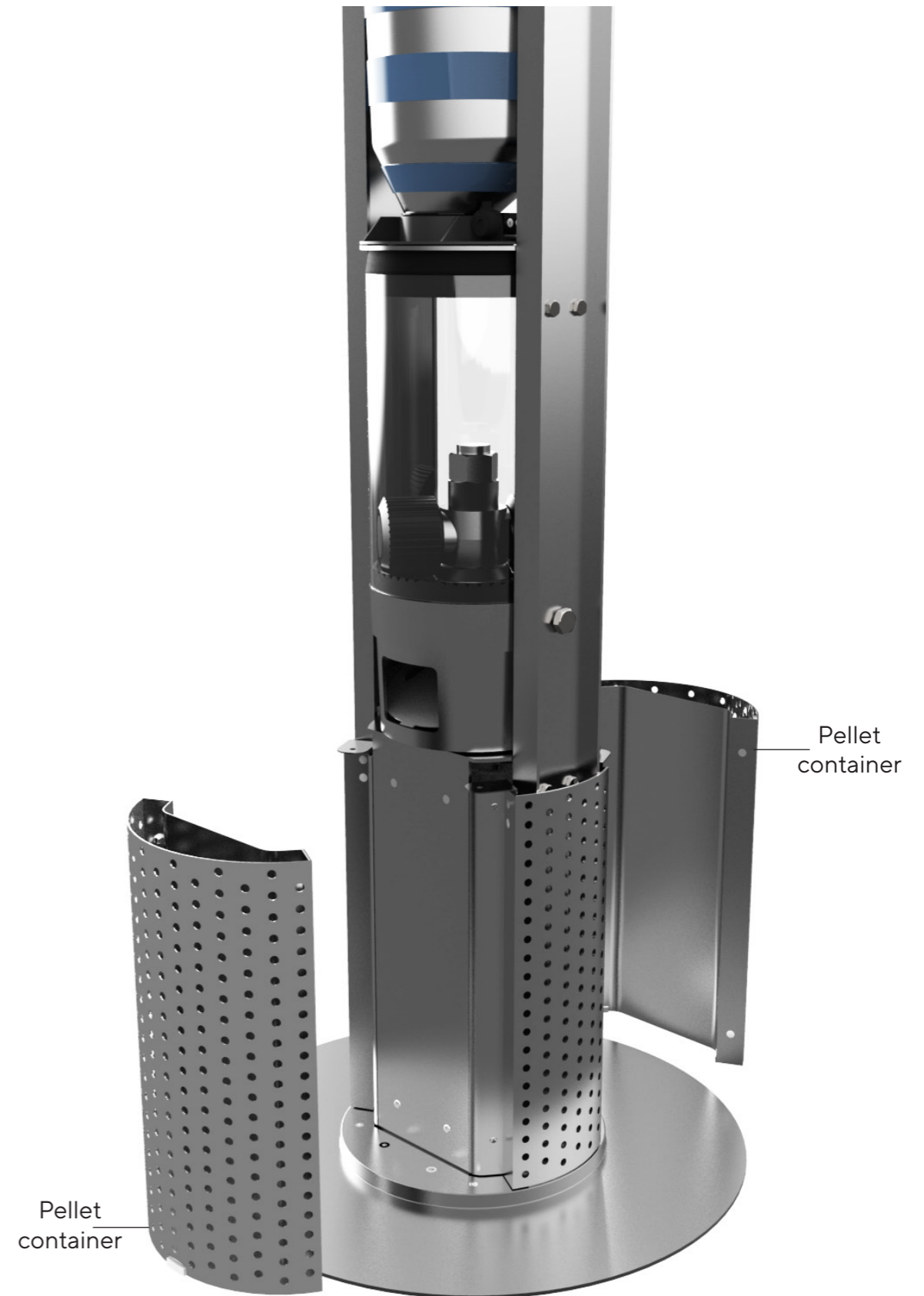
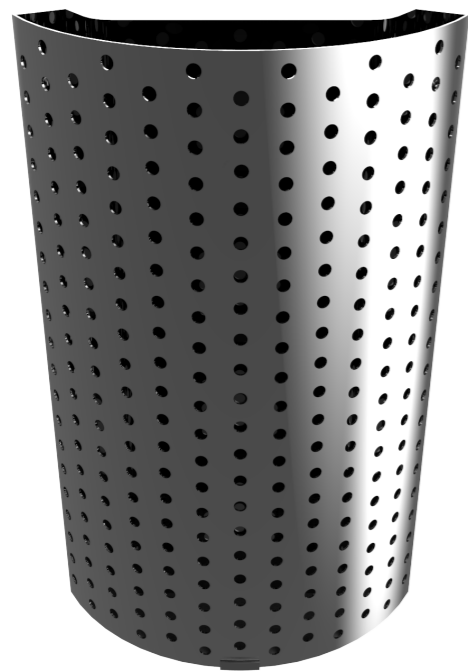


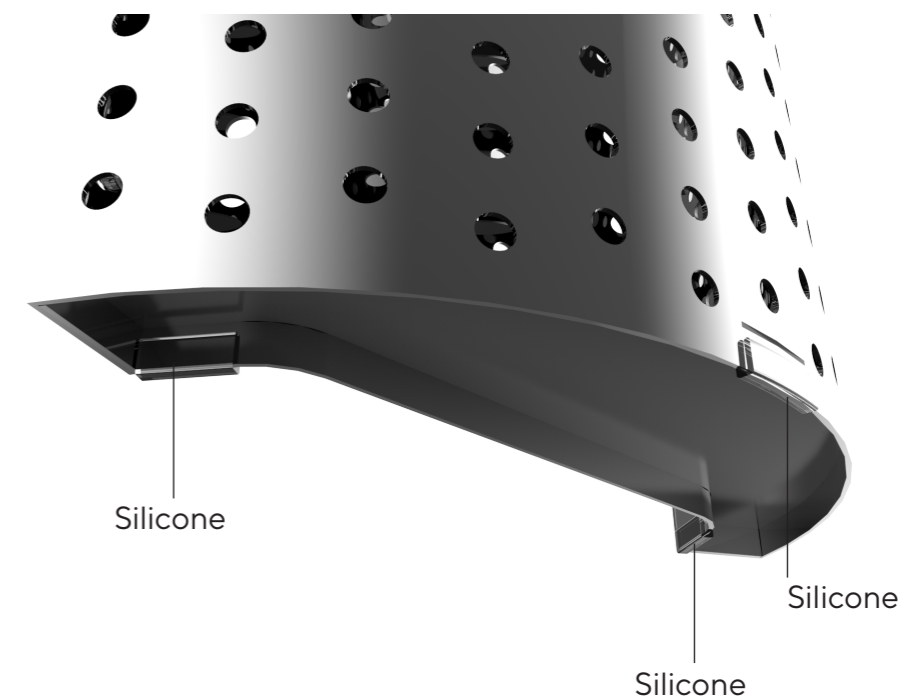
Fig. 68: Caduta del pellet all'interno del container durante il processo di pellettizzazione

ponente rendendolo più maneggevole e svolgono anche una funzione estetica.

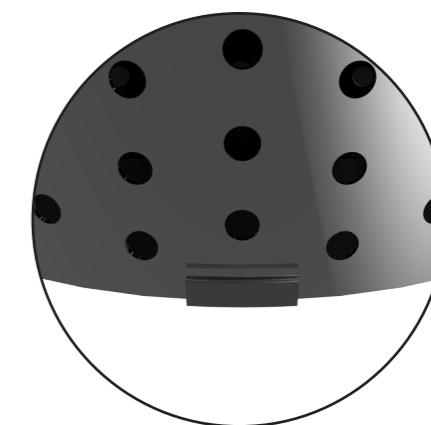
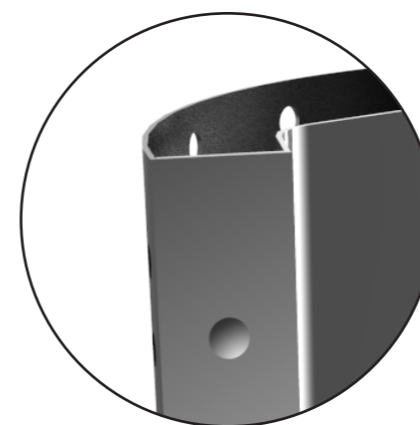
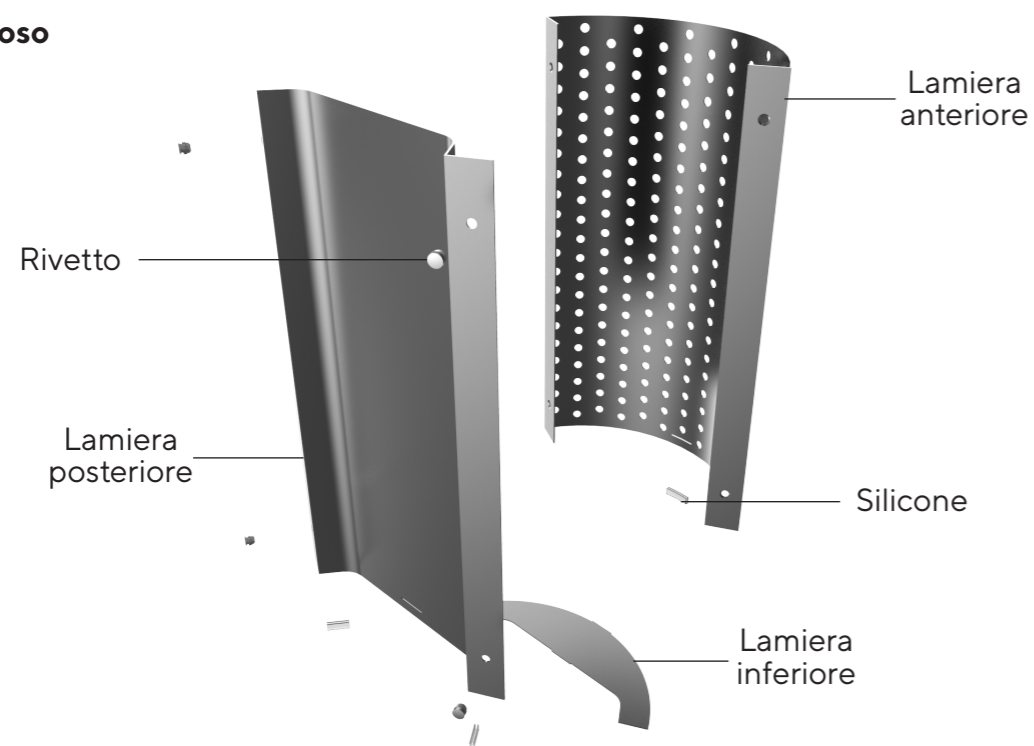
I cassettei sono dotati di tre profili in silicone che si agganciano nella parte inferiore. Questi sono necessari perchè il cassetto è in alluminio ed entrerà in contatto con la base che è in acciaio inossidabile. Per impedire la corrosione galvanica bisogna frapporre un materiale isolante elettrico fra i due e il silicone è uno dei materiali più adatti a svolgere questa funzione. La sua flessibilità inoltre lo rende particolarmente adatto ad essere fissato alla sagoma del cassetto.



