

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

**Azoto, Vuoto e Freddo: tre tecnologie a confronto
in ottica di Preservation del caffè**



Relatore:

Chiar.mo Prof. Terenziano Raparelli

Candidato:

Leonardo Sergio

Correlatore:

Chiar.mo Ing. Gabriele Molinaro

Anno accademico 2019/2020

LAVAZZA
GROUP

Indice

Capitolo 1	1
1.1 Abstract	1
1.2 Luigi Lavazza S.p.A. – una realtà imprenditoriale tutta italiana	3
1.3 Luigi Lavazza S.p.A. – l’esperienza di Stage	9
Capitolo 2	15
2.1 Caffè – Proprietà organolettiche e Shelf-life	15
2.1.1 Il prodotto – alcune definizioni	15
2.1.2 La conservabilità del prodotto – il concetto di Shelf life	16
2.1.3 Shelf life del caffè – focus sui fenomeni ossidativi	22
2.1.4 Shelf life – limite di accettabilità e modelli predittivi	25
2.1.5 Shelf life secondaria – definizione e applicazione del concetto	30
2.2 Tecnologie di Preservation – brevetti esistenti	33
2.2.1 Vuoto – Brevetto applicazione Bianchi	33
2.2.2 Azoto – Brevetto applicazione Sanyo	36
2.2.3 Freddo – Brevetto applicazione Sanyo	39
Capitolo 3	43
3.1 Studi Sperimentali sulla Shelf life del caffè – Lavazza R&D	43
3.1.1 Introduzione – impostazione del piano di analisi e test	43
3.1.2 Shelf life del caffè – i risultati sperimentali ottenuti	45
3.1.3 Shelf life del caffè – il tema della sporchevolezza	58
Capitolo 4	63
4.1 Azoto – analisi della componentistica	63
4.2 Vuoto – analisi della componentistica	69

4.3 Freddo – una tecnologia efficiente in termini di Preservation_____	71
4.3.1 Il modello termodinamico _____	72
4.4 Attività di prototipazione in macchina_____	84
4.4.1 Prototipo n°1 – scenario di raffreddamento parziale _____	86
4.4.2 Prototipo n°2 – scenario di raffreddamento completo_____	99
Capitolo 5 _____	103
5.1 Freddo – situazione attuale e possibili “fine tuning” futuri _____	103
5.1.1 Controllo via software della temperatura – elettronica dedicata (relè) _____	104
5.1.2 Test in cella climatica – fenomeno della condensa _____	107
5.2 Conclusioni _____	108
Bibliografia _____	112

Capitolo 1

1.1 Abstract

Diversi studi presenti in Letteratura, oltre che numerose evidenze sperimentali, mostrano che l'allungamento della shelf life del caffè nonché il mantenimento delle sue proprietà organolettiche nel tempo può essere garantito tenendo sotto controllo tutta una serie di fattori estrinseci ed intrinseci al prodotto quali rispettivamente pressione, temperatura, umidità relativa e presenza di composti ossidanti e antiossidanti, area superficiale, temperatura di transizione vetrosa. Preservare il caffè è certamente arte nota e le varie fonti bibliografiche che trattano il tema presenti in Letteratura ne danno conferma. Preservare il caffè con tecniche note ma in maniera innovativa è invece ciò che Lavazza ha voluto e sta attualmente indagando: è proprio infatti in questo scenario, approfondito nelle pagine successive, che si inserisce il presente lavoro di tesi, il quale ha come obiettivo quello di analizzare e confrontare tre differenti tecnologie con le quali è possibile garantire la Preservation del caffè: Vuoto, Azoto e Freddo. Tutte e tre

sono state affrontate dando un taglio puramente tecnico alla trattazione (analisi delle prestazioni, specifiche tecniche dei componenti, applicazioni etc.) facendo un focus particolare sulla tecnologia del freddo, per la quale ho personalmente condotto una attività sperimentale e di prototipazione ad hoc. Più nel dettaglio, il focus sulla tecnologia del freddo ha previsto una parte iniziale di progettazione termodinamica di un sistema di refrigerazione (realizzazione di un modello teorico di calcolo delle potenze termiche ed elettriche in gioco e degli spessori di isolante da prevedere per evitare il fenomeno del “dew point”) ed una seconda parte più operativa di prototipazione in macchina finalizzata a confermare le scelte tecniche prese in fase progettuale. In generale, parlare di “tecnologie” è ovviamente un modo per racchiudere in uno scenario più ampio quelle che sono tre differenti applicazioni di vuoto, azoto e freddo. Più nel dettaglio, l’analisi è convogliata su campana “sotto-vuoto”, generatore di azoto e dispositivo per il condizionamento dell’aria interna ad una macchina Vending in vari scenari di raffreddamento. È bene sottolineare che questo lavoro di tesi si inserisce nell’ambito di un progetto promosso da Lavazza con il quale l’azienda ha l’obiettivo di aggredire ulteriormente il mercato del caffè, in ambito Vending Machine, portando all’utente finale una Premiumness del prodotto superiore. Per finalizzare questo obiettivo si è pensato di indagare su tutta una serie di possibili soluzioni tecniche e quelle in definitiva selezionate sono quelle su cui il presente lavoro di tesi ha basato la sua analisi. Seguiranno nelle pagine successive una parte introduttiva dedicata all’azienda e alla mia personale esperienza di stage, una parte successiva in cui viene fatto un approfondimento circa quanto riportato dalle varie fonti bibliografiche presenti in letteratura, una parte dedicata ai risultati sperimentali ottenuti dai vari test organolettici e strumentali eseguiti in Lavazza

ed infine due sezioni dedicate rispettivamente al caso studio vero e proprio e alle conclusioni. A completamento di quanto detto, l'intero lavoro di tesi ha avuto luogo durante e dopo il mio tirocinio curriculare della durata di sei mesi svolto in Lavazza.

1.2 Luigi Lavazza S.p.A. – una realtà imprenditoriale tutta italiana

Quella di *Luigi Lavazza S.p.A.* è una storia che affonda le proprie radici nella Torino dell'ultima decade del XIX secolo. In quegli anni infatti il suo fondatore, *Luigi Lavazza*, lascia il paesello in cui era nato nei pressi di Alessandria per spostarsi a Torino dove avvia la sua attività imprenditoriale rilevando una piccola drogheria: quello in cui si specializza è il prodotto che lo affascinava di più, il caffè. Cercando di fare un lavoro di fantasia, è possibile immaginare il signor Luigi circondato da sacchi di diversi tipi di caffè, concentrato nella creazione di nuovi blend: è il 1895, anno in cui l'impero del caffè Lavazza ha finalmente inizio (Lavazza, 2020). Al contrario delle altre drogherie che limitavano la loro attività alla semplice vendita al dettaglio delle singole varietà di caffè, Lavazza fu uno dei primi a concepire l'importanza di creare *blend differenti*, combinando al meglio le origini a sua disposizione. Il signor Luigi era un uomo pieno di spirito d'iniziativa, inventiva e passione per il proprio lavoro: egli infatti fu uno dei primi a indagare le caratteristiche e le diverse origini di una pianta, il caffè, fino a quel tempo ignota ai più, studiando a fondo l'arte del *blending* e avendo come unico obiettivo quello di soddisfare i gusti dei clienti. Illuminante fu il suo viaggio in Brasile, grazie al quale riuscì ad intravedere, in un'epoca di grandi e repentini cambiamenti, le grandi potenzialità della bevanda (Lavazza, 2020). Ci basta pensare che i caffè

Lavazza che oggi sorseggiamo comodamente sul divano delle nostre case, negli uffici o molto più semplicemente nei bar altro non sono che il frutto della sua idea geniale di unire caffè provenienti da differenti parti del mondo. Facendo un salto temporale di circa 30 anni arriviamo al 1927, anno di nascita della *Luigi Lavazza S.p.A.*: dalla piccola realtà artigianale di una drogheria alla nascita di una impresa destinata a crescere negli anni e a divenire leader del settore (Lavazza, 2020). Da questo momento in poi l'azienda vivrà periodi di forte mutamento, proprio come quello del secondo dopoguerra, momento storico in cui in Italia si vive ormai un forte desiderio di rinascita. Nel 1946 l'Italia è diventata una Repubblica, gli italiani hanno ormai superato la guerra e il periodo di blocco delle importazioni di caffè. Sono gli anni in cui si assiste al passaggio dalla vendita del caffè sfuso a quella in pacchetto con marchio. È del 1947 il primo vero e proprio marchio Lavazza, realizzato dall'Aerostudio Borghi di Milano: la lettera "A" centrale, più grande rispetto alle altre lettere, è ciò che continua a caratterizzare il marchio ancora oggi (Lavazza, 2020). Facendo un salto temporale di circa 2 anni, è possibile giungere al 1949, anno in cui Lavazza brevetta un contenitore cilindrico con coperchio a pressione: nasce a tutti gli effetti la prima lattina a marchio Lavazza. Viene utilizzata per la prima volta la lattina sottovuoto spinto al fine di permettere una conservazione ottimale della fragranza oltre che del profumo del caffè. Questo permise naturalmente di fare un grande balzo in avanti per la distribuzione di Lavazza, in quanto il prodotto poteva essere conservato molto più a lungo. Ci troviamo nel 1955, anno in cui Emilio Lavazza, nipote di Luigi, fa il suo ingresso nella azienda di famiglia con l'obiettivo di realizzare idee estremamente innovative: è dal suo contributo che nasce la storica "Miscela Lavazza" (Girardi, 2020). A partire da qui, le evoluzioni del brand, che amplia la

propria leadership in Italia ottenendo fino al 43% di quota di mercato, sono molteplici. Illuminante, in tal senso, si è rilevato l'abbinamento di ricerca sul prodotto e utilizzo concreto e sistematico di pubblicità e marketing (Girardi, 2020). Due anni più tardi, nella sede di Corso Novara, nasce la grande industria di torrefazione Lavazza (Lavazza, 2020). L'elemento per il quale sin da subito si è contraddistinto il cambio di rotta della Lavazza S.p.A, con l'apertura della nuova sede, è stato senza ombra di dubbio il rivoluzionario ciclo di lavorazione "a caduta", grazie al quale era possibile trattare oltre 40.000 kg di caffè al giorno: tramite un processo di produzione verticale, molto più efficiente rispetto al precedente, Lavazza segna un crocevia per lo sviluppo della torrefazione al livello industriale (Lavazza, 2020). È di due anni più tardi, del 1959, il lancio ufficiale di Lavazza del suo primo caffè decaffeinato: il Dec. Vigorosa prosegue la crescita industriale con l'apertura, nell'anno 1965, del più grande stabilimento di torrefazione d'Europa, a Settimo Torinese. La reputation del brand diventa uno dei capisaldi dell'azienda, ed è per questo che marketing e pubblicità diventano i mezzi principali con cui Lavazza inizia ad entrare nelle case degli Italiani (Lavazza, 2020). Basti pensare al famoso Lavazza Qualità Rossa che arriva sugli scaffali nel 1971 con le nuove confezioni sottovuoto che mantengono intatto l'aroma del caffè o ai notevoli passi in avanti fatti a livello di comunicazione, quando nel 1977, grazie anche alla televisione divenuta a colori, Nino Manfredi diventa il volto Lavazza, rimanendo testimonial per 16 anni (Girardi, 2020).



Figura 1.2.1 - Lavazza qualità rossa arriva sugli scaffali degli italiani (Lavazza, 2020)

Siamo nel 1979, anno in cui sorge il primo centro per gli Studi e le Ricerche sul caffè: nasce il Centro Luigi Lavazza. Le principali attività per le quali nasce questo centro di ricerca sono fondamentalmente le ricerche sulla bevanda, l'educazione al consumo di caffè, nonché un approfondimento sui suoi effetti e la sua promozione (Lavazza, 2020). La prima sede estera Lavazza nasce nel 1982, è a Vincennes nei pressi Parigi. A seguire, successivamente alla nascita della prima consociata estera, nel 1990 a Londra sorge la Lavazza Coffees Ltd, con l'obiettivo di diffondere il buon caffè italiano in Gran Bretagna. Sono gli anni in cui Lavazza inizia ad affacciarsi in maniera più importante sul palcoscenico estero, tanto da considerare interno l'intero mercato europeo (Lavazza, 2020). Un anno prima della costituzione della sede di Londra, nasce il settore di Distribuzione Automatica Lavazza proprietario con il sistema Espresso Point. Si concretizza, con l'introduzione di questo nuovo sistema, l'idea di permettere ad una macchina espresso di utilizzare capsule monodoso confezionate di caffè. Sono questi, infatti, gli anni in cui si assiste ad un vero e proprio passaggio dai sistemi "non autoprotetti" a quelli "autoprotetti", ossia quelli per i quali il pack primario rappresentava di per sé l'unica barriera per il caffè contro gli agenti esterni degradanti (primo fra tutti l'ossigeno). La tecnologia precedente a quella dei

sistemi autoprotetti consentiva la conservazione ottimale del caffè solo grazie all'utilizzo di un pack secondario: l'eliminazione di questo aspetto con l'introduzione degli ormai noti "sistemi a capsula autoprotetta" ha sicuramente permesso di abbattere notevolmente il consumo di materia prima per l'imballaggio del prodotto oltre che permettere un saving di costo non indifferente. Va ricordato che Lavazza è stata la prima, in Italia, azienda produttrice di caffè ad introdurre sul mercato la tecnologia del caffè in capsula con un know-how ormai consolidato da oltre 30 anni. Tra i sistemi autoprotetti di cui Lavazza è proprietaria vanno certamente ricordati il sistema "A modo Mio", nato nel 2007 per le realtà Home e piccoli uffici, e i sistemi "Blue" e "Firma", prevalentemente pensati per le realtà di grandi uffici. L'inizio del nuovo millennio è invece caratterizzato dall'impegno sociale di Lavazza che inizia a guardare in maniera più sensibile agli impatti ambientali dei suoi prodotti: si analizzano i processi di lavorazione nei paesi d'origine del caffè e nei medesimi stabilimenti produttivi italiani, la materia prima, le macchine per il caffè, gli imballi, i trasporti di materie prime e dei prodotti, senza tralasciare un tema fondamentale come quello relativo allo smaltimento del prodotto stesso (Lavazza, 2020). In questo contesto, siamo nel 2004, viene presentata la miscela ¡Tierra!. Questa può essere considerata a tutti gli effetti il cuore dei progetti di sostenibilità dell'azienda, che ancora oggi continua a sostenere e finanziare. Quella di Lavazza è stata una iniziativa molto importante, con essa infatti è stato possibile migliorare in maniera concreta e stabile le condizioni di vita di oltre tremila coltivatori di caffè, in otto paesi differenti, contribuendo al miglioramento del loro stile di vita, coinvolgendoli e educandoli a nuove tecniche agricole maggiormente sostenibili ed efficienti e in sostanza favorendo una vera e propria crescita economica.



Figura 1.2.2 - Progetto ;Tierra! (Lavazza, 2020)

In continuità a quanto fatto nei primi anni del 2000, dal 2012 l'azienda ha dato il via ad un percorso finalizzato alla valutazione degli impatti ambientali dei suoi prodotti (Lavazza, 2020): in sintesi Lavazza introduce una valutazione di LCA o Life Cycle Assessment dei suoi prodotti, ossia quella metodologia con la quale vengono considerati tutti gli aspetti legati al prodotto (dalla materia prima alla produzione, dagli stabilimenti produttivi agli imballi, dalle macchia per il caffè allo smaltimento delle capsule). La seconda decade del XXI secolo invece può essere definita per Lavazza quella dell'espansione: nel 2016 acquisisce dal gruppo Jacobs Douwe Egberts la francese Carte Noire per 700 milioni di euro e la danese Merrild. Con l'obiettivo di proseguire con la strategia di acquisire forza nei diversi segmenti del caffè nei rispettivi mercati di riferimento, nel 2017 acquisisce Kicking Horse Coffee in Canada, l'italiana Nims e la francese ESP (Espresso Service Proximité). Nel luglio 2018 rileva Blue Pod Coffee in Australia e nell'Ottobre dello stesso anno l'azienda americana Mars Drinks, divenuta poi l'attuale Lavazza Professional (Lavazza, 2020). L'ultimo vero e proprio cambio di indirizzo

dell'azienda avviene nel 2018 con l'inaugurazione del nuovo centro direzionale Nuvola Lavazza, costruito nel quartiere di Borgo Aurora, Torino.



Figura 1.2.3 – Marchi acquisiti da Lavazza nella seconda decade del XXI secolo (Lavazza, 2020)

1.3 Luigi Lavazza S.p.A. – l'esperienza di Stage

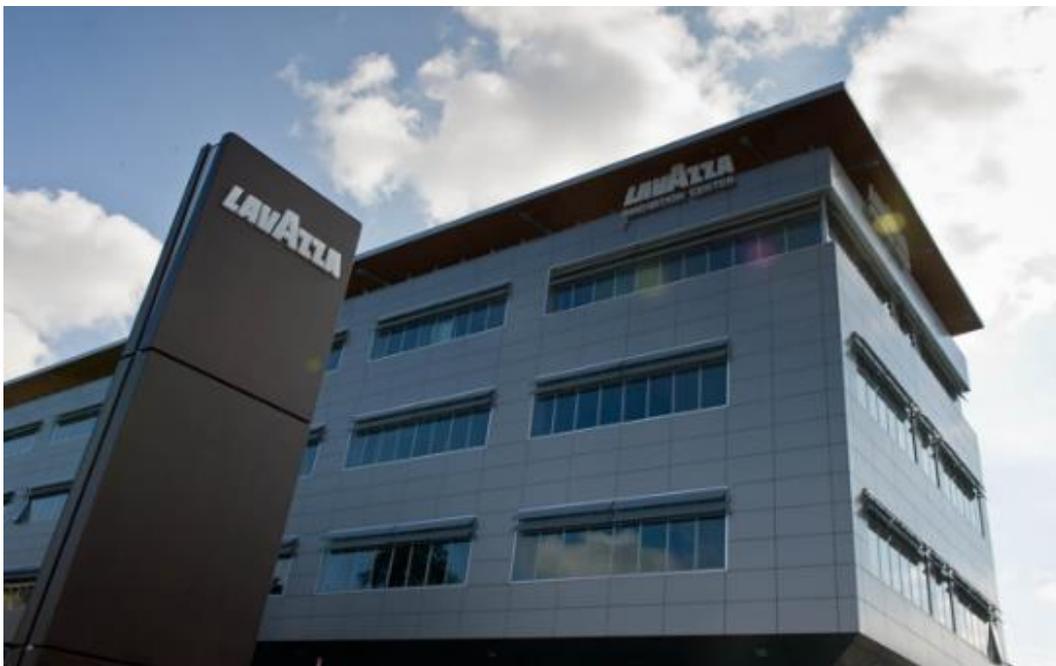


Figura 1.3.1 - Innovation Center - Strada Settimo n° 410 (Lavazza, 2020)

Questo lavoro di tesi si inserisce in maniera preponderante in quella che è tutta l'attività di tirocinio curriculare svolta in azienda, in quanto è proprio durante

esso che ha preso vita l'idea di approfondire i miei studi sulle tematiche oggetto del presente lavoro di tesi. Nel dettaglio lo stage ha avuto luogo presso l'Innovation Center di Luigi Lavazza S.p.A. in Strada Settimo n° 410 (Settimo Torinese, 10156) a partire dall'ultima settimana di Febbraio 2020 con una durata complessiva di 6 mesi. Durante il mio percorso sono stato affiancato da Gabriele Molinaro, tutor aziendale e correlatore, e il Prof. Terenziano Raparelli, tutor accademico nonché mio relatore di laurea. A queste due cruciali figure va aggiunto il grande e stimolante supporto ricevuto dall'intero R&D team – Machine Development con particolare menzione per i miei colleghi Gabriele, Denis e Luca. Tutte le figure con cui ho condiviso questa straordinaria esperienza hanno contribuito in maniera determinante all'accrescimento delle mie conoscenze e competenze sia da un punto di vista professionale, che da un punto di vista personale. L'innovation Center è sede del reparto di Ricerca e Sviluppo di Lavazza. Esso si struttura in 6 differenti funzioni a cui afferiscono oltre 100 dipendenti dai profili più disparati (ingegneri, chimici, tecnici specializzati etc.). Quella di cui io faccio parte è la funzione di Sviluppo Macchina – Brewing Units Development diretta dal mio tutor aziendale Gabriele Molinaro. In sostanza, il mio team si occupa di tutto ciò che ha a che fare con la ingegnerizzazione ed innovazione dei sistemi di erogazione espresso LVZ proprietari oltre che della gestione della linea fluida di macchine da caffè OCS/HCS e sistemi affini. Entrando più nel vivo del mio operato, il lavoro da me svolto all'interno del team di cui faccio parte può essere articolato nelle seguenti attività:

- Progettazione di componentistica meccanica e idraulica nell'ambito delle macchine da caffè e affini

- Progettazione a CAD con l'utilizzo di Software CREO3
- Realizzazione e gestione di specifiche tecniche, disegni 2D e 3D dei componenti su plm Windchill
- Attività di laboratorio su sistemi prototipali e macchine da caffè
- Attività di benchmark sulle macchine concorrenti, con principale focus sulla componentistica idraulica
- Scouting con fornitori di componentistica al fine di individuare le migliori soluzioni presenti sul mercato
- Attività di analisi su macchine da caffè difettose che rientrano dal mercato o dagli stabilimenti produttivi

A corollario di quanto detto sopra, tutta l'attività di progettazione di componentistica meccanica e idraulica svolta è stata incentrata soprattutto sulla realizzazione di circuiti idraulici (progettazione e messa in tavola) dimensionamento di massima di componenti quali pompe e flow-meter e scelta di elettrovalvole per la gestione di fluidi. Particolarmente rilevante è stata tutta l'attività di gestione e realizzazione di specifiche tecniche di progetto, scrittura e archiviazione di documenti ingegneristici, test report e specifiche di componenti. Preponderante è stata tutta l'attività di laboratorio svolta soprattutto in ottica del lavoro di tesi. Questo, infatti, ha previsto (come si vedrà nei capitoli successivi) una importante fase di attività prototipale con la quale è stato necessario realizzare prototipi funzionanti finalizzati a smarcare principi fisici e di funzionamento altrimenti non comprensibili. È in questo contesto che si inserisce in maniera molto importante il concetto di "processo di innovazione" con il quale ogni progetto, compreso quello sul quale il presente lavoro di tesi ha basato la sua

analisi, viene affrontato. Parlare di processo di innovazione significa fare riferimento ad un processo estremamente strutturato, composto da differenti fasi ognuna delle quali è caratterizzata da un output (idea, concetto, prototipo) con determinate caratteristiche e finalità. Questo processo può essere sintetizzato come nella immagine che segue.

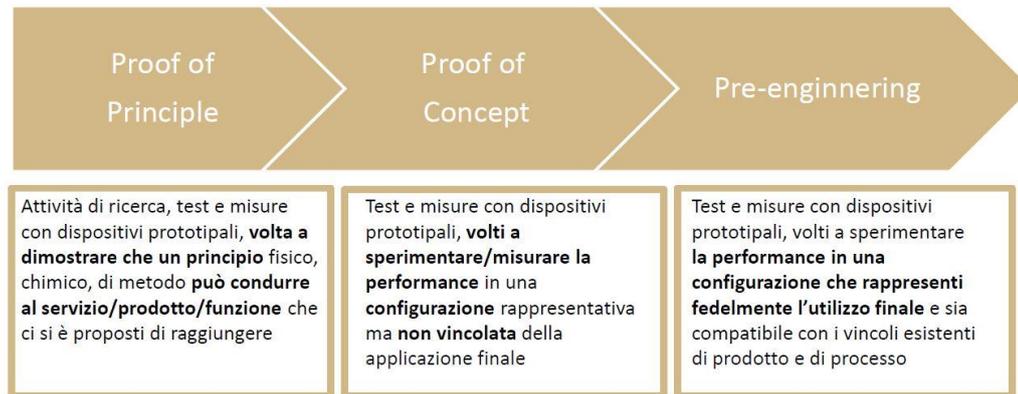


Figura 1.3.2 – Il processo di innovazione in R&D Lavazza

Nel complesso il processo di Innovazione si compone di tre fasi principali:

- Proof of Principle
- Proof of Concept
- Pre-engineering

Ciascuna di queste fasi si conclude con il raggiungimento di un risultato, che sia esso una idea o un prototipo, volto a smarcare tutta una serie di concetti di natura ingegneristica. La prima di queste fasi viene chiamata “Proof of Principle”, e in sostanza è quella fase primordiale con la quale un progetto di Innovazione nasce ed è destinata a dimostrare come un “principio fisico-chimico” possa portare alla concretizzazione di un prodotto/servizio: può essere considerata la fase della “idea” e dell’“ingegno” puri. Segue alla prima, la fase del “Proof of Concept”:

questo è sicuramente uno stadio evolutivo del progetto più maturo e consolidato, in cui si va comprendere in maniera concreta, tramite la realizzazione di prototipi funzionanti, la bontà del principio fisico scelto nella fase antecedente. A chiudere il cerchio dello strutturato processo di Innovazione, c'è la fase del "Pre-engineering". Ultima di tre stadi evolutivi del progetto, la fase del pre-engineering rappresenta la concretizzazione assoluta di una idea/concetto in un prodotto/servizio finito che sia quanto più fedele possibile all'applicazione finale alla quale è destinato. Se da un lato le competenze meramente tecniche sviluppate/migliorate sono quelle fino ad ora elencate, dall'altro lato, di non minore importanza, numerose sono le soft skills che reputo di aver acquisito. Prima fra tutte sicuramente degna di menzione è la capacità di interfacciarsi e comunicare con fornitori esterni. Mi sono state infatti affidate in totale autonomia varie attività di scouting, ricerca di componentistica o in generale di interfacciamento con enti esterni alla azienda. Tra queste degne di nota è possibile ricordare lo scouting condotto con 3 differenti fornitori esterni di elettrovalvole ad uso alimentare, con il quale reputo di aver acquisito una visuale di più ampio respiro su tutto il mondo della componentistica per il food. Di non minore importanza è stato anche il dialogo costante portato avanti con uno studio di consulenza esterno con il quale Lavazza collabora, in quanto grazie ad esso ho avuto modo di avvicinarmi a professionisti esterni alla azienda e di conoscere modi di affrontare i problemi di natura ingegneristica diversi da quelli a me noti. Particolare menzione va riservata alle competenze trasversali acquisite in termini di adattamento e comprensione della realtà aziendale. Infatti, ho avuto l'opportunità di conoscere i complessi processi aziendali su cui si basa il business di una azienda leader del settore al livello internazionale, le strutture in cui essa

si articola nonché l'intera organizzazione su cui essa si fonda. In generale, l'inserimento in un nuovo contesto mi ha permesso di comprendere fino in fondo quelle che sono le dinamiche del mondo professionale, soprattutto in relazione a figure lontane dalla mia formazione, delle quali qualsiasi contesto industriale ha bisogno. In generale, l'ambiente in cui sono stato accolto è stato molto educativo e stimolante. La maggior parte dello stage si è svolta in modalità di “tele-lavoro”, con alternanza di presenza in ufficio. Nonostante le difficoltà riscontrate all'inizio, principalmente legate alla modalità di fruizione del tirocinio che di per sé nasce come attività formativa in presenza, la buona riuscita del tutto non è stata assolutamente intaccata, soprattutto grazie all'enorme supporto del team e della struttura di R&D Lavazza. La collaborazione con il Brewing Units Development team è stata senza ombra di dubbio il fulcro della riuscita di questa esperienza. La notevole flessibilità del contesto aziendale nel quale ho operato ha contribuito a migliorare la mia capacità di interfacciarmi con le varie problematiche che possono sorgere oltre che la mia capacità di essere flessibile e versatile.

Capitolo 2

2.1 Caffè – Proprietà organolettiche e Shelf-life

2.1.1 Il prodotto – alcune definizioni

Il caffè è senza ombra di dubbio il tema centrale sul quale, in maniera trasversale, il presente lavoro di tesi getta le proprie basi. Per questa ragione risulta doveroso iniziare la presente trattazione con alcune definizioni. Il caffè fa parte della categoria di alimenti definiti “stimolanti”, e più in generale è una bevanda ottenuta dalla macinazione di chicchi (semi) provenienti da una specie particolare di pianta appartenente alla famiglia delle *Coffea* (Wikipedia, Caffè, 2020). Le principali categorie alle quali i chicchi di caffè, detti “verdi” quando non sono essiccati, appartengono sono:

- *Coffea arabica* (Caffè arabica)
- *Coffea canephora* (Caffè robusta)
- *Coffea liberica*

Le tre diverse “specie” di caffè differiscono essenzialmente per la loro provenienza geografica (tipologia di terreno, clima), per il loro contenuto di caffeina e per il gusto. Questa breve introduzione su di un tema poco noto ai più, è a mio avviso essenziale per la comprensione di quelle che sono le sezioni della trattazione successive.

