



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA  
DIPARTIMENTO DI PRINCIPI E IMPIANTI DI INGEGNERIA CHIMICA

**TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DEI PROCESSI INDUSTRIALI E DEI  
MATERIALI**

(Laurea triennale DM 270/04 – indirizzo Processi Industriali)

**MODIFICA DI UN IMPIANTO SEMICONTINUO PER  
L'ESSICCAZIONE DI PASTA LUNGA**

*Relatore: Ing. Monica Giomo*

*Correlatore: Dott. Luciano Mondardini*

*Laureando: FEDERICO BERGAMIN*

ANNO ACCADEMICO 2011 – 2012



# Riassunto

La tesi è uno studio condotto durante l'attività di tirocinio presso l'azienda Pavan S.p.A. di Galliera Veneta, specializzata nella realizzazione di impianti e macchine per la produzione di pasta alimentare. Oggetto dello studio è la valutazione dell'efficienza di un impianto pilota per essiccazione di pasta lunga in modo da realizzare una configurazione innovativa.

Lo studio si articola in due fasi: la prima riguarda l'analisi dei flussi d'aria durante il processo di essiccazione, la seconda riguarda l'analisi del prodotto al termine del processo.

I risultati emersi dallo studio evidenziano i benefici e i limiti della nuova configurazione rispetto alla classica, per quanto riguarda la qualità del prodotto e la durata del processo, delineando potenziali innovazioni applicabili a impianti industriali di grande capacità.



# Indice

<b>INTRODUZIONE</b> .....	1
<b>CAPITOLO 1 – Il processo di essiccazione</b> .....	3
1.1 STORIA DELL’ESSICAZIONE.....	3
1.2 IL MODELLO FISICO.....	4
1.2.1 Trasferimento del calore.....	5
1.2.2 Il modello di De Cindio.....	6
1.2.3 La reazione di Maillard.....	8
1.2.4 Ventilazione e rinvenimento.....	9
1.3 FUNZIONAMENTO DI UN ESSICCATOIO.....	10
1.3.1 Pre-essiccazione.....	10
1.3.2 Essiccazione.....	11
1.4 OBIETTIVO DELLA TESI.....	12
<b>CAPITOLO 2 – Modifiche all’impianto</b> .....	15
2.1 FUNZIONAMENTO DI UN IMPIANTO INDUSTRIALE.....	15
2.1.1 Tecnologia TAS.....	17
2.2 ESSICATOIO PER PASTA LUNGA.....	17
2.2.1 Impianto pilota esistente.....	17
2.2.2 Interventi di modifica.....	18
2.3 PRODUZIONE DELLA PASTA.....	20
2.3.1 Produzione di fettuccine.....	20
2.3.2 Produzione di spaghetti.....	21
<b>CAPITOLO 3 – Analisi dei dati e risultati</b> .....	23
3.1 VERIFICA DELLA VENTILAZIONE.....	23
3.1.1 Prova preliminare a freddo.....	23
3.1.2 Prova a caldo.....	24
3.2 VALUTAZIONE DELL’EFFICIENZA.....	28
3.2.1 Umidità e temperatura.....	28
3.2.2 Analisi dei dati.....	29
<b>CONCLUSIONI</b> .....	37
<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</b> .....	39
<b>RINGRAZIAMENTI</b> .....	41



# INTRODUZIONE

Dalla seconda metà del secolo scorso una progressiva diffusione dei consumi e della produzione di pasta, in tutta la penisola, ha dato impulso a sistemi di produzione industriale avanzati. L'automazione dei processi produttivi, la maggiore conoscenza della chimica degli alimenti, della conservazione e del packaging, lo sviluppo delle strategie di marketing, hanno consentito alle industrie alimentari notevoli sviluppi, producendo su scala industriale prodotti che, fino a poco tempo fa, erano limitati alla produzione domestica e a quella artigianale.

A tutt'oggi l'industria della pasta alimentare è considerata uno dei settori di punta del made in Italy con un mercato internazionale in continua espansione.

La filiera produttiva comprende le seguenti fasi: impasto delle materie prime, trafilatura, essiccazione, confezionamento. Tradizionalmente si usa distinguere tra pasta corta (fusilli, cornetti, pipe, penne), pasta lunga (spaghetti, linguine), pasta a nido e paste speciali (matasse, lasagne). Le diverse produzioni si differenziano evidentemente per la fase di trafilatura o formatura ma soprattutto per le tipologie dei sistemi di essiccazione che devono essere impiegati per ciascun prodotto al fine di conservare la forma corretta per un tempo di processo che può essere anche di diverse ore. L'essiccazione poi è considerata una delle fasi determinanti, per ottenere un prodotto conforme alle caratteristiche prestabilite, una fase peculiare dove le variabili legate alla condizione dell'aria di essiccazione devono costantemente essere monitorate.