**Dettagli**



**Esploso**



Il rivetto è un elemento di fissaggio costituito da un cilindro metallico con una testa. Viene inserito tra le due lamiere, dopodichè l'estremità senza testa viene ribadita, ovvero deformata plasticamente a formare la controtesta.

L'elemento in silicone impedisce il passaggio di cariche elettriche tra l'acciaio inox della base e l'alluminio del cassetto impedendo la corrosione. Inoltre facilita l'estrazione del componente ed evita l'usura dovuta allo strisciamento.

## FRAME

Il frame è la struttura portante del prodotto a cui collegare i vari sottoassiemi e le varie parti.

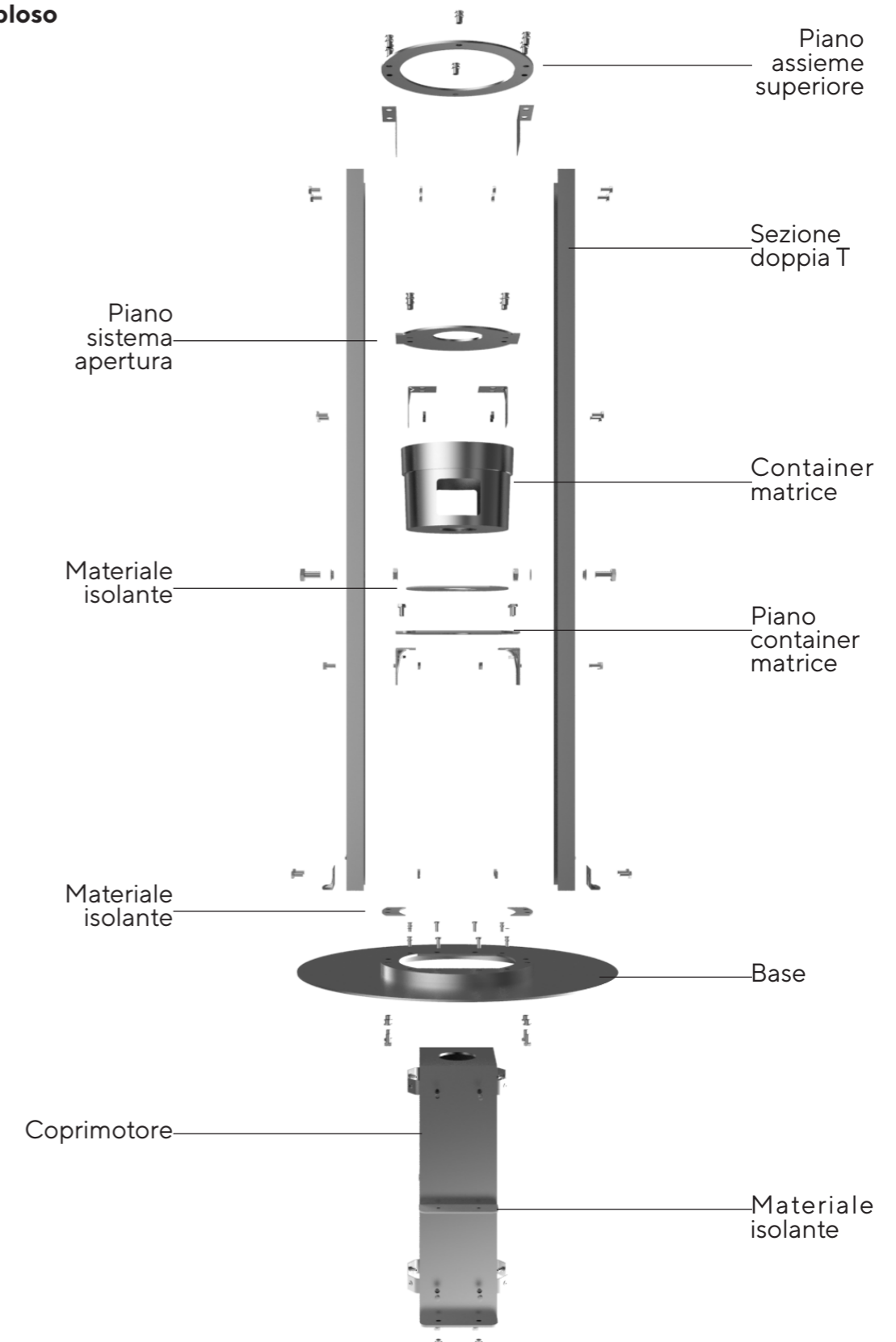
E' costituito da due elementi verticali che possiedono un profilo a doppia T, da tre diversi piani situati ad altezze diverse, da un container per la matrice, una base e altri elementi di supporto. I sistemi di fissaggio utilizzati sono dadi, bulloni e rivetti.

La struttura è in acciaio al carbonio rivestito con un processo di zincatura. Gli unici componenti con materiale diverso sono il container della matrice e la base generale che è in acciaio inox.

I due materiali però non possono stare in contatto perchè questo provocherebbe un processo di corrosione galvanica, per cui devono sempre essere isolati gli uni dagli altri. Per questo motivo nelle parti in contatto sono stati utilizzati dei pannelli in PVC e delle rondelle in PA in quanto questi materiali hanno buone proprietà di isolamento elettrico e impediscono il passaggio di carica dall'acciaio zincato all'acciaio inox.