2.1.2 La conservabilità del prodotto – il concetto di Shelf life

Il concetto di Shelf life nella sua accezione più generica è qualcosa che abbraccia differenti ambiti del settore alimentare. Molto più in generale, una traduzione letterale della parola “Shelf life” ci direbbe che il termine significa “vita a scaffale”, ossia la vita utile che un alimento, o comunque un prodotto generico, possiede nel momento in cui viene messo in commercio e quindi a scaffale. Per definizione il termine shelf life indica il “periodo che dura dalla produzione alla vendita, nel quale è necessario mantenere intatta la qualità totale del prodotto” (Borgacci, 2020). Nel caso specifico del prodotto caffè, il concetto di shelf life è un qualcosa di estremamente variabile a seconda del tipo di derivato che si considera: ad esempio, la shelf life del caffè macinato o in grani può corrispondere a mesi contrariamente alla durata prima del deperimento di un caffè espresso che può essere stimata di pochi minuti. Va da sé che nel primo caso si rendono necessarie delle procedure appropriate di stima della durata di conservazione del prodotto contrariamente al secondo caso in cui diventano, ovviamente, poco utili. Il motivo per il quale i numerosi prodotti derivati dal caffè possono avere una vita utile molto differente è la “combinazione di più variabili”. Queste possono fare riferimento ad aspetti intrinseci afferenti alla composizione del prodotto e alle sue caratteristiche, ed estrinseci principalmente riguardanti le condizioni di

imballaggio e stoccaggio (Manzocco S. C., 2016). Per poter comprendere a fondo il concetto di shelf life applicato al vasto mondo del caffè è necessario prima ripercorrere quelle che sono le fasi salienti del processo di produzione antecedente la messa in commercio dei suoi derivati principali. I prodotti finiti (o a seconda dei casi semi-lavorati) sui quali la presente trattazione si concentrerà sono rispettivamente:

- Caffè tostato in grani
- Caffè tostato macinato

Il motivo di tale scelta potrà essere compreso nelle sezioni successive. Per completezza, si riportano in Tabella 2.1.1 quelle che sono le fasi tecnologiche utilizzate per ottenere i derivati dal caffè verde sopra citati.

Operazioni	Fenomeni	Effetti	Prodotti
Tostatura	Rimozione Acqua	Imbrunimento dei chicchi	Caffè tostato in grani
	Doratura non enzimatica	Formazione ed emissione di	
	Pirolisi	volatili e CO ₂	
Macinatura	Riduzione delle dimensioni	Espansione del chicco	Caffè tostato e macinato
	delle particelle	Aumento della superficie Rilascio di volatili e CO ₂	

Tabella 2.1.1 – Step tecnologici per l’ottenimento dei prodotti caffè-based (Manzocco S. C., 2016).

La tostatura è la prima operazione fondamentale con la quale, a partire dal caffè verde, è possibile ottenere il caffè destinato a tutti i possibili usi del mercato (caffè macinato, caffè ready-to-drink, caffè concentrato). In questa fase il caffè, ancora sotto forma di chicchi, acquista tutte le sue caratteristiche e peculiarità di natura organolettica. Operativamente, la tostatura dei chicchi di caffè è una operazione che necessita di calore (mediamente si giunge a temperature dell’ordine dei 220-

230°C) ed è quella fase in cui viene ridotto il contenuto di acqua presente nella materia prima (caffè verde) e vengono innescate le reazioni di brunitura non enzimatica e pirolisi. I due processi rispettivamente permettono al caffè di acquisire la sua classica colorazione marrone scuro, tramite l'avvio della *reazione di Maillard* che causa una trasformazione degli zuccheri contenuti all'interno del chicco (Wikipedia, Wikipedia, 2020) e di modificare la propria struttura interna. Uno degli effetti principali del processo di tostatura è il rilascio di CO₂ contenuta nei chicchi, oltre che la produzione di una serie di sostanze volatili e non volatili responsabili della creazione di aroma e gusto del caffè. Il rilascio di CO₂ e delle sostanze volatili durante la tostatura, in combinazione con le alte temperature, genera una espansione in volume (mediamente del 40-60% del loro volume iniziale) e una perdita in peso dei chicchi (si parla del 15-20% di peso in meno rispetto al caffè verde). Come detto, la struttura interna del chicco cambia considerevolmente, passando da essere dura ed elastica a friabile e molto porosa (Coffee, 2020). L'operazione fino ad ora descritta è quella che dunque porta al prodotto finito o semi-lavorato (a seconda del tipo di destinazione) del caffè tostato in chicchi. La fase successiva, nonché precorritrice della classica "estrazione", è la macinatura: questa è l'operazione con la quale il caffè viene trasformato in tanti piccoli frammenti con l'obiettivo di aumentarne la "superficie specifica di estrazione". Questo è un passaggio fondamentale proprio perché permette di realizzare la successiva fase di estrazione, in quanto tramite la macinatura viene facilitato il trasferimento delle sostanze solubili ed emulsionabili dal caffè all'estratto finale (Manzocco S. C., 2016). Chiusa dunque la parentesi iniziale inerente ai vari processi tecnologici che consentono di giungere al caffè come prodotto finito e commercialmente distribuito, è possibile addentrarsi in

quelle che sono le principali cause o, come definiscono Manzocco, Calligaris, Anese e Nicoli in *“The Stability and Shelf life of Coffee Products”*, *“eventi critici”* che comportano il decadimento della shelf life del prodotto. Con particolare riferimento al caffè tostato e caffè tostato/macinato, gli eventi critici che portano alla deplezione della qualità globale del prodotto, ossia che ne causano una instabilità da un punto di vista chimico, sono:

- Perdita di Volatili
- Reazioni ossidative

Nel caso specifico dei prodotti in questione, quindi antecedenti alla fase di estrazione con la quale è possibile ottenere la classica bevanda “caffè”, grazie alla assenza di un elevato contenuto di acqua, la “possibile attività microbica è limitata” (Manzocco S. C., 2016). Questo significa che nel caso specifico del caffè tostato e macinato, quindi di un prodotto “secco”, il tema della shelf-life è maggiormente incentrato su quelle che sono le eventuali “perdite” di aromaticità e caratteristiche organolettiche. Questo è un aspetto fondamentale da sottolineare, in quanto quando si parla di “durata di un prodotto” a scaffale si fa principalmente riferimento al tempo massimo oltre il quale il prodotto potrebbe ledere, se consumato, al consumatore. In generale, da letteratura, l’insorgenza di un difetto definito “staling” viene fatta coincidere con il momento in cui le proprietà sensoriali del caffè decadono. (Nicoli M. S., 2005) riferiscono che lo sviluppo delle reazioni ossidative causa la perdita dei composti principali costituenti l’aroma del caffè oltre che favorire la comparsa di *off-flavours* (ossia la generazione di fragranze non proprie del caffè). Le motivazioni di ciò vanno ricercate nella grande presenza in termini percentuali di composti volatili e non volatili, rilasciati

dal caffè, che reagiscono attivamente con l'ossigeno. Ma se la presenza di queste sostanze funge da importante catalizzatore nelle reazioni di ossidazione è anche vero che non pochi sono i composti, contenuti nel caffè, che fungono da antiossidanti e quindi ostacolano le reazioni di ossidazione prima citate (Manzocco S. C., 2016). Numerose sono le sostanze che agiscono in tal senso e che si generano grazie alla “brunitura non enzimatica” durante la fase di tostatura. Per citarne alcune, come riportato da diversi studiosi quali (Nicoli M. A., 1997); (Anese, 2003), è possibile ricordare l'importante presenza di sostanze *Fenoliche* quali:

- Acidi clorogenici
- Acido caffeico
- Acido ferulico
- Acido cumarico

Questo è ovviamente un risultato contraddittorio con quanto detto precedentemente ma che trova un importante riscontro nella realtà: infatti sono note ai più le importanti proprietà antiossidanti del caffè, un prodotto in grado addirittura, secondo lo studio “Coffee Consumption and Risk of Cardiovascular Events After Acute Myocardial Infarction” pubblicato su “Circulation” (R., 2020), di ridurre sensibilmente la comparsa di ictus, eventi coronarici o morte improvvisa. Questi dati, dunque, non fanno altro che mettere in luce quanta strada ci sia ancora da fare nello studio dei complessi meccanismi legati alle reazioni ossidative che riguardano il caffè (Manzocco S. C., 2016). Come già accennato nell'incipit di questo capitolo, la cinetica con la quale gli eventi critici conducono alla deplezione della qualità globale del caffè è uno dei temi centrali

nelle ricerche degli studiosi e numerosi sono ancora gli approfondimenti in merito. Nonostante ciò alcuni passi importanti sono stati fatti in tal senso, tanto da riuscire a catalogare, come riportato in (Manzocco S. C., 2016), tutta una serie di fattori “intrinseci” ed “estrinseci”. Per una questione di sintesi vengono riportati unicamente i fattori influenzanti la cinetica della shelf-life unicamente di caffè tostato e macinato.

Fenomeno	Fattori Intrinseci	Fattori Estrinseci
Perdita di volatili	Area superficiale	Pressione
	Temperatura di transizione vetrosa	Temperatura
	Altri composti influenzanti il punto precedente	Umidità relativa
Ossidazione	Area superficiale	Pressione parziale dell'ossigeno
	Potenziale redox	Temperatura
	Antiossidanti e proossidanti	Umidità relativa
	Altri composti ossidanti	Luce

Tabella 2.1.2 – Fattori Intrinseci ed Estrinseci influenzanti la cinetica degli eventi critici che affliggono la shelf-life dei prodotti coffee-based (Manzocco S. C., 2016)

Naturalmente, è importante dire che la presente trattazione non si pone come obiettivo quello di analizzare nel dettaglio da un punto di vista chimico-fisico le singole cause influenzanti la cinetica di reazione, ma piuttosto cerca di fornire uno sguardo di più ampio respiro su di una tematica poco conosciuta in ambito accademico. Come è possibile notare da Tabella 2.1.2, un ruolo rilevante in tal senso è svolto dai fattori di Pressione, Temperatura e Umidità relativa, parametri sui quali gran parte dell'attività svolta da Lavazza R&D ha basato i suoi risultati. Facendo dunque un focus particolare sulla perdita di volatili e le reazioni di ossidazione che riguardano il prodotto caffè, da letteratura viene riportato che un ruolo fondamentale in termini di contrasto a questi fenomeni viene realizzato dal

tipo di confezionamento che si adotta. (Nicoli M. S., 2005) riferiscono che ad esempio il rilascio di volatili, da parte del caffè tostato, può essere prevenuto grazie all'utilizzo di una sovrappressione all'interno del pacchetto in cui è contenuto il prodotto. Parallelamente dunque all'azione sulla pressione come metodo con cui inibire il rilascio di volatili, sempre da letteratura, particolare attenzione viene posta al fattore estrinseco della temperatura (grande catalizzatore delle reazioni di ossidazione oltre che del rilascio di volatile). A valle di quanto visto e compreso, diventa semplice capire come il “controllo” delle reazioni ossidative resti a tutti gli effetti la sfida più grande con cui i vari studiosi del settore devono confrontarsi. Il problema più grande consiste nella costruzione di modelli analitici con cui poter calcolare il tasso di ossidazione degli alimenti, con particolare focus per il caffè, e correlarlo in maniera efficace con i fattori prima citati. I fattori intrinseci sono senza ombra di dubbio quelli per cui una eventuale modifica risulterebbe molto complicata, contrariamente a quelli estrinseci, per i quali diventa necessario unicamente una attenta “definizione dei fattori ambientali” (Manzocco S. C., 2016). Interessanti sono i risultati, forniti da letteratura, correlati al cambiamento di parametri estrinseci come Pressione, Temperatura e Umidità relativa in ottica di “controllo delle reazioni di ossidazione”. Faranno seguito tutta una serie di importanti risultati correlati dai rispettivi articoli scientifici dai quali è stato possibile il loro reperimento.

2.1.3 Shelf life del caffè – focus sui fenomeni ossidativi

In questa sezione verranno presentati tutta una serie di risultati, presenti in Letteratura, con i quali è possibile avvalorare ulteriormente l'importanza del “controllo dei fenomeni ossidativi” nella valutazione della shelf-life del caffè

(focus su caffè tostato e macinato). Secondo gli studiosi (Cardelli, 2001), agendo sulla pressione parziale dell'ossigeno all'interno dell'imballaggio del caffè tostato e macinato (nel dettaglio comportandone una diminuzione di circa 40 volte, da 21,3 a 0,5 kPa) è possibile aumentare notevolmente la conservazione del prodotto. Questo mette in evidenza un aspetto molto importante, e cioè che il contatto tra caffè e ossigeno è sicuramente deleterio per la Preservation dello stesso e che fare sì che tale gas sia presente nella minor quantità possibile è un requisito fondamentale per la conservazione corretta del prodotto. La quantità di ossigeno all'interno della confezione di caffè deve essere la minore possibile e un metodo con il quale è possibile realizzare questo obiettivo è la pratica del vuoto: praticando il vuoto all'interno del sacchetto si può arrivare a percentuali di ossigeno dell'ordine del 4-6%. Scendere al di sotto di queste percentuali è possibile solo con l'adozione di gas inerti (nelle prossime sezioni verranno descritte anche alcune particolari applicazioni) quali Azoto e Anidride Carbonica (è possibile, sostituendo questi gas con l'aria presente nei pacchetti, scendere al di sotto di percentuali di O₂ del 1-2%). Nel caso di semplice conservazione in aria, dai dati di (Nicoli M. S., 2005), la shelf-life del prodotto si è stimata essere tra 1-3 mesi, viceversa nel caso di utilizzo della tecnica del vuoto o di atmosfera inerte, sempre grazie agli stessi studiosi, si è visto che il fine vita del caffè si attestava rispettivamente tra i 4-6 mesi e 6-8 mesi (N.B i dati riportati fanno riferimento alla conservazione "protetta" dalla presenza di un pack). Se da un lato, come dimostrato da questi studi, l'effetto legato alla presenza di ossigeno risulta essere estremamente dannoso in termini di ossidazione per il caffè, le condizioni di temperatura in cui avviene la conservazione del prodotto di certo non svolgono un ruolo di minore importanza. L'influenza della temperatura sulla cinetica dei

fenomeni ossidativi del caffè è stato oggetto di studio da parte degli scienziati (Cardelli, 2001). Questi hanno dimostrato che nella ipotesi di conservazione del caffè tostato e macinato ad una concentrazione di ossigeno del 10%, l'accelerazione del processo di deterioramento del caffè è dell'ordine del 15-23% ogni 10°C di aumento della temperatura. Nonostante ciò, è stato inoltre visto che, nella ipotesi di spingere le percentuali di ossigeno contenute nella confezione al di sotto dello 0,5% e di trovarsi in un range di temperatura compreso tra i 20 e 45°C, il deterioramento del prodotto è risultato trascurabile fino a 12 mesi di conservazione (Nicoli M. C., 2009). A valle di quanto detto circa gli effetti di ossigeno e temperatura nelle reazioni di ossidazione del caffè, non resta che parlare di un ultimo, non per importanza, fattore estrinseco rilevante: l'umidità relativa. È noto da letteratura quale sia l'effetto della umidità sulla ossidazione dei lipidi nel caso di alimenti secchi. Da uno studio di (Labuza, 1971) è emerso che l'ossidazione dei lipidi trova terreno fertile in ambienti molto secchi o molto umidi, e a che a livelli intermedi di umidità raggiunge il suo minimo. Un parametro che da letteratura sembra essere strettamente correlato al concetto di umidità relativa, e il cui controllo sembrerebbe avere effetti sulle reazioni di ossidazione dei lipidi del caffè, è l'attività dell'acqua (a_w). Nonostante le prove a sostegno del fatto che l'ossidazione del caffè sia correlata con l' a_w , gli studiosi (Cardelli, 2001) hanno effettivamente avuto riscontro del fatto che nel momento in cui l' a_w aumentava da 0,1 a 0,41 la durata del caffè macinato crollava. Di seguito i risultati da loro trovati:

a_w	Shelf-life (giorni)
0,11	19
0,25	9
0,41	5

Tabella 2.1.3 – Dati sulla Shelf-life di caffè macinato e tostato impacchettato sotto 3.0 kPa di pressione parziale di Ossigeno e conservato a 22°C (Cardelli, 2001).

2.1.4 Shelf life – limite di accettabilità e modelli predittivi

Creare un modello predittivo della shelf-life di un prodotto, nella fattispecie caffè, basato su prove di laboratorio necessita innanzitutto di fare un punto della situazione circa il “limite di accettabilità da adottare” nella analisi, come riportato da (Manzocco S. C., 2016). Il limite di accettabilità può essere definito come quel criterio per il quale è possibile decretare un valore discriminante di qualità di un prodotto che ne permette di definirlo accettabile per il consumo o meno (Manzocco L. C., 2010). Creare un modello predittivo, nella ipotesi di valutare la shelf-life di prodotti il cui deperimento non rappresenti un rischio per il consumatore, significa esporsi al rischio di fare delle valutazioni troppo ottimistiche o al contrario troppo pessimistiche, soprattutto nel caso in cui non si possieda alcun tipo di esperienza sul campo (Manzocco S. C., 2016). Nella gran parte dei casi, il limite di accettabilità viene stabilito dagli esperti di una azienda, in base al proprio know-how e in relazione agli standard qualitativi aziendali. Proprio in virtù di quanto appena detto, la scelta di un limite di accettabilità risulta inficiata da una elevata componente soggettiva, correlata appunto alle scelte aziendali. A tal proposito allora, come riferito da (Hough G. W., 2006), l’azzardo nel fare questo tipo di scelte dovrebbe essere basato su quella che è la risposta dei

consumatori in termini di accettazione o rigetto del prodotto, piuttosto che sulle proprietà del prodotto stesso. In sostanza, ciò che questi studiosi propongono, è che il limite di accettabilità oltre il quale un prodotto è ritenuto non idoneo da un punto di vista della shelf-life deve essere strettamente correlato con la percentuale di consumatori che rifiutano il prodotto stesso per via del suo stato di conservazione. Nel dettaglio, il valore di questa soglia è indicato come “la percentuale massima di consumatori insoddisfatti al termine della shelf life di un prodotto” come riportato da (Manzocco S. C., 2016). Nel momento in cui i limiti di accettabilità per la valutazione della shelf-life di un prodotto derivano da vincoli legali, la loro individuazione risulta essere semplice; al contrario nel momento in cui il criterio di scelta con il quale decretare l'accettabilità o meno di un prodotto diventa dipendente da una perdita eccessiva di qualità allora l'uso di un modello basato sulla interazione consumatore-prodotto diventa necessario, come riportato da (Manzocco S. C., 2016). Nonostante l'efficacia di questa tipologia di modelli, i tempi necessari nonché i costi da sostenere per la loro costruzione fanno sì che le aziende e i rispettivi management si affidino a tecniche di tipo strumentale o sensoriale con cui valutare in maniera ciclica la shelf-life di un prodotto, proprio come riportato da (Sensory shelf-life of Dulce de Leche, 2004). In sostanza la valutazione della shelf-life di un prodotto passa per i seguenti step:

- Individuazione di un livello di accettabilità, inteso come massima percentuale tollerabile dalla azienda di rifiuto del consumatore
- Costruzione di un modello basato su tecniche di tipo strumentale e sensoriale (attività svolta in R&D Lavazza)

- Test di qualità ciclici sul prodotto e confronto dei risultati con gli standard qualitativi interni

Nel caso specifico del prodotto “caffè”, questo tipo di approccio può essere applicato nel momento in cui vengono affrontate le seguenti questioni, come riportato da (Manzocco S. C., 2016):

- 1) Come evolvono il rifiuto dei consumatori e gli indicatori analitici durante lo stoccaggio del prodotto;
- 2) Quali indicatori analitici sono maggiormente correlati al rifiuto da parte dei consumatori durante lo stoccaggio;
- 3) Quale valore per questi indici analitici provoca il massimo rischio tollerabile di rifiuto del consumatore.

Nel caso specifico del caffè tostato e macinato, gli indicatori ai quali è possibile rifarsi sono riportati in Tabella 2.1.4.

Prodotto	Indicatore
Caffè tostato e macinato	Valore di perossido (Chafer, 1998)
	Ratio tra acidi grassi saturi e insaturi (Toci, 2013)
	Volatili (Buffo, 2004)
	Descrittori sensoriali (Cappuccio, 2001)
	pH (Manzocco L. N., 2007)

Tabella 2.1.4 - Principali indicatori afferenti alla diminuzione della qualità globale di caffè tostato e macinato (Manzocco S. C., 2016).

Sostanzialmente, nella tabella prima riportata, vengono evidenziati tutta una serie di indicatori di carattere strumentale e sensoriale con i quali è possibile redigere una valutazione di quella che è la shelf-life del prodotto. Entrando più nel dettaglio dei singoli indicatori, è possibile affermare che solitamente uno dei più

utilizzati, in generale per lo studio del tasso di ossidazione negli alimenti, è il valore di perossido. La problematica fondamentale di questa sostanza è che non è percepibile da un punto di vista sensoriale, per questo motivo vengono presi come riferimento per l'analisi al fine di trovare una correlazione quanto più forte possibile con il concetto di accettabilità del prodotto, i volatili (Manzocco S. C., 2016). All'interno della grande famiglia di volatili, vengono solitamente selezionati solo alcuni che risultano essere specifici indicatori di freschezza e aroma del caffè, quali:

- Indice di aroma M/B come rapporto tra metilfurano e 2-butanone (Reymond, 1962);
- Indice di qualità del sapore basato su cinque odori chiave (esanale, vinilpirazina, pirrolo, furfural metilchetone e piridina), il quale mostra una relazione lineare inversa con l'indice M/B (Spadone, 1989)
 - Indice di aroma M/M come rapporto tra metanolo e 2-metilfurano (Vitzthum, 1978).

A quelli appena visti, vanno ad aggiungersi ulteriori indicatori ma di modifiche strutturali che portano ad agglomerazione della polvere di caffè potrebbero essere (Manzocco S. C., 2016):

- 1) Attività dell'acqua (a_w);
- 2) Contenuto di umidità;
- 3) Temperatura di transizione vetrosa (ossia la temperatura al di sotto della quale il caffè tende ad un infragilimento eccessivo).

Come è possibile dunque comprendere, il grosso vantaggio di utilizzare indicatori di tipo strumentale o sensoriale è che i risultati che essi producono sono indiscutibili in quanto basati su di un principio scientifico e non aleatorio. Il concetto dunque fino ad ora compreso è quello per cui esistono degli indicatori, strumentali o sensoriali che permettono, all'operatore incaricato di eseguire i test di shelf-life sul prodotto, di poter costruire un modello analitico con il quale poter avere una stima/previsione della durata complessiva dell'alimento (caffè). Tutto questo è naturalmente possibile nella ipotesi in cui il parametro di shelf-life venga costantemente monitorato e che le condizioni in cui questo monitoraggio avviene siano anche essere controllate (Manzocco S. C., 2016). Questo ovviamente in un contesto aziendale può essere accettato o meno, a seconda delle esigenze: può sorgere infatti l'esigenza di "accelerare la prova di shelf-life" per cui diventa necessario replicare le condizioni di conservazione del prodotto (condizioni di umidità relativa, temperatura, luce e così via). A titolo di esempio, si riporta un modello di "rifiuto" del consumatore nei confronti del prodotto caffè in condizioni di conservazione a temperatura costante 20°C. Si precisa che la fonte del seguente grafico è (Manzocco S. C., 2016).

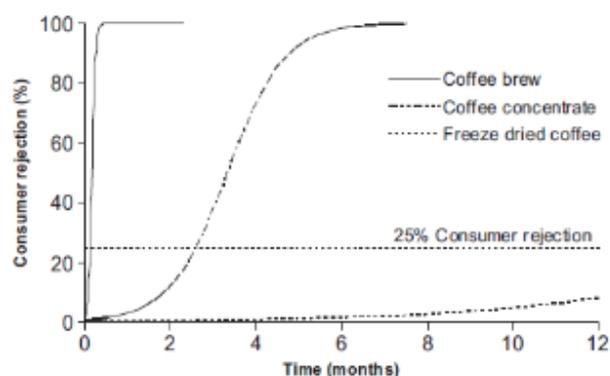


Figura 2.1.1 - Probabilità di rigetto da parte dei consumatori di estratto di caffè (1,8% p/p), concentrato di caffè (93,7% p/p) e caffè istantaneo (100% p/p) in funzione del tempo di conservazione a 20, (Manzocco

S. C., 2016)

Considerata come soglia di accettabilità un rifiuto massimo da parte dei consumatori del 25%, si sono raccolti tutta una serie di commenti sulle condizioni di shelf-life del prodotto in maniera del tutto “anonima” come riferisce (Hough G. L., 2003). Ovviamente, come è possibile comprendere dal grafico, i prodotti in questione non sono certamente quelli fino ad ora presi come soggetto della trattazione (ossia caffè tostato e macinato): l’obiettivo con questo esempio è quello unicamente di far comprendere come possa essere interessante capire la correlazione tra il tasso di rifiuto di un prodotto da parte dei consumatori e la sua effettiva shelf-life. Concludendo, è possibile affermare che in generale a causa degli intricati meccanismi di deterioramento del prodotto, valutare la shelf-life del caffè è certamente un processo complesso da effettuare. Come conseguenza di questa affermazione, diventa necessario eseguire “prove di shelf-life affidabili” come riportato da (Manzocco S. C., 2016) in modo tale da avere delle valutazioni coerenti con l’effettivo stato di deterioramento del caffè, soprattutto nel caso di prodotti estremamente stabili come caffè tostato e macinato. Per perseguire questa finalità, (Manzocco S. C., 2016) suggeriscono di intensificare la ricerca sui seguenti fronti: (a) Migliorare o eventualmente svilupparne di nuovi protocolli e criteri con cui comprendere a fondo la correlazione tra limiti di accettabilità e risposta dei consumatori; (b) Comprendere a fondo quali sono i fattori che accelerano i processi di deterioramento in modo da realizzare modelli predittivi efficaci; (c) Correlazione rigetto consumatori – decadimento della qualità globale.

2.1.5 Shelf life secondaria – definizione e applicazione del concetto

Quella fino ad ora trattata è la shelf life del prodotto ma intesa come “vita utile dal momento del confezionamento del prodotto alla sua vendita”. In realtà questa

altro non sarebbe che la cosiddetta “shelf life” primaria del prodotto, concetto che trascura tutto ciò che avviene successivamente alla vendita del prodotto stesso e quindi alla apertura dell’imballo in cui esso era contenuto. In maniera altrettanto importante, si inserisce dunque in questo contesto un piccolo approfondimento sulla cosiddetta “shelf life secondaria” ossia, come riferito da (Consonni, 2015), “la vita a scaffale di un prodotto dopo l’apertura della confezione”. Poco è tutt’oggi noto di questo argomento, nonostante ciò risulta fondamentale capirne l’essenza in ottica di mantenimento di un livello di qualità del prodotto anche in seguito alla sua vita “off-pack”. Dà (Consonni, 2015) si parla di shelf life secondaria o *period after opening shelf life* nel momento in cui si fa riferimento al “periodo di tempo in cui un alimento, un semilavorato o un ingrediente, mantiene caratteristiche igienico-sanitarie, nutrizionali e sensoriali accettabili dopo l’apertura della confezione”. Differentemente dalla definizione prima vista di shelf life, il passo in avanti che si fa con la definizione di shelf life secondaria è relativo alla introduzione del concetto di sicurezza igienico-sanitaria. Il concetto fondamentale che va sottolineato è quello secondo cui, se è vero che ci sono tutta una serie di “recomendations” sulla etichettatura di un prodotto circa la sua conservabilità a “pacchetto chiuso” è altrettanto vero che dovere della azienda è quello di segnalare quale possa essere un tempo indicativo di durata del prodotto una volta rimossa la confezione in cui era contenuto. Dal grafico che è possibile osservare di seguito, viene proprio fatta una sorta di confronto tra quella che è la shelf life primaria e secondaria di un alimento. Si precisa che la fonte da cui il seguente grafico è stato reperito è (Nicoli M.C.: in “Shelf life assessment of food, 2012).

