POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Meccanica, Aerospaziale, dell'Autoveicolo e della Produzione

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea di II Livello

Analisi e miglioramento del controllo della temperatura di una testata termica per termoretrarre capsule da bottiglia



Relatore

Prof. Matteo Fasano

Candidato

Stefano Cavaglià

Indice

Sommario	2
Abstract	3
1. Introduzione	4
1.1 Le macchine etichettatrici	4
1.2 GAI MACCHINE IMBOTTIGLIATRICI SPA	6
2. Metodi sperimentali	9
2.1 Descrizione generale dell'esperimento	9
2.2 Descrizione degli oggetti da testare	10
2.3 Parametri e grandezze da determinare	15
2.4 Attrezzature e apparecchiature sperimentali	16
2.5 Condizioni ambientali	18
2.6 Descrizione delle procedure di misura 2.6.1 Macchina in lavoro 2.6.2 Interruzione momentanea di produzione 2.6.3 Oscillazioni 2.6.4 Salita e discesa	
2.7 Criteri di approvazione o rifiuto	21
3. Risultati	22
3.1 Dati registrati	22 24 26
3.2 Metodi di analisi	32
3.3 Risultati dell'analisi dei dati	
4. Discussione	41
5. Conclusioni	44
Appendice	45
Bibliografia	74
Ringraziamenti	75

Sommario

Le macchine etichettatrici rappresentano un punto cruciale nella vita di una bottiglia poiché sono le responsabili della buona qualità visiva del prodotto finito. Per questo motivo i sottogruppi che le compongono devono garantire alta qualità in ogni momento.

GAI Macchine Imbottigliatrici SPA è un leader italiano e mondiale nella produzione di suddette macchine e, in collaborazione con l'azienda, è stato preso in carico il progetto di studio di un componente presente nel loro catalogo.

Lo scopo di questa tesi è dunque l'analisi delle problematiche legate a uno di questi sottogruppi, la testata termica, responsabile del termoriscaldamento delle capsule in materiale plastico in modo da restringersi in maniera corretta sul collo della bottiglia di vino con tappo raso. In questo modo sarà possibile valutare possibili miglioramenti e modifiche per rendere il componente ancora più affidabile.

Nel dettaglio, saranno messe sotto esame tre tipologie di testate termica disponibile a catalogo, simili nelle loro componenti principali, ma differenti in elementi secondari che hanno lo scopo di renderle più performanti: la testata termica standard con un soffio di aria, la testata modificata derivante da quella standard e la testata con due soffi.

Nello specifico sarà descritta nel dettaglio l'intera fase di programmazione degli esperimenti, le grandezze misurate, i risultati ottenuti e la loro analisi con l'obbiettivo di portare alla luce eventuali problematiche nel modo più sistematico possibile. Sarà posta l'attenzione anche nella valutazione delle differenze tra i vari modelli di testata termica utilizzando i risultati sperimentali ottenuti. I dati hanno mostrato infatti che la testata termica standard modificata è quella che mostra le migliori prestazioni in termini di controllo della temperatura e in termini di elevata qualità del prodotto finito.

Saranno infine proposti possibili accorgimenti che si potranno adottare per il miglioramento del componente in modo che possano essere adottati dall'azienda nella progettazione e produzione ordinaria delle macchine imbottigliatrici.

Abstract

Labelling machines are a fundamental step in lifecycle of a wine bottle because they are responsible for the good quality of the product. For this reason, each group of the machine has to guarantee this quality in every moment.

GAI MACCHINE IMBOTTIGLIATRICI SPA is an Italian and global leader in the production of such machines and, as a partnership with the company, was developed a study of a group they have in their catalog.

The purpose of this thesis is the analysis of the problems linked with one of the groups of a labelling machine, the thermal head, responsible for the heating of the cap made of plastic material in order to made it shrink on the top of a 0,75 I standard wine bottle. In this way, it was possible to evaluate improvements and modifications to make the component even more reliable.

In detail, it will be tested three different thermal heads, which are comparable regarding their principal components, but they are different regarding secondary elements which has the porpuse to make the more performing: a standard thermal head with one air blow, a modified thermal head that comes from the standard one and a thermal head with two air blows.

It will be described the entire experiment set up phase, the measured quantities, the obtained results and the data analysis in order to identify possible problems in the most methodical possible way. It will be evaluated also the differenced among the types of thermal head using the results. They indicate that the modified thermal head is the one that shows the best performances in terms of temperature control and in terms of high quality of the product.

Eventually it will be suggested possible improvements in order to make the component even better so the company could apply them in the every day design and production of labelling machines.

1. Introduzione

1.1 Le macchine etichettatrici

Le macchine etichettatrici per bottiglie di vino sono macchine enologiche che hanno lo scopo di applicare l'etichetta sulla bottiglia già riempita e tappata. L'etichetta è in grado di migliorare e impreziosire il prodotto quando verrà presentato al cliente per la vendita, siccome un'etichetta appropriata rende la bottiglia più appetibile ai potenziali consumatori e ne aumenta il valore percepito [1]. Per questi motivi le macchine etichettatrici devono garantire alti standard di qualità per i produttori vitivinicoli.

Si possono trovare sul mercato tre tipologie di macchine etichettatrici per bottiglie di vino:

- Manuale [2]: questa macchina, come suggerisce il nome, è completamente controllata dall'operatore che la sta utilizzando; sono macchine di dimensioni ridotte, adatte a volumi di produzione bassi in piccole cantine o cantine private e le dimensioni ridotte le rendono macchine da banco. In generale è composta da tre elementi principali: la bobina in cui è avvolto il nastro con le etichette, il sistema di rulli che mantengono in tensione il nastro per una corretta applicazione, e l'alloggiamento della bottiglia con annesso il sistema che stacca la singola etichetta dal nastro e fa in modo che aderisca alla bottiglia mentre questa ruota per permetterne il corretto posizionamento. L'operatore inserisce la bottiglia da etichettare nell'apposito alloggiamento e aziona manualmente la macchina perché sia etichettata; in Figura 1 si può vedere un'etichettatrice manuale;



Figura 1 - Esempio di macchina etichettatrice manuale - https://www.agristorecosenza.it/etichettatrice-manuale-per-bottiglie-vinoolio

Semiautomatica: la macchina è del tutto simile nelle componenti alla tipologia manuale, ma in questo caso l'operatore inserisce la bottiglia in macchina e questa applica l'etichetta in autonomia. Ciò è realizzato tramite sensori e semplici software i quali comandano il funzionamento della macchina mediante sistemi pneumatici quando rilevano la presenza della bottiglia nella sede di etichettatura; questa tipologia di macchine è ideale per piccole e medie produzioni; in Figura 2, riportata di seguito, si può vedere una macchina etichettatrice semiautomatica;



Figura 2 - Esempio di etichettatrice semiautomatica - https://www.beerewine.it/etichettatrice-semiautomatica-da-banco-perbottiglie-e-lattine-su-prenotazione.html

- Automatica: la macchina di etichettatura automatica è progettata e costruita con una linea sulla quale scorrono le bottiglie e varie stazioni intermedie svolgono in maniera autonoma tutte le lavorazioni sulla bottiglia; sono dunque macchine molto complesse, che coniugano elettronica, sistemi pneumatici e meccanica per il funzionamento siccome nessuna lavorazione richiede l'intervento diretto dell'operatore; in questo caso, oltre alla semplice applicazione dell'etichetta possono essere aggiunte altre lavorazioni sulla bottiglia per ottenere l'etichettatura desiderata dalla bottiglia: l'applicazione della capsula, il termorestringimento e la rollatura, il lavaggio della bottiglia prima dell'applicazione dell'etichetta sono solo alcuni esempi; in questo caso il ruolo dell'operatore è quello di caricare le bottiglie già riempite e tappate all'inizio della linea e avviare la macchina settando opportunamente i parametri di funzionamento gestiti dall'elettronica (come ad esempio la velocità di passaggio delle bottiglie nella linea, espressa in questo settore in bottiglie per ora); le macchine automatiche sono dunque adatte a medie o alte produzioni; in Figura 3 è mostrato un esempio di macchina etichettatrice automatica;



Figura 3 - Esempio di etichettatrice automatica in linea - https://www.dellatoffola.it/it/catalogue-products/etichettatrici/etichettatrici-fino-6000-bph/etichettatrici-lineari-/etichettatrici-lineari-et-2c-dc

In generale, le macchine etichettatrici sono in grado di applicare sulla bottiglia vari tipi di etichette adesive [3], a seconda dell'esigenze del cliente:

- Etichetta autoadesiva: è costituita da un lato frontale, la parte stampata, e dal lato adesivo e viene fornita su un nastro siliconato;
- Etichetta con colla: la colla e l'etichetta, in questo caso, vengono applicate in momenti separati;

Il settore delle macchine etichettatrici per bottiglie di vino è molto diversificato: ogni produttore progetta e costruisce soluzioni diverse e innovative per soddisfare i propri clienti. In questo modo si possono trovare sul mercato molte soluzioni diverse per svolgere la stessa attività. Lo scopo principale è quello, in tutti i casi, di creale una soluzione il più personalizzata possibile per le esigenze del singolo cliente; per questo motivo non esistono una standardizzazione oppure normative che possano accomunare le macchine. Al contrario, i costruttori depositano i propri brevetti e custodiscono gelosamente i segreti industriali che ne sono alla base.

1.2 GAI MACCHINE IMBOTTIGLIATRICI SPA



Figura 4 - Logo GAI MACCHINE IMBOTTIGLIATRICI SPA

La GAI MACCHINE IMBOTTIGLIATRICI SPA, il cui logo si può vedere in Figura 4, nasce nel 1946 grazie al progetto di Giacomo Gai costruendo macchine imbottigliatrici per vino [4]. Nel 1979 GAI inventa e brevetta il monoblocco, la colonna portante sulla quale appoggiano tutti i sottosistemi della macchina, il quale diventerà uno standard nel settore a livello mondiale. Nel 1984 nasce GAI France, per espandere il mercato dell'azienda anche oltralpe.

Nel 2003 comincia la produzione di macchine etichettatrici, le quali completeranno il catalogo con le macchine imbottigliatrici, e nel 2013 inventa e brevetta il rubinetto elettro-penumatico, per imbottigliare ogni tipo di bevanda, ferma o gassata.

Nel corso del 2015 viene realizzato l'ampliamento della fabbrica e del magazzino ricambi, insieme con la palazzina per gli uffici di Ricerca & Sviluppo, l'area Accoglienza e Ristorazione e un ampio parcheggio multipiano interno; la nuova parte di stabilimento ha anche fatto spazio per un'ampia area espositiva. Lo stabilimento così formato, come somma di parte vecchia e parte nuova, conta 400.000 m² di area totale, di cui 47.000 dedicati alla produzione e 8.000 dedicati agli uffici.

Con il nuovo stabilimento, GAI diventa completamente autonoma per la produzione di energia elettrica e termica grazie e un impianto fotovoltaico che produce 2.500.000 kWh annui e tre cogeneratori a metano con potenza totale di 1.300 kW per una produzione annua di 3.000.000 kWh elettrici e 4.000.000 kWh termici. In Figura 5 si può vedere una foto dall'alto dello stabilimento di GAI MACCHINE IMBOTTIGLIATRICI presso Ceresole d'Alba, in provincia di Cuneo.

L'intero stabilimento è stato dunque progettato e organizzato per il ciclo completo di costruzione della macchina, dalla progettazione, all'arrivo delle materie prime, alla produzione dei singoli componenti, al montaggio, fino alla partenza della macchina dopo un'attenta fase di collaudo. In questo modo, GAI progetta e produce oltre il 90% dei componenti che saranno montati sulle macchine: carpenteria, taglio laser, saldatura, lucidatura e piegatura delle lamiere; il motto è "Costruttori, non assemblatori". Nello specifico, la produzione è stata resa a ciclo continuo grazie a 6 centri di lavoro robotizzati, 4 magazzini automatici e 4 carrelli AGV. Oltre a queste macchine, GAI è attrezzata con macchine utensili CNC, frese convenzioni e a portale, torni, unità di taglio ad acqua e laser, un centro di elettrolucidatura robotizzato, robot di saldatura e lucidatura, in grado di realizzare ogni tipologia di compente e di qualunque dimensione sia richiesta per una macchina.

Nel 2017 GAI si espande nel mercato statunitense e nasce GAI America per stare al fianco dei clienti negli Stati Uniti e migliorare così il servizio ai clienti.

Per oltre 70 anni GAI MACCHINE IMBOTTIGLIATRICI si è imposta nel mercato come leader nel mercato mondiale nell'imbottigliamento di qualità. Nel contempo, Ha esteso la sua offerta alla riempitura di bibite gassate, birra, liquori e liquori oleosi e all'etichettatura di vino, acqua, birra e dal 2019 di lattine. Oggi le sue macchine sono al lavoro ovunque si imbottigli con orientamento alla qualità, con assistenza tecnica specializzata e ricambi a vita.



Figura 5 - Vista dall'alto dello stabilimento di GAI MACCHINE IMBOTTIGLIATRICI a Ceresole d'Alba

2. Metodi sperimentali

2.1 Descrizione generale dell'esperimento

Le procedure di misura sulla testata termica si sono svolte presso lo stabilimento di Gai MACCHINE IMBOTTIGLIATRICI SPA nell'area dedicata al montaggio finale delle macchine etichettatrici in cui si svolgono le operazioni di collaudo e messa a punto prima della consegna al cliente. È stata dunque utilizzata una macchina completa e funzionante che sarebbe stata consegnata al cliente dopo le misurazioni, concentrandosi solo sulla parte di macchina di interesse, la testata termica.

Nello specifico, la testata termica è la seconda stazione della macchina etichettatrice dopo il distributore delle capsule in plastica termorestringente. Le stazioni della macchina a valle non sono di nostro interesse.

Viste le condizioni e in accordo con l'azienda, è stato necessario ricorrere a un metodo di misura non normalizzato di cui si riportano di seguito le principali informazioni [6], le quali verranno trattate in dettaglio in paragrafi successivi:

- Scopo: lo scopo della procedura di misura è la valutazione delle problematiche legate all'andamento della temperatura nella testata termica in esercizio e durante i fermi di produzione;
- Oggetto da provare: tre tipologie di testate termiche;
- Parametri e grandezze da determinare: temperatura all'interno della camera calda della testata in varie condizioni di funzionamento;
- Campioni di riferimento: non esistono campioni di riferimento in quanto non esiste uno standard per questo caso specifico cui fare riferimento;
- Condizioni ambientali: le prove si sono svolte presso lo stabilimento di GAI MACCHINE IMBOTTIGLIATRICI SPA all'interno dell'area dedicata al montaggio finale delle macchine etichettatrici;
- Descrizione della procedura: le procedure di misura prevedono di sottoporre a test la testata durante la produzione e simulare i fermi di produzione;
- Criteri di approvazione o rifiuto: non essendoci standard ai quale riferirsi, ci si è basati sugli standard di qualità che l'azienda vuole garantire ai suoi clienti;
- Dati registrati: i dati registrati grazie al Design of Experiment scelto hanno permesso di caratterizzare le prestazioni della testata;
- Analisi e presentazione: è stato messa in luce quale delle tre tipologie ha mostrato prestazioni migliori.