Il lavoro presentato in questa Tesi è stato svolto presso il centro R&S della Pavan s.r.l. di Galliera Veneta (PD). L'azienda Pavan, fondata nel 1946, è una delle aziende leader nella fornitura di impianti per la produzione di pasta secca e storicamente si è distinta per il livello di innovazione dei suoi impianti. È stata pioniera della tecnologia dell'impastamento ed estrusione sotto vuoto e nello sviluppo di una linea continua di essiccazione ad altissima temperatura. L'azienda di Galliera Veneta esporta per il 95% in 118 paesi, impiega 450 dipendenti con filiali commerciali in tutto il mondo. L'attività di ricerca e sviluppo (R&S), è svolta da un gruppo di lavoro multidisciplinare, altamente specializzato e costantemente aggiornato per lo sviluppo di prodotti e di processi. Il settore dispone di un laboratorio attrezzato per analisi chimiche, chimico-fisiche, reologiche, nutrizionali e organolettiche. Il lavoro nel settore R&S si sviluppa in un'ottica di:

- ricerca di processi innovativi e/o alternativi, di nuovi materiali, di nuove metodologie analitiche e nei settori della pasta secca, fresca, degli snacks, cereali da colazione e cereali in polvere per l'infanzia;
- partecipazione in partnership a progetti di ricerca italiani ed europei;
- organizzazione e gestione dei corsi della Scuola di Tecnologie Alimentari Pavan;
- rapporti con il mondo accademico nazionale ed internazionale.

In tale contesto si inserisce l'attività di questo studio che si pone come obiettivo la verifica dell'efficienza di un impianto pilota di essiccazione per pasta lunga, opportunamente modificato al fine di introdurre una configurazione innovativa. Le modifiche all'impianto sono frutto di studi

precedenti sulla ventilazione della pasta durante il processo. L'attività di modifica, le prove di produzione di pasta e di essiccazione della stessa sono state effettuate nell'area aziendale "impianti sperimentali" del reparto R&S.

La Tesi è composta da tre capitoli. nel primo viene delineata la storia della fase di essiccazione e i modelli fisici e matematici che la descrivono; nel secondo sono descritte le modifiche apportate all'impianto pilota già esistente in azienda e la metodica con cui sono state svolte le varie prove sperimentali. Infine , nel terzo capitolo, vengono presentati ed analizzati i risultati ottenuti.



# Capitolo 1

## Il processo di essiccazione

Il capitolo riporta alcune note storiche sull'essiccamento della pasta, la descrizione dei principi fisici ed i modelli matematici che permettono di descrivere il processo di essiccamento. Viene, inoltre, esaminato il funzionamento generale dei moderni essiccatoi per pasta lunga ed i principi che lo governano.

### 1.1 Storia dell'essiccazione

La conservazione degli alimenti, la primaria necessità di preservare nel tempo l'edibilità e il valore nutritivo di un prodotto alimentare, hanno rappresentato nella storia dell'uomo un fattore di sviluppo di enorme importanza per ragioni economiche, geografiche, politiche, demografiche. I cereali, componente principale dell'alimentazione nelle diverse popolazioni, rappresentano un fattore economico significativo in tutti i Paesi.

Per molti secoli e fino a pochi decenni or sono, si disidratavano gli alimenti per poterne disporre durante l'inverno o per i viaggi via mare, usando il sole nelle regioni più calde e soleggiate, oppure il forno a legna che, dopo la cottura del pane, veniva utilizzato per l'essiccazione. Una volta spento il fuoco e terminata la combustione delle braci, all'interno del forno, nel corso del suo lento raffreddamento, si manteneva una temperatura non elevata ma abbastanza costante da permettere l'essiccazione di molti alimenti come carne, frutta, verdura, sementi ed altro.

L'essiccazione della pasta alimentare sembra diffondersi attorno al 1100 d.C. con le peregrinazioni arabe (Cabras e Martelli, 2004). Tale processo offre importanti vantaggi, consentendo di ottenere un prodotto alimentare più compatto rispetto ai cereali in grano, un rischio inferiore di deperimento e, soprattutto, tempi più lunghi di conservazione rispetto alle paste fresche.

In Italia le regioni Sicilia e Liguria hanno dato origine ed impulso alla diffusione della pasta secca in tutta la penisola. Isolani i Siciliani, rivieraschi i Liguri, entrambi con la necessità di muoversi per mare, avevano la necessità di disporre di provviste meno deperibili rispetto a pane e pasta fresca, e meno voluminose. La disponibilità di pasta a lunga conservazione (Morelli, 1991) risolveva il problema di avere, a bordo delle navi, provviste ad elevato apporto energetico.

Il processo di essiccazione, in queste regioni, è stato favorito da un clima particolare. Venezia, terra anch'essa di grandi navigatori, ignorava la pasta secca: il clima lagunare, molto più umido e freddo, non consentiva un'efficace essiccazione della pasta al sole ed all'aria.

La città di Napoli è ritenuta luogo privilegiato dove avviene, già dal 1600, e si diffonde la caratterizzazione della pasta come prodotto tipico della cultura italiana, dove 'o *spannatore*' aveva

il compito di stendere la pasta nelle canne e metterle immediatamente al sole o all'aria aperta. La pasta fresca infatti è igroscopica e sensibile al clima, per questo i pastai dell'epoca scrutavano il cielo e sentivano i venti per decidere quando mettere la pasta ad essiccare. *“I maccheroni si fanno con lo scirocco e si asciugano con la tramontana”* è un detto napoletano ad indicare come il vento tiepido e umido del sud sia necessario all'inizio dell'essiccazione e quello secco e freddo del nord per i giorni seguenti. Gli abili pastai sapevano che, tra aprile ed ottobre, lo scirocco cambiava in tramontana tra l'una e le due di notte ed era necessario trasportare la pasta alle zone di essiccazione all'aria aperta. Le vecchie strade di Torre Annunziata e Gragnano, trasformate in grandi essiccatoi all'aria aperta echeggiavano delle urla degli *‘u chiamatori’* che svegliavano i pastai al cambiare del vento. L'essiccazione richiedeva otto giorni in estate, in inverno invece più di tre settimane (Zanini De Vita, 2009).