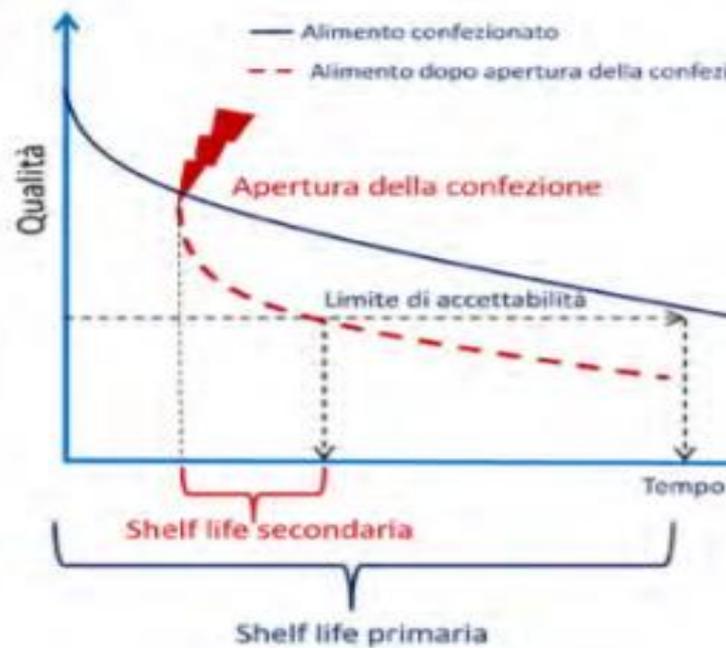


Figura 2.1.2 – Confronto di Shelf life primaria e secondaria di un alimento (Consonni, 2015)

Come è possibile comprendere dal precedente grafico, a seguito dell'apertura della confezione si verifica un fenomeno accelerazione di tutti i fenomeni di deterioramento dell'alimento se paragonato alla durata di shel life primaria inizialmente stimata, come riferito da (Consonni, 2015). Nel caso specifico, ad esempio del caffè, nel caso in cui venga confezionato in “banda stagnata” in sovrappressione, la sua shelf life potrebbe essere addirittura superiore ai 18 mesi, per poi scendere nel caso di apertura del sacchetto a 20-25 giorni (Consonni, 2015). In generale, le cause che portano a questo fenomeno di accelerazione sono molteplici e molto spesso incontrollabili. Quello che sicuramente è degno di nota, nonché il motivo per il quale questo piccolo approfondimento si è reso necessario, è che poter tenere sotto controllo anche i fenomeni che portano al deterioramento del prodotto a seguito della apertura del suo imballo protettivo è un ottimo punto di partenza per la stima di quelle che sono le condizioni di conservabilità da consigliare sulla apposita etichettatura del prodotto.

2.2 Tecnologie di Preservation – brevetti esistenti

L'utilizzo di Azoto, Vuoto e Freddo nell'ambito del vasto campo della "conservabilità" degli alimenti, con particolare riferimento al mondo del caffè, è certamente *arte nota*. Basti pensare che l'uso di queste tecniche può essere fatto risalire alla nascita della stessa industria alimentare, per capire la collocazione temporale dell'inizio della loro diffusione. Nonostante, come detto, l'uso di queste tecnologie sia stato qualcosa di largamente usato in passato, risulta essere estremamente interessante poter comprendere come alcune applicazioni specifiche, coperte da brevetto, abbiamo messo in pratica tali concetti in ambito Vending Machine. Da letteratura, al livello brevettuale, durante la mia ricerca ho individuato tre differenti applicazioni dei concetti di Vuoto, Azoto e Freddo che in ambito Vending sono risultate estremamente innovative da un punto di vista tecnologico. Dunque, l'intenzione con la presente sezione dell'elaborato di tesi è quella di mettere in luce come la tecnologia in ambito Preservation si sia sviluppata con alcune sue applicazioni specifiche in ambito Vending.

2.2.1 Vuoto – Brevetto applicazione Bianchi

Come visto da letteratura, il vuoto o meglio il "sotto – vuoto" è stata una delle tecnologie, affiancata dall'uso di gas inerti, ad aver dato i primi importanti riscontri in termini di aumento della shelf life del prodotto caffè. Come noto l'uso del vuoto permetteva di ridurre la quantità di ossigeno a percentuali esigue nel momento in cui veniva eseguito il confezionamento del prodotto garantendo così un allungamento della durata di conservabilità del caffè. In questo contesto, almeno al livello di principio e di tecnologia, si inserisce una domanda di pubblicazione di Brevetto da parte dell'azienda italiana Bianchi, la quale

nell'Ottobre del 2017 deposita ufficialmente una richiesta formale per il riconoscimento della proprietà intellettuale di una propria invenzione che utilizza il vuoto come mezzo per evitare il “deperimento” del prodotto caffè nel momento in cui viene spillato dagli appositi contenitori all'interno di una macchina Vending. Come riportato ufficialmente dalla domanda di invenzione n° 10216000042619, il titolo della invenzione presentata è “Apparato per lo stoccaggio e l'erogazione di prodotti alimentari deperibili, particolarmente del tipo del caffè in grani”. L'assunto fondamentale di partenza dal quale parte questa domanda di brevetto è quello secondo cui lo “standard” di conservazione del caffè nei distributori automatici ordinari sino a quel momento faceva sì che il prodotto fosse continuamente a contatto con ossigeno e umidità con una conseguente compromissione delle caratteristiche organolettiche e aromatiche del caffè stesso. Oltre a questo aspetto, la seconda tesi su cui si fonda l'incipit del testo è quella secondo cui uno dei problemi principali legati allo stoccaggio dei grani di caffè all'interno dei distributori automatici è la loro “lunga permanenza” all'interno dei contenitori appositi (a causa del loro volume considerevole). Nella domanda di brevetto è fatto esplicito cenno al fatto che esistono già applicazioni che prevedono l'uso del vuoto all'interno di campane per lo stoccaggio di grani di caffè all'interno di macchine vending, creato per mezzo della attivazione di una pompa da vuoto. Quello che viene sottolineato però è che tra uno spillamento di grani di caffè e l'altro, parte del vuoto generato in precedenza viene perso e ciò naturalmente richiede una attivazione eccessiva della pompa da vuoto con conseguenti eccessivi consumi energetici. A questo fenomeno va ad aggiungersi il problema fondamentale legato alla conservazione stessa del prodotto che naturalmente si vedrà esposto più frequentemente all'aria. In sostanza, l'obiettivo

che dunque si prefigge questa applicazione “innovativa” presentata è quello di ovviare a tutte le problematiche che fino a quel momento erano presenti, e sono presenti, all’interno delle macchine vending in cui vengono stoccati grandi quantitativi di caffè. In sostanza gli scopi che la realizzazione di questo “apparato per lo stoccaggio e erogazione di prodotti quali caffè” si impone sono i seguenti:

- Implementare un dispositivo che consenta di realizzare uno spillamento della esatta quantità di grani necessaria ad una erogazione
- Abbattere i consumi energetici
- Minor numero di attivazioni possibili della pompa da vuoto
- Affidabilità e sicurezza nel funzionamento
- Componente tecnicamente semplice ed economicamente competitivo

Il raggiungimento di questi obiettivi viene garantito, come riferito dal testo stesso, tramite l’ausilio di un particolare design dell’intero “apparato” oltre che all’utilizzo di tutta una serie di componentistica ausiliaria. Nel concreto, il dispositivo si presenta come segue (fonte: testo ufficiale di richiesta brevetto).

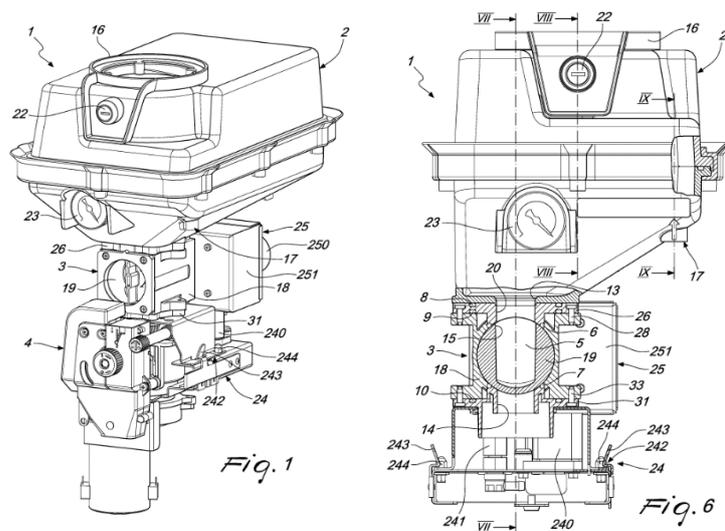


Figura 2.2.1 – Immagini relative a 2 viste della applicazione (Italia Brevetto n. 102016000042169, 2016)

Nel complesso l'intero apparato raffigurato in Figura 2.2.1 può essere scomposto nei seguenti sottosistemi:

- Serbatoio di contenimento
- Dispositivo di raccolta e/o lavorazione
- Dispositivo di erogazione grani
- Pompa del vuoto
- Camera di dosaggio
- Dispositivi di tenuta ermetici per garantire il vuoto

Il grande vantaggio di un dispositivo di questo tipo è legato alla grande versatilità dell'apparato che in generale è pensato per permettere lo stoccaggio temporaneo di una grande varietà di prodotti reperibili, oltre al caffè. Concludendo, quella presentata da Bianchi può essere considerata sì una idea innovativa che in realtà sfrutta tutta una serie di principi e concetti già sondati nel passato ma che non avevano incontrato questa applicazione specifica.

2.2.2 Azoto – Brevetto applicazione Sanyo

L'utilizzo dell'azoto come tecnologia per garantire la Preservation del caffè è sicuramente qualcosa che la stessa Letteratura riferisce essere un mezzo affidabile, con ottime prestazioni in termini di allungamento della durata del prodotto. È certamente a partire da queste premesse che nel 1998 viene presentato e concesso unicamente in Giappone il presente brevetto, da parte della azienda Sanyo Electric Co. LTD. Abbandonato poi nel 2013, il brevetto “protegeva” l'idea di avere all'interno di una Vending Machine uno o più canister “saturati” con azoto. Nel caso specifico del brevetto in questione ciò che era protetto e descritto erano il

generatore + serbatoio di azoto installati in macchina, la valvola solenoidale di sfiato e il controller. Entrando più nel dettaglio della soluzione tecnica, dal testo ufficiale del brevetto, è possibile osservare come si presenta il sistema brevettato (Vedi Figura 2.2.2).

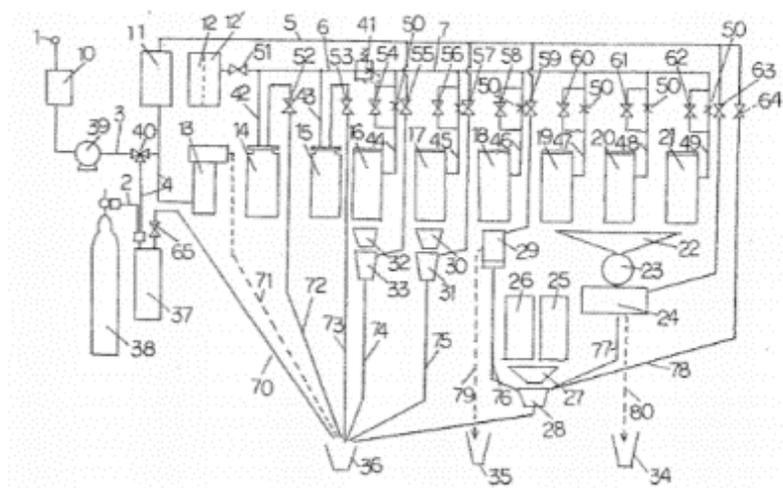


Figura 2.2.2 – Sistema di Preservation con atmosfera di (EPS Brevetto n. EP 0 459 160 B1, 1998)

Come per ogni applicazione che sfrutti una tecnologia di Preservation, si parte da alcuni assunti iniziali, fondamentalmente inerenti agli eventuali problemi preesistenti che si cerca di risolvere con l’invenzione stessa. Nel caso specifico del brevetto in esame, il tema centrale è “dotare una macchina Vending che fa preparazioni caffè e simili di un sistema che preservi lo stesso dal deterioramento del sapore e dell’odore causato da ossidazione e assorbimento di umidità” come riferito dal testo ufficiale. Differentemente da applicazioni pregresse, quella oggetto del brevetto si prefigge di non utilizzare l’anidride carbonica come mezzo con cui garantire la conservabilità e il non decadimento della qualità del prodotto (vista la sua negativa peculiarità di disciogliersi all’interno delle sostanze di cui rappresenta l’atmosfera, modificandone il gusto e aumentandone l’acidità), bensì l’azoto. Questa scelta deriva da tutta una serie di studi condotti sul processo di

deterioramento dei prodotti nel modo delle Vending Machine. La scoperta fondamentale che è stata fatta, come cita il testo del brevetto, è quella secondo cui per mantenere inalterate le caratteristiche della bevanda che viene erogata dalla macchina è necessario che essa sia “sigillata ermeticamente con azoto” sino al termine della sua preparazione. Uno dei limiti dell’uso di questo gas inerte è che ovviamente richiede di essere stoccato in apposite bombole in modo da assicurarne continuamente la presenza durante le varie preparazioni, ma ovviamente l’uso di una bombola per la dispensazione di azoto gassoso richiederebbe la sostituzione continua della bombola stessa, oltre che sostenere una serie di costi dovuti alla manodopera da impiegare ogni volta per la sostituzione della bombola e costi dovuti alla carenza del gas. La soluzione a questa problematica, nonché “core” della idea dietro questa applicazione, è l’utilizzo di un generatore di azoto, ossia di un dispositivo (vedi Figura 2.2.2) che sfrutta la reazione di “adsorbimento” dell’ossigeno contenuto nell’aria e comportando in questo modo la separazione delle stesso dalle molecole di azoto. Naturalmente l’azoto ottenuto dalla separazione viene immagazzinato all’interno di un apposito serbatoio. In sostanza il funzionamento di questo dispositivo è per “saturazione dell’atmosfera di azoto”: concretamente, ad ogni spillamento del prodotto dal contenitore apposito (in fase di preparazione della bevanda) tutta l’aria che entra a causa della apertura verso il modulo di erogazione viene sostituita da azoto che satura il volume a sua disposizione. In questo modo, remota diventa la possibilità per cui i prodotti dispensati dalla Vending possano ossidarsi. Uno degli inconvenienti dell’adozione in generale di una applicazione del genere (generatore di azoto + contenitore custom) è quello di dover dotare la macchina

Vending di una tecnologia complessa e dal costo non indifferente, motivo per il quale poi negli anni successivi l'idea è stata pian piano abbandonata.

2.2.3 Freddo – Brevetto applicazione Sanyo

Quella presentata dal seguente brevetto è invece una idea di applicazione innovativa del Freddo nel campo della Preservation degli alimenti. L'assunto di partenza fondamentale dal quale poi si dirama tutta la approfondita descrizione della applicazione, come riportato dal (EP0459160B1, 1990), è che il freddo è un mezzo in grado di evitare il deterioramento di prodotti alimentari e consentirne un allungamento della vita utile. Si precisa che nel testo del brevetto concesso alla azienda giapponese si fa riferimento in generale a "food materials" e non al prodotto nello specifico del caffè: nonostante ciò, nella lettura del testo descrittivo è chiaramente comprensibile come la volontà della azienda, nella redazione di un brevetto di questo tipo, era quella di dirigersi volutamente verso una trattazione "generica" dei prodotti alimentari e della loro conservazione, in modo da avere un leverage molto importante sotto l'aspetto delle rivendicazioni. Va notato infatti un aspetto di non poca rilevanza: il brevetto è stato approvato nel 1990, anno appartenente ad un periodo in cui lo sviluppo tecnologico non era di certo avanzato e altamente diversificato come lo può essere quello della seconda decade del XXI secolo, ragion per cui "blindare" da un punto di vista brevettuale una applicazione, in modo tale da abbracciare nella maniera più ampia possibile un campo poco esplorato, diventava la prassi. Entrando più nel vivo della descrizione, è possibile fare riferimento alla sezione iniziale del brevetto in questione in cui viene proposta una possibile applicazione finalizzata alla "conservazione di food

materials per una macchina Vending”. L’oggetto in questione è mostrato nella immagine che segue:

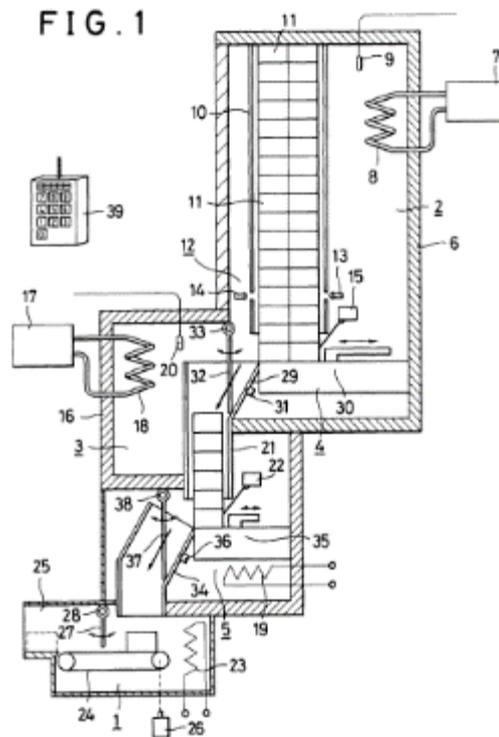


Figura 2.2.3 – Illustrazione dell’apparato per la “conservazione di food materials” contenuto in una Vending Machine (fonte: EP0459160B1)

In sostanza, l’applicazione consiste nella dotazione di una classica macchina Vending (anche qui molto generico come concetto) di un apparato che permetta una conservazione “differenziata” di prodotti “alimentari” deperibili. Nel concreto, l’apparato è costituito da (EP0459160B1, 1990):

- Mezzo per il “riscaldamento” e “trattamento” di materiale alimentare (n°1 da figura precedente)
- Freezer (inteso come luogo di stoccaggio per materiali alimentari che richiedono una conservazione più lunga, n°2 da figura precedente)

- Cooler o refrigerator (in questo caso inteso come un secondo luogo di stoccaggio per materiali alimentari ma nel quale non si raggiungono le condizioni di conservazione “spinte” come nel caso del freezer, n°3 da figura precedente)
- Due mezzi per la movimentazione degli alimenti, per rispettivamente i due luoghi di stoccaggio, n° 4-5 da figura precedente)

Il freezer è immaginato come un luogo di stoccaggio, molto più ampio rispetto al cooler, nel quale poter stoccare una grande quantità di prodotti alimentari. In esso vengono raggiunti i -18°C per una “Preservation a lungo termine”. Al contrario il “refrigerator” è immaginato con un volume più piccolo rispetto al freezer in quanto ha il dovere di accogliere una quantità di prodotti deperibili molto più piccola e soprattutto “stazionante in maniera transitoria”. Al suo interno le temperature mantenute si aggirano attorno ai $1-2^{\circ}\text{C}$ (all’interno del freezer). Il punto di forza di questo sistema, come messo in evidenza dal testo del brevetto stesso, è che con l’utilizzo di un sistema a “doppio locale di stoccaggio” per la preservation del prodotto alimentare, è possibile avere un ottimo controllo sul suo deterioramento in quanto “unicamente” le quantità di esso necessarie alla preparazione vengono prelevate dal freezer e utilizzate. È bene inoltre sottolineare che comunque lo stazionamento del prodotto all’interno del “refrigerator” e quindi il momento antecedente alla preparazione vera e propria, avviene comunque in condizioni di temperatura ottime per la preservation e al tempo stesso non troppo rigide come quelle del freezer in ottica poi della sua successiva preparazione (heating). Quello dunque visto brevemente può essere considerato un chiaro esempio di come l’uso del freddo in ottica di preservation

fosse qualcosa di noto da diversi anni e che ancor di più la sua applicazione all'interno della sfera Vending fosse qualcosa a cui già si era approdati. Questo è uno degli spunti sul quale, assieme alle evidenze sperimentali ottenute, si è proceduti confidenti sulla strada del freddo come mezzo di preservation all'interno di una macchina Vending.

Capitolo 3

3.1 Studi Sperimentali sulla Shelf life del caffè – Lavazza R&D

3.1.1 Introduzione – impostazione del piano di analisi e test

Il punto di partenza di tutto il lavoro di analisi e test eseguito in R&D Lavazza sulla Shelf life del prodotto “caffè” e di quelle che sono le cause che ne comportano la deplezione è stato l’insieme delle informazioni reperite da Letteratura. Infatti, per riassumere un po' quanto compreso dalle varie fonti bibliografiche e dagli studi eseguiti in materia, l’assunto di partenza fondamentale è quello secondo cui il caffè è un prodotto deperibile la cui instabilità è fondamentalmente legata a delle modifiche di natura chimico-fisica tra cui annoveriamo principalmente:

- Ossidazione

- Perdita di composti Volatili
- Cambiamenti fisici della polvere

Più in generale, è noto ai più che il caffè tostato, per via della insorgenza di un difetto definito “Staling”, è suscettibile alla perdita delle sue caratteristiche sensoriali peculiari. In sostanza, si tratta di quel fenomeno per il quale si verifica una sorta di migrazione degli odori e delle caratteristiche aromatiche del prodotto a causa della ossidazione. Gli studiosi (Buffo, 2004) hanno definito questa peculiarità come “dolce ma sgradevole odore ed aroma del caffè tostato dovuto all’ossidazione di molti composti gradevoli del caffè e la perdita di altri”. A valle di questo discorso, è inoltre noto che il progredire delle reazioni di ossidazione non è causa unicamente della migrazione e perdita di composti aromatici sensorialmente gradevoli ma anche della formazione di off-notes, ossia della nascita di odori e composti aromatici non propri del prodotto. Come noto, il packaging svolge un ruolo cardine nel mantenimento della shelf life del prodotto. In particolar modo, la presenza di ossigeno all’interno delle confezioni funge da agente catalizzatore delle reazioni di degradazione del prodotto stesso (Nicoli M. S., 2005). Partendo dunque da questo assunto fondamentale, nel corso degli anni la tendenza è stata quella di dirigersi sempre più verso l’utilizzo di un “packaging attivo” o comunque che prevedesse l’utilizzo di una atmosfera protetta al suo interno. A causa dunque della negativa influenza dell’ossigeno sulla conservabilità del prodotto caffè, è diventato sempre più necessario nel tempo adottare tecniche con le quali cercare di ridurre il suo contenuto all’interno del packaging. Uno dei metodi con il quale è possibile ridurre la quantità di questo gas, che normalmente costituisce il 21% dell’atmosfera, è la creazione del vuoto, tecnica

con la quale si è in grado di abbassare tale percentuale al 4-6%. Se il vuoto è un metodo valido per consentire l'abbassamento di questa percentuale, maggiormente efficace risulta essere invece la sostituzione dell'ossigeno, o della sua quasi totalità, con un gas inerte come azoto o anidride carbonica. Con queste ultime metodologie è possibile infatti raggiungere percentuali di ossigeno dell'ordine del 1-2%, con un conseguente incremento della shelf life come riferito da (Nicoli M. S., 2005). Compreso dunque che l'ossigeno è sicuramente uno dei principali catalizzatori delle reazioni di ossidazione, o in generale di degradazione del caffè, va certamente fatto presente che numerosi altri fattori estrinseci al prodotto svolgono un ruolo fondamentale in tal senso. Infatti, è noto che la temperatura rappresenta uno dei parametri estrinseci per i quali è necessario porre una importante attenzione nel momento in cui si valuta la shelf life di un prodotto. È infatti questo uno dei temi fortemente attenzionati durante tutto il lavoro svolto in questi mesi presso i laboratori dell'R&D food, e che ha dato riscontri di tipo sperimentale estremamente interessanti. In quello che è dunque il contesto presentato si inserisce l'intero progetto denominato "Preservation", con il quale si è perseguito l'obiettivo ultimo di riuscire ad indagare innanzitutto in maniera efficace su quelle che sono le varie tecnologie ad oggi note nell'ambito della preservazione del caffè per poi riuscire a trasportare questi concetti all'interno della sfera Vending Machine.

3.1.2 Shelf life del caffè – i risultati sperimentali ottenuti

L'incipit iniziale di tutta l'attività di testing sul prodotto caffè è stato quello pervenuto dal Marketing LVZ, il quale ha eseguito una simulazione di mercato su di un modello di macchina Vending non alto consumante (Necta Maestro touch

x2) con un consumo medio annuo di 30k caffè. Il risultato della simulazione ha prodotto i seguenti dati:

Esempio Maestro X2 Caso MED (1a campana grani premium, es: Lavazza)			
a	Numero di caffè in 1 anno (attach. Rate)	9.000	
b	Numero di giorni in cui la macchina è in funzione	300	10 mesi
c	Numero di caffè in 1 giorno (a/b)	30	
d	Capacità 100% della colonnina (g)	4.200	
e	Grammi di caffè per cup	7	
		Giorni che il caffè rimane in colonnina	
		# Cups	
			MAX MEDIO
100%	Capacità 100% della colonnina (caffè)	600	20 10,0
67%	Capacità 2/3 della colonnina (caffè)	400	13 6,7
50%	Capacità 50% della colonnina (caffè)	300	10 5,0
33%	Capacità 1/3 della colonnina (caffè)	200	7 3,3

Figura 3.1.1 - Analisi di mercato di MKT Lavazza – grani “branded”

Esempio Maestro X2 Caso MED (2a campana grani low price)			
a	Numero di caffè in 1 anno (attach. Rate)	21.000	
b	Numero di giorni in cui la macchina è in funzione	300	10 mesi
c	Numero di caffè in 1 giorno (a/b)	70	
d	Capacità 100% della colonnina (g)	4.200	
e	Grammi di caffè per cup	7	
		Giorni che il caffè rimane in colonnina	
		# Cups	
			MAX MEDIO
100%	Capacità 100% della colonnina (caffè)	600	9 4,3
67%	Capacità 2/3 della colonnina (caffè)	400	6 2,9
50%	Capacità 50% della colonnina (caffè)	300	4 2,1
33%	Capacità 1/3 della colonnina (caffè)	200	3 1,4

Figura 3.1.2 – Analisi di mercato di MKTG Lavazza – grani low price

L’analisi si è basata sul confronto tra due scenari di utilizzo di caffè differenti, uno che prevedeva l’uso di caffè brandizzato (Lavazza) l’altro invece di caffè low price. Come è possibile vedere da Figura 3.1.1 e Figura 3.1.2, nel caso di campana

riempita con grani “branded” si sono stimati consumi pari al 30% del totale, in modo da considerare in maniera conservativa un possibile scenario di consumo. In base alla simulazione, dunque, è emerso che la permanenza massima di un caffè “premium” all’interno di una macchina Vending a doppia campana non alto consumante si stima possa essere di massimo 20gg. La permanenza di un caffè “low price” no-branded invece risulterebbe essere circa la metà. A valle di ciò, il caffè premium risulta dunque essere esposto maggiormente all’invecchiamento e al decadimento della sua shelf life. A corollario di quanto riportato dalla simulazione di mercato, è emerso da una ulteriore analisi che i blend di caffè alto-vendenti risultano essere quelli con una maggiore presenza di qualità robusta, in termini di composizione generale della miscela, e che le varietà 100% Arabica o comunque con una alta percentuale di Arabica risultano essere quelle che coprono una più piccola fetta di mercato. Questo è un dato importante ai fini del piano di test impostato, proprio perché in base ad esso sono state prese in considerazione delle varietà di caffè maggiormente rappresentative della situazione di mercato e quindi maggiormente aderenti alla realtà. Sulla base dei dati raccolti dal mercato, si è proceduto dunque alla impostazione di un articolato piano di test, che ovviamente aveva la necessità di partire da un input comune a tutti e tre i differenti stream di attività svolte (Studio della shelf life con vuoto, azoto e freddo) ossia i fattori ambientali di esecuzione dei test nella ipotesi di trovarsi nelle condizioni operative reali di una macchina Vending. Si precisa che alcuni di questi test preliminari sono stati eseguiti in “cella climatica”, ossia in un ambiente totalmente controllato in temperatura e umidità relativa. Si sono prese come riferimento le temperature di operatività normale e critica di una macchina Vending e sono state definite come segue:

- Temperatura di lavoro normale $\rightarrow T_n = 23^\circ C$ (Temperatura media diurna centro Italia mesi, coerente con ambiente ufficio)
- Temperatura di lavoro critica $\rightarrow T_c = 33^\circ C$ (Temperatura esterna media estiva centro Italia)

Le due temperature rispettivamente sono state scelte ipotizzando che, in condizioni normali la macchina possa lavorare all'interno di luoghi chiusi (uffici) mediamente condizionati, mentre in condizioni critiche la macchina possa lavorare in ambienti outdoor come stazioni, atrii di uffici pubblici, lì dove mediamente (considerando il fattore peggiorativo di ipotizzare la temperatura media durante la stagione estiva) si raggiungono temperature più elevate. Dai primi test eseguiti, ciò che è emerso è che esiste un delta di temperatura tra interno ed esterno macchina di $+7^\circ C$, questo causato dalla inerzia termica interna alla macchina stessa che in condizioni di funzionamento sprigiona calore (un dettaglio di questo aspetto verrà fornito nel capitolo successivo). Dunque, tenendo in considerazione il target di durata massima del caffè all'interno delle campane di una macchina Vending nello scenario di prodotto "premium", si è proceduto nel corso dei mesi scorsi a tutta una serie di test e analisi di tipo sensoriale con cui valutare, per range temporali definiti, il decadimento della shelf life del prodotto. Questa analisi si è articolata in una serie di prove di "assaggio" del prodotto al termine delle quali veniva sistematicamente compilata una tabella contenente i seguenti parametri:

- Odore Diretto
- Ossidazione
- Intensità aroma

- Acidità
- Amaro
- Astringenza
- Corpo
- Retrogusto
- Qualità globale

Assegnando una valutazione ai parametri su una scala da 1 a 10 si formulava una sorta di “valutazione” dello stato di decadimento della shelf life del prodotto. I driver fondamentali con cui è stato possibile ottenere un discriminante con cui decretare il fine-vita del caffè sono stati l’Ossidazione e la Qualità globale, per i quali si sono considerati come valori limite rispettivamente 3 e 6. L’indice di qualità globale può essere considerato un parametro “summa” delle valutazioni complessive fatte sullo stato del caffè al momento dell’assaggio. Nel caso specifico in esame, nel momento in cui veniva rilevato al termine di una prova di assaggio che il livello di ossidazione del caffè era superiore a 3 o il suo valore di qualità globale era inferiore a 6, allora il prodotto veniva decretato in fine-vita (ossia in uno stato non consono agli standard qualitativi Lavazza). A questi parametri di natura sensoriale, si è affiancata per tutti e tre gli stream di attività una analisi della incidenza sulla shelf life del prodotto di fattori estrinseci quali umidità, temperatura e acqua libera (nota la loro incidenza sulla conservabilità del prodotto da letteratura). Con particolare riferimento alla temperatura, si è visto da letteratura che essa, oltre all’O₂, rappresentava uno dei principali catalizzatori delle reazioni che portavano al degrado del caffè, ragion per cui particolare attenzione si è posta nei vari test eseguiti soprattutto nella valutazione della shelf

life del prodotto nelle condizioni di temperatura critiche, in modo da valutare in maniera conservativa il fenomeno di decadimento di qualità del prodotto. Di seguito è possibile apprezzare una chart contenente i risultati ottenuti nel caso di conservazione del caffè in campana Standard, ossia nel caso di caffè conservato in nessun tipo di atmosfera protetta.