Il set up sperimentale prevede l'utilizzo della testata termica con il sistema di misurazione della temperatura e il sistema di controllo, insieme con l'interfaccia della macchina, sulla quale è possibile modificare i parametri di ingresso e leggere la registrazione dei valori di temperatura misurati.

L'esperimento prevede, in generale, di sottoporre la testata termica a vari tipi di misure di temperatura in modo che sia possibile identificare eventuali problematiche.

2.2 Descrizione degli oggetti da testare

L'oggetto in esame è la testata termica che ha lo scopo di riscaldare la capsula in materiale plastico termorestringente sulla parte superiore di una bottiglia di vino da 0,75 l con tappo raso montata all'interno di una macchina etichettatrice automatica.

2.2.1 La macchina etichettatrice

La macchina utilizzata in questo esperimento è una Serie 6000 Labelling, nello specifico una 6043 [5]. Sul monoblocco principale della macchina è montata la linea sulla quale scorrono le bottiglie e sono montati tutti i sottogruppi che permettono l'etichettatura completa della bottiglia di vino. La linea di produzione è costituita da un nastro trasportatore sul quale le bottiglie sono posizionate verticalmente e delle sponde laterali impediscono qualsiasi movimento indesiderato: uscita o caduta di una bottiglia. La macchina, e tutti i suoi gruppi, è stata progettata per etichettare dalle 800 alle 3000 bottiglie per ora. In Figura 6 è mostrata una foto in vista anteriore della macchina imbottigliatrice 6043.



Figura 6 - Etichettatrice 6043: 1 gruppo di distribuzione della capsula, 2 testata termica, 3 gruppo di rollatura della capsula, linea su cui scorrono le bottiglie, 5 etichettatrice, 6 interfaccia video, 7 buffer finale.

Il primo gruppo che incontrano le bottiglie è il distributore delle capsule, il quale ha lo scopo di posizionare una capsula grezza sul collo della bottiglia. Siccome le capsule vengono forniti in "tubi" in cui una capsula è incastrata nella successiva, il gruppo è fornito di un magazzino in cui l'operatore

posiziona i tubi di capsule; il distributore preleva una capsula alla volta dal "tubo" e lo posiziona sul collo della bottiglia, assicurandosi che sia perfettamente alloggiato.

Il gruppo successivo è la testata termica. Questo è l'oggetto che verrà sottoposto a varie prove e ha lo scopo di scaldare la capsula appena posizionata sul collo della bottiglia perché si restringa e si chiuda saldamente. Per fare questo, la testata termica è montata su un piantone le che permette un movimento alternato verticale: quando viene presentata la bottiglia la macchina fa scendere la testata per permettere alla parte interna di circondare il collo della bottiglia sul quale si trova la capsula da termotrattare.

La stazione successiva è quella di lisciatura, nella quale la capsula appena chiusa viene lisciata mediante piccoli rullini montati circonferenzialmente in una testata analoga a quella termica; come la precedente, questa scende sul collo della bottiglia e liscia la capsula perché sia garantita un'alta qualità estetica del prodotto. In questo caso specifico 4 teste di lisciatura sono montate in un'unica torretta che ruota attorno al proprio asse; le bottiglie vengono incanalate verso la piastra inferiore della torretta sulla quale ci sono le sedi per le bottiglie, in modo che ogni testa scenda sulla bottiglia nella sede corrispondente. Questa soluzione permette nello stesso tempo elevata qualità e alta produzione.

Il gruppo finale è l'etichettatrice lineare per etichette autoadesive. Qui viene applicato l'etichetta sulla parte laterale della bottiglia e, anche in questo caso, viene fatta una lisciatura dell'etichetta perché si sia certi che abbia aderito correttamente.

Infine, le bottiglie così capsulate ed etichettate escono dalla macchina e il nastro trasportatore le convoglia in un piccolo buffer finale, completamente etichettate e pronte per essere immagazzinate in cantina perché il vino maturi o per essere vendute, singolarmente o inscatolate.

A lato della macchina è presente l'interfaccia video dalla quale l'operatore può controllare la macchina: accensione e spegnimento dei sottogruppi, regolazione di velocità di produzione e impostazione della temperatura che si vuole ci sia nella camera della testata termica sono solo alcuni esempi. Questo è possibile perché ogni sottogruppo è interamente gestito e controllato dall'elettronica e dal software implementato.

Insieme ai gruppi sopracitati, sono presenti in macchina 4 motori elettrici, di potenza diversa a seconda del gruppo che azionano, e un sistema pneumatico ad aria, responsabile dell'azionamento del distributore di capsule e del moto alternato della testata termica. Tutta la macchina è poi contrata da un sistema elettronico, il quale, grazie a vari sensori, assicura il corretto funzionamento di tutte le componenti, in sinergia l'una con l'altra.

2.2.2 La testata termica

L'oggetto di questo esperimento è la testata termica, ma siccome questa lavora in sinergia con tutti gli altri gruppi sopra descritti è stato necessario utilizzare una macchina completa per svolgere le misure.

Per ottenere più dati possibili da analizzare, sono state utilizzati tre tipi di testate diversi: la versione standard e due sue alternative presenti nel catalogo di GAI. Il cliente, in base alle sue esigenze, può scegliere quella che preferisce per la sua particolare applicazione.



Figura 7 - Disegno della testata standard montata sul piantone di supporto: 10 testata termica, 20 gruppo di regolazione dell'altezza, 30 piantone di supporto

La testata termica standard è formata da un corpo centrale cilindrico all'interno del quale è inserita la resistenza elettrica con potenza di targa 1500 W alimentata con tensione trifase a 380 V che fornirà il flusso termico necessario. Come si vede nella sezione del componente riportata in Figura 8, nella parte inferiore e superiore del corpo cilindrico sono presenti due flange che fungono da chiusure; il tutto è assemblato da quattro tiranti avvitati a entrambe le flange. La flangia inferiore ha un foro centrale di 54 mm per consentire l'ingresso del collo della bottiglia. Nella parte centrale interna è presente un corpo cilindrico cavo e sulla sommità è presente l'attacco per il tubo dell'aria: il soffio, la cui pressione è regolabile tra 0 e 6 bar tramite un riduttore di pressione, attraversa tutto il cilindro ed esce nella parte inferiore: in Figura 8 è indicato con una freccia blu il punto di ingresso. Questo è in grado di muoversi in verticale grazie al montaggio con gioco una bronzina in modo che quando la testata scende sul collo della bottiglia, tenga premuta la capsula sulla sommità della bottiglia. È necessario regolare l'altezza della testata tramite la ghiera sul piantone cosicché il collo della bottiglia entri di circa 45 mm all'interno della camera calda. Il soffio ha lo scopo di fare in modo che una portata di aria calda, scaldata durante il passaggio nel cilindro, circondi la capsula e contribuisca al termorestringimento della capsula insieme al contributo di calore fornito dalla resistenza. Sulla flangia superiore è presente il foro che consente il montaggio del supporto della termorestistenza, la quale misurerà la temperatura dell'aria nella camera. Nella parte posteriore della flangia sono presenti i fori che permettono, tramite opportune guide, il montaggio dei componenti elettrici che forniscono corrente alla resistenza. Come elemento di protezione, esternamente al cilindro centrale è montata una lamiera semicilindrica opportunamente distanziata per evitare che l'operatore entri in contatto con il corpo centrale ad alta temperatura.

Questo gruppo viene montato su un piantone mediante una piastra collegata alla tesata mediante tre distanziali e relative viti che ne permettono il fissaggio sulla flangia superiore sopra citata. Il piantone contiene il meccanismo che permette il movimento verticale alternato del componente; in Figura 7 si può vedere il disegno dell'insieme di testata e piantone, sul quale è montato il gruppo di regolazione dell'altezza della testata per fare in modo che si adatti a dimensioni di bottiglie

diverse. Durante la produzione, quando la bottiglia è condotta sotto la testata, questa si trova al punto morto superiore e il sistema si controllo fa in modo che scenda sulla bottiglia fino al punto morto inferiore perché possa termotrattare la capsula. La corsa del movimento alternato è di circa 80 mm.

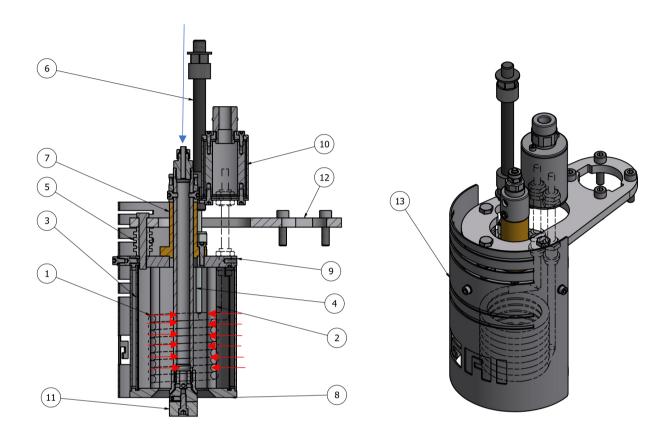


Figura 8 - Disegno del complessivo della testata standard con sezione: 1 resistenza elettrica, 2 cilindri di supporto, 3 guscio esterno, 4 termoresistenza PT100, 5 cilindri distanziali, 6 guaina di protezione dei cavi della termoresistenza, 7 bronzina, 8 flangia inferiore, 9 flangia superiore, 10 scatola per contenere cavi della resistenza, 11 cilindro scorrevole, 12 flangia di supporto, 13 lamiera di protezione esterna

La testata con un soffio modificata è del tutto simile al modello standard appena descritto, con l'unica differenza che nella parte inferiore, anziché una flangia, ne sono montate 2. Come si può vedere nella sezione del componente mostrata in Figura 9, una è la flangia sopra descritta che funge da chiusura con l'elemento cilindrico centrale, l'altra è aggiuntiva e possiede un foro centrale con diametro di 40 mm, minore rispetto ai 54 mm del foro della flangia sotto la quale è montata, ma sufficientemente grande da permettere al collo della bottiglia e alla capsula di passare ed entrare nella testata. Lo scopo è quello di fare in modo che possa entrare meno aria a temperatura ambiente dalla parte inferiore cosicché possa essere fornito meno calore alla resistenza siccome il contributo necessario a scaldare aria fredda in ingresso è minore e migliorare così le prestazioni del componente.

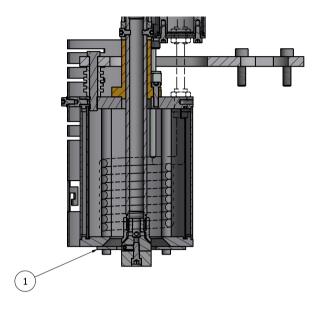


Figura 9 - Vista in sezione della testata standard modificata: 1 flangia aggiuntiva

Sia nella testata standard, sia nella testata modificata, in ogni momento in cui la macchina è accesa viene inviata una portata di aria costante alla pressione impostata dall'operatore, leggibile su un manometro analogico a quadrante montato a bordo macchina.

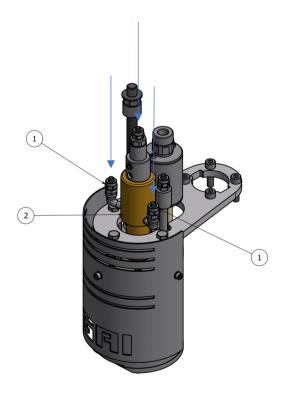


Figura 90 - Disegno della testata con 2 soffi: 1 ugelli aggiuntivi per secondo soffio, 2 bronzina modificata per consentire il montaggio degli ugelli

Il modello di testata con due soffi, il cui disegno è mostrato in Figura 10, è identico alla testata modificata appena descritta, con la differenza che sulla bronzina che permette lo scorrimento verticale del cilindro centrale sono stati realizzati due fori aggiuntivi per consentire il montaggio di due cilindri curvati, con annessi raccordi per il collegamento dei tubi idraulici, che fungono da secondo soffio. L'ingresso dell'aria nella camera è garantito dal fatto che il montaggio tra la bronzina e il cilindro scorrevole è realizzato con molto gioco; l'aria insufflata viene forzata a scorrere nella corona che il gioco crea tra i due componenti per poi scendere verso la camera calda. In Figura 10 è indicata la posizione precisa dell'ingresso dell'aria. Il funzionamento dei due soffi è combinato: il sistema di controllo dell'impianto idraulico invia aria sulla sommità del cilindro durante la fase di discesa e salita della testata sul collo della bottiglia e invia aria ai due tubi montati sulla bronzina in tutti i momenti in cui la testata è ferma perché non deve termorestringere una capsula.

Tutti i modelli di testata sottoposti a prove condividono la stessa posizione della termocoppia, ovvero montata nella parte superiore all'interno dell'apposita guida. In Figura 8 è mostrata la guida nella quale è inserita la termorestistenza, bollata con il numero 13.

2.3 Parametri e grandezze da determinare

È stato deciso di svolgere diverse tipologie di prova con lo scopo di ottenere una caratterizzazione più accurata della testata. In questo modo si possono individuare più facilmente le criticità che si potrebbero presentare quando la macchina verrà consegnata al cliente e usata per l'etichettatura in cantina di bottiglie destinate alla vendita.

La grandezza da determinare è la temperatura all'interno della camera calda della testata termica in varie condizioni di funzionamento, ovvero:

- Macchina in lavoro a diverse velocità, misurata in bottiglie per ora che passano in linea (bott/h);
- Fermo di produzione: valutazione degli andamenti di temperatura durante i fermi in cui non passano bottiglie in linea, ma la testata rimane calda;
- Oscillazioni: l'andamento della temperatura in camera nel tempo una volta che si è esaurito il transitorio dopo il fermo improvviso di produzione con il picco di temperatura;
- *Transitori di aumento e diminuzione della temperatura,* rispettivamente a inizio e fine di produzione.

La temperatura è l'unico parametro misurato perché la testata e il suo sistema di controllo sono stati progettati per tenere sotto controllo solo questo parametro. Tramite l'interfaccia video montata a lato della macchina è possibile impostare la temperatura target che il sistema di controllo dovrà mantenere durante tutto il processo produttivo, fermi compresi. Siccome però si ha a che fare con un componente complesso, la testata, si capisce subito che le caratteristiche termiche sono altrettanto complicate da definire.

2.4 Attrezzature e apparecchiature sperimentali

Per la misura della temperatura è stata usato utilizzato il termorestistenza PT100 al platino con sonda in acciaio inox presente nella testata, montata all'interno del supporto previsto durante la fase di progettazione: la sonda entra nella camera calda per una lunghezza di 125 mm e ha un diametro di 6 mm. Ha una sensibilità di + / -1 °C e il software permette sull'interfaccia video la lettura della temperatura istantanea misurata con sensibilità + / -1 °C.

Per il controllo della temperatura la macchina utilizza un controllo PID (Proportional – Integrative – Derivative) prodotto da Gefran.

Per il rilevamento degli andamenti di temperatura nel tempo è stato usato il software interno della macchina che permette di esportare i dati in formato .csv come tabella con due colonne, in una la variabile tempo e nell'altra la temperatura misurata in quell'istante. Questo, implementato dagli addetti, è stato realizzato in modo che registri un valore di temperatura ogni 10 secondi: viene registrato il valore di temperatura misurato nel momento dell'avvio del campionamento e il successivo valore 10 secondi dopo e così via. Per questo motivo, le curve che saranno presentate nel capitolo successivo saranno formate da punti campionati a 0,1 Hz.