## Esploso



Design definition

Dettagli



Bullone  
Matrice

Rivetto  
filettato



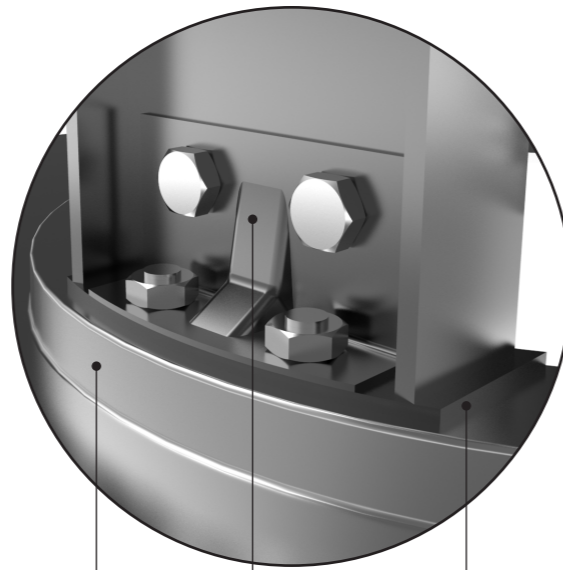
Isolante

Rivetto



Piano sistema  
apertura

Rivetto filettato



Base

Bracket

Isolante

Front view



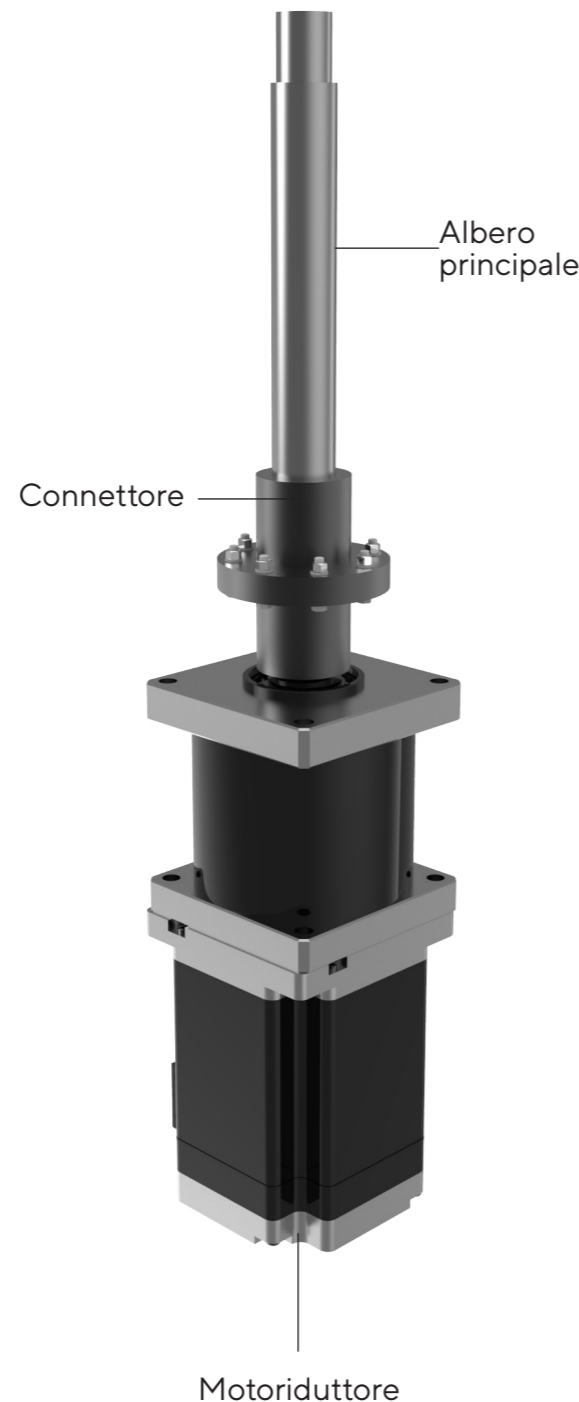
## MOTORIDUTTORE ASSIEME

La selezione del motoriduttore per la rotazione dei rulli nella matrice è molto importante perchè questa determina la forza di frizione tra rulli e stampo per cui al variare della coppia varia la temperatura raggiunta dal caffè e quindi la qualità finale del pellet.

Per la selezione di un motore elettrico di questo genere bisogna valutare diversi parametri e valutare le varie tipologie.

Le principali sono:

- Sincrono / Asincrono,
- Spazzolato / Non spazzolato
- A corrente continua / Alternata
- Monofase / Trifase.



### Sincrono vs Asincrono

La principale differenza tra queste due tipologie di motore risiede nella sincronia, o meno, tra la velocità angolare del rotore e la frequenza della tensione di alimentazione.

In pratica in un motore **asincrono** la velocità angolare è inferiore rispetto alla velocità di rotazione del campo magnetico generato dagli avvolgimenti dello statore, laddove nel motore **sincrono** il periodo di rotazione è sincronizzato con la frequenza di rete.

Il primo tipo possiede il vantaggio di avere un basso costo e nessun problema alle alte temperature, il secondo ha in genere delle dimensioni ridotte, una maggiore affidabilità ma un costo relativamente elevato.

#### ASINCRONO

##### VANTAGGI

- Più affidabile
- Nessun problema alte temperature

##### SVANTAGGI

- Più ingombrante

#### SINCRONO

##### VANTAGGI

- Più affidabile
- Ottimo rapporto peso potenza

##### SVANTAGGI

- Più costoso

### Brushed vs Brushless

Come dice la parola stessa qui la principale differenza è la presenza o meno delle spazzole. Nei motori **brushed** queste spazzole sono utilizzate per fornire corrente agli avvolgimenti del motore attraverso i contatti del commutatore.

I motori **brushless** non hanno nessuno di questi commutatori di corrente. Il campo all'interno di un motore brushless viene commutato tramite un amplificatore attivato da un dispositivo di commutazione, come ad esempio un encoder ottico. Gli avvolgimenti sono sul rotore per i motori delle spazzole e sullo statore per i motori brushless. Posizionando gli avvolgimenti sulla parte stazionaria esterna del motore elettrico è possibile eliminare la necessità di spazzole.

#### BRUSHED

##### VANTAGGI

- Controllo semplificato
- Basso costo

##### SVANTAGGI

- Meno efficiente
- Rumoroso
- Usura parti
- Minore durata

#### BRUSHLESS

##### VANTAGGI

- Maggiore durata
- Manutenzione ridotta
- Alta efficienza

##### SVANTAGGI

- Alto costo
- Necessità di un dispositivo per la commutazione



## Monofase vs Trifase

In questo caso la differenza risiede nell'impianto elettrico che andrà ad essere utilizzato

I motori **monofase** sono costituiti da una sola fase, di solito a 220 V, e presentano 2 conduttori: uno per il neutro e uno per la fase.

Si tratta del sistema più diffuso nelle nostre abitazioni e che viene utilizzato principalmente per alimentare le utenze finali come elettrodomestici, e componenti a bassa potenza.

I motori **trifase** vengono invece utilizzati principalmente negli impianti industriali (380V) perché a parità di potenza il costo per i materiali dei generatori e dei cavi è all'incirca dimezzato.

Inoltre sono più semplici da realizzare, più affidabili, più funzionali e potenti

### MONOFASE

#### VANTAGGI

- Consumi ridotti

#### SVANTAGGI

- Bassa potenza

### TRIFASE

#### VANTAGGI

- Costi dimezzati per pari potenza
- Più affidabili
- Più potenti

#### SVANTAGGI

- Alto costo
- Consumi elevati

## Ac vs Dc

L'energia elettrica può essere trasmessa sotto forma di corrente alternata (AC) o come corrente continua (DC).

La **corrente alternata** è utilizzata qualora siano richieste alte tensioni. E' caratterizzata da un'alternanza di pulsazioni positive e negative e da una variabile nel tempo che le consente di mantenere una frequenza costante con un andamento di tipo sinusoidale.

La **corrente continua** è ampiamente utilizzata in apparecchi alimentati con pile e batterie ed è una tensione il cui andamento risulta essere stabile nel tempo. Vi è, infatti, un flusso di elettroni che si muovono sempre nello stesso verso all'interno del circuito, pertanto la tensione sarà costante e di uguale intensità nel tempo.

### AC

#### VANTAGGI

- Molto robusti
- Aspettativa di vita lunga
- Poca manutenzione
- Costo minore

#### SVANTAGGI

- Difficoltà variazione velocità

### DC

#### VANTAGGI

- Semplice variare la velocità

#### SVANTAGGI

- Più costosi
- Prodotto potenza velocità limitato

## Requisiti e calcoli

Al fine di ottenere un pellet di buona qualità, selezionare la giusta potenza e coppia del motore è fondamentale.

Dato che, a seconda della forza di attrito tra rulli e matrice, la temperatura raggiunta dal materiale soggetto a tale compressione varia proporzionalmente, ciò significa che entro un certo range di coppia e velocità del motore, vi saranno diversi livelli di qualità definiti accettabili secondo gli standard del mercato del pellet.

Per selezionare il motore ho bisogno quindi di conoscere la coppia che agisce sul materiale che viene pellettizzato e per farlo ho analizzato e reperito informazioni circa le pellettatrici della **fascia domestica**, che non sono progettate cioè per la vendita del pellet, ma per l'auto-produzione e il consumo. Questo tipo di pellettatrici sono infatti più economiche e possiedono motori meno potenti ma che garantiscono comunque una buona qualità.

La potenza minima del motore presente in questo tipo di macchinari è di 1,5Kw e la coppia viene aumentata con un riduttore meccanico.

Più in generale si trovano prodotti con 2,2 Kw e 1400 rpm. In questi casi la riduzione è pari a 1 : 15 e questo porta i giri del motore a 93 Rpm (questo valore è all'interno del range considerato accettabile per una buona qualità che va da 70 a 130 Rpm). Partendo da questi valori ho calcolato così la coppia che è risultata essere di 225 N.m.

Per fare questo ho usato la seguente formula:

$$P = T \times \omega \quad (1)$$

Dove **P** è la potenza del motore, espressa in Watt, **T** è la coppia motrice espressa in Newton per metro e **ω** è la velocità angolare in radianti al secondo.

Per calcolare la coppia bisogna quindi trasformare i giri al minuto in radianti al secondo moltiplicando per  $2\pi / 60$

La (1) diventa:

$$T = P \times 60 / nRpm \times 2\pi$$

Quindi per calcolare la coppia motrice sapendo potenza (2,2 kW) e giri al minuto (1400Rpm) bisogna applicare la seguente formula:

$$T = 2200W \times 60 / 1400Rpm \times 2\pi$$

La coppia risulta essere di 15 N x m, ma siccome è applicata una riduzione meccanica di 1 : 15 diventa pari a 225 N.m

$$15 N.m \times 15 = 225 N.m$$

Le pellettatrici domestiche, essendo dei veri e propri macchinari, montano motori asincroni, monofase, a corrente alternata e spazzolati.

Questo comporta dei costi ridotti a fronte di un grande ingombro e soprattutto molta rumorosità.

Nel mio caso trattandosi di un prodotto che sta nel contesto bar e caffetteria in stretta relazione con utenti che stanno chiaccherando o semplicemente rilassandosi un motore di questo tipo non sembrava adatto ed ho così optato per un motore **Brushless AC monofase**.

Il motore brushless non avendo contatti striscianti non produce rumore elettromagnetico, non richiede manutenzione e ha una durata della vita maggiore oltre ad essere più compatto. E' però un motore più veloce e nel range di potenza richiesta ha in genere una velocità di 3000 Rpm.