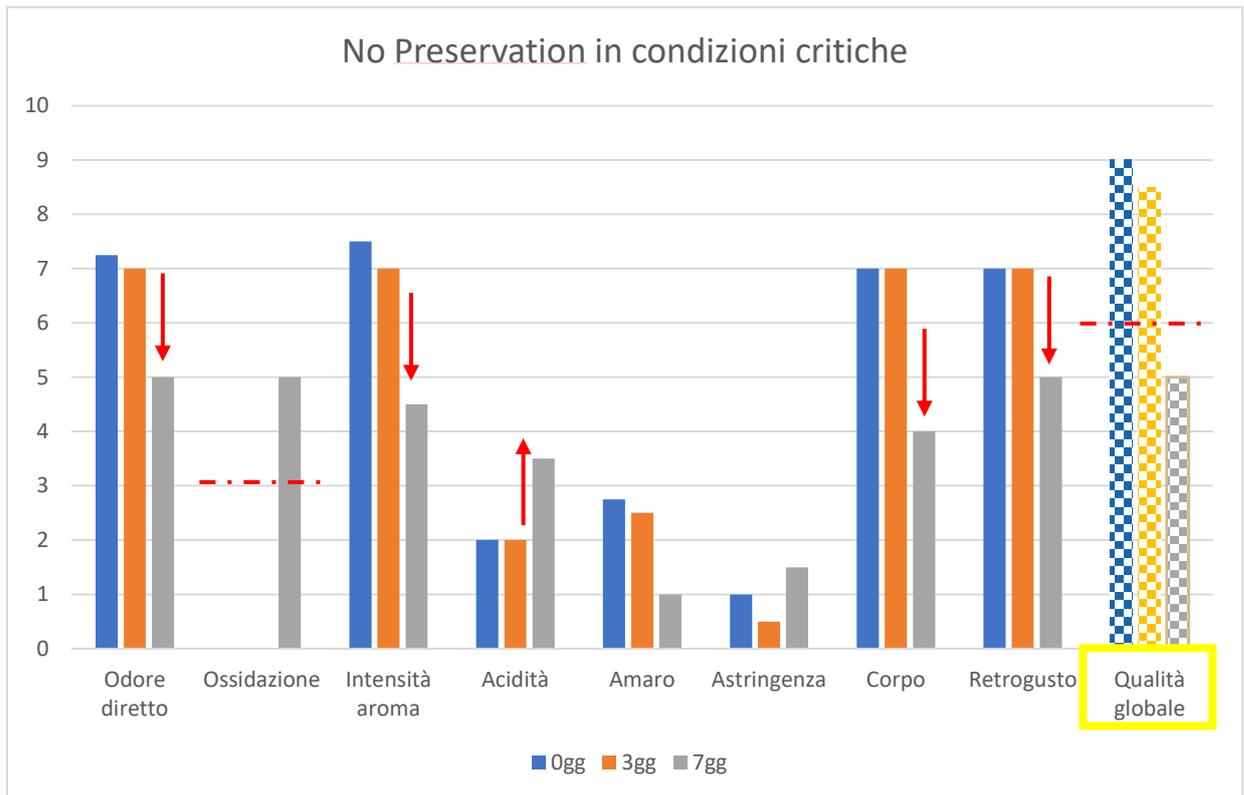


Grafico 3.1.1- Risultati sulla Shelf-life del prodotto in assenza di Preservation 100% Arabica

Il test di assaggio è stato eseguito con cadenza indicata nel grafico, ossia a 0, 3 e 7 gg. Ciò che è emerso è che in condizioni critiche (dove per condizioni critiche si intendono 33°C esterni alla Vending e 40°C interni al Cabinet) il prodotto ha subito un abbassamento della qualità globale al di sotto del valore minimo consentito di 6, con in aggiunta uno stato ossidativo avanzato. Questo è un dato di importanza fondamentale, è proprio in base ad esso infatti che la Preservation del caffè si rende necessaria. Il medesimo test è stato eseguito per la miscela

robusta, che contrariamente alla Arabica ha mostrato una resistenza maggiore al decadimento della sua shelf life rilevato infatti al 10° giorno.

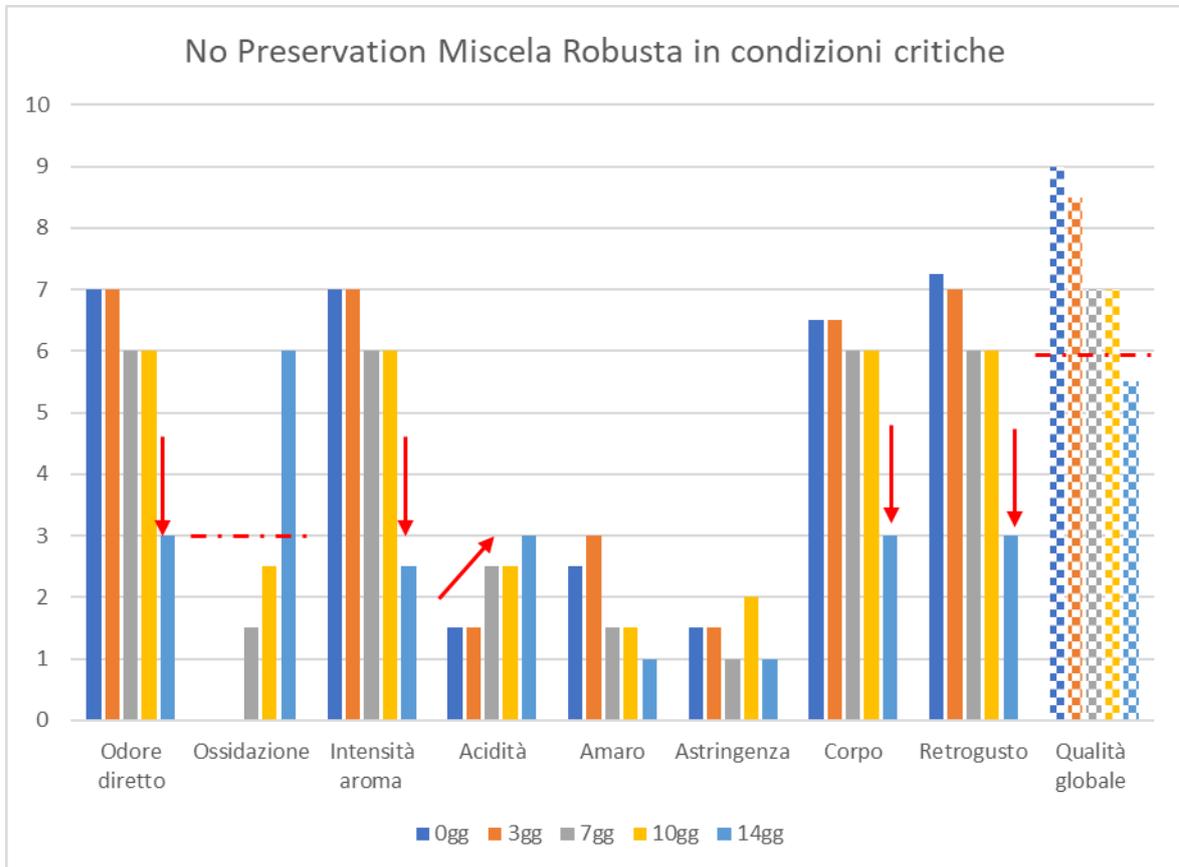


Grafico 3.1.2 – Risultati sulla Shelf-life del prodotto in assenza di Preservation 75% robusta

Nelle medesime condizioni sono stati eseguiti i test di assaggio per il caffè conservato in atmosfera priva di ossigeno (sottovuoto). I risultati ottenuti sono raffigurati nel seguente grafico.

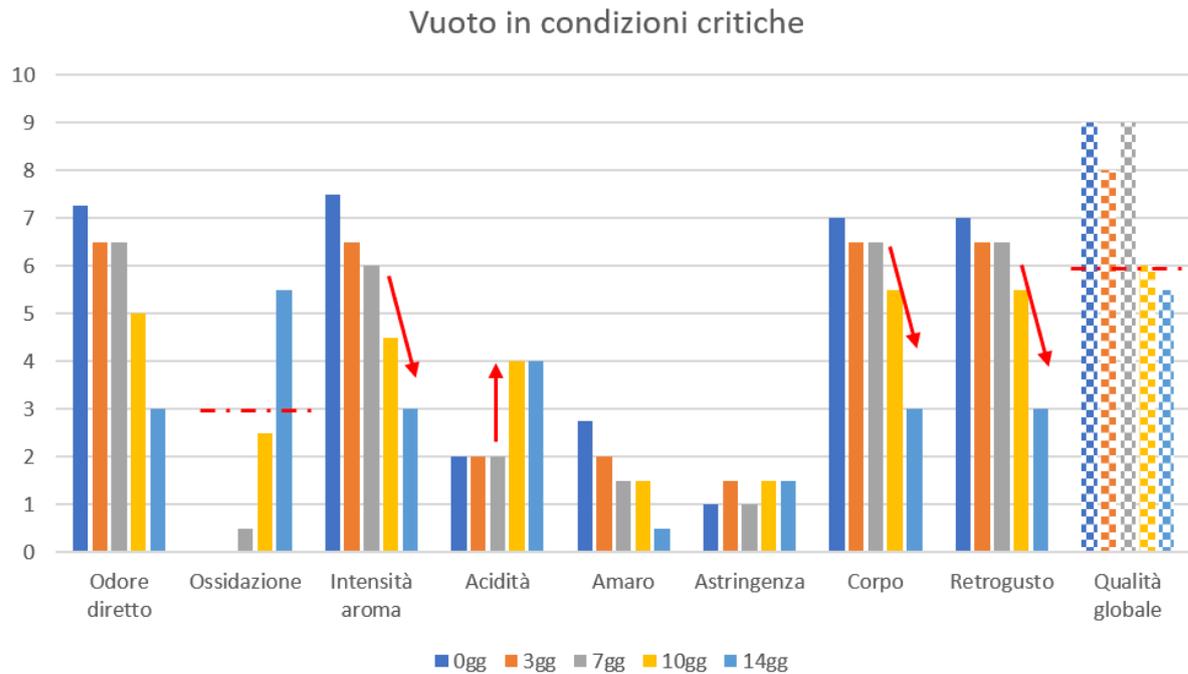


Grafico 3.1.3 – Risultati Preservation in condizioni critiche con Vuoto

Dal grafico si evince che già dal 7° giorno, considerato il degrado organolettico del prodotto, il caffè è decretato in fine-vita. Piccoli margini possono essere intravisti sulla ossidazione, che in realtà raggiunge quasi il limite consentito in corrispondenza del giorno n°10. Discorso a sé invece è necessario fare per l'utilizzo della tecnica di Preservation alternativa con freddo. Per poter comprendere quanto fosse possibile spingersi in termini di abbassamento della temperatura di conservazione del caffè, si è optato, in queste fasi di test di operare a temperature di conservazione molto basse (5° C), al di sopra naturalmente della temperatura limite per il congelamento dei chicchi. I risultati descrivono un fenomeno estremamente interessante. Il freddo è risultato a tutti gli effetti, quella tecnologia che, a parità di condizioni al contorno di esecuzione del test, ha dato i risultati di longevità del caffè più importanti. Questo ha permesso di ottenere le conferme sperimentali rispetto a quanto riferito da Letteratura: l'utilizzo del

freddo, con il controllo della umidità dell'ambiente di esecuzione del test, risulta essere la tecnologia meglio performante in assoluto. Quello mostrato dal grafico successivo è una prova di quanto detto.

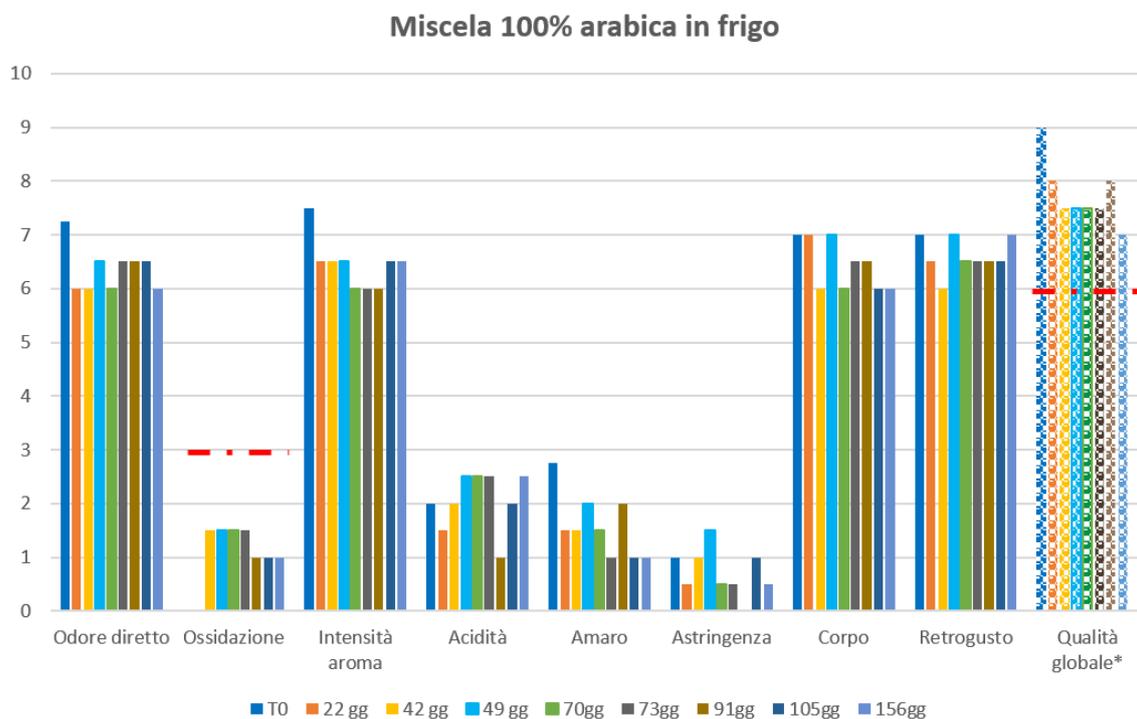


Grafico 3.1.4 - Risultati di analisi di Shelf-life con tecnologia di Preservation fredda (5°C)

Il diagramma parla chiaro, anche nel caso in cui si utilizzi come campione di test una miscela 100% Arabica (blend come visto meno resistente dalla teoria alle condizioni critiche di conservazione), la sua qualità globale mantiene valori abbondantemente sopra il 6 anche dopo 156 gg dall'inizio del test, con valori dello stato ossidativo del prodotto molto bassi. Questo è un risultato importante che ha fatto sorgere una questione fondamentale: se il freddo estremo con il quale è stato possibile garantire valori così alti di durata del prodotto ha dato risultati abbondantemente al di sopra del target dei 20 gg derivante dalla simulazione MKT, è possibile adottare la stessa tecnologia ma a temperature superiori? La risposta a questo quesito è stata data da ulteriori test eseguiti successivamente per

i quali è stata presa come temperatura di riferimento per la conservazione del caffè non più i canonici 5°C adottati sino a quel momento ma 18°C. Il motivo di questa scelta è stato dettato dal fatto che si è voluto indagare sulla durata della shelf life del caffè in condizioni molto simili a quelle di un ambiente condizionato (immaginando che mediamente in un ambiente chiuso, sia esso una abitazione o casa, possano esserci i canonici 20°C in condizioni di raffrescamento). I test con queste nuove condizioni parlano chiaro e in sintesi i risultati da essi riportati possono essere riassunti dal diagramma che segue.

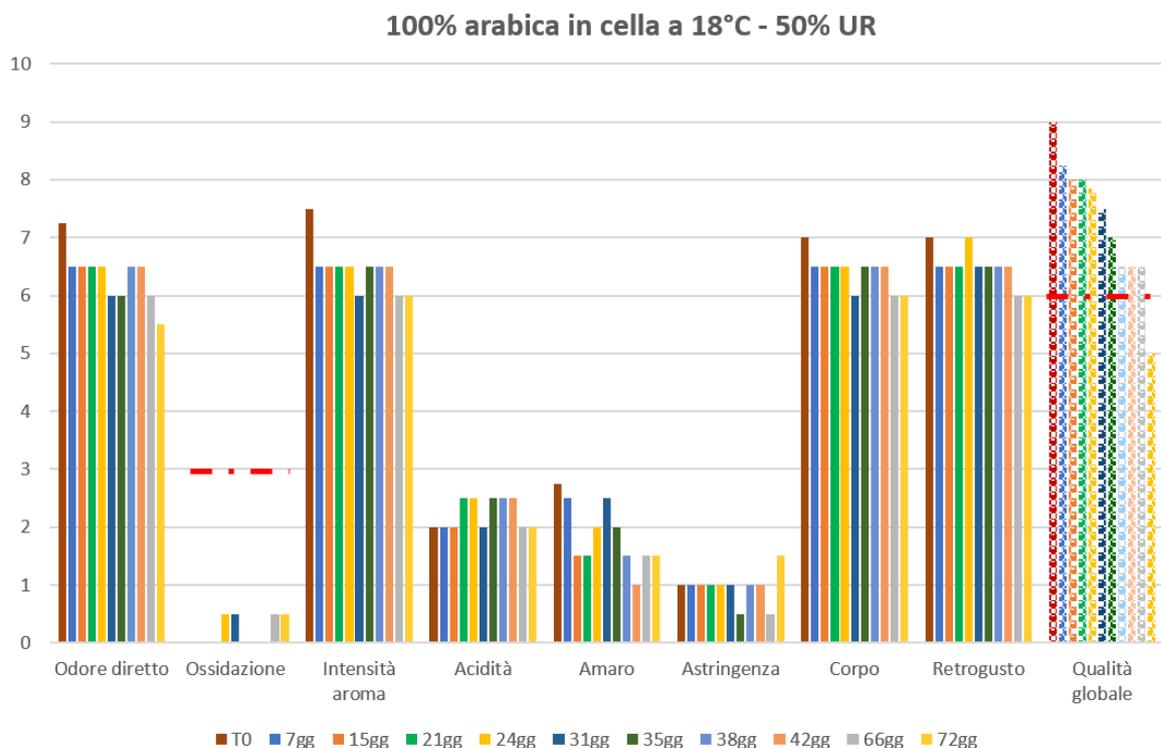


Grafico 3.1.5 – Risultati Preservation in condizioni critiche con condizionamento (18°C)

Il prodotto è risultato conforme fino al 66° gg, tempo oltre il quale la sua qualità globale è scesa al di sotto del limite consentito di 6. Un dato molto importante messo in evidenza dal precedente grafico è quello inerente allo stato ossidativo, che differentemente dai casi di Preservation visti prima, resta sempre

estremamente basso, ben al di sotto del valore 1. Questo è ovviamente un fenomeno avvalorato da quanto riportato nella stessa Letteratura, in quanto è noto che la temperatura è uno dei fattori più importanti nella accelerazione delle reazioni di ossidazione del caffè. Se la temperatura è un parametro importante, altrettanto necessario è sottolineare l'importanza delle condizioni di umidità relativa e di acqua libera in cui il prodotto caffè viene conservato. A titolo di esempio, di seguito sono riportati gli andamenti di umidità relativa e acqua libera per il caffè conservato rispettivamente a 5°C e 18°C.

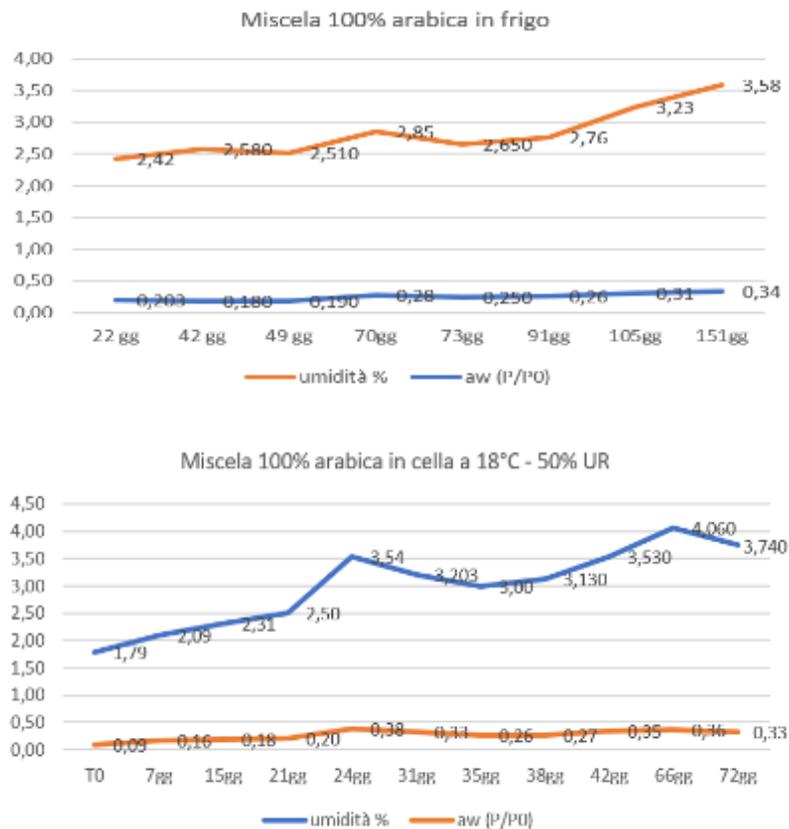


Grafico 3.1.6 – Condizioni di umidità relativa e aw nei due scenari di Preservation con freddo

Tenendo presente che il limite preso in considerazione per l'aw massima tollerabile oltre al quale è possibile incorrere in un rischio di contaminazione microbica del prodotto è stato posto pari a 0,5, i risultati mostrano un andamento

della umidità relativa coerente con quanto riportato da letteratura come limite massimo per le condizioni di conservazione ottimale del prodotto. In estrema sintesi dunque, è possibile riportare di seguito un grafico rappresentante quelli che sono i principali risultati raggiunti, e in attesa di essere ancora raggiunti visto che alcuni test sono ancora on-going, in termini di Indice di Qualità globale inerenti alla preservation del caffè per mezzo delle tre tecnologie di Vuoto, Azoto e Freddo.

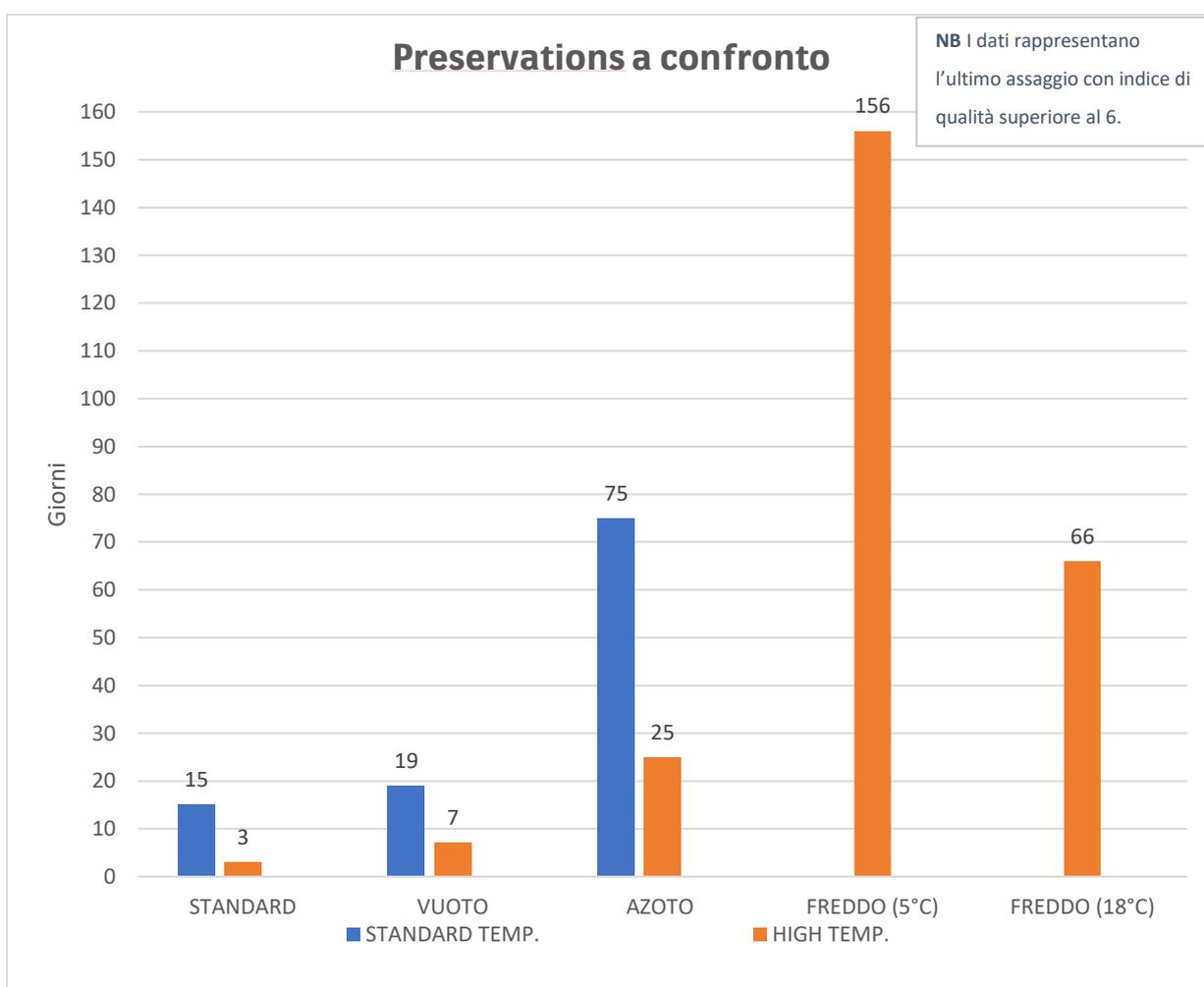


Grafico 3.1.7 – Risultati ottenuti sull’Indice di Qualità globale per le tecnologie di Preservation con Vuoto, Azoto e Freddo

Il grafico parla in maniera chiara, le tecnologie meglio performanti in termini di indice di qualità globale del prodotto sono l’Azoto e il Freddo (l’azoto è risultato

idoneo in termini di conservazione anche nel caso di temperature critiche). Entrambe consentono di raggiungere periodi di durata del prodotto notevolmente superiori al target dei 20gg presi in considerazione da simulazione MKT, e dunque per questo motivo si è reso necessario fare una scelta su quale delle due tecnologie dirigersi per la prosecuzione dei test direttamente su Vending e per la conseguente prototipazione di soluzioni in macchina. Questa scelta ha avuto come driver principale una matrice di confronto tra l'uso delle 3 tecnologie in ottica preservation che tenesse conto principalmente di 3 fattori:

- 1) Efficacia Shelf life
- 2) Complessità tecnica
- 3) Costo

Ciò che si è ottenuto dal confronto diretto su questi tre fronti è quanto segue:

	VACUUM	NITRO	FREDDO
EFFICIACIA SHELF LIFE	★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★ ★ ★
COMPLESSITA' TECNICA	★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★
COSTO	\$ \$	\$ \$ \$ \$ \$	\$ \$

Tabella 3.1.1 – Matrice di confronto tecnologie di Preservation

Quella che si è condotta è stata una analisi su più driver di scelta, in quanto il tema di efficacia di mantenimento della shelf life doveva naturalmente confrontarsi con una applicabilità in ambito tecnico oltre che avere il miglior rapporto efficacia/costo. Dal confronto incrociato su questi tre fronti per ciascuna tecnologia, il risultato che è emerso è che la tecnologia maggiormente conveniente sotto tutti i punti di vista è risultata essere il freddo. Questo risultato

ha rappresentato il crocevia fondamentale a partire dal quale poi tutta l'attività da me svolta, con il supporto del team, di prototipazione e messa in funzione del sistema di condizionamento a bordo della macchina vending ha preso forma e si è diretto. Nel capitolo successivo verrà fatto un maggiore focus su tutti gli aspetti tecnici inerenti alla installazione, quello appena concluso aveva unicamente lo scopo di dare al lettore uno sguardo di più ampio respiro sull'intera attività di test e analisi condotta.