Il software installato nella macchina permette di impostare sull'interfaccia video la velocità di produzione (in bottiglie per ora): portata di bottiglie nella linea è un parametro che coinvolge tutti i sottogruppi dell'etichettatrice perché scandisce la velocità con la quale tutte le parti si muovono al fine di garantire il flusso produttivo desiderato. Sull'interfaccia è possibile inserire una velocità di produzione compresa tra 800 e 3000 bottiglie/ora con una risoluzione di +-1 bott/h.

La macchina possiede un sistema pneumatico ad aria che garantisce il funzionamento non solo della testata, ma anche del gruppo di distribuzione delle capsule e il gruppo di etichettatura. La macchina non è equipaggiata con un compressore dell'aria, perciò quello esterno dovrà garantire almeno 7 bar per il corretto funzionamento di tutti i sottogruppi. Per questo motivo, durante tutte le misure, l'etichettatrice è stata collegata al sistema pneumatico dello stabilimento, in grado di garantire in ogni momento la giusta pressione dell'aria per operare. Tuttavia, siccome per la testata termica è necessaria una pressione dai 3,5 ai 6 bar la macchina è dotata di un riduttore di pressione a valle del gruppo. La regolazione di questa viene fatta in maniera manuale tramite una manopola e si legge su un manometro analogico, mostrato in Figura 11, entrambi montati a bordo macchina.



Figura 101 - Manometro analogico a quadrante

Per lo svolgimento delle prove sono state utilizzate bottiglie di vetro da 0,75 l di capienza identica a quelle che saranno utilizzate dal cliente per l'etichettatura, per le quali la macchina è stata progettata. Le bottiglie erano già tappate, con tappo di sughero, e riempite alla capienza nominale di acqua. Di seguito si riporta in Figura 12 un disegno quotato della bottiglia per rendere più chiare le effettive dimensioni dell'oggetto.

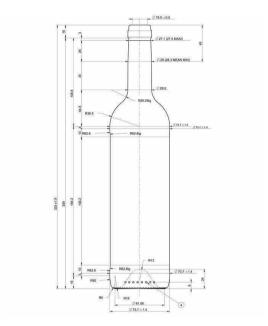


Figura 112 - Disegno quotato di una bottiglia di vino da 0,75 l con tappo raso

Tra le attrezzature di misura sono presenti le capsule nuove utilizzate per le procedure di prova. Sono state fornite dall'azienda e sono realizzate con lo stesso materiale di quelle che usano i clienti GAI, in modo che le misure siano più attendibili possibili. Nello specifico sono capsule cilindriche preincollate in modo che abbiano già la parte superiore piana che andrà a contatto con il bordo superiore della bottiglia, realizzate senza linguetta per facilitarne l'apertura e con il dischetto in testa [7]. Sono costruite in PVC (Cloruro di Polivinile), una termoplastica che, se scaldata, è in grado di restringersi; se però la temperatura in camera è troppo elevata, questa ha un effetto degradativo dell'oggetto. Possono essere di dimensioni variabili, ma nello specifico le capsule utilizzate sono capsule da 30 mm di diametro e un'altezza di 40 mm. Di seguito si riporta in Figura 13 un'immagine in cui è mostrata una capsula.



Figura 123 - Foto di una capsula in PVC usata nelle prove

Il colore viene realizzato mediante un pigmento apposito inserito nella miscela di produzione del PVC. È puramente arbitrario ed è personalizzato per ogni cliente, perciò non è influente sui processi di prova.

2.5 Condizioni ambientali

Le condizioni ambientali in cui sono state condotte le misure sono quelle dello stabilimento di GAI MACCHINE IMBOTTIGLIATRICI SPA, nell'area di montaggio finale delle macchine etichettatrici in cui si eseguono i controlli finali di qualità.

In questa area, come nel resto dello stabilimento, la temperatura dell'ambiente è controllata e fissata a 20°C, affine con le condizioni in cui la macchina imbottigliatrice, e quindi la testata termica, si troverà ad operare una volta consegnata e utilizzata dal cliente nel suo stabilimento produttivo. (Le misure sono state svolte nel periodo dal 3 al 17 maggio 2021.)

Non è perciò richiesto un periodo di stabilizzazione della temperatura come nel caso di misure dimensionali di componenti metallici, in quanto la testata stessa è soggetta a forti variazioni di temperatura dovuti al normale funzionamento.

2.6 Descrizione delle procedure di misura

Sono state adottate quattro procedure di misura per ottenere la temperatura nelle condizioni sopra descritte. Di seguito sarà riportata la descrizione dettagliata dei metodi utilizzati. È importante sottolineare che, siccome si tratta di un esperimento non standardizzato, tutte le procedure sono state pensate e realizzate specificamente per questa analisi, con la speranza che possano essere il più utili possibili per identificare, e poi analizzare, gli eventuali problemi che potrebbero sorgere.

Il DOE (Design of Experiment) adottato per questo esperimento è di tipo Fattoriale [8]: questo prevede di registrare i dati per ogni combinazione di parametri di ingresso (chiamati Factors). La

scelta di questo tipo di procedura è legata al fatto che è stato necessario combinare insieme più variabili, grandezze fisiche e variabili hardware, nello stesso esperimento.

Le variabili indipendenti utilizzate come Factors sono 4:

- 1. Temperatura Target: valore di temperatura impostato nel software della macchina che si vuole mantenere all'interno della testata termica; sono stati utilizzati 4 valori di temperatura, 150 °C, 200 °C, 250 °C, 300 °C;
- 2. *Pressione del soffio*: pressione dell'aria in ingresso nella testata, in bar; in questo caso sono stati utilizzati 2 valori di pressione, 4 bar e 5 bar;
- 3. *Velocità di produzione*: quantità di bottiglie in grado di passare nella linea nell'unità di tempo; in queste macchine la velocità di produzione viene espressa in bottiglie processate ogni ora (bott/h); sono state utilizzate 6 velocità diverse, 1300 bott/h, 1400 bott/h, 1500 bott/h, 1600 bott/h, 1700 bott/h, 1800 bott/h
- 4. Tipologia di testata: i tre modelli di testata sopra descritti;

Il DOE è stato quindi applicato a tutte le procedure di misura, descritte di seguito. In Tabella 1 si riportano i valori utilizzati per gli esperimenti.

Temp Target [°C]	Pressione soffio [bar]	Vel. di produz [bott/h]	Tipo testata
150	4	1300	Standard
200	5	1400	Modificata
250		1500	Doppio soffio
300		1600	
		1700	
		1800	

Tabella 1 - Valori utilizzati per gli esperimenti seondo il DOE

2.6.1 Macchina in lavoro

La misura della temperatura all'interno della camera calda della testata termica con la macchina in lavoro è stata ottenuta mediante il passaggio di bottiglie con la capsula ancora da termorestringere sulla linea principale della macchina. È stata così registrata la temperatura misurata dalla termocoppia nella camera calda della testa termica.

Prima di svolgere ogni misura è stata fatta la taratura del sistema di controllo: il software implementato dal costruttore della scheda, sopra descritta, dà la possibilità, prima dell'inizio della produzione, di calcolare i coefficienti per il controllo di tipo PID (Proportional – Integral - Derivative) che verranno usati da quel momento in poi. La procedura è stata progettata dal costruttore della scheda di controllo e prevede alcuni aumenti e decrementi di temperatura. È importante sottolineare che la procedura di taratura è stata fatta prima di ogni procedura di misura, al fine di evitare errori sui dati misurati.

Per ottenere condizioni più simili possibili alle reali in cui sarà usata la macchina è stata utilizzata anche la stazione di distribuzione delle capsule precedente alla testata. In questo modo è stato possibile controllare in maniera precisa il corretto posizionamento della capsula sulla bottiglia e la

velocità di ingresso delle bottiglie in linea mediante il controllo implementato nel software di gestione dell'etichettatrice.

Sono state fatte prove per ogni combinazione di valori di temperatura preimpostata, pressione dell'aria del soffio e velocità di bottiglie nella linea, misurata in bottiglie per ora. I tre parametri sono selezionabili dall'operatore che utilizzerà la macchina in cantina a seconda delle esigenze di produzione specifiche.

2.6.2 Interruzione momentanea di produzione

È stata simulata la condizione in cui si ferma momentaneamente l'approvvigionamento di bottiglie in linea per qualche minuto, ma la linea non viene fermata. In questo scenario la temperatura in testata dovrebbe essere quella preimpostata dall'operatore.

In questo caso sono state fatte passare in linea bottiglie e poi si è misurata la variazione di temperatura nel tempo dopo il passaggio, tracciando grafici nel tempo per ogni combinazione di temperatura preimpostata, pressione dell'aria e velocità di bottiglie in linea.

2.6.3 Oscillazioni

Le oscillazioni di temperatura intorno al target fissato in macchina sono state misurate per valutare l'andamento di temperatura esaurito il transitorio dopo la fase di interruzione di produzione con la macchina calda, prima che si riprenda con la produzione. È stata fatta particolare attenzione ad iniziare la procedura di misura dopo l'esaurimento di tutti i fenomeni transitori, in modo che i dati registrati possano rispecchiare in maniera più simile possibile la condizione che si presenterà quando la macchina rimane accesa per diversi minuti dopo l'interruzione di produzione, in cui ogni transitorio è finito.

2.6.4 Salita e discesa

Sono stati misurati i transitori di aumento e di diminuzione della temperatura prima dell'inizio della produzione, durante l'accensione della macchina, e alla fine, durante lo spegnimento della macchina.

L'aumento di temperatura è stato misurato nel tempo a partire dalla temperatura ambiente alla temperatura preimpostata per simulare il comportamento della testata nella fase che precede l'inizio della produzione, in cui la testata fredda deve scaldarsi per portarsi alla temperatura necessaria per la produzione, scelta dall'operatore.

La diminuzione di temperatura è stata misurata per valutare il comportamento della testata dopo un fermo di produzione e fermo macchina totale per ogni valore di temperatura preimpostata. In questo caso, partendo dal valore di temperatura target, è stata spenta la testata e il suo controllo per far sì che la temperatura si riducesse nel tempo, per solo effetto dello scambio termico con l'aria circostante, fino alla temperatura ambiente.

2.7 Criteri di approvazione o rifiuto

L'esperimento che si è messo in pratica per questa tesi è una prova non normalizzata poiché non esistono standardizzazioni o normative che regolino le procedure di misura o l'analisi dei risultati ottenuti. L'analisi ha lo scopo di studiare un componente progettato e costruito da GAI e perciò diverso da tutti gli altri gruppi analoghi che si possono trovare sul mercato. Per questo motivo non ci sono criteri di approvazione o rifiuto da applicare ai dati ottenuti, ma, come verrà descritto in seguito, si possono applicare criteri di accettazione o scarto del prodotto finale ottenuto e criteri che possano valutare il comportamento opportuno della testata termica durante la produzione, in questo caso la chiusura delle capsule.

Il primo criterio di approvazione o rifiuto della misura riguarda la qualità della chiusura della capsula sulla bottiglia nella prima procedura di misura sopracitata. La capsula non deve presentare segni di bruciature o striature, segnali di una temperatura in camera troppo elevata. Non deve inoltre presentare piegature visibili dopo il processo di rollatura, segno di un restringimento non completamente concluso, perciò una temperatura troppo bassa in camera. È necessario, dunque, valutare quali saranno le temperature target da impostare nell'interfaccia della macchina per garantire un prodotto di elevate qualità in uscita.

Il criterio di valutazione della seconda modalità di prova riguarda le oscillazioni nell'intorno della temperatura preimpostata: è necessario che non sia maggiore 5 °C, poiché in questo caso non sarebbe accettabile ai fini degli standard di qualità dell'azienda.

Per quanto riguarda i fermi di produzione, sarà necessario valutare la massima temperatura che verrà raggiunta nella camera interna della testata, la quale non dovrà superare 5 °C oltre la temperatura target impostata. Questo valore è stato suggerito dai tecnici che progettano e costruiscono le macchine e deriva dalla loro esperienza passata. Nel caso ciò succedesse, sarà necessario analizzare il problema per capirne le cause e suggerire di conseguenza possibili modifiche. Il limite di 5 °C diventa perciò un massimo oltre il quale bisognerà intervenire in maniera correttiva sul componente o sul sistema di controllo in modo che in futuro venga consegnata al cliente una macchina in linea con gli obbiettivi progettuali del costruttore.

L'esperimento non prevedere l'analisi dei transitori di aumento e diminuzione della temperatura, in quanto lo studio del componente riguarda il funzionamento ad alta temperatura. Per questo motivo non sono previsti per questi dati criteri di approvazione o rifiuto dei risultati ottenuti. Questi dati saranno dunque presentati con il solo scopo di completezza per mostrare il comportamento della testata quando non prende attivamente parte alla produzione, ma si riscalda prima di iniziare e si raffredda dopo aver etichettato bottiglie in cantina.

3. Risultati

3.1 Dati registrati

In questa sezione verranno riportati i dati registrati durante le procedure di prova, dedicando un paragrafo per ogni tipologia. Per motivi di compattezza saranno riportati solo parte dei risultati e i restanti saranno presentati in Appendice.

Visto che gli esperimenti non sono normalizzati, si fa l'ipotesi che tutti i dati sono registrati facendo particolare attenzione ad evitate errori sistematici e possibili errori accidentali fatti dall'operatore, con lo scopo di ridurre, per quanto possibile, l'aleatorietà dei risultati.

3.1.1 Macchina in lavoro

La condizione di prova che vede l'analisi delle prestazioni durante la macchina in lavoro ha come scopo la simulazione del processo produttivo vero e proprio, ricreando nella maniera più fedele possibile le condizioni che si creeranno nello stabilimento del cliente in cui l'etichettatrice, e quindi la sua testata termica, dovranno operare.

Il Design of Experiment (DOE) adottato è stato il modello di Esperimento Fattoriale, il quale prevede di ottenere risultati per ogni combinazione di grandezze da valutare (Factors). Nelle tabelle che saranno riportate di seguito, saranno riportati i dati registrati combinando ogni valore di Temperatura, Pressione di Soffio e Velocità di produzione. Insieme con le grandezze, è stata inserita nel DOE anche la tipologia di testata, descritte in dettaglio nel capitolo precedente: ognuno dei tre modelli disponibili è stato testato nelle stesse condizioni, siccome queste saranno quelle utilizzate dall'acquirente per l'etichettatura.

In Tabella 1, mostrata sotto, sono riportati i dati registrati con il modello di testata standard, 200 °C come temperatura target, 5 bar come pressione del soffio e vari valori di velocità di produzione.

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
200	5	1300	201
200	5	1400	200
200	5	1500	202
200	5	1600	201
200	5	1700	203
200	5	1800	201

Tabella 2 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 200 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard

Si può vedere come i dati registrati, riportati nella colonna "Temp. Reale (°C)", sono statisticamente non affetti dai valori di velocità di produzione utilizzati. I valori di velocità sono stati scelti perché saranno quelli più adottati dal cliente. La "Temp. Reale (°C)" riportata nelle tabelle si riferisce alla temperatura misurata dalla termoresistenza nella camera della testata, mentre la "Temp. SET" rappresenta il valore di temperatura impostato sull'interfaccia della macchina, ovvero il valore che si vorrebbe ci fosse all'interno della testata.