Nel nord Italia, per sopperire ad un clima poco adatto, venne inventata la giostra: un cilindro di legno, formato da un asse centrale che sosteneva le canne per la pasta lunga o i telai per pasta corta. La giostra si trovava in un locale riscaldato e girava per azione animale o idrica (Lirici, 1999).

Nel XIX secolo sono state introdotte le celle statiche: dei cassoni chiusi in legno o stanze intere riscaldate, in cui la pasta veniva riposta tramite dei carrelli.

Nei primi anni '50 furono installati i primi essiccatoi continui, in concomitanza con un nuovo e crescente benessere, che cambiò le abitudini italiane, inducendo maggiori consumi alimentari e di conseguenza la necessità di maggiori produzioni comprese quelle di pasta. In quegli anni per la pasta corta il processo di essiccazione continua richiedeva tra le 8 e le 12 ore mentre per la pasta lunga circa 24 ore. Oggi i tempi di essiccamento si sono ridotti, tuttavia la necessità di controllare umidità, temperatura e ventilazione rimane perché, come affermavano i vecchi pastai, *“la pasta deve essiccarsi con la sua propria aria”*.

## 1.2 Il modello fisico

Per essiccazione della pasta si intende il processo di progressiva disidratazione del prodotto umido, ottenuto per estrusione, laminazione o altro sistema misto.

Il contenuto d'acqua della pasta viene espresso in termini di umidità definita dal rapporto tra la quantità d'acqua contenuta nella pasta ed il peso della sostanza umida, espresso in percentuale.

Il processo di essiccazione permette di abbassare il grado di umidità fino a valori (12.5%) che assicurano la stabilità nel tempo del prodotto in condizioni di conservazione e stoccaggio (Mondelli, 2008).

L'essiccamento richiede fondamentalmente le seguenti fasi:

- la diffusione dell'acqua allo stato liquido dall'interno della pasta fino alla superficie della stessa;
- l'evaporazione dell'acqua, che avviene all'interfaccia impasto/aria;
- il trasporto dell'acqua evaporata che è rimossa per moto convettivo nel seno della fase fluida del vettore di scambio. (De Cindio, Migliori, Carbone).

L'aria utilizzata per l'essiccazione è pertanto una miscela complessa, sottoposta a continue modifiche di stato in base a temperatura ed umidità, secondo le leggi della termodinamica. L'acqua che deve essere rimossa è solo in parte libera, in parte è legata chimicamente agli altri componenti della pasta. L'energia necessaria per il processo è fornita sotto forma di calore.

### 1.2.1 Trasferimento del calore

È noto che l'aria secca è cattiva conduttrice di calore. Ne consegue che per trasferire calore alla pasta l'aria deve essere sufficientemente umida. Per contro, per aumentare la velocità di trasferimento dell'acqua, dalla pasta all'aria, quest'ultima deve essere sufficientemente secca (Mondelli, 2003). Pertanto, per assicurare un'adeguata essiccazione è necessario mantenere determinati valori di equilibrio igrotermico all'interno degli essiccatoi. L'intensità e la durata delle fasi di ventilazione, alternate a periodi di riposo in cui non vi è ventilazione, assicurano la migrazione delle molecole d'acqua dal centro della pasta verso la superficie (rinvenimento).

Il trasferimento di calore, oltre che dall'umidità, dipende anche dalla velocità stessa del flusso di aria essiccante. Questi due fattori sono contenuti nel coefficiente  $K$  che compare nell'espressione che permette di calcolare la portata di calore  $Q$  trasferita alla pasta:

$$Q = K \times S \times (T_A - T_P); \quad (1.1)$$

dove:

$K$  = coefficiente globale di scambio termico aria/pasta;

$S$  = superficie di scambio aria/pasta;

$T_A$  = temperatura aria;

$T_P$  = temperatura pasta.

La portata termica determinata attraverso la eq. (1.1), permette di individuare adeguatamente il calore scambiato solo nella prima fase del processo, quando l'evaporazione superficiale riguarda l'acqua libera (fino circa al 23% di umidità nella pasta) ed è predominante sulla diffusione. In tali circostanze la velocità dell'aria gioca un ruolo determinante.

Tuttavia il trasferimento di calore alla pasta non avviene solamente per convezione ma anche per conduzione, dalla superficie della pasta verso gli strati interni del prodotto. La sua diffusione per conduzione all'interno della pasta è descritta dalla seguente relazione:

$$Q = k_c \times S \times \Delta T / \delta \quad (1.2)$$

dove:

$k_c$  = conducibilità termica della pasta;

$\delta$  = spessore pasta;

$S$  = superficie di scambio aria/pasta;