Se scegliamo un motore da 1,8 kW per ottenere una coppia maggiore o uguale a 225 N.m dobbiamo quindi aumentare il fattore di riduzione e portarlo a 40 piuttosto che a 15 così da ottenere il valore di 75 Rpm.

$$T = 1800W \times 60 / 3000Rpm \times 2\pi$$

La coppia, senza il riduttore, risulta essere pari a 5,73 N.m.

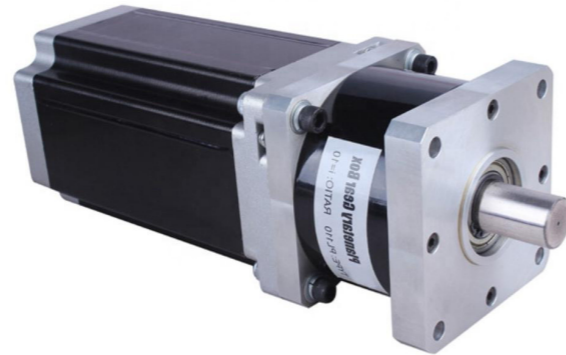
$$T = 5,73 \text{ N.m}$$

Applicando il fattore di riduzione otteniamo il valore desiderato e soddisfiamo il requisito.

$$T = 5,73 \times 40 = 229 \text{ N.m}$$

Con questi dati la coppia motrice risulta essere pari a 229 N.m, superiore a quella utilizzata come riferimento, e i giri del motore (75) ricadono all'interno del range 70 -130, necessario per ottenere una buona qualità del pellet.

### BLAC - 1,8 Kw - 220 V - 3000Rpm NEMA 42



### Riduttore planetario 1:40 NEMA 42

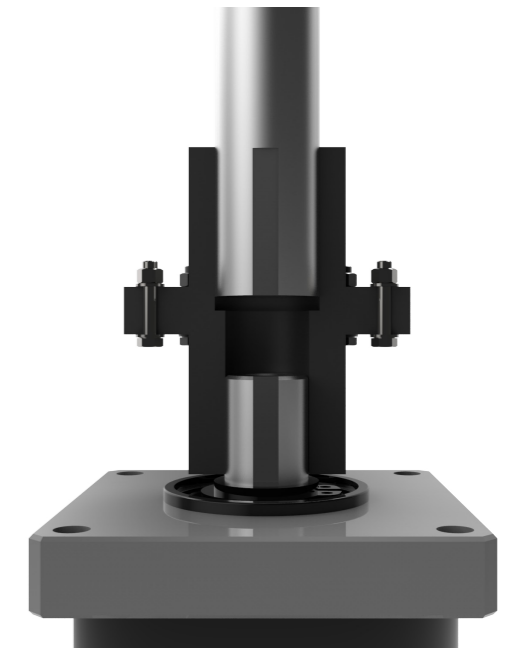
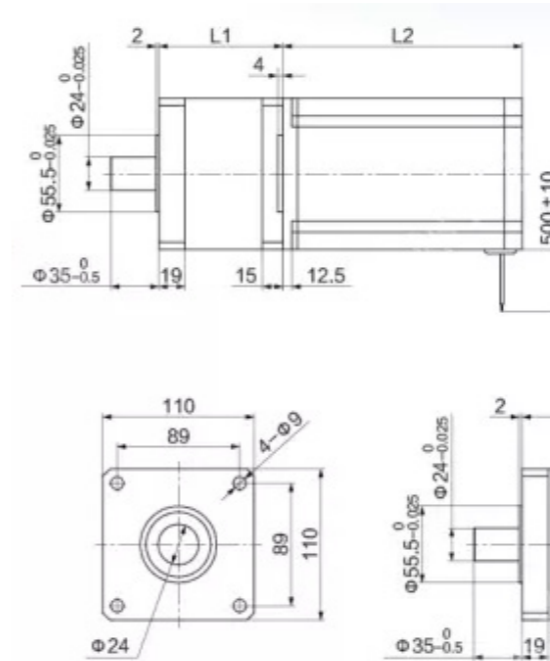


Fig. 69

#### SPECIFICHE DEL RIDUTTORE

Gear Ratio:	<b>40</b>
Length L1 (mm):	<b>118</b>
Rated load (N.m):	<b>260</b>
Max load(N.m):	<b>520</b>
Efficiency(%):	<b>94</b>
Backlash(arcmin):	<b>≤25</b>
Weight (Kg):	<b>2,5</b>
Rated input speed (rpm):	<b>3000</b>
Max input speed (rpm):	<b>5000</b>
Protection class (IP):	<b>IP65</b>
Lubrication:	<b>lifelong</b>
Noise(dB):	<b>≤45</b>
Life(h):	<b>~20000</b>

#### SPECIFICHE DEL MOTORE

Modello:	<b>110ST-M06030</b>
Rated Power (kW):	<b>1,8</b>
Rated voltage (V):	<b>220</b>
Rated speed(rpm):	<b>3000</b>
Length L2 (mm)	<b>219</b>
Rated torque(N. m):	<b>5,73</b>
Peak torque(N. m):	<b>18</b>
Voltage constant (V/1000r/min):	<b>60</b>
Torque coefficient(N.m/A):	<b>1</b>
Rotor inertia (kg.m2):	<b>0.76*10<sup>-4</sup></b>
Line-Line Resistance(Ω):	<b>0.81</b>
Line-Line Inductance(m H):	<b>2,59</b>
Electrical time constant(MS):	<b>3,2</b>
Weight(Kg):	<b>6,7</b>
Encoder line number(PPR):	<b>2500</b>
Safety Class:	<b>IP65</b>

Fig. 69: Connettore tra albero in uscita del motoriduttore e albero principale che sarà connesso ai rulli

# 6.

## MATERIALI E TECNOLOGIE

Per la buona riuscita di un progetto è necessario tenere in considerazione tutti quegli aspetti tecnici legati alla messa in produzione. Per questo motivo è fondamentale considerare per ogni componente del prodotto la tipologia di materiale con cui verrà realizzato ed il processo produttivo.

Queste considerazioni molto spesso vincolano il design di un prodotto influenzandone costi e caratteristiche e possono determinare il successo o il fallimento di un progetto.

Di conseguenza è sempre bene ragionare sugli aspetti tecnici e produttivi a monte del processo di progettazione ed in questo capitolo verranno spiegate le scelte effettuate e le ragioni che hanno portato a tale scelta.

## SCocca ESTERNA

### Materiale: ABS

Per le due scocche esterne i principali requisiti sono **economicità, leggerezza e rigidità**, oltre chiaramente agli aspetti tattili e visivi che comunicheranno direttamente con gli utenti.

Per questi motivi è stato scelto l'ABS (Acrilonitrile-Butadiene-Stirene), un polimero termoplastico amorfo che soddisfa i requisiti di progetto e possiede una buona finitura superficiale e delle colorazioni molto accese tanto da essere spesso utilizzato nelle parti esterne dei prodotti.



### Processo di produzione:

Stampaggio a iniezione

Trattandosi di una forma relativamente complessa è stato scelto il processo di stampaggio ad iniezione in cui il materiale plastico viene fuso ed iniettato ad elevata pressione all'interno di uno stampo chiuso

### Regole di progettazione:

- Spessore costante (1.14 - 3.50 per ABS)
- Eliminare transizioni a spigoli vivi
- le nervature non dovrebbero superare il 60% dello spessore della parete
- Prevedere l'angolo di spoglia



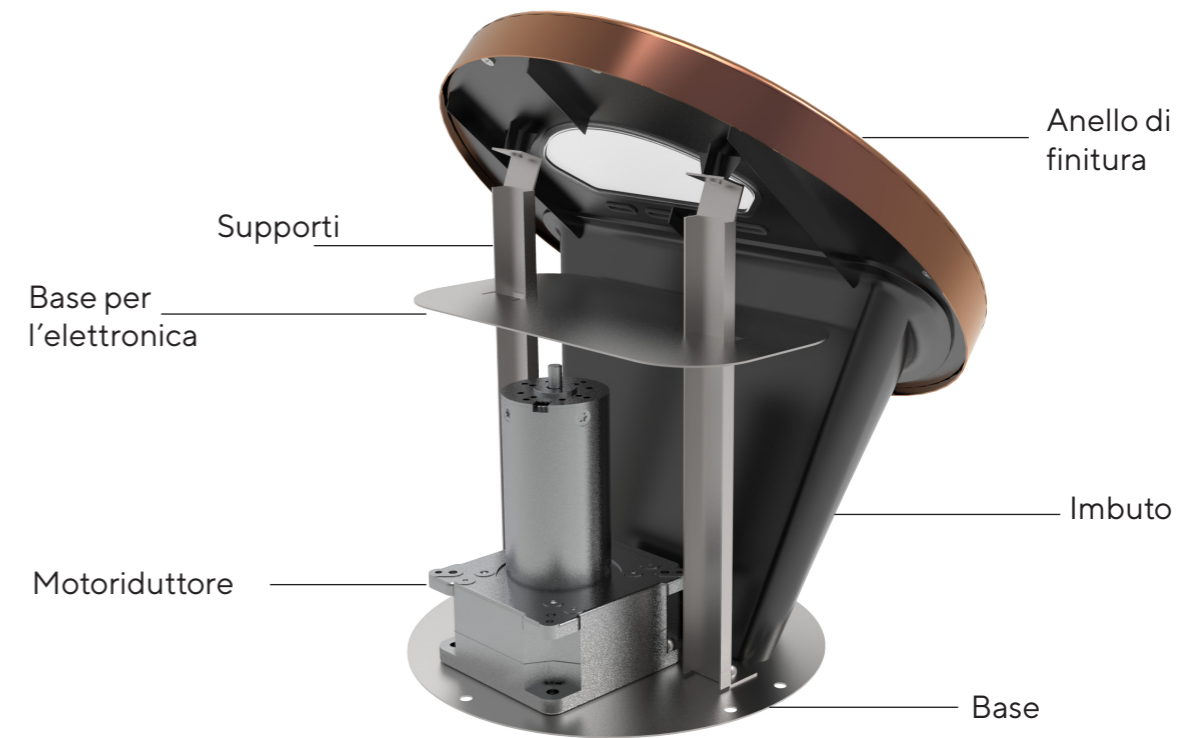
### Requisiti

-Bassa densità	<b>1,04 - 1,12 g/cm<sup>3</sup></b>
-Buona rigidità <i>Modulo di Young</i>	<b>2500 MPa</b>
-Economicità	<b>1,5 €/Kg</b>
- Buona finitura superficiale	<b>Brillantezza e colorazione</b>
-Complessità formale	<b>Facilmente stampabile</b>