Come previsto dal DOE, sono state provate nelle stesse condizioni anche gli altri due modelli di testata disponibili come opzionali nel catalogo dell'azienda. Di seguito, saranno riportati i dati registrati con la testata termica standard con un soffio modificata e della testata termica con il doppio soffio, rispettivamente in Tabella 2 e Tabella 3. Entrambe le tabelle sono relative alla combinazione di valori corrispondenti a 200 °C come temperatura target, 5 bar come pressione del soffio e le stesse velocità di produzione.

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
200	5	1300	201
200	5	1400	199
200	5	1500	202
200	5	1600	199
200	5	1700	201
200	5	1800	199

Tabella 3 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 200 °C, pressione del soffio 5 bar e testata modificata

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
200	5	1300	205
200	5	1400	202
200	5	1500	205
200	5	1600	202
200	5	1700	204
200	5	1800	201

Tabella 4 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 200 °C, pressione del soffio 5 bar e testata con doppio soffio

Il confronto fra le tre tabelle fa evincere alcuni valori di temperatura misurata mediamente più elevati per il modello di testata con due soffi rispetto agli alti due. Ciò può essere legato all'aleatorietà dell'intero processo di misura, in cui entra in gioco anche la condizione della testata prima dell'inserimento in macchina delle bottiglie: come si vedrà meglio nel paragrafo successivo, il controllo della temperatura fa si che l'andamento sia oscillatorio attorno alla temperatura target

impostata dall'operatore e durante l'inserimento delle bottiglie la testata era nella fase di aumento della temperatura. Complice l'inerzia termica del componente, si sono registrati valori mediamente più alti.

3.1.2 Interruzione momentanea di produzione

Un'interruzione momentanea di produzione si verifica quando cessa l'approvvigionamento di bottiglie nella linea, ma la macchina non viene spenta e la linea non viene fermata perché si ha l'intenzione di riprendere dopo un breve periodo di tempo di qualche minuto. In questa situazione la resistenza della testata termica continua a ricevere corrente e il controllo della macchina si adopera per mantenere la temperatura a quella target.

Si è visto che nei secondi appena successivi all'interruzione di produzione la temperatura in camera tende a salire perché il controllo si trova ad agire in una condizione in cui non ci sono bottiglie che entrano in camera a temperatura ambiente. Insieme all'azienda è stato deciso di fare delle misure specifiche per valutare fino a che valore aumenta la temperatura e si è stabilito, di conseguenza, un limite di sicurezza oltre il quale non andare. Se la temperatura salisse troppo, potrebbe inficiare sulla qualità delle capsule prodotte in caso di ripresa della produzione durante il picco.

Sono stati misurati quindi gli andamenti di temperatura nel tempo dopo un'interruzione momentanea di produzione per valutare a che valore si trova il picco di temperatura e dopo quanto tempo si verifica. Come prevede il DOE, anche a queste misurazioni è stato applicato un Esperimento Fattoriale, in cui sono stati misurati i profili per ogni combinazione di grandezze, che in questo caso riguardano solamente temperatura target e pressione del soffio e la tipologia di testata termica – la velocità di produzione non entra ovviamente in gioco perché neon ci sono bottiglie nella linea.

Nel Grafico 1 sottostante si può vedere l'andamento di temperatura dopo un'interruzione momentanea di produzione con temperatura target di 250°C, pressione del soffio di 5 bar e modello di testata standard.

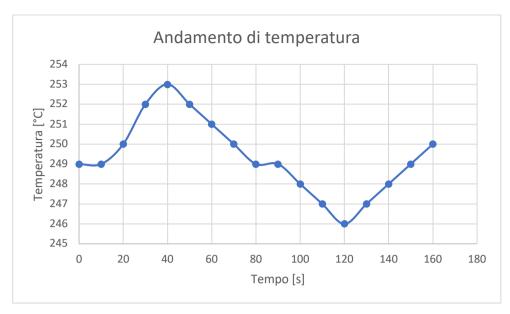
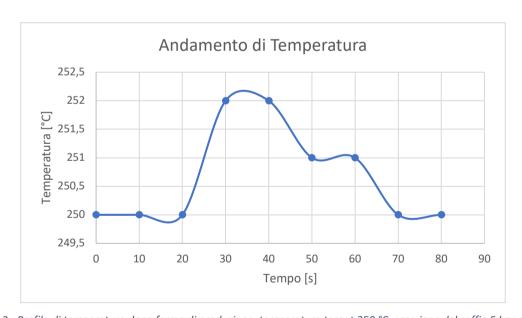


Grafico 1 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 250 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard

L'andamento della temperatura dopo un fermo di produzione momentaneo con temperatura target di 250 °C, 5 bar come pressione del soffio e modello di testata con un soffio modificata è riportato nel Grafico 2.



 $\textit{Grafico 2 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 250 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard modificata$

L'andamento della temperatura dopo un fermo di produzione momentaneo con temperatura target di 250 °C, 5 bar come pressione del soffio e modello di testata con il doppio soffio è riportato nel Grafico 3.

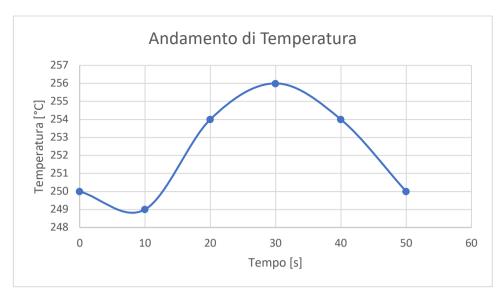


Grafico 3 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 250 °C, pressione del soffio 5 bar e testata con doppio soffio

In tuti i casi si può vedere chiaramente l'aumento di temperatura e il conseguente picco, con la repentina discesa dovuta al fatto che interviene il sistema di controllo della testata per abbassarla e riportarla alla temperatura target.

Insieme con progettisti e addetti al collaudo dell'azienda si è valutato come limite ragionevolmente accettabile quello di 5 °C oltre la temperatura target; si vede che solo in alcuni casi si eccede e la temperatura sale oltre.

3.1.3 Oscillazioni

Dopo un'interruzione di produzione, uno scenario possibile è quello in cui la macchina rimane accesa e la linea non viene fermata per più di qualche minuto. In questo caso si verifica il transitorio di aumento della temperatura, come visto nei grafici precedenti poi, una volta esaurito, il controllo agisce per mantenere la temperatura in camera al target impostato dall'operatore. La temperatura reale però oscilla nell'intorno del set ed è stato ritenuto necessario valutare l'andamento della temperatura nel tempo e l'ampiezza dell'oscillazione.

È stato dunque necessario valutare questa situazione per ogni valore di temperatura target, per ogni valore di pressione di soffio e modello di testata termica, in linea con il DOE di Esperimento Fattoriale in cui si registrano di dati di ogni combinazione di tutti i parametri di ingresso, sia che riguardino grandezze fisiche sia che riguardino configurazioni hardware. Come nel caso precedente, anche in questa situazione il paramento della velocità di produzione non entra in gioco perché, sebbene la linea sia attiva, non ci sono bottiglie da etichettare.

In Grafico 4, Grafico 5 e Grafico 6 sono riportati i dati registrati per le tre tipologie di testata, 250 °C come temperatura target, 4 bar di pressione del soffio e rispettivamente per testata standard, testata standard modificata e testata con doppio soffio.

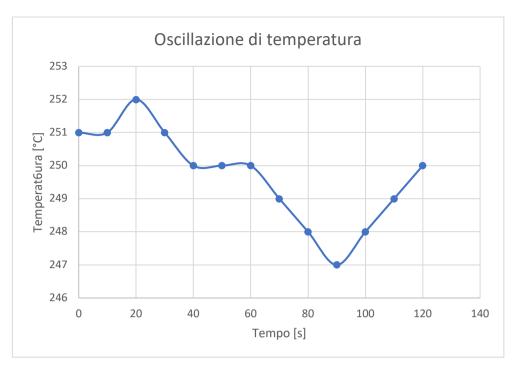


Grafico 4 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 250 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard

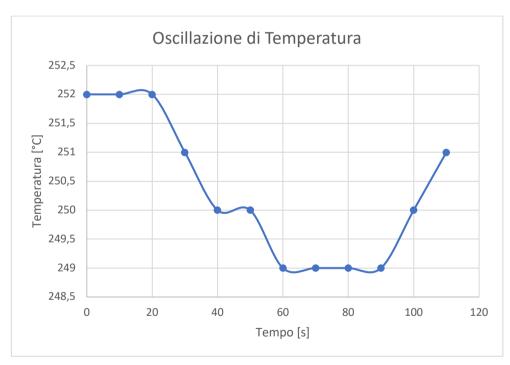


Grafico 5 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 250 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard modificata

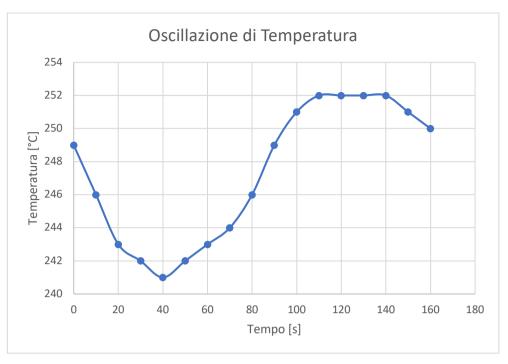


Grafico 6 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 250 °C, pressione del soffio 4 bar e testata con doppio soffio

Dai grafici si può evincere che le ampiezze delle oscillazioni sono piuttosto contenute e sono in alcuni casi eccedono i 5 °C al di sopra o al di sotto del target. In questi casi, l'inerzia termica della testata si oppone all'effetto di modulazione del controllo. Si può vedere anche che, in tutti i casi, il periodo di oscillazione non supera i 160 s, con minimi di circa 60 s.

Lo scopo di queste misure è misurare l'andamento della temperatura per valutare se questa sarà adeguata in caso di ripresa di produzione: è necessario poter produrre in qualunque momento senza attendere che aumenti, perché troppo bassa, o che diminuisca, perché troppo alta. Il cliente deve essere messo nelle condizioni di produrre in qualunque situazione e garantendo la migliore qualità del prodotto.

3.1.4 Transitori

L'aumento della temperatura da quella ambiente al target prima dell'inizio della produzione e la diminuzione una volta spenta la macchina sono momenti che non influenzano sulla capsulatura della bottiglia: nel primo caso, è necessario attendere che la temperatura salga fino al set impostato e nel secondo caso si spegne la macchina dopo un turno produttivo e di conseguenza sulla testata calda non agisce nessun controllo, perciò la temperatura in camera si abbasserà fino a quella dell'ambiente in cui si trova la macchina.

Non prendendo parte attiva alla produzione, questi transitori in cui la temperatura aumenta e diminuisce non saranno considerati al fine di valutare le prestazioni della testata. Siccome però sono momenti presenti ogni volta che è necessario produrre, sono stati registrati i profili per mostrare il comportamento della macchina in tutte le condizioni cui sarà sottoposta quando consegnata ed utilizzata dal cliente.

In linea con il DOE, sono stati misurati i profili di temperatura per ogni temperatura target e per ogni tipologia di testata. In questi momenti, la velocità di produzione e la pressione del soffio non sono parametri che influiscono sul processo perché, in tutti i casi, la linea è ferma, mentre la pressione del soffio influisce solo sull'aumento della temperatura.

Di seguito saranno riportati i profili di salita e discesa della temperatura per le tre tipologie di testate e per il valore di target di 250 °C. In Grafico 7 e Grafico 8 si riferiscono al modello di testata standard, il Grafico 9 e il Grafico 10 sono inerenti alla testata standard modificata e il Grafico 11 e Grafico 12 sono relativi alla testata con doppio soffio.

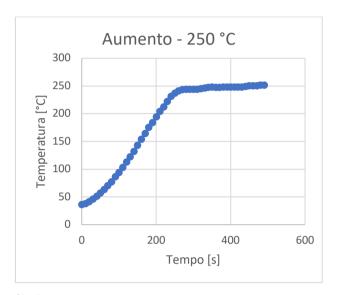


Grafico 7 - Profilo di temperatura in aumento, temperatura target 250 °C e testata standard

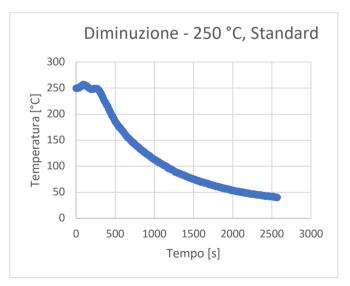


Grafico 8 - Profilo di temperatura in diminuzione, temperatura target 250 $^{\circ}$ C e testata standard

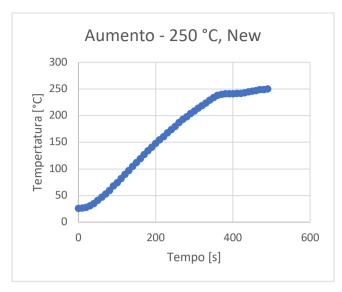


Grafico 9 - Profilo di temperatura in aumento, temperatura target 250 °C e testata standard modificata

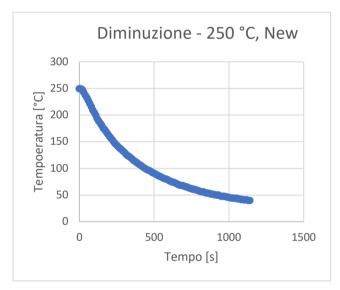


Grafico 10 - Profilo di temperatura in diminuzione, temperatura target 250 °C e testata standard modificata

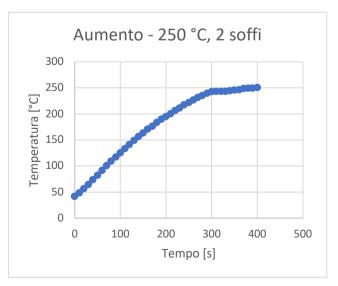


Grafico 11 - Profilo di temperatura in aumento, temperatura target 250 °C e testata con doppio soffio

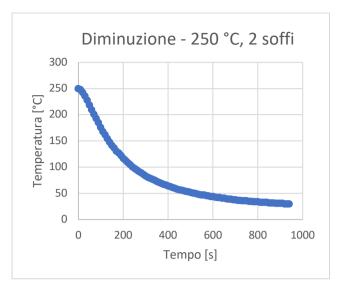


Grafico 12 - Profilo di temperatura in diminuzione, temperatura target 250 °C e testata con doppio soffio

Dai grafici si può immediatamente vedere come le fasi iniziali aumento sono, come ci si può aspettare, molto più rapide rispetto alle fasi di diminuzione, in cui non è presente alcun controllo ed è presente il solo scambio termico tra la testata e l'ambiente in cui si trova. Questo comportamento si può vedere per ogni tipo di testata e temperatura target.

Si può vedere anche che il tempo necessario al raffreddamento della testata standard è molto maggiore rispetto al tempo registrato per le altre due tipologie. La differenza è dovuta alla presenza della piastra inferiore la quale, sebbene riduca la luce visibile del foro nella parte inferiore, permette che una maggiore quantità di calore sia scambiata attraverso questa, perciò, si avrà una diminuzione di temperatura più rapida.