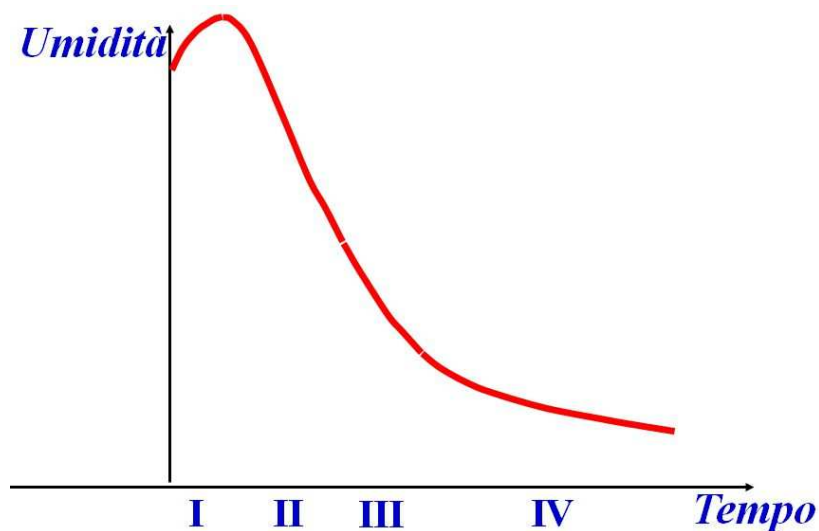
$\Delta T$  = differenza di temperatura tra la superficie della pasta e degli strati interni.

### 1.2.2 Il modello De Cindio

De Cindio (1994) ha proposto un approccio modellistico al processo di essiccazione, identificando i tre fenomeni che ne condizionano l'efficienza:

- trasporto dell'acqua e dell'energia termica all'interno della pasta (identificata dal coefficiente di diffusività di materia e dalla conducibilità termica);
- evaporazione dell'acqua dalla superficie di interfaccia aria/prodotto (caratterizzata da un'isoterma di assorbimento e dal calore latente di vaporizzazione);
- trasporto del vapore in fase gassosa (coefficienti di scambio di materia ed energia nel mezzo essiccante).

In Figura 1.1 è riportato l'andamento dell'umidità media nel tempo nel caso dell'essiccamento di un impasto di farina ed acqua, a *condizioni stazionarie imposte* del mezzo essiccante (De Cindio, 1994).



**Figura 1.1** Variazione dell'umidità durante l'essiccazione della pasta.

Si possono individuare quattro zone che corrispondono a quattro predominanti fasi del processo:

- Tratto I: in questo periodo la temperatura del solido varia fino ad uno stato stazionario. Prima di raggiungere lo stato di stabilità, la velocità di essiccazione può aumentare o diminuire, in base alle condizioni iniziali dell'impasto. Se si suppone che il solido sia ad una temperatura inferiore alla temperatura di rugiada, il vapor d'acqua contenuto nell'aria essiccante condenserà sulla superficie cedendo al solido il calore latente di vaporizzazione che si sommerà a quello trasmesso in virtù della differenza di temperatura con il mezzo essiccante. La temperatura superficiale del solido tende così ad aumentare fino a raggiungere una temperatura di equilibrio, in cui l'acqua comincia ad evaporare dalla superficie. In queste condizioni la perdita di energia termica ascrivibile al calore latente di vaporizzazione dell'acqua sarà responsabile del raffreddamento del solido; essa sarà però bilanciata dalla portata di calore

trasferita per convezione dal gas essiccante. Il processo appena descritto è assimilabile a quello che avviene in un termometro a bulbo umido. Per tale motivo si parla di “temperatura di bulbo umido” equiparando la temperatura di superficie della pasta a quella del bulbo umido a quelle condizioni di temperatura ed umidità relativa.

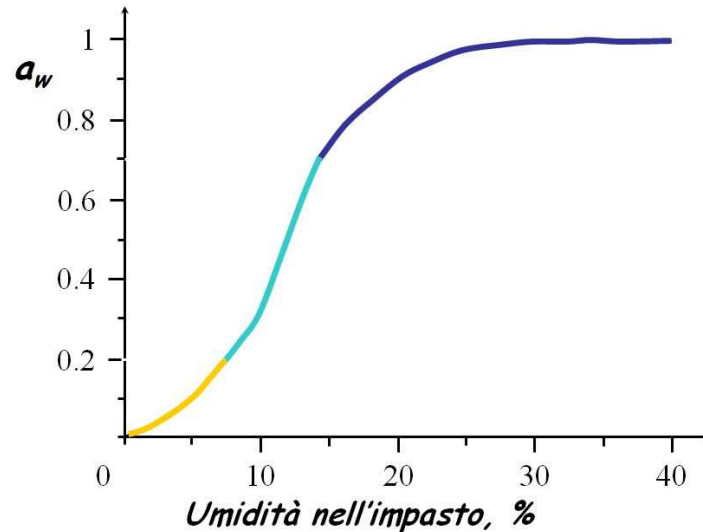
- Tratto II: al transitorio sopra descritto segue uno stato stazionario di essiccazione, durante la quale la velocità di essiccazione rimane costante. Ciò è dovuto al fatto che la superficie rimane sempre satura, in quanto la diffusione interna di acqua è rapida e possono essere considerate trascurabili le resistenze al trasporto interno. Il processo è controllato perciò dal trasporto nella fase gassosa.
- Tratto III: quando il tenore di acqua si abbassa, appaiono gradienti interni di concentrazione ed il flusso d'acqua dal centro del pezzo alla superficie diminuisce. La resistenza al trasporto interno non è più trascurabile e lo stadio di diffusione assume un ruolo significativo nel processo di essiccazione. In questa fase la temperatura sulla superficie del prodotto però aumenta e ciò comporta un teorico aumento dell'evaporazione e, quindi, un incremento della quantità d'acqua trasferita alla fase gassosa. Tra i due effetti, in questa fase, prevale il secondo e l'evaporazione procede, seppur con velocità ridotte. Al contempo però, diminuendo la diffusione dell'acqua, si forma man mano una crosta di pasta secca all'esterno, in quanto la disponibilità d'acqua in superficie non è pari alle fasi precedenti. Da notare che questa situazione riguarda il 90% circa della durata di un normale processo di essiccazione della pasta.
- Tratto IV: in questa fase è il trasporto per diffusione nel pezzo a prevalere. Questa situazione fisica corrisponde ad avere una superficie che non riesce più a perdere acqua, cioè praticamente secca. Ciò non sta a significare che non si ha più il fenomeno dell'evaporazione, ma che essa interessa solamente gli strati più interni. La sua velocità in tali condizioni diminuisce di molto in virtù della crosta esterna, che fa spostare sempre più verso il centro il fronte di evaporazione.