## ASSIEME SUPERIORE

### Componenti:

- Interfaccia/imbuto
- Display
- Elemento di supporto (x2)
- Piano base per l'elettronica
- Motoriduttore
- Base struttura
- Anello di finitura
- Connettore mixer
- Tasti di controllo
- Elementi di fissaggio



## Imbuto / interfaccia



Requisiti:

-Buona rigidità <i>Modulo di Young</i>	<b>2500 MPa</b>
-Economicità	<b>1,5 €/Kg</b>
-Buona finitura superficiale	<b>Brillantezza e colorazione</b>
-Complessità formale e nervature necessarie	<b>Facilmente stampabile ad iniezione</b>

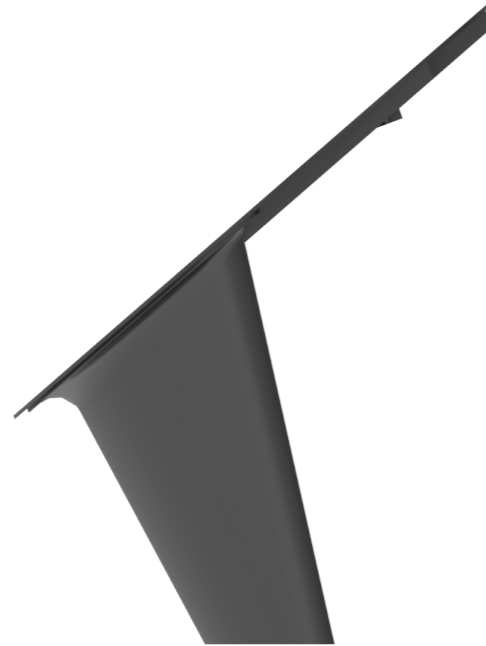
**Materiale:** ABS

Come per la scocca esterna è stato utilizzato l'ABS dato che si stampa ottimamente e può essere avvitato con viti auto-maschianti. Presenta buona **rigidità e tenacità** a basse temperature, elevata durezza, resistenza agli urti e alle scalfiture.

Inoltre resiste molto bene all'acqua e all'umidità.

**Processo:** Stampaggio a iniezione

Con questo processo è possibile stampare **geometrie complesse** garantendo **produttività** e **automazione**. E' economico e vantaggioso solo per elevati volumi di produzione.



## Anello di finitura



Requisiti:

- Buona rigidità <i>Modulo di Young</i>	<b>2500 MPa</b>
- Nervature necessarie per il fissaggio	<b>Facilmente stampabile ad iniezione</b>
- Economicità	<b>1,5 €/Kg</b>
- Bassa densità	<b>1,04 - 1,12 g/cm<sup>3</sup></b>
- Buona finitura superficiale	<b>Facilmente metallizzabile</b>

**Materiale:** ABS

Anche in questo caso il materiale prescelto è l'ABS. Il componente infatti non ha una funzione strutturale ma soprattutto estetica (oltre ad essere utilizzato per la chiusura del coperchio). Per questo motivo, grazie alle sue caratteristiche di economicità e stampabilità appare particolarmente adatto.

**Processo:** Stampaggio a iniezione

La forma del componente non è particolarmente complessa, ma necessita di un processo come quello dello stampaggio a iniezione, data anche la presenza di nervature che saranno utilizzate per il fissaggio all'interfaccia.

## Assieme superiore

**Finitura:** PVD sputtering

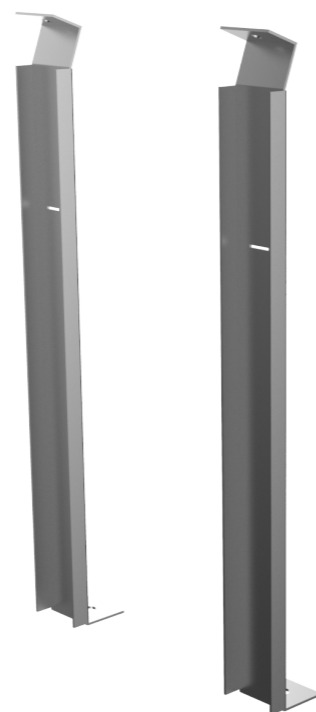
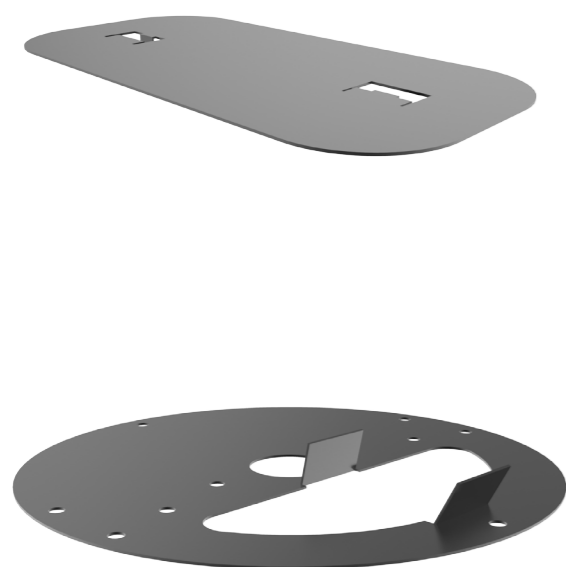
Physical Vapour Deposition. E' un processo che consente di depositare un film sottile di metallo conferendo prestazioni estetiche e meccaniche.

La fonte di deposizione consiste in resistenze in **tungsteno** sulle quali viene alloggiato il filo del metallo da depositare. I substrati sono posizionati attorno alle resistenze e vengono fatti ruotare.

La lavorazione viene effettuata in **vuoto**, ( $4 \times 10^{-4}$  mbar).

La vera e propria fase di evaporazione consiste nel riscaldamento delle resistenze in tungsteno che, rese incandescenti, fondono il metallo il quale evapora andando a condensarsi sulla superficie dei substrati.

## Componenti di sostegno



## Requisiti:

- Ottima rigidità <i>Modulo di Young (longitudinale)</i>	<b>210000 (N/mm<sup>2</sup>)</b>
- Duttilità e tenacità <i>Resistenza lim. snervamento</i>	<b>430 N/mm<sup>2</sup></b>
<i>Resistenza lim. elastico</i>	<b>190 N/mm<sup>2</sup></b>
- Economicità	<b>0,95 - 0,15 €/Kg</b>

## Materiale: Acciaio al carbonio zincato

L'acciaio al carbonio rappresenta il **90%** della produzione totale di acciaio. E' il più diffuso ma anche il meno pregiato per le caratteristiche tecniche che lo rendono malleabile e facilmente lavorabile, ma altamente soggetto a **corrosione** e sensibile alle alte e basse temperature. Per questo motivo si procede con un processo di **zincatura** che garantisce uno strato protettivo rispetto alla corrosione galvanica. L'ossidazione del metallo viene infatti evitata grazie ad uno strato di zinco che a contatto con l'aria umida innesca una reazione chimica che genera una patina protettiva molto solida e compatta. Questo processo si chiama **passivazione**.

## Processi di produzione:

Piegatura, Punzonatura, Taglio al plasma

Partendo da una lamiera si eseguono una serie di deformazione meccaniche a freddo per ottenere la forma voluta e il conseguente incrudimento del materiale.

La **punzonatura** è un processo di foratura che utilizza una pressa per forzare uno strumento, chiamato **punzone**, il quale crea un foro tramite cesoiatura. E' il processo più economico per forare i materiali.

Il **taglio al plasma** è un procedimento di taglio di buona qualità che utilizza come sorgente termica un getto di **Plasma** ad altissima velocità ed elevata temperatura. Il termine plasma indica un mezzo gassoso che, passando attraverso un arco elettrico, viene ionizzato e quindi diventa elettricamente conduttore. Il suo utilizzo è indicato per tagliare metalli ferrosi e non e costituisce l'alternativa più economica in molte applicazioni industriali.