In generale, sono necessari circa 7 minuti perché la testata sia alla temperatura corretta per iniziare a produrre e devono trascorrere circa 25 minuti perché il raffreddamento sia completo e la temperatura in camera sia quella ambiente.

3.2 Metodi di analisi

L'ipotesi di base del metodo di analisi dei dati è legata al fatto che è stata posta gran cura per evitare errori sistematici e accidentali di grande entità, in modo che rimangano solo gli errori accidentali di piccola entità. Di conseguenza la dispersione dei risultati è legata all'effetto congiunto di numerose piccole cause aleatorie che possono spostare i risultati verso valori maggiori o minori.

Il metodo adottato perciò prevede di calcolare indice di posizione e l'indice di dispersione sui valori di temperatura misurati per ogni combinazione di temperatura e pressione di soffio con la macchina in lavoro, riportati nella sezione precedente.

Il calcolo di media e deviazione standard sono stati poi applicati per ottenere la curva di distribuzione normale. Con l'uso del foglio di calcolo è stato possibile ottenere una curva continua utilizzando l'equazione di densità di probabilità:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

dove x è il valore il valore di temperatura in ingresso, μ è il valore medio e σ è la deviazione standard del set di dati riportati in Tabella 1, in Tabella 2, in Tabella 3.

Per quanto riguarda i dati derivanti dai fermi di produzione e alle oscillazioni attorno alla temperatura target è stata calcolata la retta di regressione lineare dei risultati in cui la variabile dipendente è la temperatura e la variabile indipendente è il tempo. La retta ha lo scopo di mostrare in maniera chiara la tendenza di aumento della temperatura dopo il fermo momentaneo di produzione. Il foglio di calcolo ha permesso di tracciare la retta di regressione calcolando il coefficiente angolare a e il termine noto b con il metodo dei minimi quadrati:

$$y = ax + b$$

dove x è in questo caso è il tempo, la variabile indipendente su cui sono stati misurati gli andamenti di temperatura.

Per verificare la bontà del modello è utile usare il residuo come indicatore; questo, infatti, da un'indicazione sulla presenza di un eventuale fattore sistematico: nel caso in cui sia presente nei residui un contenuto di "regolarità" allora è presente un fattore sistematico che influenza i dati; se, al contrario, si nota nei residui un andamento aleatorio allora non sono presenti fattori sistematici, ma solo effetti accidentali.

I grafici di aumento e diminuzione della temperatura misurati per ogni tipologia di testata e per ogni valore di temperatura target sono stati sopra riportati come indicazione di comportamento della macchina: non fanno parte dell'esperimento principale, ma sono stati misurati come pura caratterizzazione del componente ad inizio e fine di produzione.

3.3 Risultati dell'analisi dei dati

In questo capitolo verranno riportati i risultati dell'analisi dei dati con i metodi sopra descritti. Si evidenzieranno inoltre le osservazioni fatte a seguito dell'elaborazione nel capitolo dedicato alle Discussioni.

3.3.1 Macchina in lavoro

L'analisi dei dati derivanti dalle prove di macchina in lavoro ha avuto lo scopo di verificare se è possibile individuare un intervallo di valori tra i quali attendersi la temperatura durante la normale produzione. Per questo motivo, l'indice di posizione e l'indice di dispersione, in questo caso media e varianza, sono stati calcolati per ogni combinazione di variabili riportata nelle tabelle nel capitolo precedente e in Appendice.

Con media e varianza, è stato possibile tracciare il grafico della distribuzione di probabilità normale legata a ogni specifico set di dati.

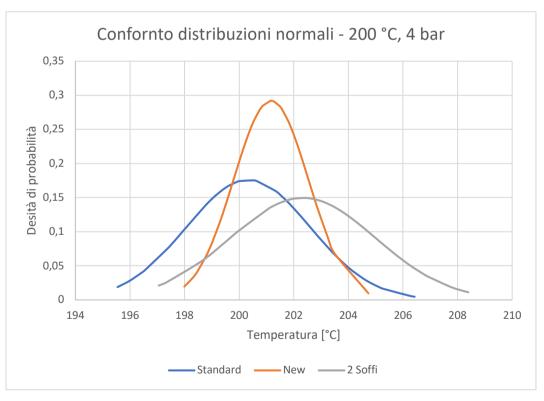


Grafico 13 - Confronto andamenti delle curve di densità di probabilità, temperatura target 200 °C e pressione 5 bar

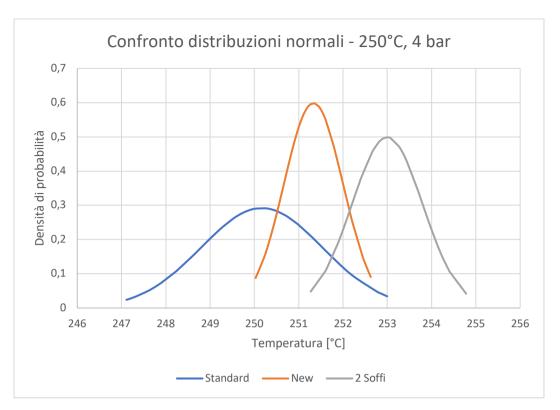


Grafico 14 - Confronto andamenti delle curve di densità di probabilità, temperatura target 250 °C e pressione 5 bar

Nei grafici sono state riportate le curve a campana derivanti dalla densità di probabilità normale calcolate per i tre modelli di testata a parità di temperatura target, 200 °C in Grafico 13 e 250 °C in Grafico 14, e pressione del soffio, 4 bar. Questi grafici mostrano che per ogni set di temperatura target e pressione del soffio, il valore medio calcolato per ogni set di dati riportati nelle tabelle in Appendice aumenta con la complessità del componente: la testata standard mostra medie più basse, mentre la testata a due soffi mostra le medie più alte. Questo comportamento è legato alla flangia aggiuntiva montata nella parte inferiore: questa fa si che sul fondo della camera calda si crei una minore luce, perciò, permette il passaggio di meno aria fredda in ogni condizione di lavoro. Nella testata standard, priva di flangia, è in grado di entrare più aria foro nella parte inferiore tra il perno centrale e la parte interna della camera.

Si può vedere anche l'effetto della deviazione standard sull'apertura delle campane: le curve relative alla testata standard presentano deviazioni standard più alte rispetto alle altre due. La conseguenza di ciò è legata al fatto che, in fase di lavoro, ci si aspetterà una temperatura nella testata più variabile attorno alla temperatura target.

In tutti i casi si vede che, come era prevedibile, nessun valore medio coincide con il valore di temperatura impostato in macchina: in tutti i casi, infatti, la media è maggiore del valore di set, dunque, il sistema di controllo non si è tarato bene.

3.3.2 Fermi momentanei di produzione

In questo paragrafo verranno presentati i risultati dell'analisi dei dati registrati dopo un fermo momentaneo di produzione.

Come già descritto, tale tipo di misure è stato messo in atto in accordo con l'azienda per evidenziare una problematica specifica, legata al controllo della temperatura nei secondi appena successivi a un fermo produttivo. È necessario, infatti, che la macchina sia pronta per la produzione in qualsiasi momento quando si troverà ad operare dal cliente.

Nel Grafico 15 è stato riportato l'andamento di temperatura che si riferisce alla testata standard con temperatura standard di 250 °C in cui è stato misurato un andamento ideale della temperatura dopo un fermo momentaneo di produzione.

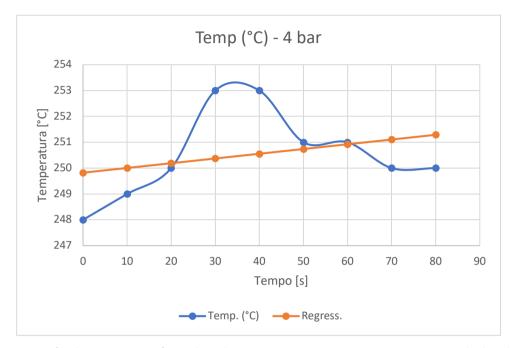


Grafico 15 - Profilo di temperatura in fermo di produzione, temperatura target 250 °C e testata standard modificata

In questo caso, si può vedere un aumento di qualche grado oltre la temperatura target e successivamente dopo il sistema di controllo agisce per riportare la temperatura al corretto valore.

Nei grafici seguenti verranno mostrati i casi in cui la temperatura massima raggiunta nel picco supera di 5 °C il target. Questo tipo di comportamento è da evitare perché, in caso di ripresa della produzione durante il picco, alcune capsule potrebbero essere esposte a temperature troppo elevate e non in linea con quella impostata nel computer della macchina. In questi casi, l'inerzia termica dal componente è predominante sull'effetto del controllo, perciò, sono necessari mediamente 60 secondi prima che la temperatura torni sotto controllo e appropriata per la produzione.

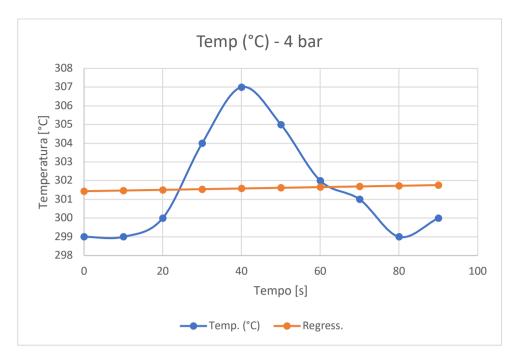


Grafico 16 - Profilo di temperatura in fermo di produzione, temperatura target 300 °C e testata standard modificata

Il Grafico 16 si riferisce al modello di testata standard modificata, mentre il Grafico 17 mostrato in basso riguarda la testata con due soffi.

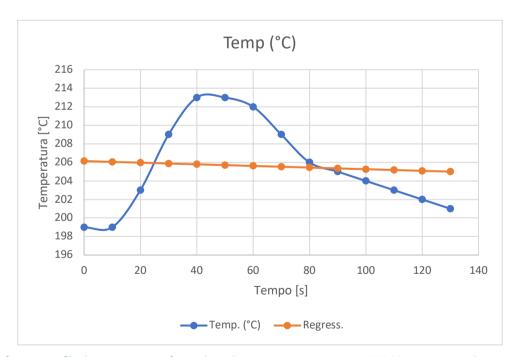


Grafico 17 - Profilo di temperatura in fermo di produzione, temperatura target 200 °C e testata con doppio soffio

Il limite di 5°C oltre la temperatura target è stato scelto perché è necessario che la testata sia pronta a produrre in ogni condizione, perciò, la temperatura impostata dall'operatore deve essere mantenuta in ogni momento durante tutte le situazioni che si presenteranno durante la capsulatura e l'etichettatura delle bottiglie.

Per completezza di analisi, sono stati calcolati anche i residui legati alle rette di regressione precedentemente mostrate insieme con i profili di riferimento nel Grafico 18, Grafico 19 e Grafico 20. Come si può vedere dai grafici riportati però, in questo l'andamento del residuo è lo stesso dell'andamento della temperatura; questo accade perché la retta di regressione non si riferisce a una nube di punti, bensì è stata applicata come strumento identificativo della tendenza dell'andamento della temperatura.



Grafico 18 - Andamento del residuo per la retta di regressione in Grafico 15, temperatura target 250 °C e testata standard modificata

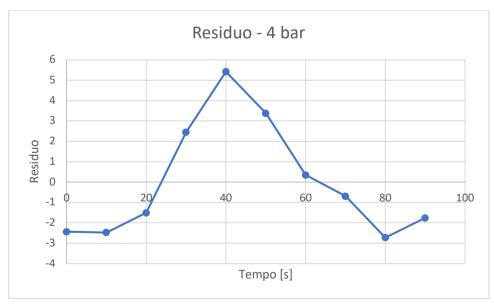


Grafico 19 - Andamento del residuo per la retta di regressione in Grafico 16, temperatura target 300 °C e testata standard modificata



Grafico 20 - Andamento del residuo per la retta di regressione in Grafico 15, temperatura target 200 °C e testata con doppio soffio

3.3.3 Oscillazioni

L'analisi dei dati rilevati avviene misurando l'andamento di temperatura nel tempo in cui la macchina è in funzione, ma non ci sono bottiglie sulla linea. In questo caso la testata viene mantenuta calda dal sistema di controllo nell'intorno della temperatura target. Lo scopo è perciò valutare ampiezza e periodo delle oscillazioni, per verificare che il sistema di controllo PID sia in grado di mantenere in questi momenti la temperatura imposta sull'interfaccia della macchina. È necessario che in ogni momento la temperatura della testata sia quella impostata dall'operatore perché possa garantire la produzione.

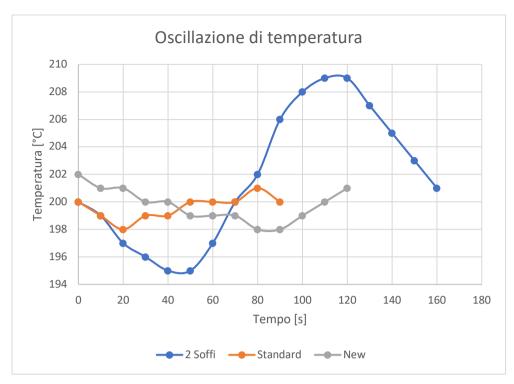


Grafico 21 - Confronto andamenti di temperatura in oscillazione, temperatura target 200 °C

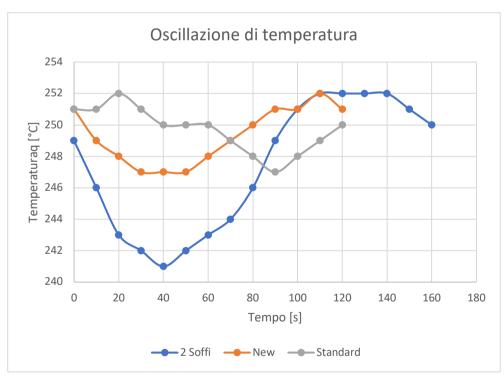


Grafico 22 -Confronto andamenti di temperatura in oscillazione, temperatura target 250 °C

I grafici mostrati sopra riportano il confronto tra gli andamenti di temperatura delle tre tipologie di testata nelle due condizioni di temperatura target ottimali, 200 °C in Grafico 21 e 250 °C nel Grafico 22. Dalla loro osservazione si può subito evincere che la testata con due soffi non solo ha un periodo di oscillazione più lungo rispetto alle altre due, ma presenta minimi e massimi maggiori in valore assoluto, e di conseguenza escursioni maggiori alte al set scelto. Questo comportamento non è utile

ai fini produttivi per via dell'elevata volatilità del valore di temperatura: nel caso la capsulatura iniziasse in un minimo o in un massimo, potrebbe inficiare sulla qualità del prodotto finito.

Si fa notare che le curve riportate nei grafici si riferiscono a un periodo di oscillazione, in cui l'andamento della temperatura è di tipo sinusoidale, ma i periodi di oscillazione sono diversi. È stato scelto di riportare le curve così come sono state misurate per evidenziare le differenze sul valore del periodo di oscillazione.

4. Discussione

Le considerazioni empiriche che si possono fare a seguito delle prove di misura riguardano le osservazioni della qualità del prodotto finito e del comportamento generale della testata.