3.1.3 Shelf life del caffè – il tema della sporchevolezza

Il punto focale attorno al quale tutti i test programmati sino al momento in cui si è decretato il Freddo come tecnologia vincente in termini di Preservation è stato quello di considerare come “attore principale” del processo di allungamento della shelf life il caffè in grani, ossia quello banalmente contenuto all'interno delle campane grani di cui ogni Vending è dotata. Un aspetto sul quale però i test hanno preliminarmente sorvolato è quello della “sporcevolezza” del caffè nel suo processo di macinatura all'interno del grinder e di come questo potesse inficiare la qualità globale in tazza. Ulteriori approfondimenti su questo tema sono stati successivamente eseguiti, con la realizzazione di capitoli di test appositi, i cui i risultati sono quelli mostrati nel grafico che segue.

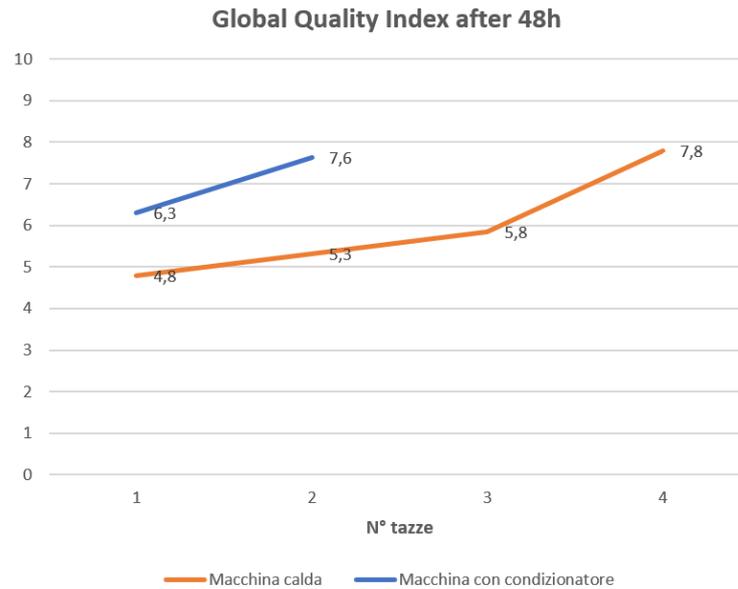


Figura 3.1.3 – Risultati ottenuti da analisi sensoriale sui “primi caffè” in caso di macchina condizionata e non condizionata

In sostanza, si è indagato sulla qualità globale in tazza dei “primi caffè” nelle ipotesi di considerare un caffè estratto all’interno di macchina “calda” e macchina “condizionata” (quando si fa riferimento a “macchina calda” ci si riferisce allo scenario di Vending classico come oggi lo conosciamo). Come detto, questi test sono nati dalla esigenza di comprendere fino in fondo quali sono le dinamiche che comportano la deplezione della qualità globale del prodotto per i primi caffè erogati, visto che nella ipotesi di considerare una macchina ormai a regime, ossia in funzione da un numero consistente di ore, questo fenomeno sembra essere irrilevante. I risultati parlano chiaro, nel caso di macchina “calda” e dunque in assenza di preservation fredda, i primi 3 caffè erogati, immaginando di simulare uno stop della macchina di 48h similmente ad un ipotetico scenario di “pausa weekend”, hanno una qualità globale inferiore al 6. Al contrario, nello scenario di macchina condizionata sin dal primo caffè la qualità globale in tazza è risultata superiore al 6, con un trend crescente dal secondo caffè in poi. Si è dunque

ulteriormente approfondito questo aspetto di qualità globale sui primi caffè, indagando sulle possibili cause che portano ad avere uno stato ossidativo così alto. Nel dettaglio le cause possibili individuate a monte di questa problematica sono due:

- Caffè macinato residuo nel grinder
- Residuo aderente alle pareti del macinino e non rimovibile attivando il macinatore (per semplicità “oli residui”)

Nello specifico, si sono dunque analizzati i risultati in termini di descrittori sensoriali per i due scenari di macchina calda e macchina condizionata in modo da valutare l’influenza di ciascuna causa sopra citata.

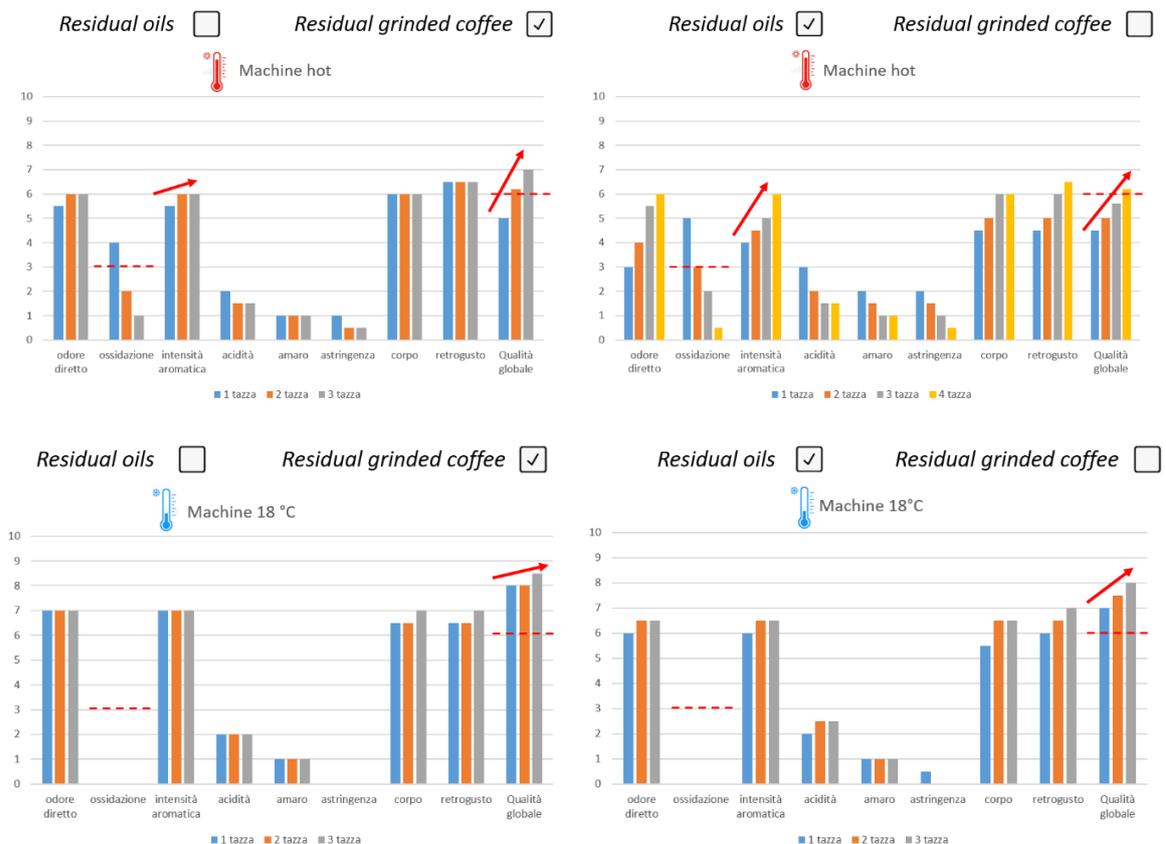


Figura 3.1.4 - Influenza di Caffè macinato residuo e oli residui sui primi caffè in due scenari di macchina differenti

Come è possibile apprezzare dai grafici sopra riportati, l'effetto sui primi caffè in termini di deterioramento della qualità globale è maggiormente significativo nel caso degli "olii residui": è possibile infatti osservare che nel caso di macchina calda mentre l'effetto del caffè residuo mi dice che il secondo caffè è teoricamente al "limite di accettabilità", l'effetto degli olii residui è più gravoso e porta a scartare fino al terzo caffè per insufficiente qualità globale in tazza. Un trend simile, ma con risultati completamente diversi, è apprezzabile anche nello scenario di macchina condizionata, anche qui infatti l'effetto degli olii residui è maggiormente gravoso rispetto a quello di caffè macinato residuo. Questo è un aspetto attenzionato in maniera molto importante nella fase di prototipazione. In conclusione, i concetti sino ad ora visti possono essere riassunti come segue. È stato dimostrato (sperimentalmente, partendo dai riscontri da letteratura) che i principali contributori della degradazione del caffè sono:

- Ossidazione dei grani in campana
- Contaminazione dei primi caffè dopo pausa di 12/48h (effetto di caffè e olii residui)

Questi due aspetti rappresentano i punti focali dell'intera analisi sperimentale condotta nel corso dei mesi passati e che ha portato ai risultati sino ad ora dimostrati. L'ossidazione dei grani in campana è il concetto sul quale tutte le analisi, nella fase preliminare del progetto, si erano focalizzate, in quanto erroneamente si è sempre pensato che l'obiettivo ultimo fosse "preservare unicamente" il prodotto caffè stazionante in campana (si è sempre immaginato il caffè in grani come il "core" della Preservation). Questo concetto è stato in realtà sfatato dai test successivamente realizzati, in quanto si è compreso quanto, nella

valutazione della Shelf life complessiva del prodotto, “pesasse” l’effetto del caffè macinato (e relativi olii) residuo contenuto nel macinino nonché la sua “durata” di stazionamento. Questa è stata la chiave di volta che ha permesso al progetto di passare dalla fase iniziale di PoP a quella di PoC, indirizzando tutta la successiva ingegnerizzazione e realizzazione dei prototipi con “condizionamento” (Freddo a 18°C) verso la risoluzione di entrambi i fenomeni (il primo già ampiamente smarcato).

Capitolo 4

4.1 Azoto – analisi della componentistica

Prima di procedere con la trattazione che seguirà, è bene fare un preambolo molto importante. A valle dei risultati ottenuti in termini di Preservation del caffè, presentati nel Capitolo 3, si è compreso che la tecnologia sulla quale da un certo momento in poi l'intero progetto si è diretto è quella del Freddo. Questo ha significato che il mio apporto realizzativo concreto si sia a sua volta orientato verso la medesima tecnologia, e che la trattazione su Vuoto e Azoto fosse puramente descrittiva in relazione a:

- Scelta e uso di componentistica per l'esecuzione dei test
- Specifiche tecniche dei componenti

Quella dell'azoto è una tecnologia che, come visto dai risultati dei test di assaggio, è in grado di offrire una Preservation del caffè ottimale. A discapito però della sua efficacia in termini di allungamento della shelf life del prodotto, l'applicazione di

questa tecnologia in macchina risulta avere costi e difficoltà di natura tecnica non indifferenti. Da un punto di vista meramente tecnico, la conservazione in atmosfera inerte di azoto è possibile solo se il prodotto da preservare è contenuto all'interno di un contenitore a tenuta stagna (ermetico) dotato a sua volta di un dispositivo di regolazione dell'azoto, che effettua l'insufflaggio del gas inerte in funzione della quantità di ossigeno contenuta all'interno del contenitore stesso. L'obiettivo è quello di tenere quanto più bassa possibile la percentuale di ossigeno all'interno del contenitore stagno: come noto l'O₂ è uno dei principali catalizzatori delle reazioni di ossidazione del caffè, ragion per cui tenerlo sotto controllo significa controllare i fenomeni di deterioramento sensoriale del prodotto. L'azoto è un gas normalmente presente per il 78% nell'atmosfera e la cui generazione (o per meglio precisare "separazione" dall'ossigeno) è possibile grazie ad un dispositivo specifico chiamato "generatore di azoto". Nel caso specifico in esame, il dispositivo utilizzato a tal fine è un componente commerciale, il generatore di azoto Jun-Air ELEMENT7. L'utilizzo di questo dispositivo con la finalità sopra esposta, ossia quella di tenere sotto controllo il livello di ossigeno contenuto all'interno della campana stagna, è stato possibile solo a valle della progettazione di una architettura di controllo mostrata in Figura 4.1.1.



Figura 4.1.1 - Architettura di controllo della %O₂ in campana

Come è possibile osservare, nel caso specifico dell'azoto, è stata utilizzata la piattaforma Vending Bianchi con il rispettivo sistema brevettato di conservazione sottovuoto del caffè. Al già presente sistema si sono operate le modifiche mostrate nella immagine. Nel concreto è stata aggiunta a tutti gli effetti una architettura di controllo della percentuale di ossigeno residuo in campana per mezzo di un apposito "Kit elettronico per il controllo" (di cui si dettaglieranno le caratteristiche tecniche in seguito). Al dispositivo di controllo si vanno ad aggiungere il generatore di azoto e una elettrovalvola per la gestione dell'azoto in ingresso alla campana. In sostanza il funzionamento di questo sistema è il seguente:

- In fase di "riposo" (ossia nella fase in cui non si effettuano erogazioni) la campana, tramite il suo apposito sistema di creazione del vuoto, conserva i grani ad una certa percentuale di ossigeno (solitamente dell'ordine del 4-6%).
- Il kit elettronico di controllo rileva questa percentuale e attiva a sua volta l'elettrovalvola che permette di trasportare l'azoto generato dal Jun-Air in campana
- In questo modo le percentuali di ossigeno vengono portate a valori ancora più bassi, dell'ordine del 1-2% e la Preservation del caffè è garantita

Più nel dettaglio, di seguito è possibile apprezzare un dettaglio del generatore di azoto impiegato nel caso in esame.



Figura 4.1.2 - Illustrazione del Generatore di Azoto Element7 (Element7, 2020)

Si tratta di un componente commerciale con i seguenti dati di targa.:

- Pressione massima di lavoro = 10bar
- Volume serbatoio azoto = 1,5 litri
- Voltaggio = 230V/50Hz
- Assorbimento elettrico = 2 A

Di seguito una serie di immagini riportanti delle viste interne del macchinario. Si precisa che le figure che seguiranno avranno unicamente lo scopo di chiarire alcuni aspetti di natura tecnica relativi al funzionamento del generatore di azoto.

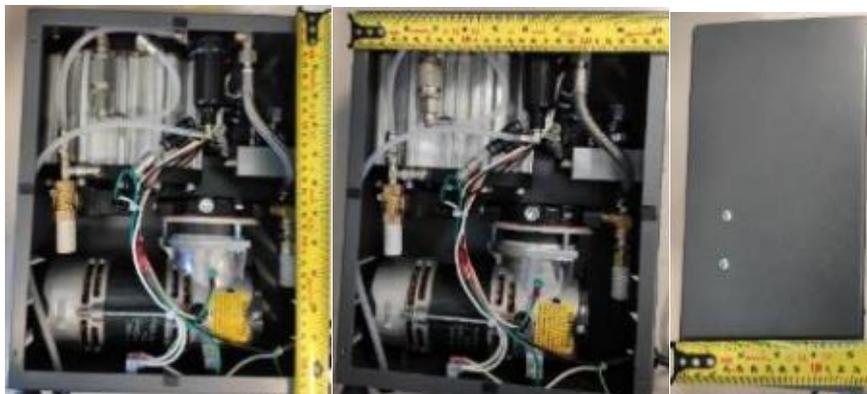


Figura 4.1.3 - Viste interne della macchina con relative misure (Element7, 2020)

A tutti gli effetti, la componentistica di cui è dotato il presente dispositivo è quella mostrata in figura. Semplificando, la generazione di azoto è possibile grazie alla tecnologia PSA (Pressure Swing Adsorption), grazie cioè all'utilizzo del fenomeno dell'adsorbimento dell'ossigeno contenuto all'interno dell'aria. In generale, l'adsorbimento si verifica quando delle molecole instaurano un legame con una sostanza chiamata "adsorbente": nel caso specifico della generazione di azoto le molecole sono quelle dell'ossigeno mentre l'adsorbente è costituito da un setaccio molecolare al carbonio detto CMS (Carbon Molecular Sieve). Nella fattispecie, il processo avviene grazie alla presenza di due serbatoi distinti, rispettivamente riempiti con CMS, i quali hanno il compito di commutare fra i processi di generazione e separazione (Atlascopco, 2020). Per meglio comprendere il concetto in questione, è possibile guardare l'immagine che segue.

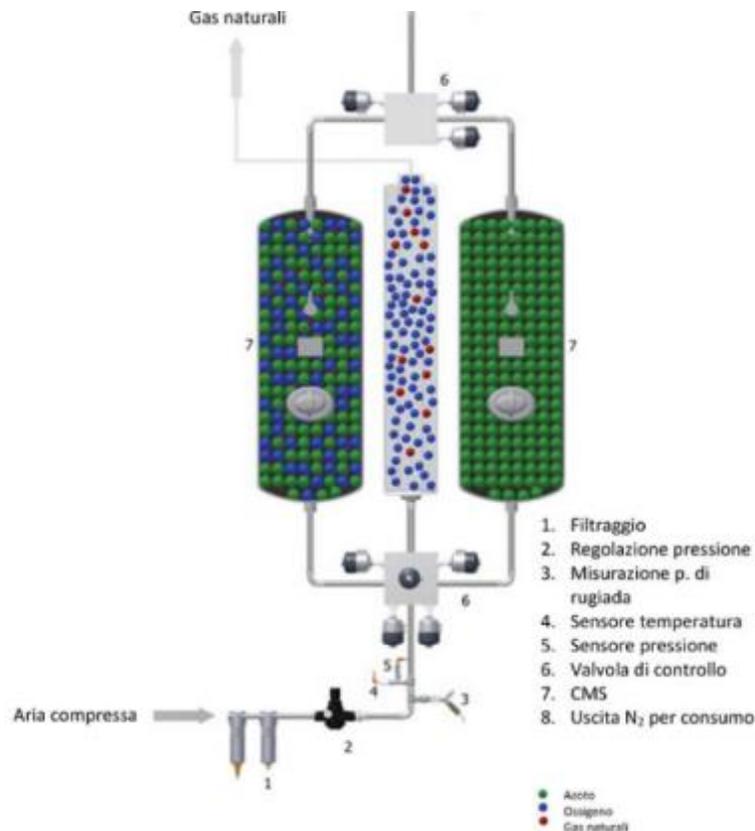


Figura 4.1.4 - Generatore di azoto: processo di adsorbimento (Inmatec, 2020)

Il processo ha inizio con l'ingresso dell'aria pulita e secca all'interno del serbatoio 7 di sinistra. Essendo le molecole di ossigeno molto più piccole di quelle di azoto, penetrano all'interno del setaccio di carbonio contrariamente a quelle di azoto che ne aggirano i suoi pori, poiché più grandi (Atlascopco, 2020). Quella descritta è la fase di adsorbimento o separazione. A questo processo iniziale, però, ne segue un altro in cui una parte dell'azoto non diretto allo stoccaggio viene reintrodotta nel serbatoio 7 di destra. Questa è una operazione necessaria alla espulsione dell'ossigeno precedentemente catturato durante l'adsorbimento. Con il rilascio della pressione viene meno la capacità dei setacci di trattenere molecole di ossigeno le quali vengono a staccarsi e ad essere scaricate. Con questa operazione si esegue una vera e propria pulizia del sistema chiamata "rigenerazione". Giunti a questo punto le due fasi si invertono per i due serbatoi, i quali saranno uno in adsorbimento e l'altro in rigenerazione (Atlascopco, 2020). Per completezza, è possibile apprezzare un sunto delle operazioni sino ad ora descritte.

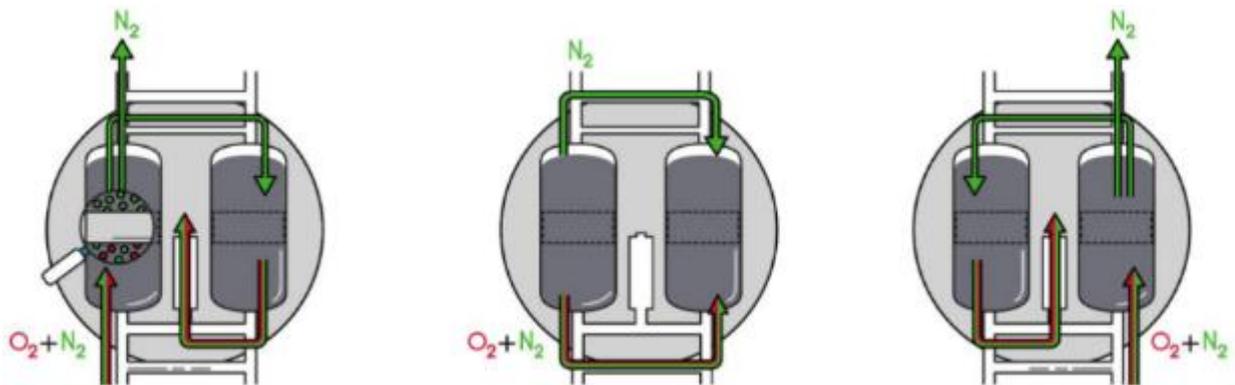


Figura 4.1.5 - Fasi di Adsorbimento e Rigenerazione (Atlascopco, 2020)

Come detto nell'incipit del paragrafo, l'obiettivo di questa e della successiva sezione è solo quello di riportare in maniera descrittiva e discorsiva le principali caratteristiche tecniche dei componenti utilizzati in fase di test.

4.2 Vuoto – analisi della componentistica

La presente sezione ha l’obiettivo di analizzare brevemente la componentistica utilizzata nell’ambito dei test eseguiti con la tecnologia del “Vuoto”. Nel dettaglio, diversamente dalle tecnologie di Azoto e Freddo per le quali è stato necessario condurre delle attività di prototipazione ad hoc (Architettura per Generatore di azoto ELEMEN7 e prototipi per la refrigerazione del cabinet), l’utilizzo della tecnologia del vuoto per l’esecuzione dei test sensoriali e strumentali descritti nella sezione 3.1.2 si è basato sull’uso di una applicazione già esistente e brevettata all’interno di una piattaforma già commercializzata. Quello a cui faccio riferimento è la macchina Vending Bianchi “Lei 2 Go” con al suo interno la tecnologia brevettata di sottovuoto del caffè e descritta nella sezione 2.2.1. Di seguito una serie di illustrazioni di quanto detto:

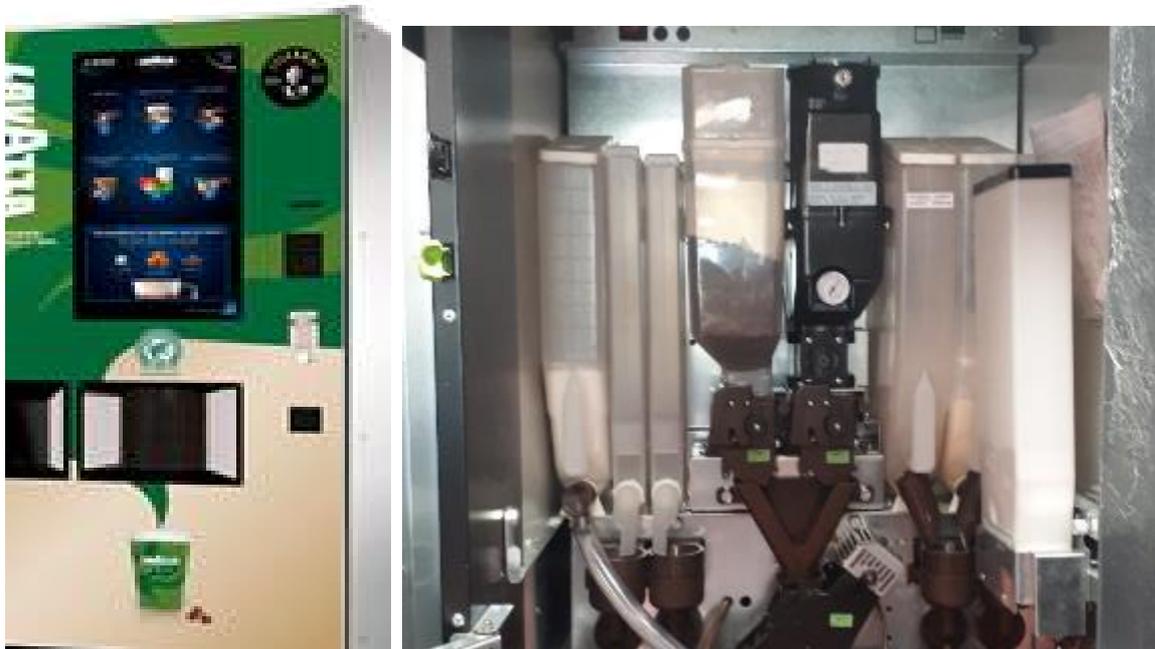


Figura 4.2.1 - BianchiVending Lei 2 GO con dettaglio del suo interno (BianchiVending, 2020)

Si precisa dunque che i test di assaggio e di natura sensoriale sono stati eseguiti direttamente a partire dalla piattaforma stand alone così come presentata nelle immagini sopra. Le specifiche di natura tecnica sono di sotto riportate.