La situazione fisica descritta, dal punto di vista macroscopico ha un'interpretazione in termini di tipo di acqua da asportare. L'acqua presente nell'impasto si presenta in tre forme: acqua libera, parzialmente legata e fortemente legata. Ognuna di queste forme partecipa al trasporto nelle diverse fasi del processo.

Si deve tener presente che l'eliminazione dell'acqua comporta un cambiamento della struttura dell'impasto dovuto ad una diminuzione di volume; questo fenomeno è spesso denominato shrinkage. L'attività dell'acqua  $a_w$  che si associa al contenuto di acqua nell'impasto, è un parametro importante nel processo di essiccazione; la si definisce come il rapporto tra la tensione di vapore dell'acqua contenuta nella pasta ( $p_w$ ) e la tensione di vapore dell'acqua pura ( $p_w^o$ ), a temperatura costante.

$$a_w = p_w / p_w^o \quad (1.3)$$

Una fase critica per la definizione di essiccamento è quella relativa ad  $a_w=0,7\div 0,9$  (tra 14% e 23%) che corrisponde all'asportazione dell'acqua capillare (Figura 1.2) (Di Leo, 1994).



**Figura 1.2** Andamento dell'attività dell'acqua in funzione al contenuto di acqua dell'impasto.

Quest'acqua è quella adsorbita sulla superficie delle particelle solide. Si tratta fondamentalmente di acqua legata, in quanto trattenuta per effetto della tensione superficiale. Il modo in cui l'asportazione di quest'acqua viene realizzata può modificare radicalmente la struttura fisica del sistema attraverso una ridistribuzione della componente glucidica, tale da ottenere un prodotto di qualità scadente. Le paste potranno presentare cedimenti meccanici quali venature, bolle, ed altre imperfezioni indice di non conformità. Il tempo di conduzione di questa fase di processo, dovrà rispettare rigorosamente i parametri previsti: essa non dovrà essere condotta troppo rapidamente né troppo lentamente.

### 1.2.3 La reazione di Maillard

Nell'analisi del processo di essiccamento si deve considerare il fenomeno dell'imbrunimento, riconducibile ad una colorazione giallo scuro od a sfumature tendenti al bruno che la pasta assume per effetto della reazione di Maillard.

Essa consiste in un complesso di centinaia di possibili reazioni, generalmente caratterizzate da condensazione di amminoacidi o peptidi con la componente glucidica presente (Didonè e Pollini, 1992).

Nel caso dell'essiccamento i migliori risultati si ottengono approssimandosi il più possibile alle condizioni in cui gli effetti della reazione di Maillard diventano palesi, sotto forma di alterazione del colore e del sapore. Allo scopo, raggiunto tale limite, vengono interrotte rapidamente le condizioni termogravimetriche che sovrintendono al processo. L'attivazione di questa reazione

dipende da interazioni delle variabili durata del trattamento, temperatura, pH, umidità dell'aria e del prodotto. Quest'effetto risulta tanto più evidente quanto più:

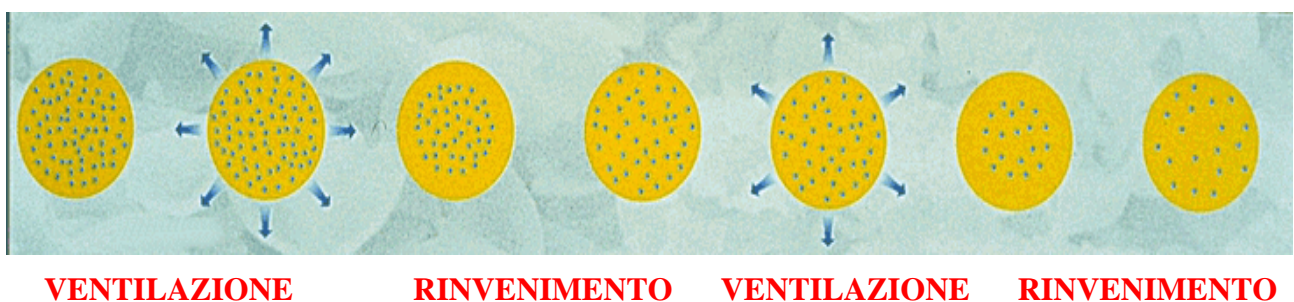
- è lungo il tempo di trattamento;
- è elevata la temperatura di essiccazione;
- è bassa l'umidità relativa dell'aria.