È stato osservato che se si utilizza come temperatura target 150°C la capsula non sarà di qualità accettabile perché non perfettamente ristretta, come si può vedere in Foto 1 e Foto 2. In questo caso viene appiattita male durante la fase successiva di lisciatura della capsula. Nelle foto sottostanti si può vedere la pessima qualità della capsula dovuta a un mancato completamento del restringimento.







Foto 2 - Capsula termoretratta per poco calore ricevuto

È stato visto che utilizzando le temperature target di 200°C e di 250°C si ottiene in output una capsula di ottima qualità, adatta per l'etichettatura delle bottiglie in funzionamento normale. Di seguito sono riportate le foto delle capsule in uscita dalla macchina con 200 °C di temperatura target, Foto 3, e 250 °c di temperatura target, Foto 4. In queste situazioni, la chiusura della capsula è stata completata perfettamente, perciò dopo la rollatura sarà della qualità sufficiente per essere messa sul mercato. Nelle foto sottostanti è mostrata una capsula perfettamente chiusa.







Foto 4 - Capsula perfettamente chiusa

Al contrario, se la temperatura target è 300°C la capsula riceverà troppo calore e di conseguenza il materiale si sfalderà formando buchi ben visibili in cui si nota che i contorni sono bruciati; ciò non è ovviamente accettabile ai fini della qualità finale del prodotto. In Foto 4 si può vedere un esempio di una bruciatura in cui il PVC che compone la capsula si è deteriorato per la temperatura troppo elevata durante la termoretrattura.



Foto 5 - Esempio di bruciatura sulla capsula per troppo calore ricevuto

Di conseguenza, le temperature al di sotto dei 200°C e al di sopra dei 250°C non sono consigliate per la produzione ordinaria perché restituiscono un prodotto di qualità non accettabile per gli standard imposti dall'azienda e dal mercato.

Temp. Set (°C)	Qualità
150	Scarsa
200	Buona
250	Ottima
300	Pessima

Tabella 5 - Qualità della capsula per ogni temperatura target utilizzata

Durante tutte le misure che hanno coinvolto la macchina in lavoro, è stato utilizzato un ampia forbice di velocità di produzione per testare il componente. È stato osservato che per ogni velocità scelta, la qualità della capsula in uscita con temperature target di 150 °C e 300 °C è stata in ogni caso pessima, e perciò non adatta alla vendita della bottiglia. Per temperature comprese tra i 200 °C e 250 °C è stato inoltre osservato che la velocità di produzione non ha influito sulla qualità del finito: in tutti i casi è stata ottenuta in uscita una capsula perfettamente sigillata contro il collo della bottiglia senza pieghe o bruciature.

5. Conclusioni

Il settore delle macchine etichettatrici per bottiglie di vino vede una vastissima diversificazione dei prodotti: ogni costruttore, infatti, mette al primo posto l'attenzione per le esigenze specifiche dei suoi clienti e per questo motivo tutte le tipologie di macchine disponibili sul mercato prevedono soluzioni diverse per lo stesso problema: l'etichettatura della bottiglia della migliore qualità possibile. L'etichetta e la capsula sulla bottiglia di vino sono il punto focale della bottiglia quando si trova nelle mani del cliente, perciò, non solo il loro design deve essere in grado di contraddistinguersi dalle altre, ma devono anche essere perfettamente applicate e chiuse per indurre il cliente all'acquisto di un prodotto di altissima qualità.

GAI MACCHINE IMBOTTIGLIATRICE SPA è un'azienda che fa della qualità e dell'attenzione al cliente due punti cardine della progettazione e della costruzione delle macchine.

Per questa tesi, sono stati svolti esperimenti specifici per evidenziare le criticità della testata termica per termotrattare capsule montata su una macchina etichettatrice per bottiglie di vino e garantire la massima qualità possibile del prodotto finito, in linea con gli elevati standard di qualità dell'azienda.

Per questo motivo i metodi di test messi in atto sono stati sviluppati per simulare in maniera più vicina possibile le condizioni che la testata, e quindi l'intera macchina, si troveranno ad operare una volta consegnata ed utilizzata dal cliente nel suo sito produttivo. Le capsule, infatti, fanno parte, come l'etichetta, dell'esperienza visiva della bottiglia ed è necessario intervenire sulle criticità che coinvolgono la testata termica per assicurarsi la massima qualità del prodotto finito.

I dati registrati e la loro analisi, mostrati nel capitolo loro dedicato e riportati per intero in Appendice, hanno mostrato che le differenze fra le tre tipologie di testata sono modeste, ma le prestazioni della testata standard con 1 soffio modificata sono le migliori. Questa, infatti, garantisce il miglior controllo sulla temperatura nella camera se scelta dall'operatore tra 200 °C e 250 °c per la produzione e perciò migliore qualità del prodotto finito. Nello specifico, la piastra inferiore aggiuntiva rispetto al modello standard, garantisce un minor ingresso di aria a minore temperatura e dunque sarà necessario che la resistenza eroghi meno calore, rendendola più facile da controllare. Nell'ottica del miglioramento del controllo sulla temperatura in camera, è necessario dunque intervenire sul maggiore isolamento della camera stessa dall'ingresso di carica fredda dall'ambiente esterno.

Inoltre, i risultati dell'analisi dei dati hanno mostrato che l'introduzione del secondo soffio, realizzato sulla bronzina che permette lo scorrimento del cilindro scorrevole che preme la capsula, non introduce miglioramenti significativi rispetto al modello con 1 solo soffio; in alcuni casi sono state registrate prestazioni addirittura inferiori.

Appendice

In questa sezione saranno riportati i dati registrati durante le procedure di prova. Macchina in lavoro:

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
150	4	1300	151
150	4	1400	151
150	4	1500	149
150	4	1600	150
150	4	1700	149
150	4	1800	150

Tabella 6 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 150 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
150	5	1300	149
150	5	1400	150
150	5	1500	150
150	5	1600	149
150	5	1700	149
150	5	1800	151

Tabella 7 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 150 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
200	4	1300	198
200	4	1400	201
200	4	1500	200
200	4	1600	201
200	4	1700	201
200	4	1800	202

Tabella 8 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 200 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
250	4	1300	248
250	4	1400	251
250	4	1500	251
250	4	1600	250
250	4	1700	251
250	4	1800	250

Tabella 9 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 250 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
250	5	1300	251
250	5	1400	252
250	5	1500	251
250	5	1600	252
250	5	1700	252
250	5	1800	250

Tabella 10 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 250 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
300	4	1300	299
300	4	1400	301
300	4	1500	300
300	4	1600	303
300	4	1700	300
300	4	1800	301

Tabella 11 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 300 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
300	5	1300	302
300	5	1400	301
300	5	1500	301
300	5	1600	302
300	5	1700	301
300	5	1800	300

Tabella 12 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 300 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
150	4	1300	148
150	4	1400	147
150	4	1500	151
150	4	1600	149
150	4	1700	150
150	4	1800	150

Tabella 13 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 150 °C, pressione del soffio 4 bar e testata modificata

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
150	5	1300	149
150	5	1400	151
150	5	1500	149
150	5	1600	150
150	5	1700	150
150	5	1800	149

Tabella 14 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 150 °C, pressione del soffio 5 bar e testata modificata

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
200	4	1300	203
200	4	1400	201
200	4	1500	202
200	4	1600	200
200	4	1700	201
200	4	1800	200

Tabella 15 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 200 °C, pressione del soffio 4 bar e testata modificata

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
250	4	1300	252
250	4	1400	252
250	4	1500	251
250	4	1600	252
250	4	1700	251
250	4	1800	250

Tabella 16 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 250 °C, pressione del soffio 4 bar e testata modificata

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
250	5	1300	249
250	5	1400	250
250	5	1500	249
250	5	1600	250
250	5	1700	251
250	5	1800	251

Tabella 17 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 250 °C, pressione del soffio 5 bar e testata modificata

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
300	4	1300	303
300	4	1400	301
300	4	1500	301
300	4	1600	303
300	4	1700	302
300	4	1800	302

Tabella 18 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 300 °C, pressione del soffio 4 bar e testata modificata

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
300	5	1300	301
300	5	1400	302
300	5	1500	301
300	5	1600	302
300	5	1700	299
300	5	1800	301

Tabella 19 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 300 °C, pressione del soffio 5 bar e testata modificata

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
150	4	1300	151
150	4	1400	153
150	4	1500	151
150	4	1600	151
150	4	1700	153
150	4	1800	152

Tabella 20 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 150 °C, pressione del soffio 4 bar e testata con doppio soffio

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
150	5	1300	150
150	5	1400	152
150	5	1500	154
150	5	1600	151
150	5	1700	153
150	5	1800	152

Tabella 21 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 150 °C, pressione del soffio 5 bar e testata con doppio soffio

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
200	4	1300	203
200	4	1400	201
200	4	1500	204
200	4	1600	202
200	4	1700	204
200	4	1800	200

Tabella 22 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 200 °C, pressione del soffio 4 bar e testata con doppio soffio

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
250	4	1300	252
250	4	1400	254
250	4	1500	253
250	4	1600	254
250	4	1700	252
250	4	1800	253

Tabella 23 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 250 °C, pressione del soffio 4 bar e testata con doppio soffio

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
250	5	1300	253
250	5	1400	252
250	5	1500	251
250	5	1600	252
250	5	1700	252
250	5	1800	253

Tabella 24 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 250 °C, pressione del soffio 5 bar e testata con doppio soffio

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
300	4	1300	305
300	4	1400	302
300	4	1500	304
300	4	1600	303
300	4	1700	304
300	4	1800	305

Tabella 25 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 300 °C, pressione del soffio 4 bar e testata con doppio soffio

Temp SET (°C)	Press. soffio (bar)	Bott/h	Temp. Reale (°C)
300	5	1300	302
300	5	1400	303
300	5	1500	303
300	5	1600	302
300	5	1700	304
300	5	1800	303

Tabella 26 - Dati registrati con macchina in lavoro con temperatura target 300 °C, pressione del soffio 5 bar e testata con doppio soffio

Andamento di temperatura a seguito di un fermo di produzione:

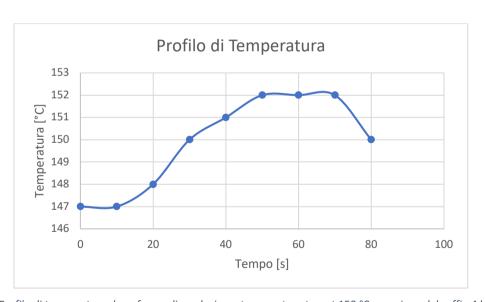


Grafico 23 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 150 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard

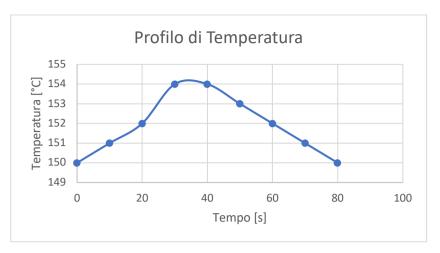


Grafico 24 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 150 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard

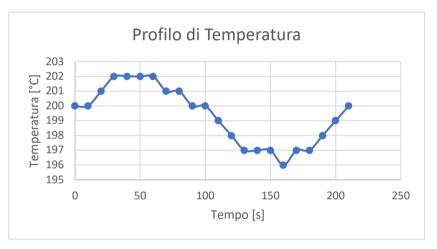


Grafico 25 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 250 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard

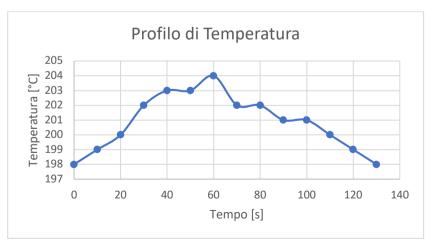


Grafico 26 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 200 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard

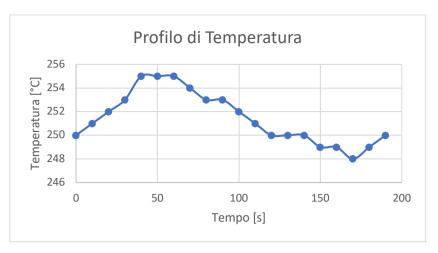


Grafico 27 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 250 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard

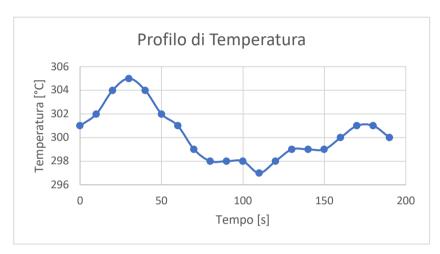


Grafico 28 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 300 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard

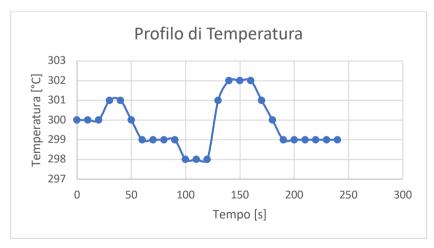


Grafico 29 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 300 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard

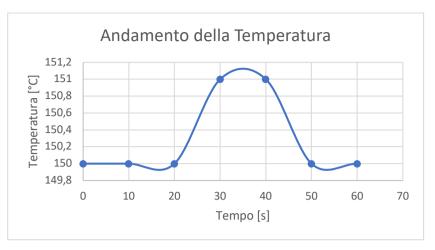


Grafico 30 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 150 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard modificata

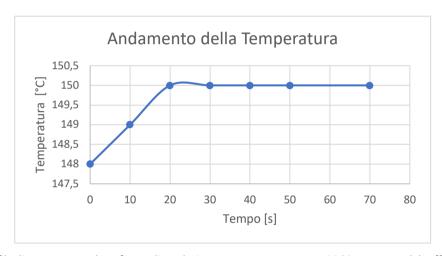


Grafico 31 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 150 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard modificata

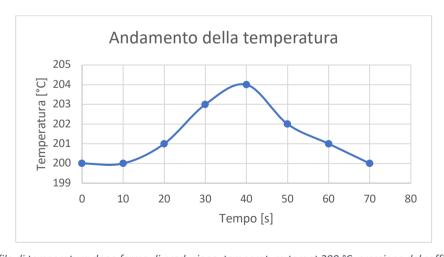


Grafico 32 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 200 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard modificata

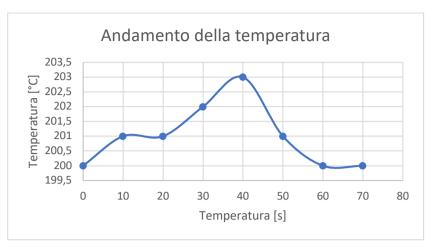


Grafico 33 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 200 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard modificata

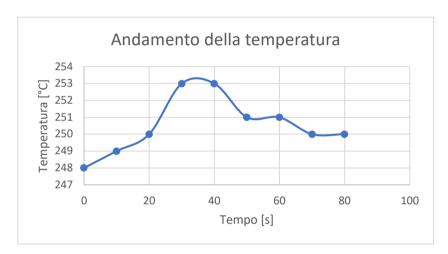


Grafico 34 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 250 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard modificata