MODELLO LEI2GO	LEI2GO 1ES-8 DB T32 IAV TP 6-12	LEI2GO 2ES-7 DB T32 IAV TP 6-12	LEI2GO 2ES-7 DB T32 IAV TP 6-12 VH
TASTIERA	TOUCH32" ANTIVANDALICO	TOUCH32" ANTIVANDALICO	TOUCH32" ANTIVANDALICO
VERSIONE	ESPRESSO	ESPRESSO	ESPRESSO
GRUPPO CAFFÈ ESPRESSO TRADIZIONALE	ES	ES	ES
TRAMOGGE CAFFÈ IN GRANI	1	2	2 DI CUI 1 VACUUM
CALDAIE	2	2	2
SCATOLE PRODOTTI (ZUCCHERO INCLUSO)	8	7	7
SCATOLE PRODOTTI TOPPING	4	4	4
BICCHIERI Ø 70-71 MM	600	600	600
BICCHIERI Ø 80 MM	400	400	400
COPERCHI Ø 80 MM	200	200	200
DISPENSER PALETTE AUTOMATICHE 90-105 MM	500	500	500
DISPENSER PALETTE MANUALI 125 MM	500	500	500
CASSETTI/SPIRALI PER MINI SNACK/TE IN BUSTINE	6/2	6/2	6/2
SELEZIONI/CAPACITÀ MINI SNACK/TE IN BUSTINE	12/354	12/354	12/354
DIMENSIONI MM	1830H x 877L x 976P / PESO 214 KG		

Figura 4.2.2 - Specifiche tecniche macchina Vending Bianchi Lei 2 GO (BianchiVending, 2020)

Come già descritto nella sezione dedicata, il sistema utilizzato da questa tipologia di macchina Vending è un sistema di campana sottovuoto. In sostanza, il grande vantaggio di questo dispositivo consiste nel fatto che permette di “utilizzare” l’esatto quantitativo di caffè necessario alla preparazione evitando in questo modo due fenomeni:

- Stoccaggio del caffè in condizioni non proprie alla sua conservazione (in aria standard per esempio)
- Evitare le continue attivazioni ripetute della pompa da vuoto (quindi risparmio energetico)

A discapito di questi due importanti vantaggi, si è in realtà evidenziato nelle varie sessioni di test eseguite che in realtà il vuoto risulta essere una tecnologia poco efficace in termini di Preservation del prodotto in condizioni di temperatura critiche. Come infatti visto nel capitolo dedicato ai test sensoriali, in condizioni di elevata temperatura la durata massima del caffè scendeva drasticamente. Questo è stato uno dei motivi per i quali questa tecnologia è stata messa da parte, come per l'azoto, al fine di lasciare spazio al Freddo, tecnologia con relativa applicazione descritta nelle sezioni che seguono.

4.3 Freddo – una tecnologia efficiente in termini di Preservation

Smarcato il concetto iniziale per il quale il Freddo è la tecnologia con cui la Preservation del caffè risulta più efficiente e al tempo stesso tecnologicamente più “semplice” da implementare, l'applicazione in macchina di questo concetto ha necessitato di una importante e fondamentale fase iniziale di progettazione del sistema della quale mi sono personalmente occupato. Nel concreto, l'attività svolta ha riguardato il dimensionamento da un punto di vista termo-igrometrico di un sistema di “condizionamento” dell'aria all'interno di una macchina Vending. Si parla nella fattispecie di condizionamento proprio perché le condizioni di temperatura dell'aria desiderate non sono quelle di un ambiente refrigerato come quello di un frigorifero bensì molto meno rigide, in linea con quelle tipiche di un ufficio. Nel dettaglio, la fase di progettazione in questione è partita con la realizzazione di un modello teorico semplificato che simulasse la termodinamica interna della macchina Vending presa in esame e permettesse di fare una stima di massima di:

- Potenze frigorifere
- Potenze elettriche
- Spessore dell'isolante con cui coibentare le pareti interne della Vending ed evitare il fenomeno della condensazione a parete

A questa iniziale fase di progettazione è poi seguita una importante parte dedicata alla prototipazione in macchina (opportunamente dettagliata di seguito) nella quale ho dato il mio personale contributo, suggerendo le alternative costruttive più efficienti e al tempo stesso semplici da implementare.

4.3.1 Il modello termodinamico

Come per ogni modello, è stato necessario partire con degli assunti iniziali che semplificassero il problema ma che al tempo stesso fossero quanto più coerenti possibili con la realtà. La macchina Vending in questione, come la quasi totalità delle macchine Vending sul mercato, si presenta a tutti gli effetti come un “Cabinet” costituito da pareti in lamiera e un portellone frontale di accesso ai componenti interni alla macchina.



Figura 4.3.1 – Dettaglio della Macchina Vending Maestro touch x2 (fonte: sito ufficiale Lavazza)

Tale conformazione ha dunque permesso di fare l'assunto fondamentale di considerare la macchina come un "sistema termodinamico chiuso" che da un punto di vista energetico può scambiare con l'esterno "unicamente" energia e non materia.

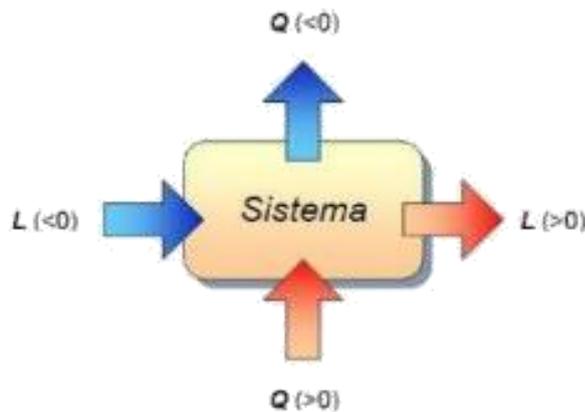


Figura 4.3.2 – Illustrazione di un sistema chiuso

A questo assunto fondamentale, per maggiore semplicità della trattazione, si è considerato che questo sistema chiuso racchiudesse un volume di "sola" aria (considerata come un gas perfetto) e che quindi la fase di raffreddamento interno della vending riguardasse unicamente il volume di aria in essa contenuto e non i suoi effettivi componenti (per i quali sono state fatte ulteriori assunzioni). Si è dunque applicato, sotto queste ipotesi iniziali, il I Principio della Termodinamica per Sistemi Chiusi con approccio macroscopico al caso in esame. Come noto, la scrittura del I PTD Lagrangiano è la seguente:

$$m\Delta U = Q + L$$

Ossia che "la variazione di energia interna di un sistema chiuso è pari al calore e al lavoro entranti netti nel sistema". Nel caso specifico del sistema chiuso in esame, si è ipotizzato che la trasformazione termodinamica che lo coinvolge fosse:

- Senza scambio di lavoro con l'esterno ($L=0$)
- A volume costante ($\Delta U = c_v \Delta T$), ricordando l'ipotesi di volume chiuso

Da cui, la semplificazione del I PTD della termodinamica scritto sopra ci consente di scriverlo nuovamente nella seguente formulazione:

$$mc_v \Delta T = Q$$

Noto quindi il modello teorico di partenza, è stato poi necessario applicarlo al caso in esame. Nel dettaglio, l'obiettivo ultimo era quello di calcolare la Potenza Refrigerante (e poi quella Elettrica) necessaria per portare un ambiente chiuso da una temperatura iniziale ad una finale (i dati verranno dettagliati di seguito) e mantenerla. Se dunque l'output finale da estrapolare era una potenza (ossia Energia nell'unità di tempo) l'unica incognita contenuta nella equazione era appunto l'energia termica Q . L'equazione è stata dunque riscritta come segue nella sua forma più generale:

$$Q = Q_s + Q_l + mc_v \Delta T$$

dove:

- Q_s è intesa come l'energia "entrante" nel sistema a causa della presenza di elementi scaldanti interni alla macchina (caldaia, gruppo di erogazione/infusione)
- Q_l è l'energia persa a parete a causa delle dissipazioni di calore
- $mc_v \Delta T$ è invece l'energia da "sottrarre" all'aria per raffreddarla

Dunque, l'energia totale da sottrarre (energia per refrigerare) è intesa come somma dei singoli contributi entranti nel sistema. Definito il modello, è stato dunque possibile passare alla parte relativa ai calcoli veri e propri. Si precisa che

i calcoli sono stato eseguiti in regime di “stazionario termico”. I dati di input del modello sono presentati nella tabella che segue.

Dati di Input		Unità di misura
Temperatura aria interna alla vending	18	°C
Temperatura aria esterna alla vending	40	°C
Altezza Vending	1830	mm
Larghezza Vending	650	mm
Profondità Vending	760	mm
Volume Aria Interna Vending nominale	0,904	mm^3
Volume Aria Interna Vending effettivo	0,587	mm^3
Potenze termiche di elementi scaldanti	2700	W
Spessore lamiera	2	mm
Densità media aria	1,167	kg/m^3
Massa aria interna alla vending	0,685	kg
Calore specifico aria a volume costante	717	$J/kg K$
Scambio termico convettivo aria ferma esterno	10	$W/m^2 K$
Costante di tempo di raffreddamento	600	s
Scambio termico convettivo aria ferma interno	20	$W/m^2 K$
Conducibilità acciaio	50	$W/m K$
Spessore isolante	20	mm
Conducibilità Polistiere espanso	0,04	$W/m K$
Coefficiente di prestazione	4	-

Tabella 4.3.1 – Tabella dei dati di Input al modello

È necessario fare una precisazione importante, i calcoli relativi alle potenze che seguiranno fanno riferimento al caso in cui la macchina, raggiunti i 18°C interni (Temperatura target per la preservation come visto nel capitolo precedente), nella ipotesi in cui esternamente ce ne siano 40°C, debba “mantenere” questa temperatura. Per rendere il modello il più completo possibile, nel calcolo delle potenze termiche dissipate si è tenuto conto di tutti i possibili scambi termici, sia di natura convettiva che conduttiva. La prima operazione eseguita è stata quella di realizzare una stima iniziale della Potenza frigorifera ed elettrica necessaria a

raffreddare l'interno della Vending in ipotesi di assenza di isolante sulle pareti. I risultati ottenuti sono i seguenti:

Caso di Cabinet non coibentato con 40°C esterni e 18°C interni				
Potenza di elementi scaldanti (\dot{Q}_s)	Potenza dissipata a parete (\dot{Q}_l)	Potenza per raffreddare l'aria interna alla vending ($m\frac{du}{dt}$)	Potenza Refrigerante (\dot{Q})	Potenza elettrica (\dot{Q}_e)
2700 W	901,5 W	18,00 W	3619,8 W	904,89 W

Tabella 4.3.2 - Valori di potenze ottenute

A valle dei risultati sopra mostrati, è opportuno fare ulteriori precisazioni. Quando si fa riferimento a “Potenza di elementi scaldanti” ci si riferisce alla potenza termica emessa in fase di “funzionamento normale” della macchina da parte dei suoi elementi scaldanti (caldaia, gruppo di erogazione) e per semplicità di trattazione è stata considerata pari a 2400 W di potenza nominale di funzionamento della macchina (presa da targa) con l’aggiunta di ulteriori 300W considerati come effetto peggiorativo dovuto alla presenza della parte condensante del prototipo di condizionamento direttamente presente in macchina. Per maggiore chiarezza, è possibile fare riferimento alla immagine che segue:

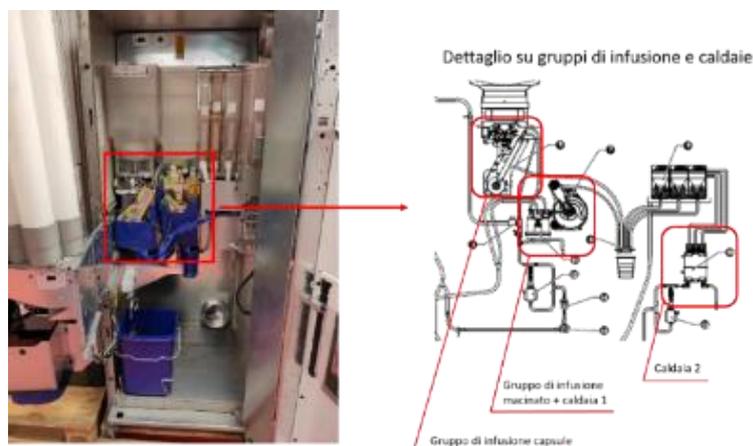


Figura 4.3.3 - Dettaglio su gli "elementi scaldanti" interni alla Vending (Necta, 2020)

Per quanto concerne il calcolo della potenza dissipata a parete, esso è stato realizzato facendo un innanzitutto un calcolo della resistenza termica complessiva delle pareti (immaginate come resistenze in serie) e poi si è passati al calcolo di rispettivamente “flusso termico a parete” e “potenza termica dissipata”. Di seguito la procedura utilizzata:

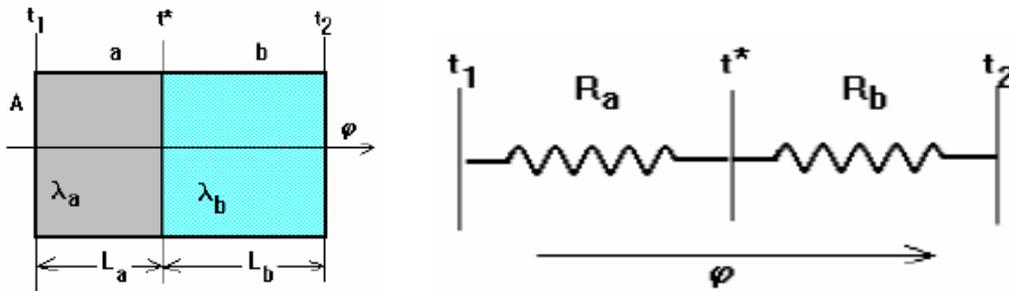


Figura 4.3.4 - Resistenze termiche in serie

Partendo dalla ipotesi iniziale per cui ciascuna parete del cabinet avesse uno spessore di lamiera identico (per un numero complessivo di 6 pareti), si è sostanzialmente effettuato il calcolo della singola resistenza termica su una parete (come somma delle singole resistenze conduttive e convettive a parete) per poi calcolare quella complessiva come prodotto della resistenza termica su parete singola per 6 (numero delle pareti). Si precisa che, il calcolo delle resistenze è stato eseguito privandole del termine di “area” al denominatore, in modo tale da non avere una sua ridondanza nel momento in cui si andava a calcolare la resistenza termica totale di tutte le pareti. Il tutto è stato fatto come segue:

$$R_{TOT} = R_{cond} + R_{conv_ext} + R_{conv_int}$$

Dove:

- R_{TOT} : è la resistenza termica totale sulla singola parete
- R_{conv_ext} : è la resistenza termica convettiva dovuta alla agitazione termica dell'aria esternamente alla vending
- R_{conv_int} : è la resistenza termica convettiva dovuta alla agitazione termica dell'aria internamente alla vending

Dalla definizione di resistenza termica conduttiva e convettiva:

$$R_{cond} = \frac{s}{\mu} \quad ; \quad R_{conv} = \frac{1}{h}$$

Dove:

- s : è lo spessore di parete preso in considerazione (uguale per tutte le pareti)
- μ : è la conducibilità termica
- h : è il coefficiente di scambio termico convettivo

A questo punto, nota la resistenza termica totale della singola parete è stato possibile calcolare quella complessiva di tutte le pareti. Calcolata la resistenza complessiva, si è effettuato il calcolo del flusso termico a parete complessivo per poi moltiplicarlo per la superficie utile di scambio e ottenere la potenza dissipata a parete totale. Quanto fino ad ora descritto fa riferimento, come detto, al caso di cabinet non coibentato. A questo punto, quanto implementato al livello di cabinet semplice è stato trasportato a due scenari differenti di raffreddamento:

- Raffreddamento della intera Vending con coibentazione
- Raffreddamento di parte della Vending con coibentazione

La scelta dello spessore di coibentante da utilizzare all'interno del modello è stata in realtà dettata dal fenomeno del "dew point": con il termine "dew point" si intende "punto di goccia" o "punto di rugiada", ossia quel fenomeno per il quale in opportune condizioni di temperatura e di umidità relativa si verifica la "condensazione" dell'acqua contenuta nell'aria sulle superfici. Con particolare riferimento dunque a questo aspetto, si è considerato ciò che la letteratura riporta circa il "punto di rugiada":

Tabella punto di rugiada

Temp. amb.	Il punto di rugiada dell'aria in ° C in funzione dell'umidità relativa											
	C°	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
2°C	-7.77	-6.56	-5.43	-4.40	-3.16	-2.48	-1.77	-0.98	-0.26	0.47	1.20	
4°C	-6.11	-4.88	-3.69	-2.61	-1.79	-0.88	-0.09	0.78	1.62	2.44	3.20	
6°C	-4.49	-3.07	-2.10	-1.05	-0.08	0.85	1.86	2.72	3.62	4.48	5.38	
8°C	-2.69	-1.61	-0.44	0.67	1.80	2.83	3.82	4.77	5.66	6.48	7.32	
10°C	-1.26	0.02	1.31	2.53	3.74	4.79	5.82	6.79	7.65	8.45	9.31	
12°C	0.35	1.84	3.19	4.46	5.63	6.74	7.75	8.69	9.60	10.48	11.33	
14°C	2.20	3.76	5.10	6.40	7.58	8.67	9.70	10.71	11.64	12.55	13.36	
15°C	3.12	4.65	6.07	7.36	8.52	9.63	10.70	11.69	12.62	13.52	14.42	
16°C	4.07	5.59	6.98	8.29	9.47	10.61	11.68	12.66	13.63	14.58	15.54	
17°C	5.00	6.48	7.92	9.18	10.39	11.48	12.54	13.57	14.50	15.36	16.19	
18°C	5.90	7.43	8.83	10.12	11.33	12.44	13.48	14.56	15.41	16.31	17.25	
19°C	6.80	8.33	9.75	11.09	12.26	13.37	14.49	15.47	16.40	17.37	18.22	
20°C	7.73	9.30	10.72	12.00	13.22	14.40	15.48	16.46	17.44	18.36	19.18	
21°C	8.60	10.22	11.59	12.92	14.21	15.36	16.40	17.44	18.41	19.27	20.19	
22°C	9.54	11.16	12.52	13.89	15.19	16.27	17.41	18.42	19.39	20.28	21.22	
23°C	10.44	12.02	13.47	14.87	16.04	17.29	18.37	19.37	20.37	21.34	22.23	
24°C	11.34	12.93	14.44	15.73	17.06	18.21	19.22	20.33	21.37	22.32	23.18	
25°C	12.20	13.83	15.37	16.69	17.99	19.11	20.24	21.35	22.27	23.30	24.22	
26°C	13.15	14.84	16.26	17.67	18.90	20.09	21.29	22.32	23.32	24.31	25.16	
27°C	14.08	15.68	17.24	18.57	19.83	21.11	22.23	23.31	24.32	25.22	26.10	
28°C	14.96	16.61	18.14	19.38	20.86	22.07	23.18	24.28	25.25	26.20	27.18	
29°C	15.85	17.58	19.04	20.48	21.83	22.97	24.20	25.23	26.21	27.26	28.18	
30°C	16.79	18.44	19.96	21.44	23.71	23.94	25.11	26.10	27.21	28.19	29.09	
32°C	18.62	20.28	21.90	23.26	24.65	25.79	27.08	28.24	29.23	30.16	31.17	
34°C	20.42	22.19	23.77	25.19	26.54	27.85	28.94	30.09	31.19	32.13	33.11	
36°C	22.23	24.08	25.50	27.00	28.41	29.65	30.88	31.97	33.05	34.23	35.06	
38°C	23.97	25.74	27.44	28.87	30.31	31.62	32.78	33.96	35.01	36.05	37.03	
40°C	25.79	27.66	29.22	30.81	32.16	33.48	34.69	35.86	36.98	38.05	39.11	
45°C	30.29	32.17	33.86	35.38	36.85	38.24	39.54	40.74	41.87	42.97	44.03	
50°C	34.76	36.63	38.46	40.09	41.58	42.99	44.33	45.55	46.75	47.90	48.98	

Punto di rugiada = la temperatura alla quale inizia a crearsi la condensazione.
La condensazione si crea in funzione dell'umidità relativa e della temperatura dell'aria.

Tabella 4.3.3 – Tabella punto di rugiada per ogni condizione di Temperatura e Umidità relativa (reference only)

Ponendoci nelle condizioni di considerare il momento in cui la macchina raggiunge internamente il target di 18°C con nell'ambiente esterno una temperatura che si aggira nell'intorno dei 40°C e una UR% dell'80% è stato possibile individuare il dato ricercato, ossia la temperatura in corrispondenza della quale si verifica la condensazione dell'acqua. In base a questo dato, tramite un processo di "reverse engineering" si è risaliti allo spessore di isolante ottimale per evitare questo fenomeno (che si verifica quando la temperatura della parete è "inferiore" alla temperatura di rugiada). A partire dalle seguenti formulazioni:

$$\frac{Q_{a,e}}{A} = h_{a,e}(t_e - t_{p,e})$$

$$\frac{Q_p}{A} = U(t_e - t_i)$$

dove

- $\frac{Q_p}{A}$: flusso termico unitario attraverso l'intera parete
- $\frac{Q_{a,e}}{A}$: flusso adduttivo unitario sulla parete esterna
- $h_{a,e}$: coefficiente di scambio termico convettivo aria esterna
- U : trasmittanza della parete
- t_i : temperatura aria interna
- $t_{p,e}$: temperatura a parete esterna
- t_e : temperatura aria esterna

È stato dunque possibile ottenere, uguagliando le due formulazioni, la temperatura a parete “esterna”. All’interno di questa formulazione, analizzandola nel profondo, si comprenderebbe che in realtà le incognite sono due: temperatura a parete esterna e spessore isolante (è contenuto in U). Dunque, si può dire che in conclusione lo spessore di isolante che si è ottenuto altro non sarebbe che uno degli input utilizzati nelle varie reiterazioni della formula finale prima citata con l’obiettivo di garantire la condizione di “non condensazione”, ossia:

$$t_e < t_{p,e}$$

Questo risultato è stato ottenuto scegliendo uno spessore di materiale isolante (poliuretano espanso) di 20 mm. Di seguito la scheda tecnica di riferimento con cui si sono presi i valori di conducibilità termica del materiale isolante usati nel calcolo di U:

Materiale	Peso specifico nominale ρ_n kg/m ³	Conducibilità termica Valore nominale λ_d (vedi Capitolo 2)	
		verificato λ_d W/(m·K)	non-verificato W/(m·K)
Lana di vetro			
Pannelli, stuoie, rotoli	10-120	0.031-0.048	0.055
Stufa	30-100	■	0.060
Lana di roccia			
Pannelli, stuoie, rotoli	15-200	0.034-0.048	0.055
Stufa	30-100	■	0.060
Schiuma di vetro			
Pannelli	100-150	0.040-0.055	0.064
Stufa	250-450	■	0.094
Perlite, Vermiculite sfusa	50-130	v.0.084	
Polistirolo, espanso (EPS)	30-15	0.032-0.042	0.048
Polistirolo, estruso (XPS)			
Polistirolo, estruso (XPS)	25-65	0.028-0.036	0.043
Contenuto cellulare Ana	25-65	0.034-0.038	0.046
Poliuretano (PU) e poliisocianurato (PIR)			
Contenuto cellulare Pentano			
impermeabile alla diffusione	28-55	0.022-0.027	0.032
permeabile alla diffusione	28-55	0.026-0.033	0.037
Contenuto cellulare CO ₂	35-60	0.032-0.038	0.045
Sughero: pannelli, stuoie	90-160	0.040-0.047	0.056
Lana di legno			
Pannelli	30-150	0.067-0.089	0.107
Pannelli strutturali leggeri	250-450	■	0.095
Rivestimenti di pannelli multistrato ■			
5 mm	■	■	0.15
7.5 mm	■	■	0.125
10 mm	■	■	0.10
Pannelli isolanti in fibra di legno	120-300 300-600	0.044-0.065	0.080 0.110
Cellulosa			
Pannelli	■	■	0.065
Stufa	30-80	■	0.060
Materiale isol. di orig. vegetale			
Pannelli in fibra di lino	25-35	■	0.055
Pannelli in cannette palustri	150-200	■	0.072
Stuoie in fibra di cocco	50-100	■	0.066
Cotone	> 25	■	0.055
Materiale isol. di orig. animale			
Lana di pecora	20-60	■	0.055

Tabella 4.3.4 - Valori di riferimento per conducibilità termica dei materiali (reference only)

Noto dunque lo spessore di isolante necessario ad evitare il fenomeno della condensa si è proceduto ad effettuare i calcoli di Potenza frigorifera e Potenza elettrica per i due scenari di raffreddamento sopra citati. Per una questione di sintesi si riportano unicamente i risultati più significativi, visto che la procedura con la quale essi sono stati ottenuti è identica a quella già spiegata in precedenza.

Caso di Cabinet coibentato con 40°C esterni e 18°C interni				
(raffreddamento interno totale)				
Potenza di elementi scaldanti (\dot{Q}_s)	Potenza dissipata a parete (\dot{Q}_l)	Potenza per raffreddare l'aria interna alla vending ($m\frac{du}{dt}$)	Potenza Refrigerante (\dot{Q})	Potenza elettrica (\dot{Q}_e)
2700 W	208,1 W	18,009 W	2926,3 W	731,52 W

Tabella 4.3.5 - Caso di cabinet interamente coibentato (raffreddamento dell'intera vending)

Caso di Cabinet coibentato con 40°C esterni e 18°C interni				
(raffreddamento interno parziale)				
Potenza di elementi scaldanti (\dot{Q}_s)	Potenza dissipata a parete (\dot{Q}_l)	Potenza per raffreddare l'aria interna alla vending ($m\frac{du}{dt}$)	Potenza Refrigerante (\dot{Q})	Potenza elettrica (\dot{Q}_e)
-	120,7 W	90,04 W	210,8 W	52,7 W

Tabella 4.3.6 - Caso di cabinet interamente coibentato (raffreddamento parziale della vending)

Analizzando i risultati ottenuti per i singoli scenari è possibile affermare che, nel caso di raffreddamento interno totale della vending con pareti completamente coibentate, rispetto al caso iniziale di pareti non coibentate è possibile notare una significativa diminuzione della potenza dissipata a parete (da 901,5 a 208,1 W) con una conseguente diminuzione della potenza refrigerante complessiva da fornire (di riflesso succede lo stesso per la potenza elettrica). Per quanto concerne invece il caso di Cabinet coibentato ma raffreddato solo parzialmente è bene fare un

particolare approfondimento. Parlare di raffreddamento parziale del Cabinet, come può essere tranquillamente inteso rileggendo la trattazione, significa riferirsi al caso di raffreddamento della sola “campana grani”: questo scenario di raffreddamento è in realtà direttamente derivante da quelli che sono i risultati ottenuti dai test di assaggio citati in “Studi Sperimentali sulla Shelf life del caffè – Lavazza R&D”. Si è ipotizzato dunque che il volume di aria da raffreddare fosse esattamente la metà del volume precedentemente raffreddato (si immagina in maniera conservativa che la campana occupi metà volume interno della Vending) e che dunque permettesse di escludere dal suo interno la generazione di calore dovuta alle “parti scaldanti” situate nella parte interna bassa della Vending. Il risultato in termini di potenza elettrica necessaria al raffreddamento della sola campana grani è sicuramente significativo di quanto impattante fosse la generazione di calore, quindi la potenza termica, degli elementi scaldanti nel computo energetico complessivo. Dunque, in definitiva, cercando di fare una sorta di sunto di quanto fatto e descritto, è possibile affermare che il presente capitolo ha avuto l’obiettivo di presentare in maniera concisa e puntuale quelle che sono state le scelte prese dal punto di vista della modellizzazione del problema. Come già affermato nell’incipit di questa sezione, il presente modello termodinamico, da me redatto personalmente, non ha certamente l’obiettivo di fornire una direttiva univoca alla fase di prototipazione vera e propria della soluzione piuttosto quello di dare una stima di partenza abbastanza coerente con la realtà di quelli che sono i parametri principali nella progettazione di un sistema frigorifero, ossia potenze termiche, elettriche e coibentazioni.