Ne consegue che, se un impianto non è stato adeguatamente progettato dal punto di vista termodinamico, è possibile che si inneschi la reazione di Maillard, in maniera anche spinta, tare da rendere qualitativamente scadente e sgradevole all'aspetto la pasta essiccata. Elevati livelli di efficienza potranno essere raggiunti disponendo di impianti di produzione che permettono di operare con i valori delle variabili sopra evidenziate più indicati per l'applicazione di volta in volta considerata.

#### 1.2.4 Ventilazione e rinvenimento

Da quanto sopra riportato si evince che le condizioni operative della fase di essiccazione devono essere definite considerando le caratteristiche chimiche della pasta oltre che gli aspetti cinetici e termodinamici che presiedono al processo di scambio dell'acqua tra l'aria e la pasta stessa. Quando la quantità d'acqua, che diffonde dal centro alla superficie, è minore della quantità d'acqua che evapora, la ventilazione è inutile o addirittura controproducente se vi è la comparsa della 'crosta', descritta al paragrafo 1.2.2, essendo la velocità di evaporazione ulteriormente diminuita. Analogamente è necessario rimuovere l'eccesso di vapore presente all'interno dell'evaporatore, per evitare che l'evaporazione sia troppo rallentata. Tuttavia una determinata umidità dell'aria permette un maggior trasferimento di energia termica all'interno della pasta e di conseguenza una più veloce diffusione.

Su queste considerazioni si basano le due principali fasi di essiccazione della pasta: ventilazione e rinvenimento (Figura 1.3).



**Figura 1.3** *Processo di ventilazione e rinvenimento.*

Con la prima si cede calore al prodotto e contemporaneamente si asporta il vapore che passa per trasporto dalla pasta all'aria nelle immediate vicinanze della sua superficie. In questo caso la velocità di evaporazione risulta elevata. Con la seconda si impone una pausa all'evaporazione: mantenendo elevata l'umidità si cede maggiore energia termica per convezione naturale, aumentando la diffusione dell'acqua dal centro alla superficie (Mondelli, 2008).

## 1.4 Funzionamento di un essiccatoio

L'essiccazione è il processo più lento e tecnologicamente più difficile di tutta la produzione della pasta. Da quanto detto fin qui si evince che l'essiccazione non è una semplice estrazione d'acqua: alla fine del processo la pasta deve avere colore e consistenza adatta, non deve rompersi né nel periodo di essiccazione, né dopo che è stata confezionata. Non deve avere un sapore acidulo, deve cucinarsi in pochi minuti ma tenere la cottura.

In particolare, l'essiccazione della pasta lunga può durare dalle cinque alle sette ore, e nella tecnologia Pavan ad alta temperatura (HT) ed altissima temperatura (THT) è composta da due fasi, a cui corrispondono due diversi settori dell'essiccatoio: *pre-essiccazione* ed *essiccazione*.

Nella produzione della pasta lunga un componente aggiuntivo presente prima della pre-essiccazione è lo stenditore, che provvede a distribuire spaghetti o tagliatelle in della apposite canne.

I moderni essiccatoi sono costruiti in acciaio inossidabile per resistere ai processi di ossidazione che possono aver luogo in un ambiente caldo e umido; inoltre sono completamente coibentati sia per ragioni di risparmio energetico, sia per non rendere ostile l'ambiente di lavoro.

Nelle moderne linee di HT (haute temperature) e THT (très haute temperature) si è reso quasi sempre indispensabile l'inserimento di sezioni di raffreddamento (anche drastico), a causa delle elevate temperature raggiunte dalla pasta (nelle tecnologie HT si arriva fino a circa 80°C, in quelle THT si superano i 90 °C) e della velocità di processo.