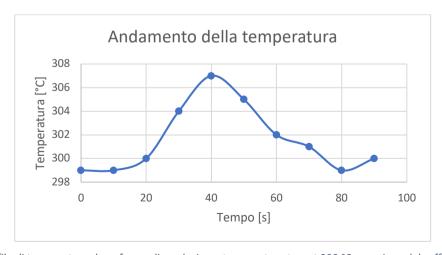


Grafico 35 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 300 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard modificata

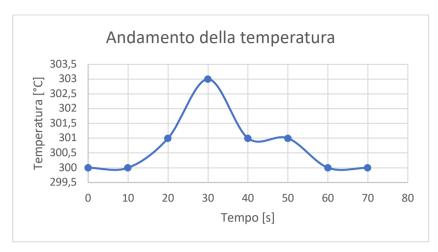


Grafico 36 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 300 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard modificata

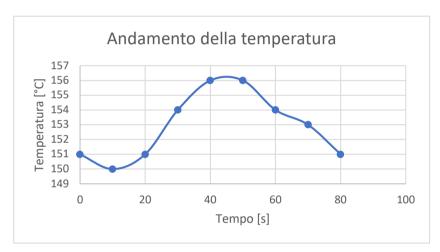


Grafico 37 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 150 °C, pressione del soffio 4 bar e testata con doppio soffio

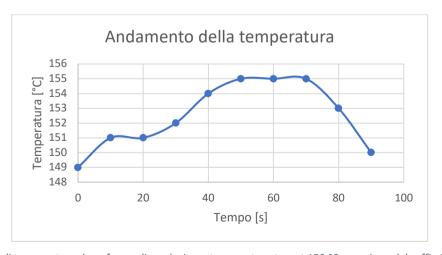


Grafico 38 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 150 °C, pressione del soffio 5 bar e testata con doppio soffio

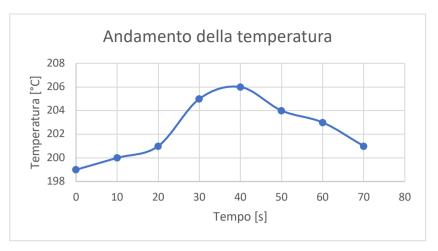


Grafico 39 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 200 °C, pressione del soffio 4 bar e testata con doppio soffio

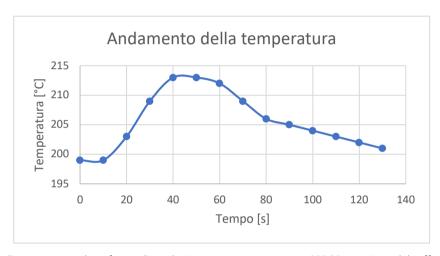


Grafico 40 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 200 °C, pressione del soffio 5 bar e testata con doppio soffio

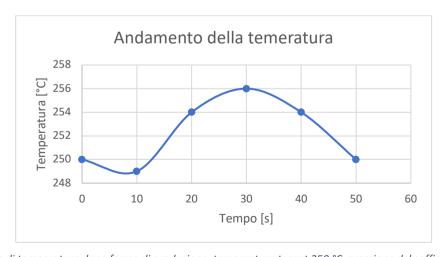


Grafico 41 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 250 °C, pressione del soffio 4 bar e testata con doppio soffio

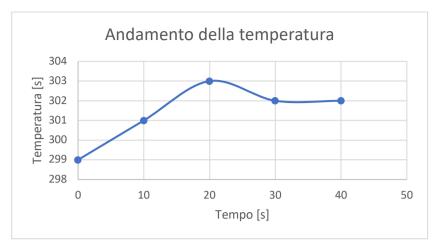


Grafico 42 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target 300 °C, pressione del soffio 4 bar e testata con doppio soffio

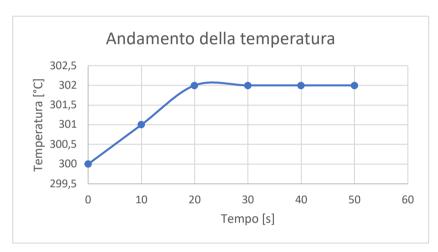


Grafico 43 - Profilo di temperatura dopo fermo di produzione, temperatura target300 °C, pressione del soffio 5 bar e testata con doppio soffio

Andamento oscillatorio della temperatura a transitorio dovuto a fermo di produzione esaurito

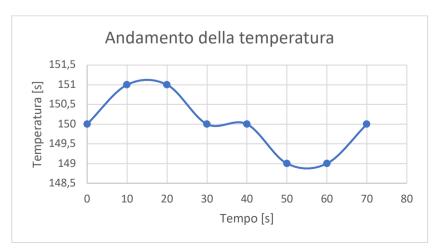


Grafico 44 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 150 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard

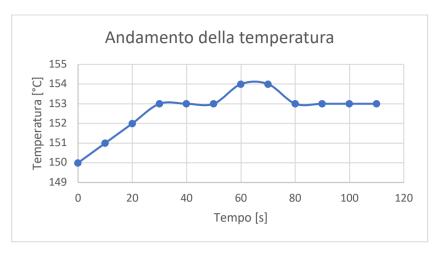


Grafico 45 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 150 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standar

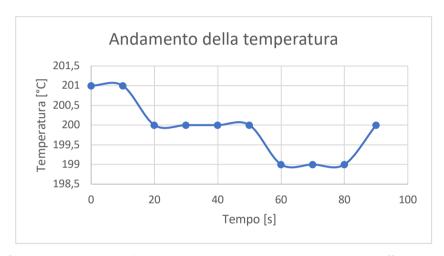


Grafico 46 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 200 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standar

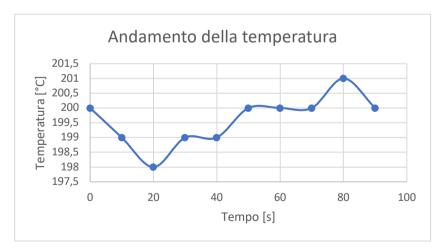


Grafico 47 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 200 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard

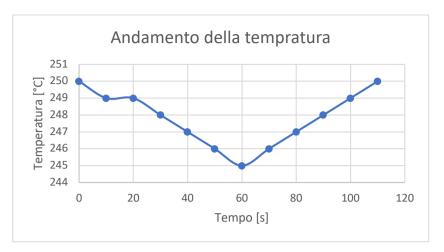


Grafico 48 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 250 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard

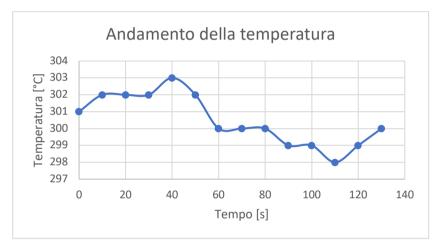


Grafico 49 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 300 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard

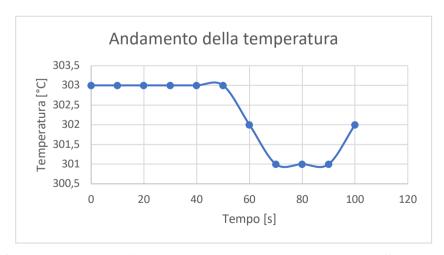


Grafico 50 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 300 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard modificata

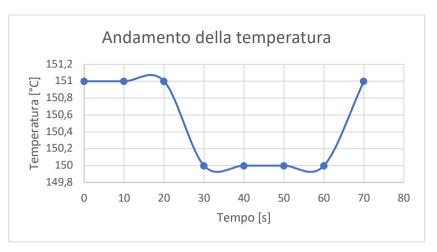


Grafico 51 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 150 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard modificata

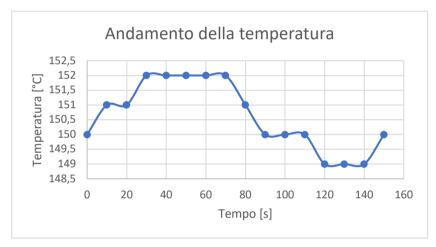


Grafico 52 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 150 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard modificata

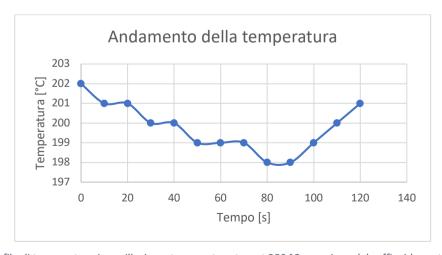


Grafico 53 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 250 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard modificata

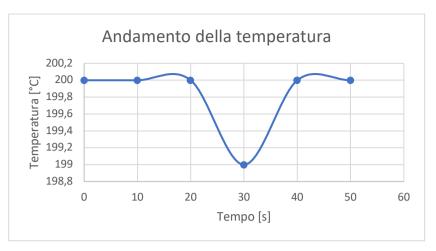


Grafico 54 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 200 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard modificata

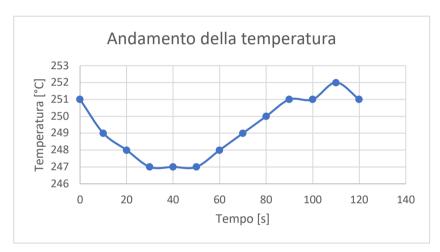


Grafico 55 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 250 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard modificata

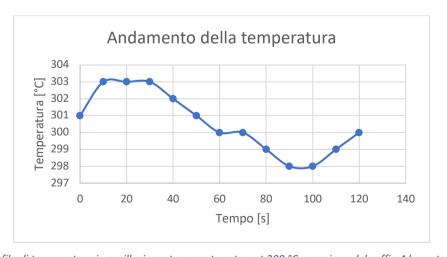


Grafico 56 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 300 °C, pressione del soffio 4 bar e testata standard modificata



Grafico 57 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 300 °C, pressione del soffio 5 bar e testata standard modificata

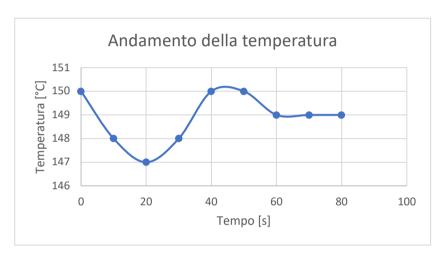


Grafico 58 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 150 °C, pressione del soffio 4 bar e testata con doppio soffio

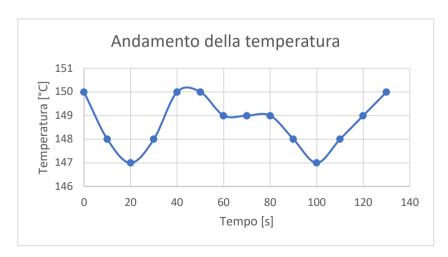


Grafico 59 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 150 °C, pressione del soffio 5 bar e testata con doppio soffio

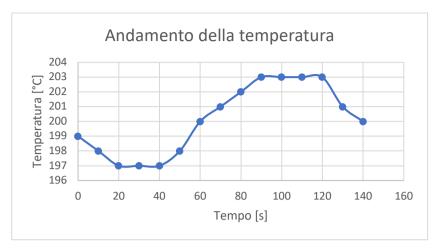


Grafico 60 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 200 °C, pressione del soffio 4 bar e testata con doppio soffio

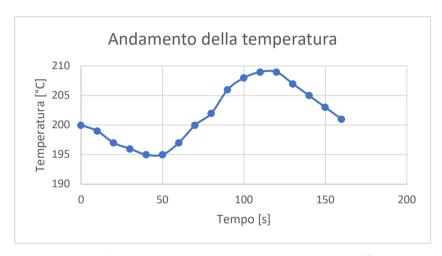


Grafico 61 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 200 °C, pressione del soffio 5 bar e testata con doppio soffio

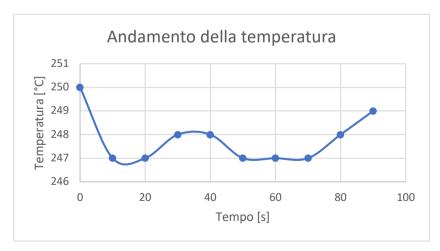


Grafico 62 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 250 °C, pressione del soffio 5 bar e testata con doppio soffio

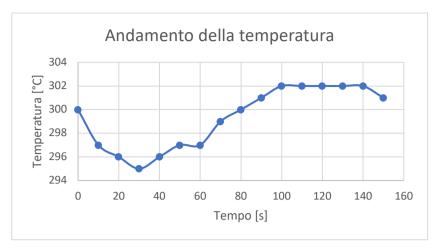


Grafico 63 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 300 °C, pressione del soffio 4 bar e testata con doppio soffio

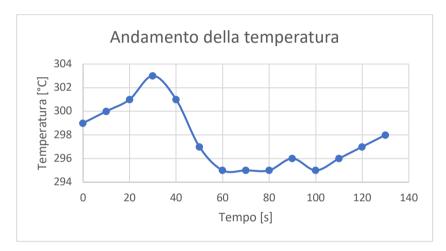


Grafico 64 - Profilo di temperatura in oscillazione, temperatura target 300 °C, pressione del soffio 5 bar e testata con doppio soffio

Aumento di temperatura prima dell'inizio della produzione e diminuzione di temperatura dopo fermo di produzione e spegnimento della macchina:

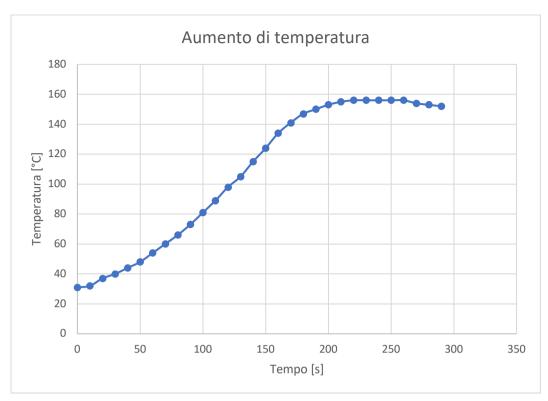


Grafico 65 - Profilo di temperatura in aumento, temperatura target 150 °C e testata standard

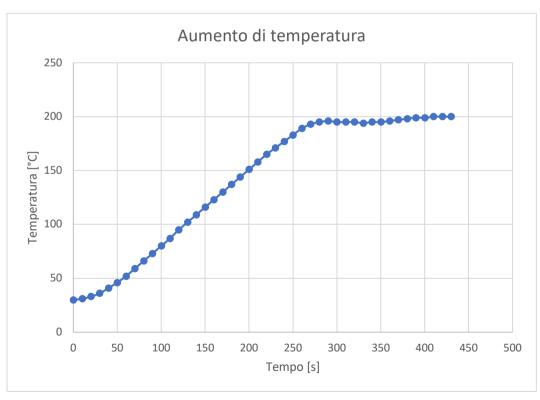


Grafico 66 - Profilo di temperatura in aumento, temperatura target 200 °C e testata standard

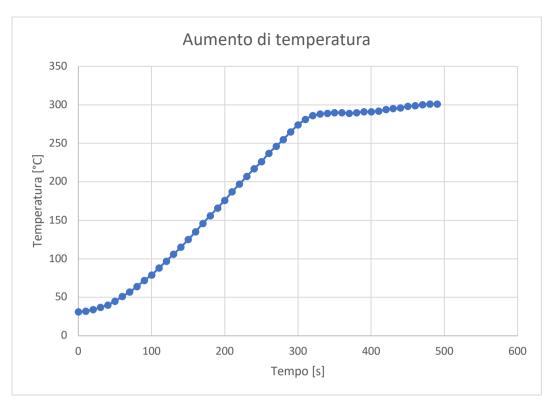


Grafico 67 - Profilo di temperatura in aumento, temperatura target 300 °C e testata standard