La **piegatura a fondo cava** è uno dei possibili processi di piegatura industriale e consiste nella deformazione permanente della lamiera mediante un'azione di flessione. Si esegue per mezzo di un **punzone** che pressa completamente la lamiera fino al fondo cava della matrice inferiore ed è utilizzata principalmente per la piegatura di angoli a **90°** con lamiera sottile. Tra i principali vantaggi si elencano la precisione, la possibilità di ottenere angoli inferiori rispetto ad altri processi e la ripetibilità costante dell'angolo di piegatura;

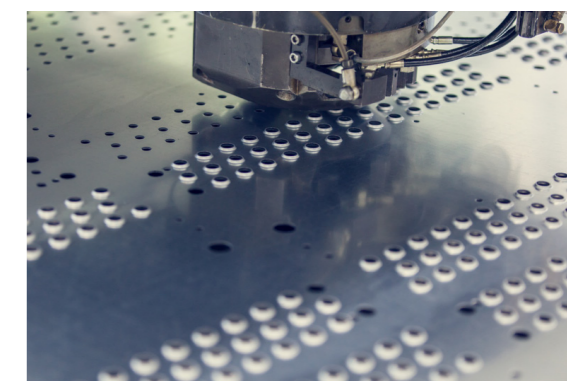
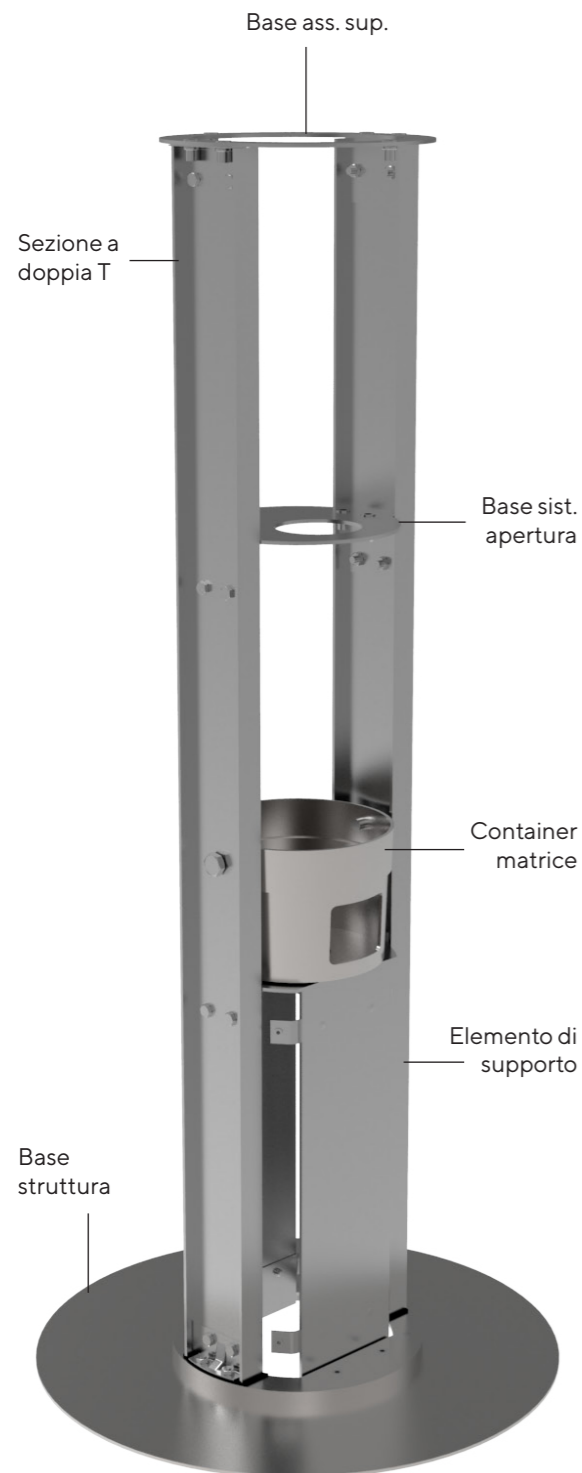


Fig. 70



Fig. 71

## FRAME



### Componenti:

- Sezione a doppia T (x2)
- Base assieme superiore
- Base sistema di apertura
- Base container matrice
- Container matrice
- Base struttura
- Elemento di supporto
- Materiale isolante
- Elementi di fissaggio

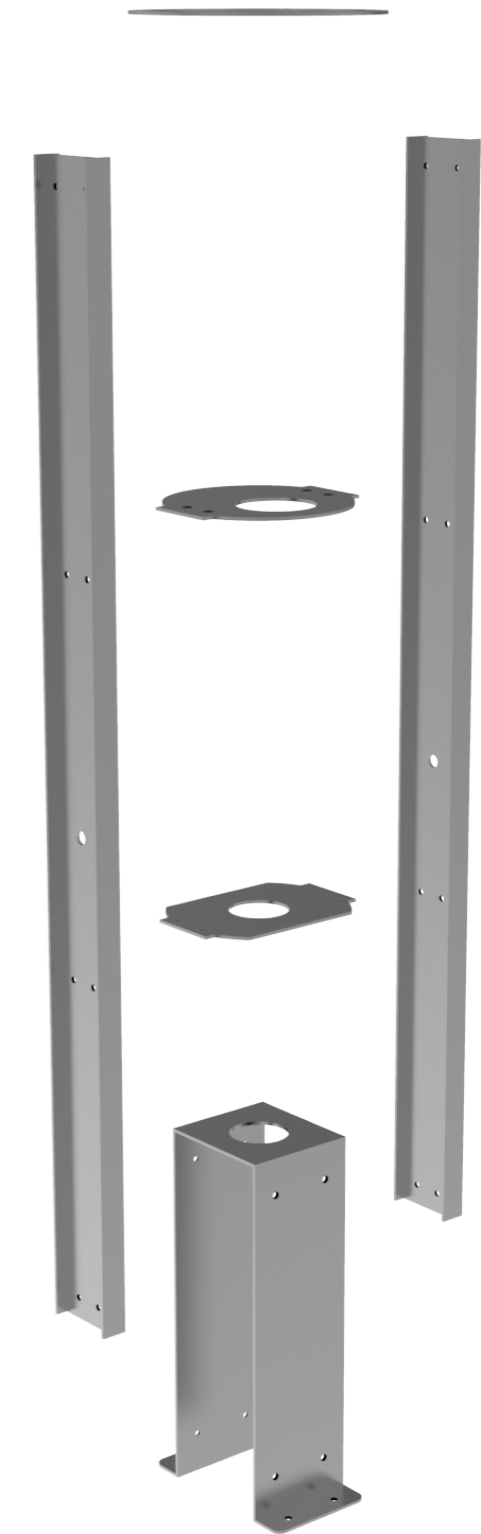
### Materiale: Acciaio zincato

La maggior parte dei componenti della struttura è realizzata in acciaio al carbonio, perchè questo è di gran lunga il materiale più adatto rispetto ai requisiti di progetto. Questo tipo di acciai sono infatti leghe **Ferro-Carbonio** in cui la percentuale di Carbonio non è superiore al 2,06%. Anche in questo caso un rivestimento di zinco garantisce una protezione rispetto alla **corrosione galvanica** e prolunga la vita utile del metallo. Questo tipo di materiale garantisce ottime proprietà meccaniche e resistenza alla corrosione pur risultando più economico rispetto all'acciaio inox.

### Processi di produzione:

Le sezioni a doppia T sono dei "buy" component e vengono prodotte per **estrusione** e successivamente forate. L'elemento di supporto è ottenuto a partire da una lamiera che viene **punzonata e piegata**. I tre elementi piani che fungono da basi di appoggio sono sagomati attraverso **taglio al plasma** per ottenere la forma desiderata.

- Ottima rigidità  
*Modulo di Young (longitudinale)* **210000 (N/mm<sup>2</sup>)**
- Duttilità e tenacità  
*Resistenza lim. snervamento* **430 N/mm<sup>2</sup>**  
*Resistenza lim. elastico* **190 N/mm<sup>2</sup>**
- Economicità **0,95 - 0,15 €/Kg**



**Container matrice****Requisiti:**

- Ottime propr. mecc.  
Modulo di Young (longitudinale) **193000 (N/mm<sup>2</sup>)**  
Modulo di Young (tangenziale) **86200 (N/mm<sup>2</sup>)**  
Carico di rottura alla trazione **515 N/mm<sup>2</sup>**
- Non deve provocare corrosione galvanica **E' lo stesso materiale della matrice**
- Deve essere stampato **Facilmente processabile**

**Materiale:** Acciaio inox AISI 304

Dato che la matrice sarà realizzata in acciaio inox, il suo container dovrà prevedere un materiale che non comporta la corrosione galvanica per via del contatto tra i due componenti. Per questo motivo è stato scelto un acciaio inossidabile, in particolare l'AISI 304 perchè quello destinato a operare in ambienti non difficili nè inquinanti

**Processo di produzione:**

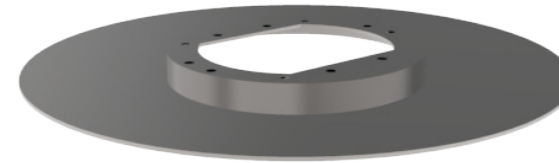
Gravity Die Casting

In questo processo il metallo fuso viene versato grazie alla forza di gravità all'interno di uno stampo pre-riscaldato dove solidifica.

E' possibile stampare metalli ferrosi e non ferrosi e nel caso di leghe ferro carbonio si usano stampi in grafite. Il tasso di produzione è 5/50 pezzi l'ora. E' un processo adatto ad alti volumi di produzione ma i costi dell'impianto, degli strumenti e del lavoro sono moderati.