4.4 Attività di prototipazione in macchina

Come dunque compreso dal Capitolo 3, a valle dei test sensoriali e strumentali eseguiti per comprendere lo stato di deterioramento della Shelf life del caffè si è convenuto con il fatto che la tecnologia del freddo rappresentasse sicuramente la più valida alternativa per garantire una lunga Preservation del prodotto. A partire dai risultati ottenuti dal modello termodinamico sopra esposto, si è avviata una importante fase di prototipazione direttamente in macchina, con l'obiettivo di smarcare tutta una serie di limiti circa la "fattibilità" della soluzione tecnica. I due scenari individuati come caso studio per l'applicazione in esame sono:

- Raffreddamento della campana grani
- Raffreddamento dell'intera macchina Vending

Il rationale che ha guidato la scelta di questi due scenari piuttosto che altri è stato quello di comprendere fino in fondo gli impatti che avrebbe avuto una scelta piuttosto che l'altra in termini di Preservation ottimale del caffè e consumi energetici. Per entrambi gli scenari di raffreddamento, si è previsto uno studio preliminare degli ingombri interni alla macchina Vending, liberi per una eventuale installazione. L'output di questa attività ha portato alla scelta del migliore posizionamento possibile del futuro prototipo di raffreddamento in macchina. L'incipit di partenza è stato quello di comprendere quali fossero gli spazi interni alla Vending liberi:

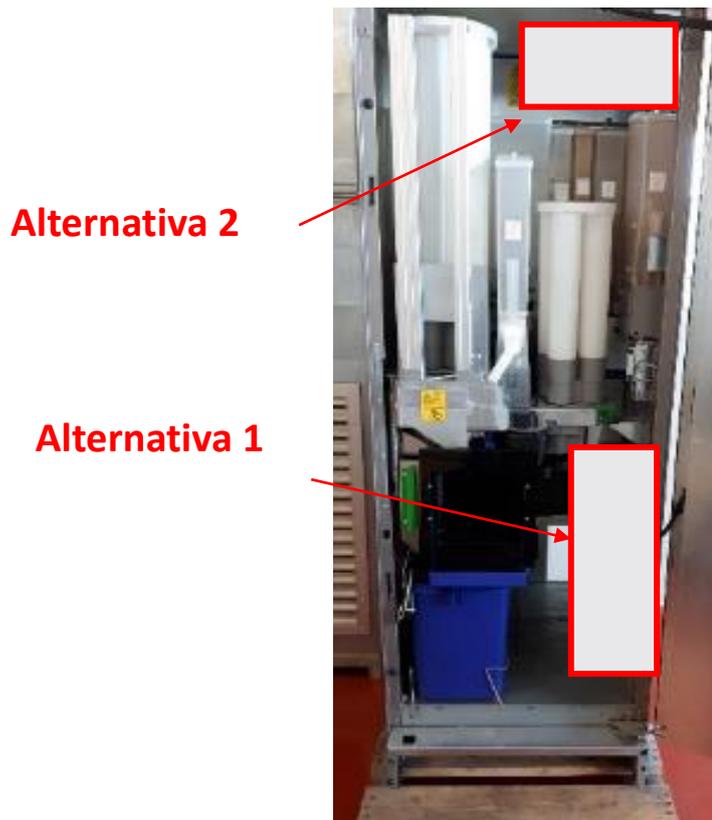


Figura 4.4.1 - Studio di fattibilità per gli ingombri interni disponibili (Necta Maestro Vending)

Dai rilievi fatti, è emerso che i possibili scenari di ingombro sono quelli mostrati in Figura 4.4.1, ossia spazi liberi a disposizione nella parte bassa della Vending o nella parte alta. Quest'ultimo scenario è stato a priori escluso dalla analisi per due ragioni fondamentali. Realizzare infatti una installazione nella parte alta della Vending avrebbe significato:

- Vincolare l'apertura dei rispettivi canister dedicati ai solubili, e quindi impedire all'eventuale operatore di eseguire le ordinarie operazioni di carico e scarico prodotti
- Generazione di fenomeni vibratorii (compressore in azione) che avrebbero leso alla solidità strutturale della paratia

La scelta è dunque ricaduta sul volume di spazio libero della parte inferiore della Vending. Dai rilievi effettuati, il dato emerso è che il volume libero a disposizione in quel punto preciso della macchina è pari a 525 x 320 x 400 mm (risulta utile tenere a mente questo dato per quanto verrà detto di seguito). Terminato questo studio preliminare di fattibilità si è proceduto ad una fase di “sourcing” della applicazione ideale per l’installazione.

4.4.1 Prototipo n°1 – scenario di raffreddamento parziale

A partire dal modello termodinamico, descritto nella sezione 4.3, e dallo studio di fattibilità sopra citato si è proceduto alla ricerca e all’acquisto di un componente commerciale con lo scopo di refrigerare solo una parte interna del Cabinet, ossia quella corrispondente al volume occupato dalla campana grani. È importante precisare che la presente attività di prototipazione e progettazione del design interno mi ha riguardato in prima persona, con il supporto dei miei colleghi del team di R&D. La scelta del suddetto componente, al termine della attività di scouting, è ricaduta su di un prodotto commercializzato dalla azienda Rivacold (vedi immagine di seguito).

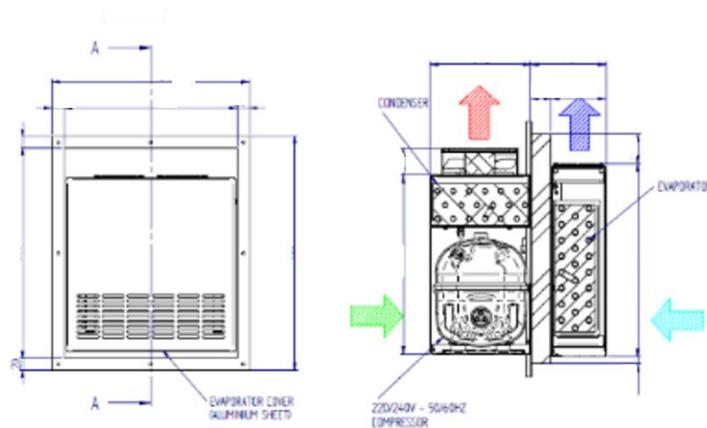


Figura 4.4.2 - Componente commerciale Rivacold (Rivacold, 2020)

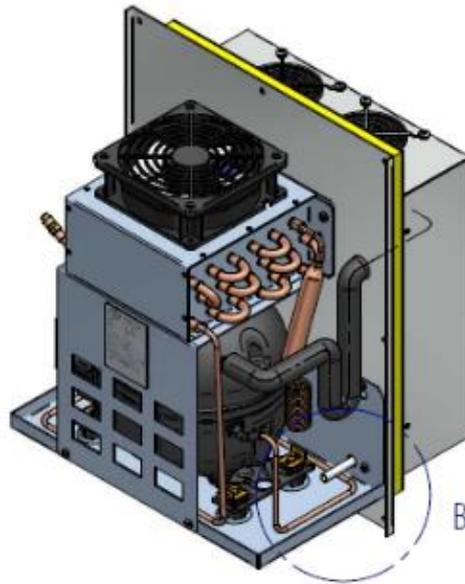


Figura 4.4.3 - Componente commerciale Rivacold (Rivacold, 2020)

In sostanza il componente in questione si presenta come una “unità di raffreddamento monoblocco a compressore”, dotata di serpentina di scambio termico sia sul lato di condensazione che sul lato di evaporazione e di rispettive elettroventole per realizzare la funzione di “raffreddamento ventilato”. Il motivo per il quale si è diretta l’indagine verso la scelta di una soluzione di raffreddamento di tipo ventilato piuttosto che statico è stata essenzialmente dettata dal fatto che nell’ultimo caso, a causa della presenza di elementi scaldanti interni alla macchina, come visto nella sezione 4.3, la possibile creazione di “condensa” sarebbe stata una problematica di non trascurabile rilevanza visti i ben noti problemi legati al deterioramento del caffè quando viene conservato in ambienti altamente umidi. Per dare alcuni riferimenti di natura tecnica circa il componente in questione, di seguito una tabella riportante le principali caratteristiche tecniche:

Grandezza	Valore	U.d.m
Temperatura ambiente di lavoro	25	°C
Temperatura minima raggiungibile	4	°C
Potenza elettrica nominale	135	W
Assorbimento elettrico di picco	1,41	A
Potenziale elettrico	220/230	V
Volume di raffreddamento	120	l
Fluido refrigerante	R134A	-

Tabella 4.4.1 - Matrice riepilogativa delle caratteristiche tecniche del componente commerciale Rivacold

Come per ogni componente di tipo frigorifero, anche questo era dotato di una elettronica di bordo con cui controllare la temperatura in uscita dall'evaporatore e comandare, tramite una logica di tipo "attacca-stacca", il compressore. La rilevazione della temperatura viene effettuata per mezzo di un semplice termostato il quale converte il segnale di temperatura prelevato dal campo in una tensione poi inviata ad una scheda di controllo: qui viene letto questo valore di tensione, viene confrontato con quello di "SET" fissato dall'operatore, e viene azionato o meno il compressore. L'intero ciclo di funzionamento, frigorifero, del componente può essere riassunto dalle seguenti immagini:

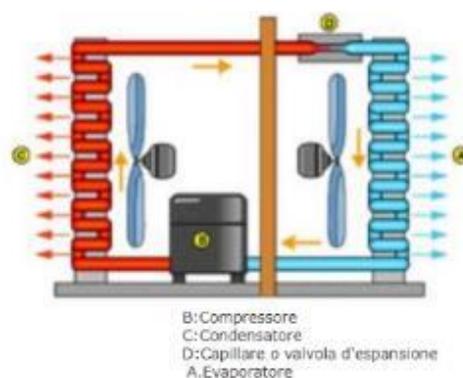


Figura 4.4.4 - Ciclo frigorifero, componenti (Thoras, 2020)

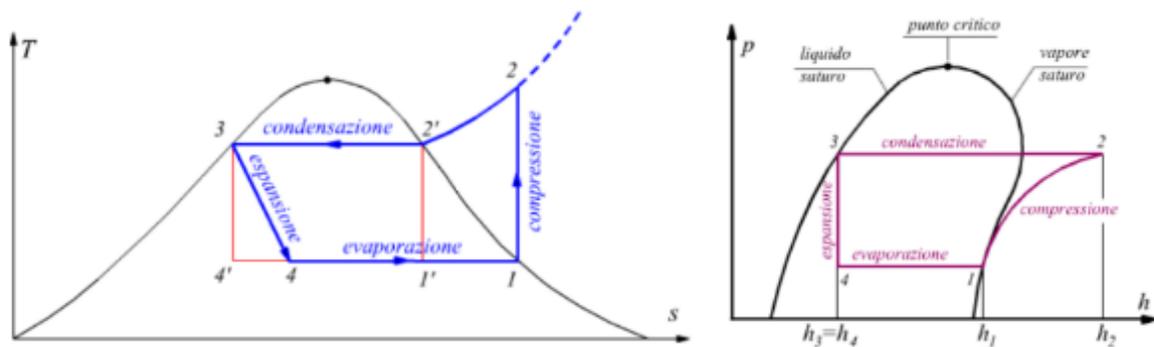


Figura 4.4.5 - Diagrammi Termodinamici ciclo frigorifero (Edu-tecnica, 2020)

Le fasi che compongono il ciclo frigorifero sono quattro, come ben noto da letteratura, e in ordine si susseguono:

- Compressione → compressore
- Condensazione → condensatore
- Espansione → valvola di espansione
- Evaporazione → evaporatore

Fatta questa breve precisazione circa il funzionamento del ciclo frigorifero (fondamentale per comprendere i processi di scambio termico), è possibile entrare nel vivo della installazione vera e propria. Compresa dunque la natura prestazionale del componente, si è proceduto prima di tutto ad apportare alcune modifiche legate al design dello stesso in modo da avvicinarsi quanto più possibile all'applicazione finale di nostro interesse: raffreddamento ventilato della sola campana grani. Il componente, inizialmente si presentava come mostrato dalle immagini seguenti. Mancanza di coibentazioni per i lati “caldo” e “freddo” della macchina, necessità di una “caratterizzazione” complessiva del componente.



Figura 4.4.6 - Arrivo del prototipo Rivacold (Rivacold, 2020)

La sua installazione in macchina ha naturalmente richiesto delle modifiche da un punto di vista del design stesso del componente, in quanto per come si presentava “stand-alone” era impensabile riuscire a realizzare la funzione di raffreddamento di tipo ventilato voluta all’interno del cabinet per due motivi principali:

- Assenza di elettroventole sulla parte fredda necessarie per il trasporto dell’aria fredda da evaporatore a campana grani
- Assenza di tubazioni flessibili con cui portare l’aria fredda in campana e garantirne il ritorno (ciclo chiuso)

Al termine delle modifiche apportate il monoblocco si presentava come segue:



Figura 4.4.7 - Prototipo Rivacold a seguito delle migliorie di design

Le modifiche essenzialmente sono consistite nel:

- Creazione di pannellature di materiale coibentante con cui isolare perfettamente l'intera unità e garantirne una efficienza superiore
- Realizzazione in stampa 3D di appositi bocchettoni destinati all'aspirazione/mandata di aria calda/fredda
- Introduzione di una elettroventola aggiuntiva sulla serpentina evaporativa in modo da garantire il flusso di aria fredda dal monoblocco alla campana
- Installazione di un trasformatore per il controllo in velocità della elettroventola
- Allargamento della sezione di efflusso di aria sulla parte evaporativa

Con le lettere rispettivamente “a” e “b” si indicano i bocchettoni di mandata aria fredda e aspirazione aria calda di ricircolo dalla campana. Invece, con le lettere rispettivamente “c” e “d” si indicano il canale di aspirazione aria dall'ambiente esterno e il bocchettone di scarico aria calda nell'ambiente esterno. Per questa fase prototipale, l'utilizzo della stampa 3D, nella realizzazione di alcune parti aggiuntive, si è rivelata molto indispensabile per via della sua estrema versatilità e velocità di esecuzione. Di seguito invece sono riportate delle immagini relative al “termostato di regolazione della temperatura”. Questo comunica con una sonda di temperatura che nella versione originale del monoblocco Rivacold era posizionata nella parte anteriore alla serpentina dedicata alla parte evaporativa.

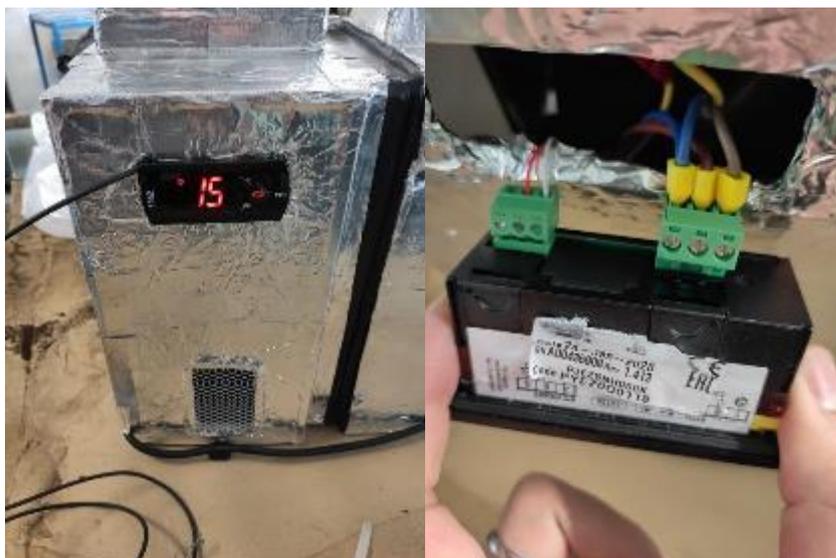


Figura 4.4.8 - Termostato di regolazione della temperatura

In quella posizione, il sensore altro non faceva che leggere la temperatura dell'aria fredda proveniente dall'evaporatore e, non appena raggiunto il set point imposto, comandare al compressore di "staccare". Questa soluzione era per noi poco congeniale, in quanto (come si capirà meglio dalle immagini successive relative alla installazione vera e propria in macchina) il dato di nostro interesse da monitorare era quello relativo alla "temperatura in campana", il quale per via delle dispersioni termiche dovute alla presenza di una tubazione flessibile con la quale l'aria fredda viene portata dal monoblocco alla campana, sarebbe risultata sicuramente "superiore" rispetto a quella registrata in corrispondenza dell'uscita dall'evaporatore: il risultato di ciò sarebbe stato quello per cui il compressore "staccava" ad una temperatura di set point che non era rappresentativa della reale condizione in cui si trovavano i grani. Per rimediare allora a questa problematica, la posizione della sonda di temperatura è stata modificata, portando la stessa in corrispondenza del grinder, zona nella quale, a causa della retention del caffè, si corre il maggiore rischio di degradazione del prodotto nella fase di erogazione

delle prime tazze. Il set point è stato impostato a 15°C in modo tale che in corrispondenza di quella temperatura, in maniera autonoma il compressore “staccasse”. Smarcati dunque i concetti iniziali circa le modifiche da implementare per il prototipo, si è passati alla customizzazione della campana grani, core in termini di Preservation del caffè. Il componente originale della Vending presa in esame si presentava come segue.



Figura 4.4.9 – Campana prima della modifica con coibentazione

Nel complesso la campana si presenta come una struttura a parallelepipedo con una parte terminale, quella che comunica con il macinadosatore inferiore, di tipo cilindrica e occupa un volume totale dell'ordine dei 13-14 litri. Per poter praticare il tipo di refrigerazione sopra citata, è stato necessario realizzare una “intercapedine” attorno alla campana originaria e provvedere a coibentare la stessa al fine di evitare le dispersioni termiche. La creazione dell'intercapedine e della sua coibentazione ha portato al seguente risultato.



Figura 4.4.10 - Campana grani coibentata

Si è utilizzata la campana stessa, con opportuna coibentazione, come contenitore esterno e all'interno di essa è stata introdotta un'ulteriore campana, più piccola, in modo da ricreare l'effetto "intercapedine" desiderato. Il motivo di questa scelta tecnica è stato dettato dal fatto che se si fosse deciso di "flussare" direttamente aria fredda all'interno della campana (quindi sui grani) si sarebbe corso il rischio di ledere l'aromaticità del prodotto, togliendogli alcune peculiarità olfattive. Smarcati dunque questi due step iniziali, si è potuto procedere all'assemblaggio del tutto in macchina. Si precisa che questa attività ha previsto una piccola modifica della parte posteriore del Cabinet in modo tale da poterla adattare all'esigenza di "scaricare" l'aria calda del condensatore all'esterno: nel concreto si sono eseguiti dei fori nella parte posteriore del cabinet e su di essi si sono apposte delle griglie a protezione dei condotti. Di seguito delle immagini esplicative della installazione finale in macchina.

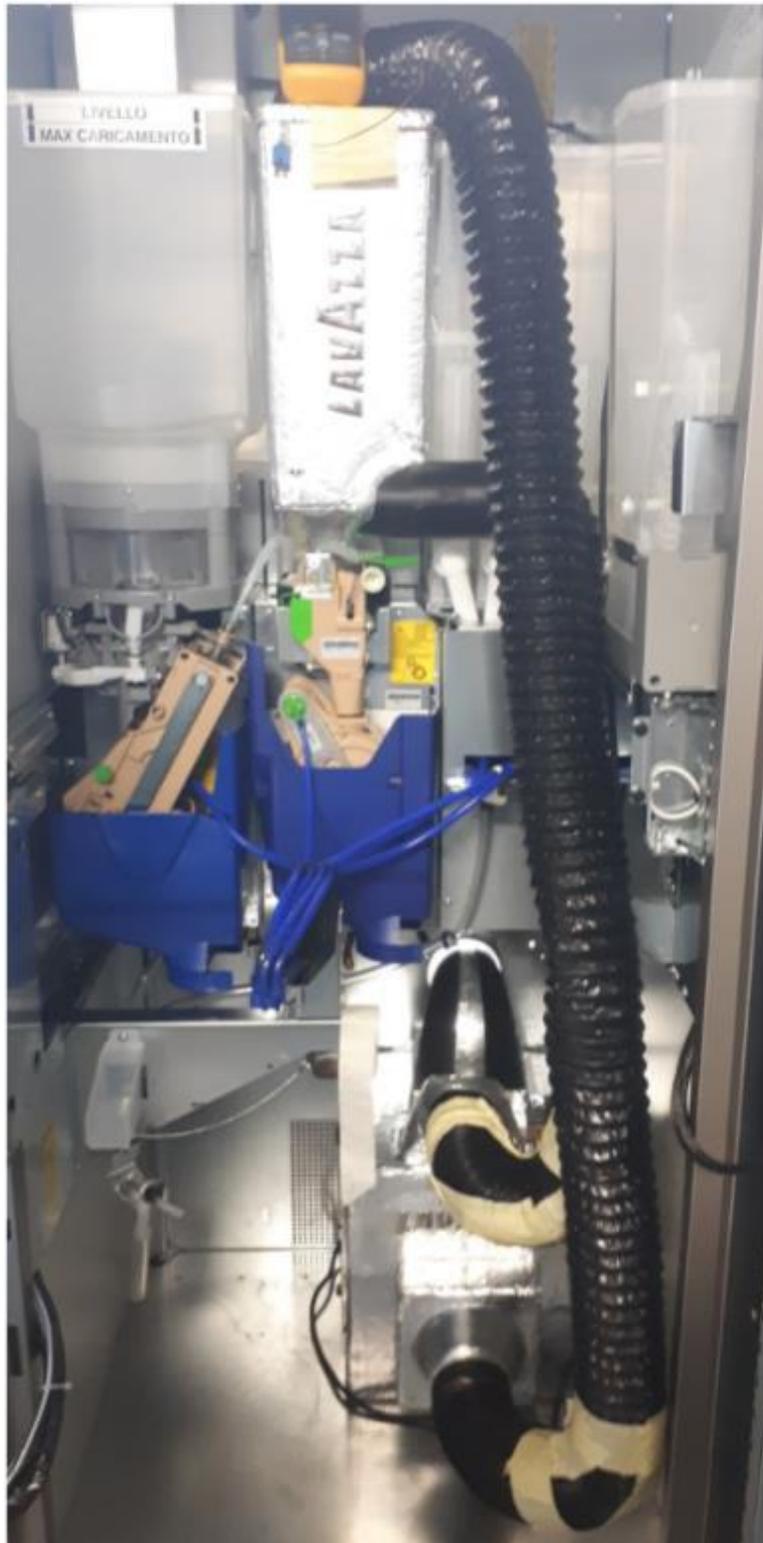


Figura 4.4.11 - Installazione finale in macchina

Come è possibile osservare da Figura 4.4.11, il monoblocco opportunamente isolato e modificato è stato riposto nella parte bassa della Macchina Vending ed è

stato opportunamente fissato alla carenatura inferiore della stessa. Si è proceduto a collegare il prototipo di raffreddamento alla campana per mezzo di tubazioni flessibili in modo tale da consentire il ricircolo di aria fredda desiderato. Nello specifico il ciclo di funzionamento è raffigurato nelle immagini seguente.

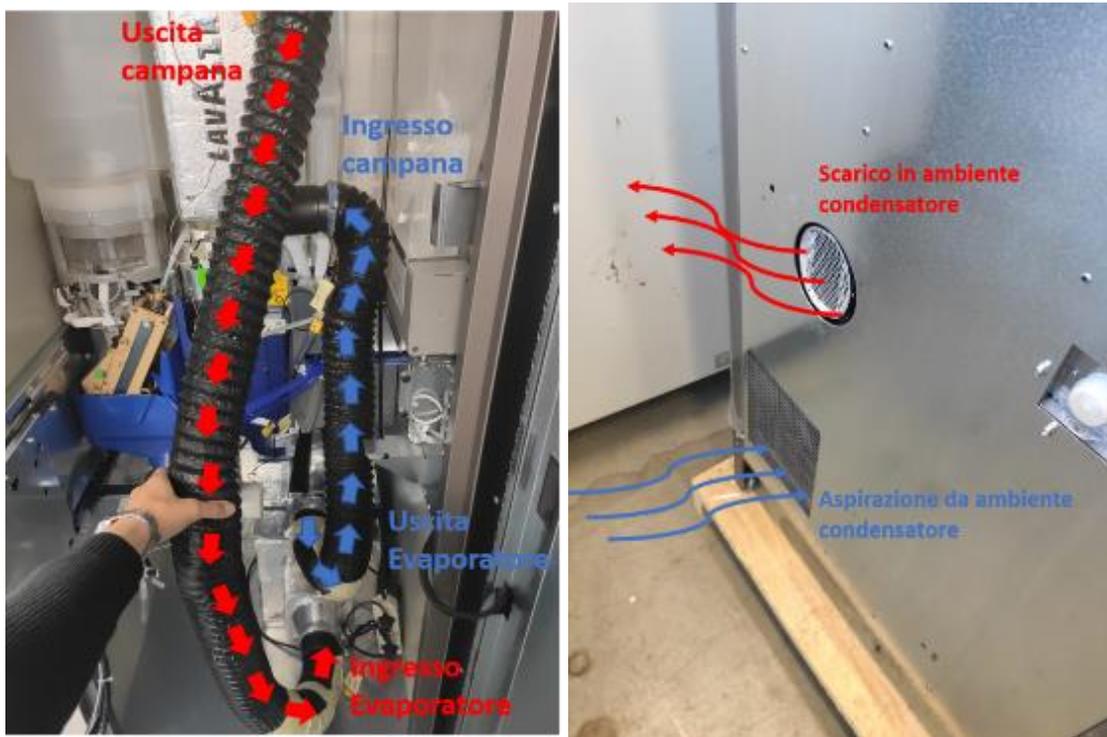


Figura 4.4.12 - Funzionamento del prototipo

L'aria fredda, in uscita dall'evaporatore, viene portata su in campana entrando dalla sua parte bassa. Per via della stratificazione dell'aria che viene a crearsi all'interno del contenitore dei grani, l'aria salendo si riscalda e viene portata nuovamente all'imbocco dell'evaporatore grazie alla presenza di una seconda canalizzazione flessibile. Si precisa che il tutto viene eseguito grazie alla presenza di un'unica elettroventola, opportunamente dimensionata per creare il ricircolo di aria necessaria al raffreddamento. Come per ogni prototipo, il punto focale è quello inerente alla sua messa in funzione e alla validazione dei risultati ottenuti.

Nel caso specifico del prototipo in esame, per la rilevazione delle temperature nei punti di interesse sono state utilizzate apposite termocoppie in grado di misurare per intervalli discreti di tempo le temperature all'interno del Cabinet. Nel caso specifico, le varie termocoppie sono state posizionate nei punti indicati nella figura di seguito riportata. Si precisa che le termocoppie per rilevare la temperatura ambiente e la temperatura interna alla macchina non sono presenti nella immagine in quanto la loro rilevazione non necessitava di una posizione fissa (per convenzione si indicherà T_{amb} e T_{mac} rispettivamente temperatura ambiente e interna alla macchina).

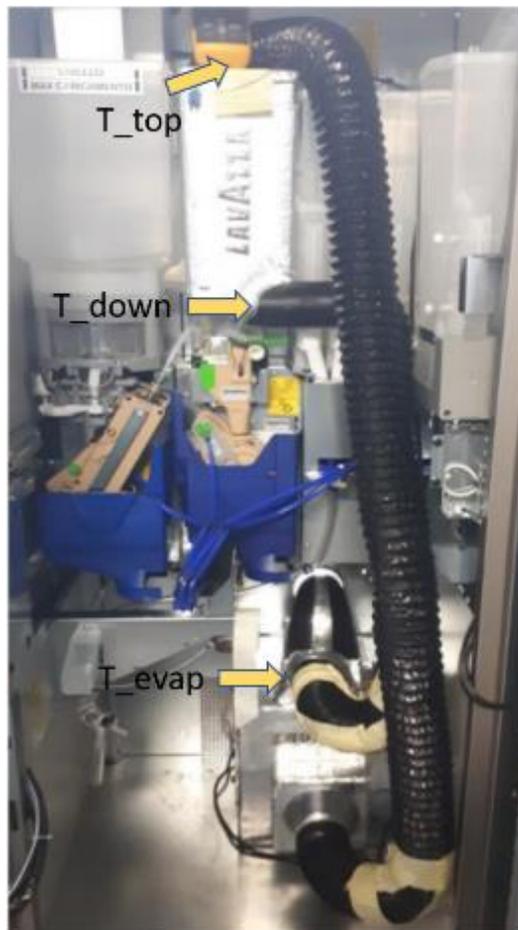


Figura 4.4.13 - Posizionamento Termocoppie

Definita dunque la posizione delle termocoppie, si è proceduto alla rilevazione delle temperature in due scenari di funzionamento possibili:

- Funzionamento della macchina in condizioni di Temperatura ambiente (18-20°C)
- Funzionamento della macchina in condizioni di Temperatura critica (35-40°C)

Nel primo scenario, come è possibile immaginare, la rilevazione è stata pressoché immediata in quanto la macchina si trovava naturalmente a 18-20°C. Nel secondo scenario è stato invece necessario “ricreare” le condizioni di temperatura volute per mezzo di un termoventilatore elettrico direttamente posto all’interno della Vending. I risultati ottenuti sono mostrati nelle tabelle seguenti.

Posizione Termocoppia	Temperatura rilevata	U.D.M
Ambiente (T_amb)	20	°C
Interno Macchina (T_mac)	24	°C
Uscita Campana (T_up)	16	°C
Ingresso Campana (T_up)	15	°C
Uscita Evaporatore (T_evap)	13	°C

Tabella 4.4.2 - Scenario di funzionamento della macchina a Temperatura ambiente

Posizione Termocoppia	Temperatura rilevata	U.D.M
Ambiente (T_amb)	20	°C
Interno Macchina (T_mac)	36	°C
Uscita Campana (T_up)	18	°C
Ingresso Campana (T_up)	16	°C
Uscita Evaporatore (T_evap)	14	°C

Tabella 4.4.3 - Scenario di funzionamento della macchina a Temperatura critica

Come è possibile osservare dai risultati raccolti sul campo, il monoblocco anche in condizioni di lavoro critiche riesce ad assicurare delle temperature estremamente contenute in campana, addirittura al di sotto del target immaginato di 18°C. Questi risultati sono estremamente rassicuranti e hanno consentito di fare tutta una serie di considerazioni tecniche in vista di una fase di “fine-tuning” del componente.