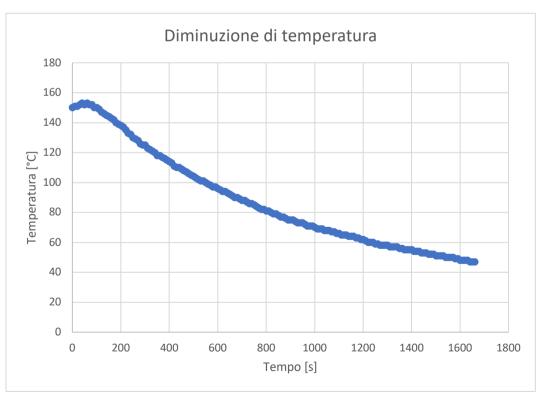


Grafico 68 - Profilo di temperatura in diminuzione, temperatura target 150 °C e testata standard

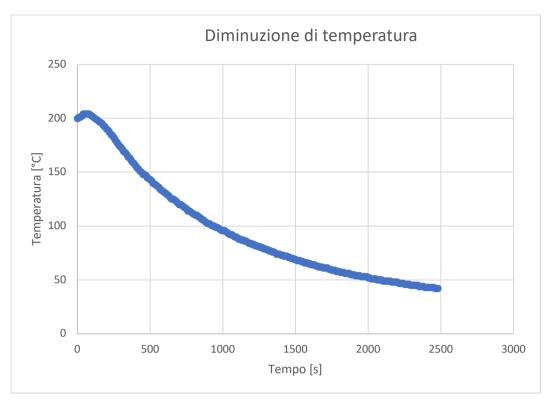


Grafico 69 - Profilo di temperatura in diminuzione, temperatura target 200 °C e testata standard

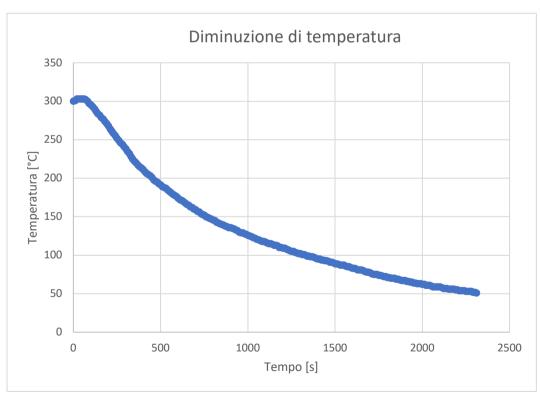


Grafico 70 - Profilo di temperatura in diminuzione, temperatura target 300 °C e testata standard

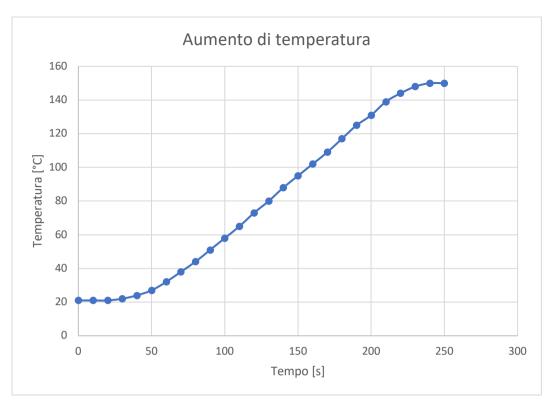


Grafico 71 - Profilo di temperatura in aumento, temperatura target 150 °C e testata standard modificata

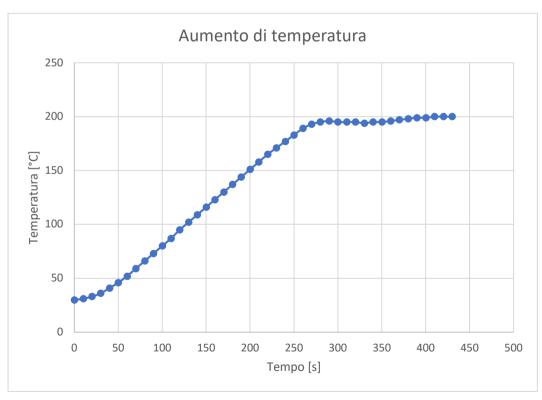


Grafico 72 - Profilo di temperatura in aumento, temperatura target 200 °C e testata standard modificata

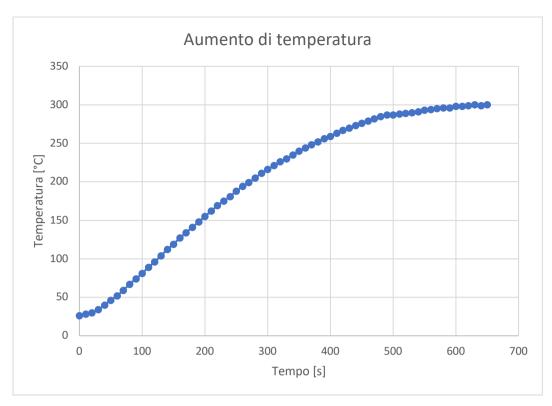


Grafico 73 - Profilo di temperatura in aumento, temperatura target 300 °C e testata standard modificata

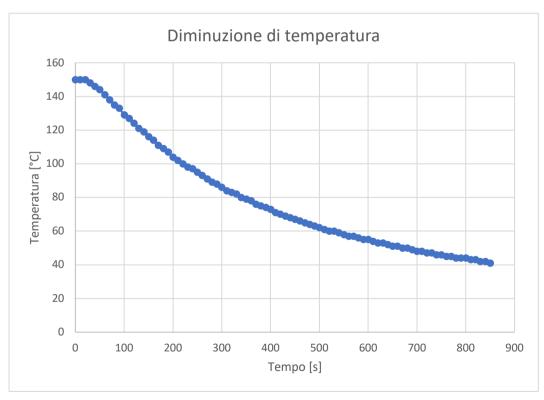


Grafico 74 - Profilo di temperatura in diminuzione, temperatura target 150 °C e testata standard modificata

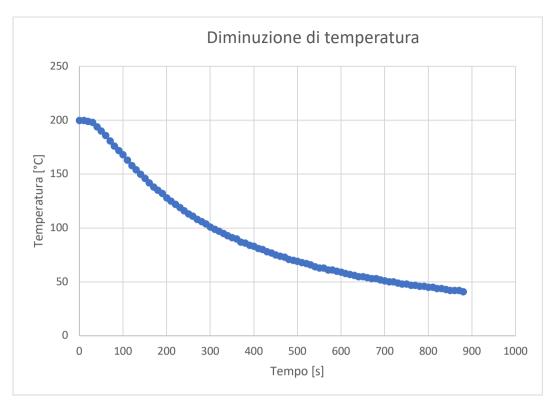


Grafico 75 - Profilo di temperatura in diminuzione, temperatura target 200 °C e testata standard modificata

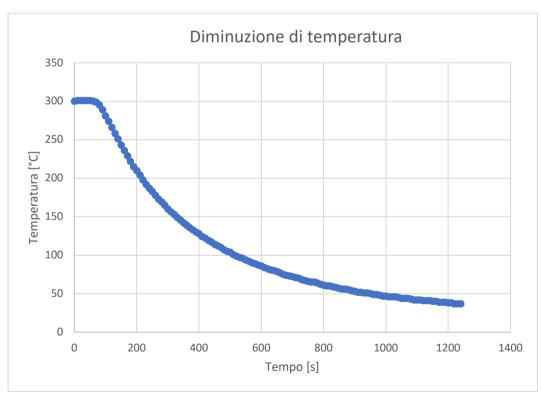


Grafico 76 - Profilo di temperatura in diminuzione, temperatura target 300 °C e testata standard modificata

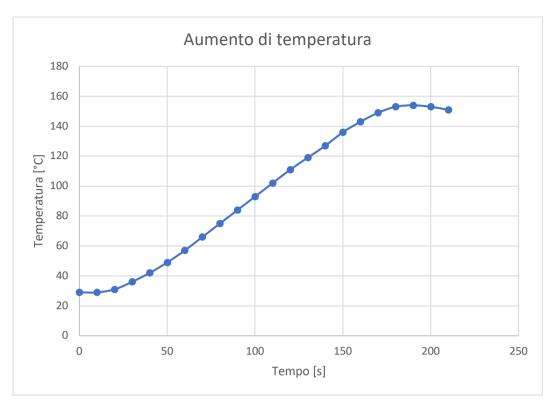


Grafico 77 - Profilo di temperatura in aumento, temperatura target 150 °C e testata con doppio soffio

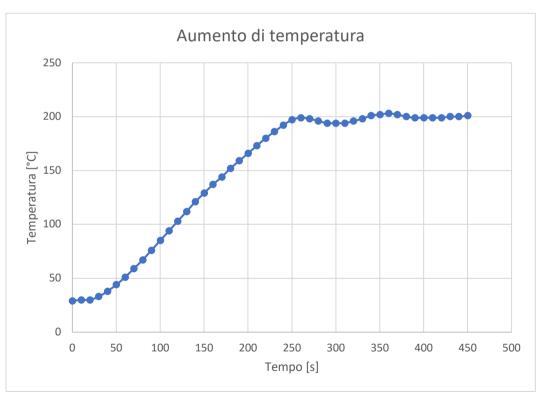


Grafico 78 - Profilo di temperatura in aumento, temperatura target 200 °C e testata con doppio soffio

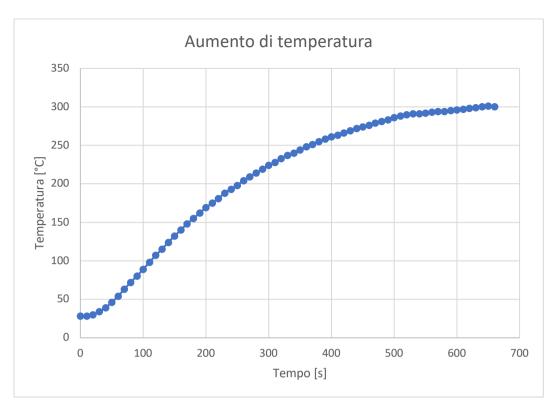


Grafico 79 - Profilo di temperatura in aumento, temperatura target 300 °C e testata con doppio soffio

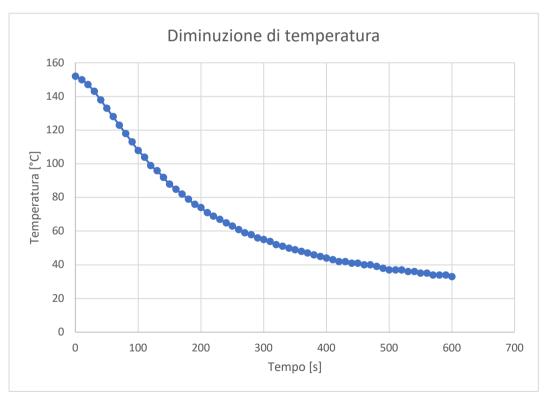


Grafico 80 - Profilo di temperatura in diminuzione, temperatura target 150 °C e testata con doppio soffio

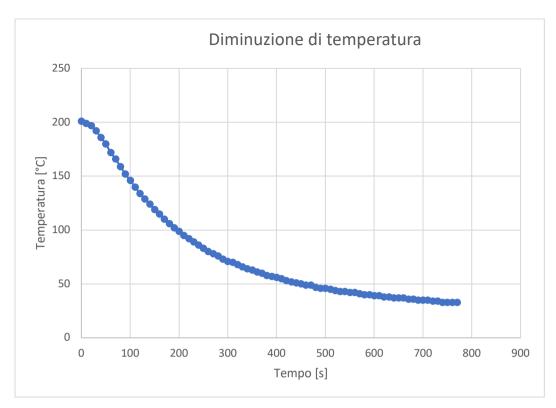


Grafico 81 - Profilo di temperatura in diminuzione, temperatura target 200 °C e testata con doppio soffio

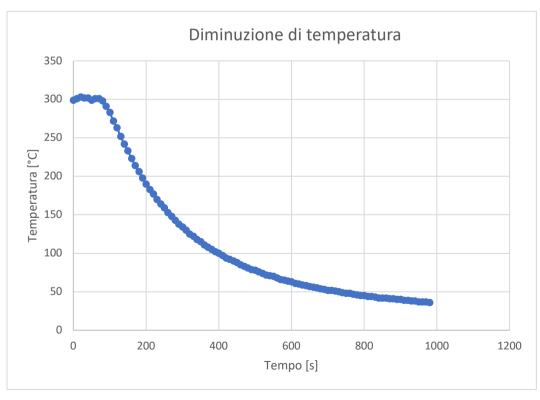


Grafico 82 - Profilo di temperatura in diminuzione, temperatura target 300 °C e testata con doppio soffio,

Bibliografia

- [1] http://enologicapetrillo.it/work/macchine-etichettatrici-bottiglie-vino
- [2] https://epackagingsrl.com/projects/venus-da-banco
- [3] https://www.novarex-etichette.com/2014/11/20/il-dizionario-delletichetta-sei-parole-chiave-per-capire-come-si-realizza-unetichetta-adesiva/
- [4] https://www.gai-it.com
- [5] https://www.gai-it.com/?page=macchine
- [6] Misurare per decidere, Misure e Statistica di Base G. Barbato, A. Germak, G. Genta ed. SOCIETÀ EDITRICE ESCULAPIO
- [7] https://www.eurocaps.it/Prodotti/capsule-termoretraibili-capsule-in-pvc-produzione-e-vendita-di-capsule-per-bottiglie-di-vino.html
- [8] Design of Experiments Max Morris, Chris Chatfield, Bradley P. Carlin ed. CRC Press LLC

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare in primis GAI MACCHINE IMBOTTIGLIATRICI SPA per avermi dato l'opportunità di lavorare con loro su un progetto utile allo sviluppo di macchine sempre migliori e per avermi messo a disposizione tutto il tempo e le risorse necessarie alla redazione di questo documento. Nello specifico, vorrei ringraziare in particolare l'ingegner Roberto Puppione, responsabile dell'Ufficio Progetti, per avermi dato la possibilità di lavorare a stretto contatto con tutti i progettisti di GAI durante il mio tirocinio e per la proposta di tesi che ne è susseguita.

Al mio relatore Matteo Fasano devo fare un enorme ringraziamento per avermi seguito costantemente durante tutti i mesi in cui ho redatto questo documento e per aver messo a disposizione la sua conoscenza e la sua esperienza affinché potessi svolgere un ottimo lavoro.

Un enorme ringraziamento va poi ai miei genitori, Paola e Gabriele, i quali mi hanno permesso di portare avanti i miei studi universitari al Politecnico di Torino durante questi anni sia per la Laurea Triennale sia per la Laurea Magistrale.

La mia fidanzata Roberta merita un ringraziamento speciale per avermi sostenuto in ogni momento e rimanendo vicina a me anche e soprattutto nei momenti più difficili della mia carriera universitaria. A lei dedico un posto speciale nel mio cuore.