**Regole di progettazione:**

- I sottosquadri sono possibili ma con costi aggiuntivi
- Gli angoli di sformo variano da 2 a 3°
- Sezione minima: 2mm

**Base generale****Materiale:** Acciaio inox AISI 304

Anche in questo caso il materiale prescelto è l'AISI 304 perchè soddisfa i requisiti di progetto. Pur essendo un materiale più costoso dell'acciaio zincato garantisce una migliore protezione rispetto all'ambiente esterno, dato che si trova esposto, e soprattutto possiede una migliore finitura superficiale, ragion per cui viene spesso utilizzato con funzione estetica.

**Processo di produzione:** Imbutitura

Lo stampaggio di questo componente avviene a freddo partendo da una lamiera opportunamente sagomata.

Il processo di imbutitura avviene attraverso l'uso di un punzone che spinge la lamiera all'interno di una matrice, ma è necessario un prelamiera che ha lo scopo di impedire il trascinamento della lamiera stessa e di evitare la formazione di pieghe ai bordi.

Lo stampaggio avviene mediante presse meccaniche nel caso si richiede alta velocità di produzione e piccole e medie profondità.

**Requisiti:**

- Elevata densità **7,93 Kg/dm<sup>3</sup>**
- Ottima finitura superficiale **Valenza estetica del materiale**
- Resistenza alla corrosione atmosferica **Elevata**

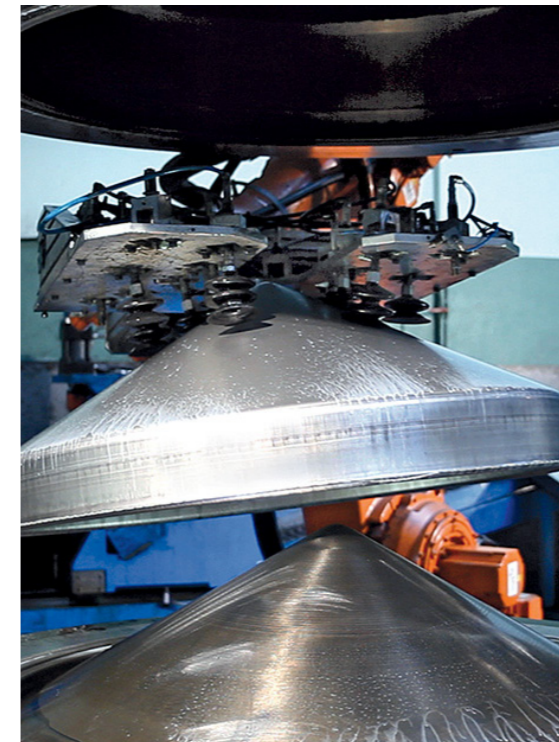


Fig. 72

Fig.72: Processo di imbutitura di componente conico



## CONTAINER



### Requisiti:

- Ottima conducibilità termica **190 Kcal/m°C**
- Bassa densità **2,7 g/cm<sup>3</sup>**
- Ottima duttilità  
Modulo elastico **70000 N/mm<sup>2</sup>**  
Carico di snervamento **345 MPa**  
Carico di rottura **483 MPa**
- Processabilità **Lavorabile per imbutitura profonda**

**Materiale:** Alluminio Serie 1000

Per questo componente l'alluminio è stato preferito all'acciaio inox per diverse ragioni. Innanzitutto il container ha una forma complessa, e l'alluminio è caratterizzato da una maggiore **mal-leabilità**; Con questo materiale è infatti possibile ottenere forme che non sarebbero altrimenti possibili in acciaio senza incrinature o strappi. Inoltre l'alluminio ha una maggiore **conducibilità termica**, e questo è fondamentale dato che lo scopo del componente è quello di permettere il passaggio di calore ed essiccare il caffè. Infine la leggerezza è un ulteriore punto a favore.

**Processo di produzione:** Imbutitura

Come per la base del frame, questo container viene realizzato attraverso il processo di imbutitura partendo da una lamiera. In questo caso si parla di "profonda imbutitura" dato che il componente è alto 280mm e ha un diametro di 160 mm. Un'altra caratteristica di questo componente è la asimmetria della sua parte finale che può essere realizzata attraverso il processo produttivo prescelto.



### Requisiti:

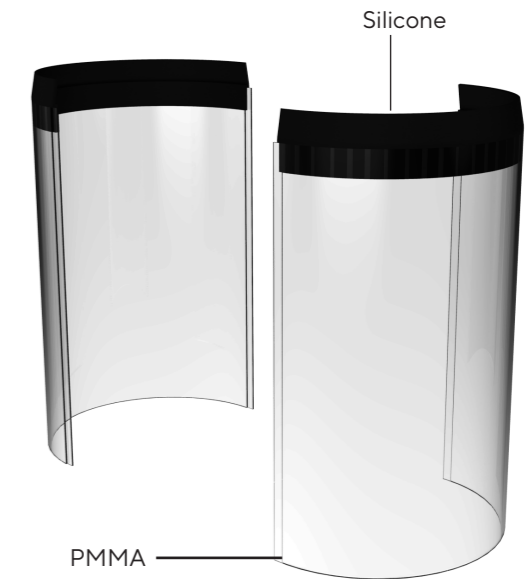
- Trasparenza  
Fattore di trasmissione **93% (DIN5036)**  
Indice di rifrazione **1,492**
- Resistenza umidità  
Assorbimento acqua al 50% **0,2 (ISO 62)**  
Assorbimento d'acqua a saturazione **0,5 (ISO 62)**
- Resistenza al calore  
Deformazione a temperatura: **100°C**

**Materiale:** PMMA e Silicone

Il container che chiude la matrice è realizzato in Polimetilmetacrilato (PMMA) perchè quest'ultimo è un materiale molto trasparente, anche più del vetro. Questo componente ha infatti la funzione di chiudere la matrice e i rulli evitando la fuoriuscita di caffè all'esterno, ma allo stesso tempo deve permettere di vedere cosa succede all'interno, così da comunicare agli utenti la funzione del prodotto. Il PMMA è quindi il materiale più adatto perchè oltre ad essere **trasparente** è anche un materiale **economico** e con una buona **resistenza all'umidità**.

La guarnizione che si trova sopra questo componente ha la funzione di isolare

## COPERCHIO MATRICE/RULLI



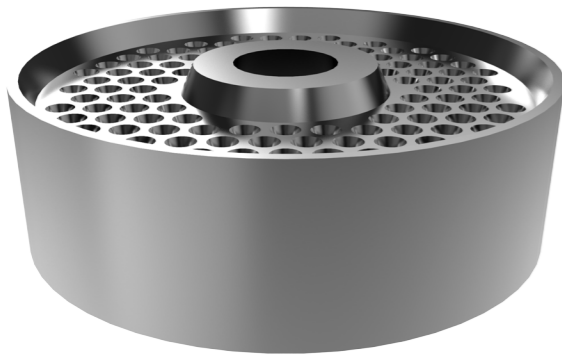
il sistema da possibili fuoriuscite di materiale, dato che questo si presenta sotto forma di piccoli granuli e particelle che vengono smosse durante il processo di pellettizzazione.

Il **silicone** essendo flessibile ed elastico, oltre a isolare il processo permette anche di sollevare i due coperchi, facendo pressione sul componente soprastante, così da eliminare i vincoli geometrici e permetterne l'estrazione.

**Processo di produzione:** Estrusione

Entrambi i componenti vengono prodotti per estrusione partendo da un profilo ben definito.

## MATRICE



### Requisiti:

-Durezza	
Brinell (HB) max	<b>235</b>
Rockwell B (HRB) max	<b>88</b>
- Ottime proprietà mecc.	
Modulo Young (longitudinale)	<b>216000 (N/mm<sup>2</sup>)</b>
Modulo di Young (tangenziale)	<b>96000 (N/mm<sup>2</sup>)</b>
-Buone proprietà termiche	
Conducibilità termica	<b>30W/mK</b>
Calore specifico	<b>460J/kgK</b>
- Resistenza alla corrosione	<b>elevata</b>

### Materiale: Acciaio inox AISI 420

L'acciaio inossidabile AISI 420 è un acciaio a **struttura martensitica**. Questo tipo di acciaio inossidabile presenta ottime proprietà meccaniche e di durezza ed una buona resistenza alla corrosione rispetto ai classici acciai inossidabili austenitici e ferritici solitamente impiegati. Per ottenere la struttura martensitica responsabile dell'indurimento del materiale, esso subisce un processo di rapido raffreddamento detto **tempra** che ha lo scopo di "congelare" una fase che è stabile ad alta temperatura, ma instabile a temperatura ambiente. Questo materiale presenta quindi un buon compromesso tra durezza, resistenza e tenacità.

### Processo di produzione: Machining

La matrice, è uno dei componenti più importanti del progetto perchè dalle sue caratteristiche dipende la qualità finale del pellet.

Essendo fondamentale la precisione dimensionale nonché la finitura stessa del materiale si è deciso di utilizzare la lavorazione a macchina, un processo che utilizza un utensile di taglio e un blocco di materiale da lavorare per sottrazione. Le tre principali operazioni di questo processo sono:  
*tornitura, fresatura e foratura.*

La **tornitura** consiste in una rotazione del pezzo da lavorare e un movimento dell'utensile in direzione parallela all'asse di rotazione.

La **fresatura** serve a generare superfici piane per mezzo di un utensile rotante e un movimento del pezzo da lavorare in direzione perpendicolare all'asse dell'utensile.

La **foratura** serve alla realizzazione di fori per mezzo di un utensile rotante che si muove in direzione parallela al suo asse di rotazione.