4.4.2 Prototipo n°2 – scenario di raffreddamento completo

La presente sezione si propone di descrivere le scelte tecniche che porteranno alla costruzione di un prototipo per lo scenario di raffreddamento “completo” della Vending. Si precisa che nel caso specifico in esame, l’approvvigionamento del componente è ancora in fase di sviluppo. Il suo arrivo è previsto per WK50 (seconda settimana di Dicembre). Dal suo arrivo sono poi previste all’incirca due settimane per l’approntamento del prototipo e altre tre per le fasi di testing. Nonostante ciò, la fase preliminare di progettazione degli spazi e delle opportune canalizzazioni con cui portare l’aria fredda all’interno della Vending è una attività già in corso e nella quale sto personalmente contribuendo. Come presentato nell’incipit di questo paragrafo, l’idea di massima è quella di ricreare le condizioni di temperatura ideali alla conservazione del prodotto caffè raffreddando interamente la Vending. Il motivo di questa scelta tecnica deriva da una possibile problematica che potrebbe sorgere nello scenario precedente, quello di raffreddamento della sola campana, ossia quello di non riuscire eventualmente a raffreddare in maniera appropriata un altro componente core di una Vending, ossia il macinino. Dagli studi sperimentali condotti, uno degli indicatori più critici è stato quello relativo ai primi caffè: in sostanza, in condizioni di macchina

Vending “non custom” (quindi in assenza delle modifiche strutturali viste nella sezione precedente) e sottoposta a temperatura critica, il dato allarmante riscontrato è stato quello secondo cui i primi 3-4 caffè della giornata riportano una qualità globale molto al di sotto degli standard qualitativi imposti come valore minimo. La causa di questo fenomeno non è da ricercarsi in una “cattiva” conservazione dei grani in campana quanto alla “retention” di caffè macinato che si deposita in prossimità del macinino. Questo è un fenomeno indesiderato che dunque apre il quesito fondamentale: come posso effettuare il raffreddamento di questo ulteriore componente?

Le risposte a questo quesito sono fondamentalmente due:

- La prima è: cerco di comprendere fino in fondo quanto, nel caso di prototipo con solo raffreddamento della campana, riesca per conduzione a raffreddare il macinino (concetto sotto attuale investigazione)
- La seconda è: raffreddo quanti più componenti possibili interni alla macchina in modo da avere una alta confidenza sul risultato ottenuto.

È nel contesto descritto dalla seconda risposta che si inserisce tutta la fase di prototipazione dello scenario di raffreddamento completo della Vending. Entrando nel vivo della trattazione, il componente preso come riferimento per questa fase di prototipazione è il seguente.



Figura 4.4.14 - Condizionatore portatile U-GO (Autoclima, 2020)

Si tratta di un “condizionatore portatile” sviluppato e brevettato dalla azienda italiana Autoclima. Il componente in questione in realtà nasce con una applicazione differente da quella da noi contemplata: esso infatti viene concepito per portare il fresco all’interno di abitacoli di mezzi più o meno grandi (furgonati, camion). Nonostante ciò, durante un primo confronto avvenuto tra noi R&D Lavazza e i suddetti fornitori, ci è stato assicurato che il componente in questione è in grado, sulla carta, di assicurare le prestazioni da noi desiderate. Si riporta di seguito per completezza, la scheda tecnica del componente.

DATI TECNICI / FEATURES	
Capacità refrigerante / Cooling Capacity	950 Watt / 3250 Btu
Voltaggio / Voltage	24V corrente continua / 24 V CC
Gas refrigerante / Refrigerant	R134a (sistema precaricato) ecologico (CFC free) / R134a (precharged / CFC free)
Compressore / Compressor	Compressore singolo Secop BD350GH
Portata aria / Air flow	450 m ³ /h - 6 velocità di ventilazione / 6 ventilation speed
Funzione aria calda / Hot air function	Di serie / Included
Consumi max a 24V / Max power consumption	18 A/h*
Scarico condensa / Condensing drain	Sistema evaporazione esterna brevettato / Pending patent for external evaporation
Salva batteria / Battery saving system	Di serie / Included
Timer / Timer	Di serie / Included
Telecomando / Remote control	Di serie / Included
Tubi aria / Air flexible hoses	4 pz (fino a 2 m/cad) / 4 pcs (till 2 m length each)
Cinghia per tracolla / Sling	Di serie / Included
Cablaggio elettrico / Connecting wiring	Di serie / Included
Peso / Weight	19,5 Kg
Dimensioni esterne / External dimensions	400 x 360 x 370 mm (HxLxD)
Dimensione imballo / Packaging dimensions	709 x 405 x 385 mm (HxLxD)

Figura 4.4.15 - Scheda Tecnica componente U-GO (Autoclima, 2020)

La progettazione dell'installazione del suddetto componente a partire dal design interno di partenza della Vending presa a riferimento ha portato ai seguenti risultati.

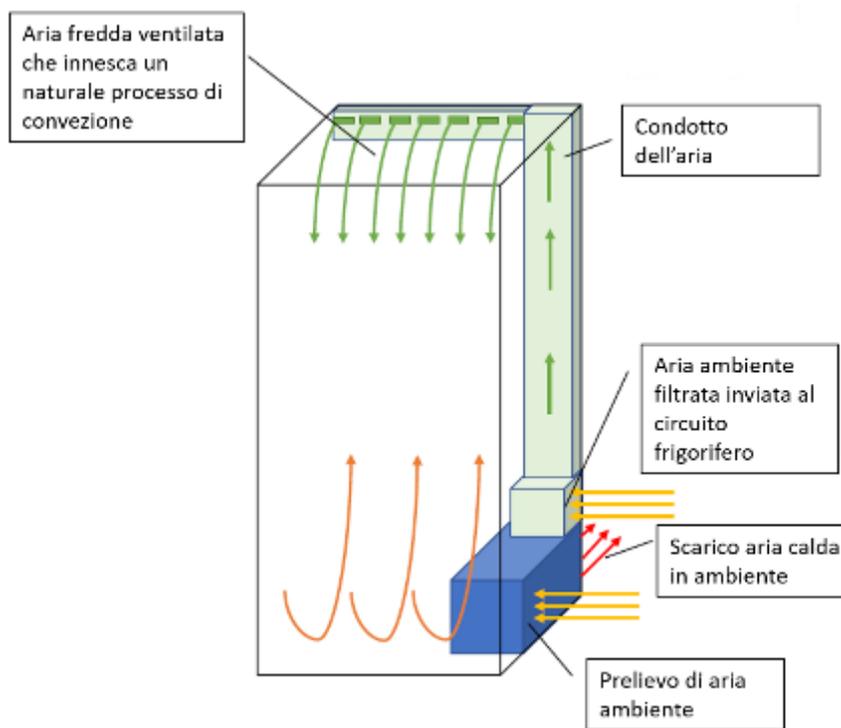


Figura 4.4.16 - Output progettazione del design interno alla Vending

In sostanza, si è immaginato di disporre sempre nella parte bassa interna alla Vending tutto ciò che possa essere fonte di possibili vibrazioni (compressore) esattamente come nello scenario di raffreddamento prima descritto e predisporre delle apposite canalizzazioni con cui portare aria fredda all'interno dell'intera vending. A differenza del caso precedente, le canalizzazioni sono pensate per permettere all'aria fredda di ricreare un processo con cui raffreddare interamente l'interno della macchina Vending. Parte calda e parte fredda sono nettamente distinte tra loro, infatti hanno rispettivamente i loro ingressi ed uscite per il ricircolo dell'aria. Quello mostrato in figura è naturalmente un concept che richiederà di essere messo in pratica non appena sarà disponibile il componente.

Capitolo 5

5.1 Freddo – situazione attuale e possibili “fine tuning” futuri

Come già riferito nelle sezioni precedenti della trattazione, ciò che sarà sicuramente necessario portare avanti è un processo di “fine-tuning” delle applicazioni scelte e delle loro installazioni in macchina. Ciò che sicuramente è incoraggiante sono i primi risultati ottenuti, concreti, in termini di Preservation del caffè. I prototipi realizzati sono funzionanti e funzionali agli standard desiderati oltre che aver mostrato la loro estrema versatilità e prontezza nelle varie situazioni di test nelle quali si sono trovati ad operare. Nonostante ciò, certamente ancora numerosi dovranno essere i passaggi di miglioramento da un punto di vista tecnico che sarà necessario perseguire. Di seguito una carrellata di alcune possibili migliorie, da me personalmente suggerite, che potranno essere condotte nel prossimo futuro per migliorare l’efficienza dei prodotti in questione.

5.1.1 Controllo via software della temperatura – elettronica dedicata (relè)

Al momento l'attuale prototipo Rivacold è dotato unicamente di un controllo di tipo termostatico della temperatura che garantisce, una volta raggiunto il set point desiderato, di “staccare” il compressore. Quello che al momento il prototipo non è in grado di fare è l'operazione di “attacca-stacca” dell'elettroventola di aspirazione lato freddo (ossia l'elettroventola aggiuntiva inserita nel prototipo per effettuare la funzione di raffreddamento ventilato) nel momento in cui viene raggiunto il set point desiderato. L'idea è quella di costruire una piccola architettura hardware e software con cui poter garantire questa funzione, ossia di “disattivare” l'elettroventola nel momento in cui anche il compressore viene “staccato”. In sostanza il concetto di base è quello per cui, nel momento in cui si raggiunge il set point di temperatura desiderato vengano “disalimentati” sia il compressore che l'elettroventola: per poter realizzare questa funzione è necessario in sostanza realizzare un “parallelo elettrico” tra la linea di alimentazione del trasformatore con cui viene gestita l'elettroventola e l'alimentazione del compressore. Realizzare questa funzione in maniera semplice e veloce è possibile grazie all'utilizzo di un dispositivo chiamato “Relè” posto a monte del parallelo elettrico.



Figura 5.1.1 - Illustrazione di un relè

Il relè per definizione è un “componente elettromeccanico” dotato di un elettromagnete interno (bobina realizzata con un avvolgimento di materiale conduttore elettrico, avvolta su di un nucleo ferromagnetico) la cui eccitazione comporta la chiusura di un contatto elettrico e quindi l’azionamento vero e proprio del componente. Nel caso specifico in esame l’utilizzo del relè si è reso indispensabile proprio in virtù della funzione logica che esso deve svolgere: nel momento in cui viene eccitato chiude un contatto e ne apre un altro (passa da una posizione ad un’altra) permanendo nella posizione raggiunta fino al termine della sua alimentazione. L’idea dunque dietro l’uso del relè è stata la seguente: utilizzando una Arduino board con al suo interno preventivamente caricato un programma di “lettura” della temperatura dal “campo” per mezzo di un sensore, è possibile alimentare o disalimentare un relè a seconda della temperatura raggiunta. L’alimentazione o dis-alimentazione del relè comporta a sua volta l’attacca-stacca del circuito in parallelo realizzato con l’alimentazione di rispettivamente monoblocco (compressore) ed elettroventola.

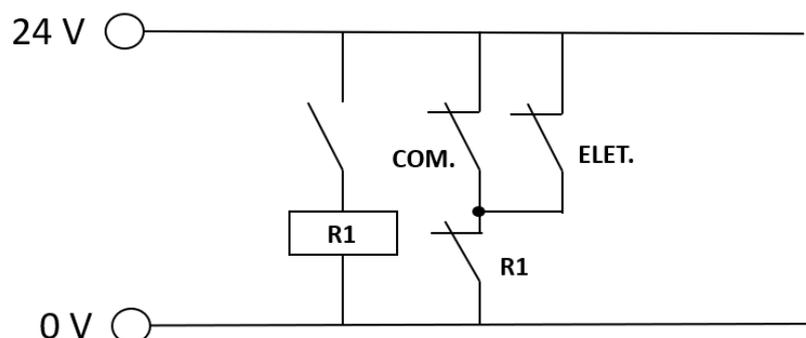


Figura 5.1.2 - Logica dei contatti

In questo modo, estremamente semplice, è possibile dunque effettuare un controllo via SW del parametro di temperatura all’interno delle Vending. Di

seguito, è possibile apprezzare il listato sviluppato in ambiente Arduino, con il quale sarà possibile eseguire il controllo in “attacca-stacca” del relè.

```
RelayLVZ
int ThermistorPin = 0;
int Vo;
float R1 = 100000;
float logR2, R2, T, Tc, Tf;
float c1 = 1.009249522e-03, c2 = 2.378405444e-04, c3 = 2.019202697e-07;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(7, OUTPUT);
}

void loop() {

  Vo = analogRead(ThermistorPin);
  R2 = R1 * (1023.0 / (float)Vo - 1.0);
  logR2 = log(R2);
  T = (1.0 / (c1 + c2*logR2 + c3*logR2*logR2*logR2));
  Tc = T - 273.15;
  Tf = (Tc * 9.0) / 5.0 + 32.0;

  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.print(Tf);
  Serial.print(" F; ");
  Serial.print(Tc);
  Serial.println(" C");

  delay(500);

  if(Tc<40){
    digitalWrite(7,HIGH);
  }
  else{
    digitalWrite(7,LOW);
  }
}
```

Figura 5.1.3 - Listato Arduino per il controllo del relè

In sostanza, grazie all’utilizzo congiunto di un sensore di temperatura e di un relè, è possibile controllare le condizioni di temperatura interne alla Vending in corrispondenza delle quali far sì che il compressore del blocco di condizionamento venga disalimentato. Nel dettaglio, le prime righe del listato riportato sopra sono quelle dedicate alla acquisizione delle temperature e alla loro conversione in gradi Celsius e Farneith. Nella parte terminale del listato, viene

eseguita invece il vero e proprio controllo di temperatura. Nel caso in cui, infatti, si verifichi la condizione per cui la temperatura rilevata all'interno della Vending sia superiore ai 40°C, allora viene dato il comando tale per cui il relè venga alimentato e con esso il compressore. In caso contrario, verrà eseguita la funzione di “stacca” del compressore.

5.1.2 Test in cella climatica – fenomeno della condensa

Se dal punto di vista del Modello teorico realizzato la scelta dell'isolante e del suo spessore ideale “dovrebbero” evitare, in maniera abbastanza conservativa, il fenomeno della condensa a parete, è anche vero che il modello considerato è comunque semplificato e non tiene conto di alcune dinamiche interne al sistema più complesse da studiare. Per questo motivo, di comune accordo con i colleghi del team, si è deciso che il next step sarà quello di “validazione” del lavoro fatto sul prototipo in una cella climatica, ossia in un luogo all'interno del quale è possibile controllare costantemente le condizioni di temperatura e umidità relativa. Test di questo tipo in realtà avranno lo scopo di dare importanti indicazioni sul “dove” posizionare il materiale coibentante e in corrispondenza di quelle zone che “spessore” adottare. Questo perché, sempre in riferimento al modello, in maniera semplificata e conservativa si è ipotizzato di coibentare totalmente le sei pareti interne della Vending e soprattutto si è ipotizzato che ogni parete avesse uno spessore identico. Queste sono ovviamente delle ipotesi semplificative che possono essere smarcate solamente seguendo due strade:

- Realizzazione di un modello molto più complesso, per il quale sarà necessario un effort non indifferente

- Esecuzione di test mirati per verificare i punti critici in cui la condensa si forma

È la seconda strada quella per la quale si è optato, in quanto è quella che comunque riuscirebbe a garantire dei risultati concreti in poco tempo e con una accuratezza sicuramente superiore a quella che potrebbe fornire un modello teorico.

5.2 Conclusioni

L'obiettivo della presente sezione finale dell'elaborato è quello di cercare di riassumere quanto svolto nel presente lavoro di tesi, rielaborare i principali risultati raggiunti e analizzarne in maniera critica il significato. Come dunque compreso, diversi studi presenti in Letteratura dimostrano che l'allungamento della shelf life del caffè è possibile solo tramite l'applicazione di una strategia di controllo serrato dei fattori estrinseci ed intrinseci che caratterizzano il prodotto. Controllare questi parametri significa controllare la velocità con la quale il deterioramento del caffè nel tempo si verifica. I principali cambiamenti chimico-fisici che ledono alla stabilità del prodotto sono ossidazione, perdita di composti volatili e cambiamenti fisici della polvere. È bene fare una distinzione netta tra shelf life primaria e secondaria del caffè: la prima fa riferimento alla durata di tempo che intercorre tra il confezionamento del prodotto e la sua vendita, la seconda invece fa riferimento alla durata del prodotto dal momento in cui viene rimosso dalla sua confezione fino al suo completo deterioramento. Questa differenza è certamente qualcosa di importante da evidenziare in quanto, come visto nella sezione dedicata ai test di natura sensoriale e strumentale, il prodotto

sul quale si sono condotte tutte le analisi era caffè non più confezionato e di conseguenza maggiormente esposto ai pericoli legati ad una accelerazione del suo deterioramento sensoriale e aromatico dovute alle condizioni ambientali in cui si trovava. Da letteratura numerose sono le tecniche finalizzate ad un allungamento della shelf life del prodotto caffè: dall'utilizzo di atmosfere di gas inerti direttamente ricreate nei packaging, all'uso del sottovuoto fino ad arrivare al controllo di umidità relativa e temperatura dell'ambiente in cui il prodotto viene conservato. A partire da questi spunti, tutta una serie di analisi interne all'R&D Lavazza è partita, con l'obiettivo di individuare in maniera univoca quale tecnologia potesse meglio raggiungere un target di durata minimo per la conservabilità del prodotto caffè e il mantenimento delle sue caratteristiche organolettiche. Gli studi si sono focalizzati sul confronto tra le tecnologie di azoto, vuoto e freddo. I suddetti studi, ancora attualmente in corso, hanno messo in luce un profondo divario esistente in termini di allungamento della shelf life del prodotto tra le varie tecnologie prese in considerazione: il freddo è risultata la vincente sia in termini di Preservation che in termini di fattibilità tecnica e costo. Inizialmente, il prodotto sul quale l'intera attività sperimentale del Team Sensory si era concentrata era il caffè in grani contenuto all'interno delle campane Vending. Con il tempo questo aspetto è stato via via smarcato con una più profonda investigazione dei fenomeni di deplezione della qualità globale del caffè macinato residuo intrappolato in corrispondenza del grinder: questo si è dimostrato essere la "root cause" della forte ossidazione dei primi caffè erogati dalla macchina, sin dalla sua prima accensione. Con l'intento dunque di portare i concetti scoperti sperimentalmente dal Team Sensory all'interno di una macchina Vending si è dunque deciso di procedere con una intensa attività di fattibilità

tecnica e di prototipazione, nella quale si è inserito il mio personale contributo realizzativo (sia teorico che pratico). Le tecnologie del vuoto e dell'azoto, con relative applicazioni, sono state a loro volta analizzate si dà un punto di vista tecnico ma in maniera puramente descrittiva. La tecnologia del freddo, o meglio ancora del condizionamento, visti i target di temperatura presi in considerazione, è stata dunque quella su cui si è focalizzato il mio lavoro di tesi. Il punto di partenza come per ogni attività di natura sperimentale è stato quello di creare un modello teorico di stima e previsione delle potenze termiche ed elettriche in gioco in un dimensionamento di massima del sistema. Il suddetto modello ha abbracciato diversi aspetti della termodinamica dei sistemi chiusi tra i quali il calcolo dello spessore di isolante ideale per evitare il fenomeno del “dew point” ossia della condensazione a parete dell'acqua. La fase successiva a quella del modello è stata relativa alla prototipazione e progettazione del design interno di una macchina Vending all'intero della quale era necessario effettuare l'installazione di un sistema di refrigerazione precedentemente scelto in base alle specifiche del dimensionamento fatto. La fase di prototipazione si è sviluppata su due fronti:

- Scenario di raffreddamento parziale
- Scenario di raffreddamento totale

Sia in un caso che in un altro, si è proceduto in maniera preventiva all'acquisto di un dispositivo commerciale per la refrigerazione di ambienti che rispecchiasse le specifiche fornite in fase di dimensionamento. Prima della installazione vera e propria in macchina sono state previste delle modifiche di alcuni aspetti legati al design dei suddetti componenti, in modo tale che si adattassero perfettamente

alle esigenze richieste (utilizzo di materiali isolanti per la coibentazione, creazione di condotti rigidi per l'areazione, etc.). Su uno dei due prototipi, quello dello scenario di raffreddamento parziale, è stato possibile eseguire dei test con cui validare i risultati confermati da letteratura e dalle analisi sensoriali di laboratorio. Nonostante i risultati estremamente rassicuranti ottenuti dai test di validazione eseguiti sul prototipo, si è pensato a tutta una serie di possibili migliorie da poter applicare in futuro su di esso, in modo da avere un livello di confidenza ancora superiore a quello che già si ha. Tra queste vanno annoverate due possibili migliorie, suggerite da me personalmente, inerenti ad un possibile miglioramento delle prestazioni del prototipo:

- La prima consiste in un controllo via SW della temperatura interna alla Vending in modo da creare un “attacca-stacca” di compressore ed elettroventola al raggiungimento del set point di temperatura desiderato
- La seconda consiste invece nell'esecuzione di test all'interno di una cella climatica in modo tale da migliorare ed efficientare l'uso di materiale coibente per le pareti interne della Vending

Il prototipo di raffreddamento totale, contrariamente al primo, ha seguito un iter di prototipazione più lento in quanto tecnicamente sulla carta risultava essere una tecnologia meno efficiente rispetto alla prima (creazione di eccessive condense interne dannose per il sistema, dispendio energetico importante). A dispetto di ciò, la prototipazione e l'installazione dello stesso sta prendendo comunque forma con l'obiettivo ultimo di validare le prestazioni sul campo del prototipo e avere un componente di benchmark al livello di test da poter confrontare con il prototipo n°1 (raffreddamento parziale).

Bibliografia

- Anese, M. N. (2003). Antioxidant properties of ready-to-drink coffee beverages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 942-946.
- Atlascopco. (2020, Ottobre). *atlascopco.com*. Retrieved from Generazione di azoto con la tecnologia PSA (PSA, Pressure Swing Adsorption): <https://www.atlascopco.com/it-it/compressors/wiki/compressed-air-articles/what-is-nitrogen>
- Autoclima. (2020, Ottobre). *impianti.autoclima.com*. Retrieved from Impianti di condizionamento : http://impianti.autoclima.com/img/src/downloads/folder%20U-GO_1.pdf
- Bianchivending. (2016). *Italia Patent No. 102016000042169*.
- BianchiVending. (2020, Settembre). *BianchiVending*. Retrieved from https://www.bianchivending.com/wp-content/uploads/2018/06/LEI2GOVISTA_PLUS_L.pdf
- Borgacci, R. (2020, Aprile 28). *my-personaltrainer.it*. Retrieved from <https://www.my-personaltrainer.it/alimentazione/shelf-life.html#4>
- Buffo, R. C.-F. (2004). Coffee flavor: an overview. *Flavor and Fragrance Journal*, 99-104.

- Cappuccio, R. F. (2001). *Staling of roasted and ground coffee at different temperatures: combining sensory and GC analysis*. Trieste: Proceedings of the 19th International Scientific Colloquium on Coffee,.
- Cardelli, C. L. (2001). Application of Weibull hazard analysis to the determination of. *LWTdFood Science and Technology* 34, 273-278.
- Chafer, M. O. (1998). Stability of roast coffee during its shelf life. *Alimentaria* 297,, 123-128.
- Co., S. E. (1998). *EPS Patent No. EP 0 459 160 B1*.
- Coffee, S. (2020, Settembre 10). Retrieved from La magia della tostatura: <https://specialcoffee.it/magia-della-tostatura/#:~:text=La%20tostatura%20consiste%20nel%20fornire,e%20il%20tempo%20di%20cottura.&text=A%20200%2D230%2C%20B0C,assume%20il%20suo%20profumo%20caratteristico>.
- Consonni, E. (2015). Shelf life: metodi, analisi e strumenti pratici per predirla e allungarla. *Foodandtec*.
- Edutecnica. (2020, Settembre). *edutecnica.it*. Retrieved from Ciclo Frigorifero: <http://www.edutecnica.it/macchine/frigo/frigo.htm>
- Element7, J. . (2020). http://www.jun-air.com/applications_laboratory.aspx.
- Girardi, A. (2020, Agosto). *DigitalFollower*. Retrieved from Lavazza: la storia del brand, la storia di un uomo: <https://blog.digitalfollowers.com/un-brand-in-30-lavazza-la-storia-del-brand-la-storia-di-un-uomo/>
- Group, E. (2020). *Necta*. Retrieved from <https://necta.evocagroup.com/it/prodotti/coffee-vending-machines/maestro-touch>.
- Hough, G. L. (2003). Survival analysis applied to sensory shelf life of foods. *Journal of Food Science*, 359-362.

- Hough, G. W. (2006). Number of consumers necessary for sensory acceptability tests. *Food Quality and Preference* 17 (6), 522-526.
- Inmatec. (2020, Ottobre). *inmatec.de*. Retrieved from La tecnologia PSA inmatec: <https://www.inmatec.de/it/technologie-azoto.html>
- Labuza, T. H. (1971). Oxidation at intermediate moisture content. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 48 (2),, 86-90.
- Lavazza, L. (2020, Ottobre). <https://www.lavazza.it/it/chi-siamo/storia/1895.html>. Retrieved from Lavazza 1895 - Le origini.
- Manzocco, L. C. (2010). Method of shelf-life determination and prediction. In E. M. Decker, *Oxidation in Foods and Beverages and Antioxidant Applications* (pp. 196-219). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Manzocco, L. N. (2007). Modeling the effect of water activity and storage temperature on chemical stability of coffee brews. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55,, 6521-6526.
- Manzocco, S. C. (2016). The Stability of Shelf life of Coffee Products. In P. Subramaniam, *The Stability of Shelf life of Food* (pp. 375-398). University of Udine, Udine, Italy: Woodhead Publishing.
- Maria Daglia, A. P. (2000). In vitro antioxidant and ex vivo protective activities of green and roasted coffee. *Journal of Agricultural and Food Science* 48 (5),, pp. 1449-1454.
- Nicoli, M. A. (1997). Antioxidant properties of coffee brews in relation to the roasting degree. In LWT, *Food Science and Technology* (pp. 292-297).
- Nicoli, M. C. (2009). Shelf life testing of coffee and related products: uncertainties, pitfalls and perspectives. *Food Engineering Reviews* 1, 159 - 168.
- Nicoli, M. S. (2005). Physical and chemical changes of roasted coffee during. In R. I. Viani, *Espresso Coffee: The Science of Quality* (pp. 230-245). San Diego: Elsevier Academic Press.

- R., P. (2020, Ottobre 15). *Fosan.it*. Retrieved from Caffè' antiossidante:
http://www.fosan.it/notiziario/64_caffe%E2%80%99_antiossidante.html
- Reymond, D. C. (1962). Effect of storage conditions on the sensory quality of ground Arabica coffee. *Food Science and Technology* 4, 595-598.
- Rivacold. (2020). <https://www.rivacold.com/it/it/>.
- Sensory shelf-life of Dulce de Leche. (2004). *Journal of Dairy Science* 87, 1601 - 1607.
- Spadone, J. L. (1989). Analytical study of the evolution of coffee aroma compounds during storage. *Proceedings of the 13th International Scientific Colloquium on Coffee Paipa*, 145-158.
- Thoras. (2020, Settembre). *thoras.com*. Retrieved from Il ciclo frigorifero:
<http://www.thoras.com/ilciclofrigorifero.html>
- Toci, A. N. (2013). Changes in Triacylglycerols and free fatty acids composition during storage of roasted coffee. *LWT Food Science and Technology*, 581-590.
- Vitzthum, O. W. (1978). Aroma analysis of coffee, tea and cocoa by headspace technique. In G. (. Charalambous, *Analysis of Foods and Beverages: Headspace Techniques*. New York: Academic Press,.
- Wikipedia. (2020, Ottobre). Retrieved from Caffè:
<https://it.wikipedia.org/wiki/Caff%C3%A8>
- Wikipedia. (2020, Ottobre 20). *Wikipedia*. Retrieved from Doratura alimentare:
https://en.wikipedia.org/wiki/Food_browning