### 1.4.1 Pre - essiccazione

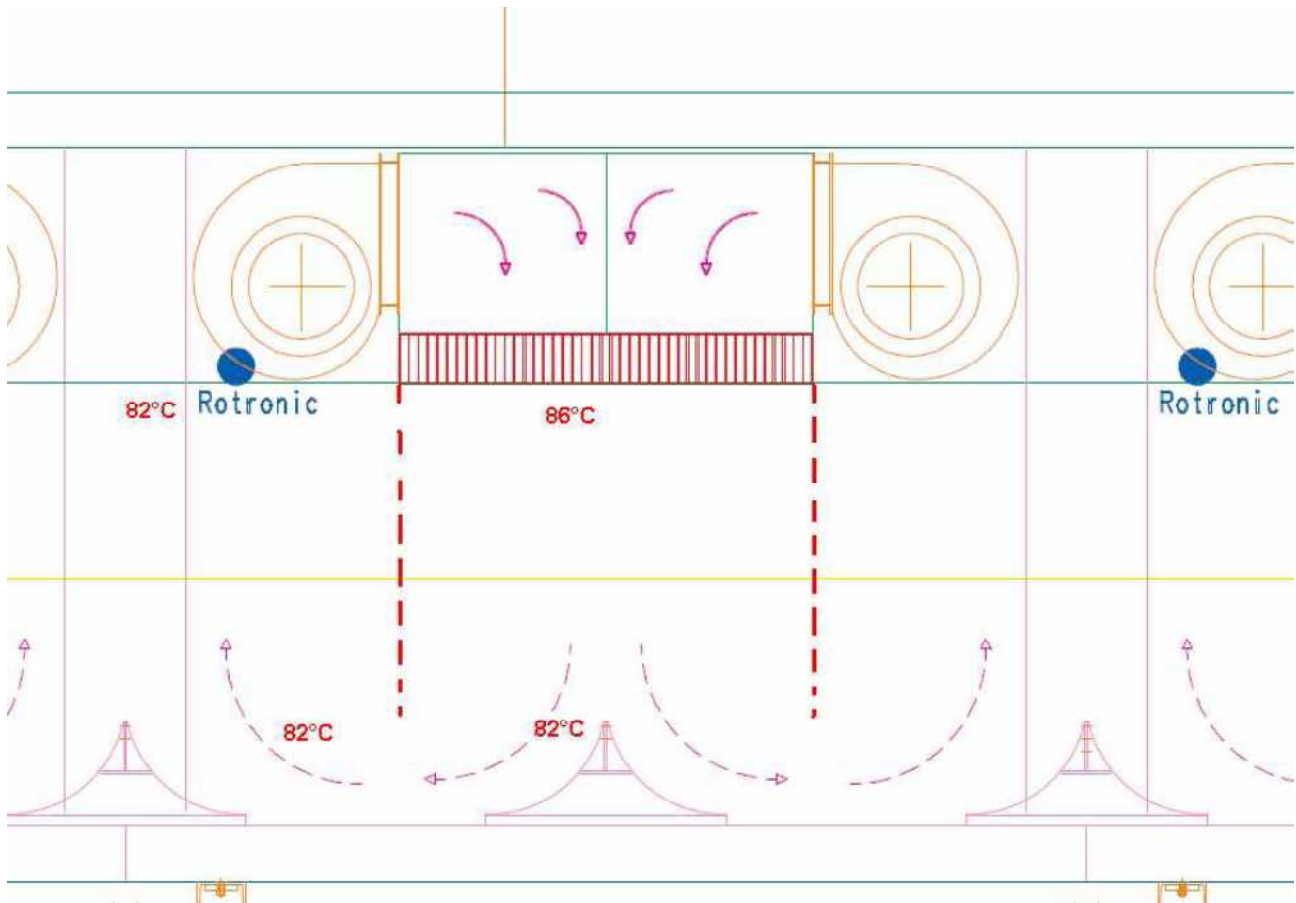
Questa fase consente una diminuzione veloce dell'umidità iniziale della pasta sfruttando le sue proprietà plastiche, che permangono fino ad un valore di umidità del prodotto attorno al 23% ( $a_w=0,9$ ). Successivamente lo stato elastico della pasta comporta una fase che risulta la più delicata da gestire. Questo passaggio di stato meccanico avviene in modo rapido e accorcia sensibilmente i tempi complessivi di essiccazione.

Il pre-essiccatoio per pasta lunga è un tunnel che si sviluppa in un unico piano, con dimensioni congrue alla produzione oraria di pasta, preceduto dallo stenditore e collegato all'uscita con l'essiccatoio. All'interno del pre-essiccatoio la pasta viene fatta procedere in ambiente umido e ad una temperatura progressivamente più elevata, per una prima veloce disidratazione. Il calore necessario viene fornito da scambiatori di calore acqua/aria (batterie) ed è distribuito da gruppi di ventilazione, mentre l'eliminazione di aria umida in eccesso e la sua sostituzione con aria calda e secca avviene automaticamente.

*“In tutta la sezione di essiccazione, ma in particolare nel pre-essiccatoio, la distribuzione dell'aria ed i suoi flussi devono essere regolati in modo da assicurare un'uniforme e regolare perdita d'acqua da parte della pasta”* (Milatovic e Mondelli, 1990).



I gruppi di ventilazione sono posizionati sopra la pasta, montati contrapposti, in modo da indirizzare il flusso d'aria dalla parte superiore del tunnel verso il fondo, investendo prima le batterie e poi la pasta in tutta la sua lunghezza (Figura 1.4). Dei deflettori posti inferiormente fanno ricircolare l'aria verso l'alto in modo che essa investa nuovamente la pasta in senso inverso fino a giungere di nuovo ai ventilatori. La durata di questa fase è di circa un'ora.