### Considerazioni economiche:

- L'utilizzo di materiale è medio basso ma gli scarti possono essere riciclati.
- E' un processo economico per quantità superiori alle mille unità.
- I costi degli strumenti sono medio-alti per lavorazioni automatizzate, ma bassi per lavorazioni manuali
- I costi dell'impianto sono alti per lavorazioni automatizzate e CNC, mentre sono moderati per lavorazioni manuali
- I costi del lavoro sono alti per lavorazioni manuali e medio bassi per lavorazioni automatizzate e CNC



Fig. 73

Fig.73: Operazione di tornitura

## ASSIEME RULLI



### Materiale: Acciaio inox AISI 420

L'acciaio utilizzato per questi due componenti è l'AISI 420 a struttura martensitica grazie alle sue proprietà di durezza, resistenza e tenacità. E' inoltre dotato di una resistenza a corrosione superiore rispetto ai classici acciai inossidabili e questa caratteristica è molto utile dato che i rulli andranno ad operare in condizioni di forte umidità.

### Processi di produzione: Machining

Il corpo metallico su cui vengono montati i rulli e che gira insieme all'albero montato al motore necessita di un'elevata precisione dimensionale e di una buona finitura superficiale, di conseguenza,



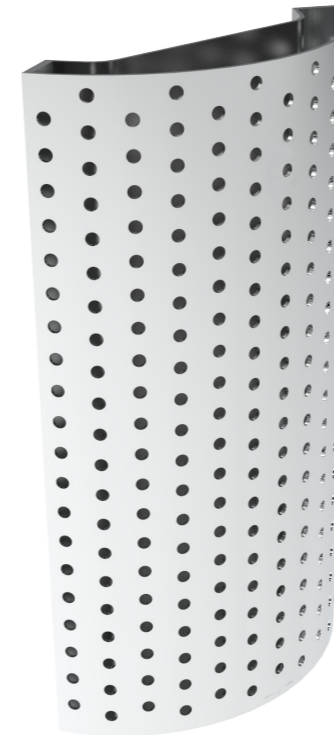
### Requisiti:

- Durezza  
*Brinell (HB) max* **235**  
*Rockwell B (HRB) max* **88**
- Ottime proprietà mecc.  
*Modulo Young (longitudinale)* **216000 (N/mm<sup>2</sup>)**  
*Modulo di Young (tangenziale)* **96000 (N/mm<sup>2</sup>)**
- Buone proprietà termiche  
*Conducibilità termica* **30W/mK**  
*Calore specifico* **460J/kgK**
- Resistenza alla corrosione **elevata**

così come per la matrice, è realizzato attraverso operazioni di machining, tra cui la tornitura per i due alberi.

Il rullo viene invece ottenuto per estrusione e anche esso lavorato al tornio per ottenere lo smusso e il rilievo per l'anello elastico che bloccherà i cuscinetti.

## PELLET CONTAINER



### Materiale: Alluminio serie 1000

Per la realizzazione di questo componente uno dei requisiti principali è la **leggerezza** dato che il contenitore deve permettere di essere maneggiato con agevolezza e facilità.

Inoltre dato che questo sarà riempito dai pellet che fuoriescono dalla matrice, il requisito del peso diventa ancora più stringente. Per queste ragioni l'alluminio è stato preferito all'acciaio nonostante il costo leggermente superiore.

Questo materiale è infatti caratterizzato da **bassa densità, resistenza a corrosione e facilità di lavorazione.**

Rispetto all'acciaio è più malleabile ed elastico e quindi permette di essere lavorato con maggiore facilità. Inoltre è molto più leggero, fino a 2,5 volte tanto. Dato che il materiale entrerà in contatto con la base della struttura in acciaio inox, è necessario impedire la corrosione galvanica utilizzando degli inserti ad U in **silicone** per evitare il passaggio di corrente

### Processi di produzione:

Piegatura, Punzonatura, Calandratura

Il container è costituito da tre pezzi. La parte posteriore è ottenuta per piegatura di una lamiera; quella frontale dopo essere stata punzonata viene calandrata, ovvero forzata a passare attraverso dei rulli per acquisire la tipica curvatura. Infine il pezzo inferiore è tagliato al plasma per aderire perfettamente alle due pareti.



### Requisiti:

- Bassa densità **2,7 g/cm<sup>3</sup>**
- Ottima duttilità  
*Modulo elastico* **70000 N/mm<sup>2</sup>**  
*Carico di snervamento* **345 MPa**  
*Carico di rottura* **483 MPa**
- Resistenza a corrosione **Elevata**

# 7.

## BIBLIOGRAFIA

### Libri

Charis M. Galanakis, (2017), Handbook of Coffee Processing By-Product, Sustainable Applications, Chapter 11, Energy applications of coffee processing by-products

### Articoli scientifici

- U. Fernandes, M. Costa, (2011), Particle emissions from a domestic pellets-fired boiler
- Linda S. Bæverfjord, Bo Leckner, Claes Tullin, Morten Berntsen, (2011) Particle emissions from pellets stoves and modern and old-type wood stoves
- Mejdi Jeguirim, Lionel Limousy & Eric Fossard (2016) Characterization of coffee residues pellets and their performance in a residential combustor, International Journal of Green Energy, 13:6, 608-615, DOI: 10.1080/15435075.2014.888664
- Lina F. Ballesteros & José A. Teixeira & Solange I. Mussatto, (2014), Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin
- Sae Byul Kang a, Hong Young Oh, Jong Jin Kim, Kyu Sung Choi (2017), Characteristics of spent coffee ground as a fuel and combustion test in a small boiler (6.5 kW)
- L. Limousy, M. Jeguirim, P. Dutournié, N. Kraiem, M. Lajili, R. Said, (2012), Gaseous products and particulate matter emissions of biomass residential boiler fired with spent coffee grounds pellets
- Adriana S. Franca, Leandro S. Oliveira, (2009), Coffee processing solid wastes: current uses and future perspectives
- Thomas Ammerlaan, Violette Barrière, Pascal Genest-Richard, Sandra Rabow, (2012), Tales of a Forgotten Bioresource: The recycling of spent coffee grounds
- Lionel Limousy, Mejdi Jeguirima, Stephane Labbe, Fabien Balay, Eric Fossard, (2015) Performance and emissions characteristics of compressed spent coffee ground/wood chip logs in a residential stove
- A. Deligiannis, Papazafeiropoulou, Anastopoulos, Zannikos (2011), Waste Coffee Grounds as an Energy Feedstock,

- Kathiravan Krishnamurthy, Harpreet Kaur Khurana, Soojin Jun, Joseph Irudayaraj, and Ali Demirci (2008), Comprehensive reviews in food science and food safety, Vol.7 Infrared Heating in Food Processing: An Overview

- Xiaofeng Li, Vladimir Strezov, Tao Kan (2014), Energy recovery potential analysis of spent coffee grounds pyrolysis products

- R. Ktori, P. Kamaterou, A. Zabaniotou (2017), Spent coffee grounds valorization through pyrolysis for energy and materials production in the concept of circular economy

- Aleksander Lisowski, Dariusz Olendzki, Adam Świętochowski, Magdalena Dąbrowska, Leszek Mieszkalski, Ewa Ostrowska-Ligęza, Mateusz Stasiak, Jacek Klonowski, Michał Piątek, (2019), Spent coffee grounds compaction process: Its effects on the strength properties of bio-fuel pellets

### Sitografia

- Marco Ghedini, (2015) Gli italiani e la tazzina  
[www.largoconsumo.info/072013/PL-0713/003.pdf](http://www.largoconsumo.info/072013/PL-0713/003.pdf)
- What's The Compression Ratio Of Wood Pellet Machine?  
<http://www.gemcoppelletmills.com/pellet-mill-die-compression-ratio.html>
- Flat dies details  
<http://pelet.atlibron.com/en/flat-dies-details>
- Jack Huang (19/09/2013) Study on Dies for Wood Pellet Machines  
<http://www.biofuelmachines.com/Study-on-Dies-for-Wood-Pellet-Machines.html>
- Flat Die  
<http://www.pelletmilldie.com/flat-die/index.html>
- Sensori di Umidità, come funzionano  
<https://www.itsensor.it/blog/sensori-umidita-come-funzionano/>

- Quali sono le differenze tra un sistema trifase e uno monofase  
<https://www.puntoluca.net/comefare/differenze-sistema-monofase-trifase/>
- Come scegliere un motore elettrico  
<http://guide.directindustry.com/it/come-scegliere-un-motore-elettrico/>
- Motori sincroni e asincroni quali i migliori?  
<http://scienzapertutti.infn.it/chiedi-allesperto/tutte-le-risposte/553-48-motori-sincroni-e-asincroni-quali-i-migliori>
- Motore: come si calcola la potenza di un motore  
<http://motori.quotidiano.net/fashionwheels/curiositamondoauto/motore-come-si-calcola-la-potenza-di-un-motore.htm>
- Marco Dal Prà (2008), Confronto tra motori AC e DC  
<https://www.docsity.com/it/confronto-tra-motori-a-corrente-continua-e-corrente-alternata/539569/>
- Le trafile  
<http://ecodens.it/progetto-ecodens/il-processo-di-pellettizzazione/pellettizzazione/pellettizzazione-le-trafile/>
- Guida di riferimento rapido sullo Stampaggio a Iniezione rapida per tecnici e progettisti  
<https://www.protolabs.it/risorse/white-papers/progettazione-per-la-realizzabilita-volume-1/>
- Metallizzazione e Sputtering  
<https://eurogalvano.it/galvanica-e-trattamenti-galvanici/metallizzazione-e-sputtering/>