**Figura 1.4** Struttura interna di un essiccatoio a gruppi di ventilazione.

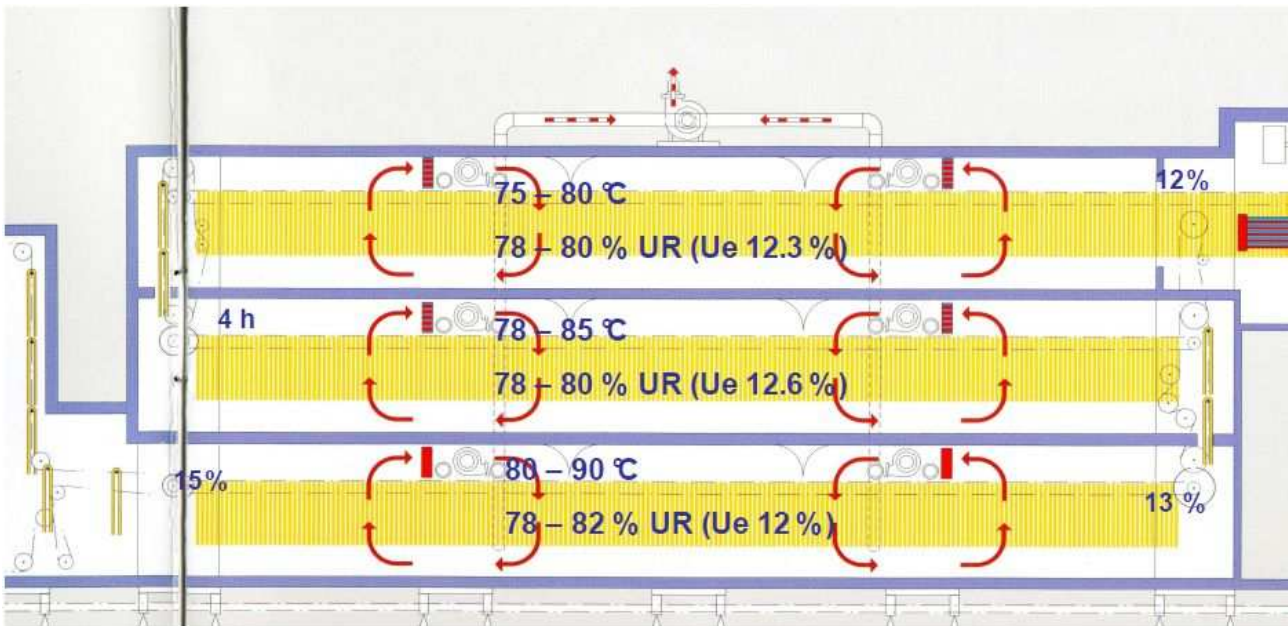
### 1.4.2 L'essiccazione

In questa fase l'umidità della pasta scende almeno fino al 12.5 %, valore considerato conforme al termine 'secco' dato dalle normative vigenti in materia di pasta alimentare (D.P.R.09 febbraio 2001, n. 187/2001, in materia di "Denominazione di vendita delle paste secche").

La disidratazione è più lenta rispetto alla fase di pre-essiccazione, perché coinvolge gli strati più interni del prodotto. Durante questa fase si creano elevati gradienti di umidità tra la zona esterna del prodotto e quelle più interne. Tali gradienti determinano differenze di volume che si differenziano da zona a zona: nella parte esterna, a causa della veloce disidratazione, la contrazione è veloce; mentre nelle zone interne, dove il processo è più lento, il volume si riduce molto meno. Poiché la zona esterna della pasta non può contrarsi, tale situazione genera delle tensioni nel prodotto. Queste tensioni che si generano inevitabilmente nella pasta vengono gestite scegliendo opportunamente le condizioni di lavoro.

Nel processo continuo i parametri tecnologici sono impostati per le zone successive dell'impianto attraverso le quali transita la pasta, trasportata da sistemi meccanici.

Le condizioni ambientali sono fisse per ogni zona: vi sono zone di ventilazione e zone di rinvenimento, determinate nella fase progettuale dell'impianto. La fase di ventilazione richiede particolare attenzione: un'eccessiva ventilazione renderebbe il prodotto fragile, una ventilazione troppo bassa aumenterebbe notevolmente i tempi di essiccazione. Un corretto processo di essiccamento deve prevedere una ventilazione via via meno intensa con il diminuire dell'umidità



**Figura 1.5** Essiccatoio a tre piani con parametri di processo.

della pasta ed aumentare via via i tempi di rinvenimento. Le condizioni igrotermiche dell'aria devono essere costantemente adeguate all'umidità della pasta, assecondando la dinamica della disidratazione (Mondelli, 2008).

Un essiccatoio per pasta lunga Pavan (Figura 1.5) è normalmente disposto su tre piani, dotato come l'elemento che lo precede di ventilatori e batterie. Vi è inoltre un sistema di immissione del vapore nella zona finale dell'essiccatoio detta umidificatore, costituito da un circuito collegato ad uno spruzzatore e montato in prossimità delle batterie. L'ingresso del vapore è modulato da un'elettrovalvola (Milatovic e Mondelli, 1990).

Non di poco conto sono infine i processi di stabilizzazione e raffreddamento. Infatti, il completamento del processo di essiccazione della pasta prevede non solo il raggiungimento delle condizioni di umidità prefissate ma anche che tale valore sia uniformemente ottenuto all'interno del prodotto e che la pasta sia in equilibrio termodinamico con l'ambiente. La fase di stabilizzazione avviene nel secondo e terzo piano dell'essiccatoio, a temperature elevate, per renderla più rapida possibile. La fase di raffreddamento, che avviene immediatamente dopo l'uscita dall'essiccatoio, provvede a portare la temperatura prossima a quella ambiente evitando così danni al prodotto.

## 1.5 Obiettivi della tesi

Scopo della Tesi è dare un contributo allo sviluppo di tecnologie innovative nel settore dell'essiccazione della pasta. Il mercato degli impianti infatti richiede di essere sempre all'avanguardia, e questo comporta una ricerca continua e lo sviluppo di materiali e sistemi innovativi, per affrontare un mercato globalizzato, sempre più competitivo. In questi anni efficienza e produttività, quali sinonimi di riduzione dei costi, sono diventati bilancia dell'economicità di un processo produttivo, e un'azienda leader nel settore della produzione di macchine per la pasta come la Pavan non può non tenerne conto. Un'intera area di quest'azienda (R&S) possiede risorse professionali e mezzi per lo sviluppo e l'innovazione tecnologico, nonché la messa in pratica, il collaudo e la messa a punto di macchinari per pasta, snack, pellet e altri prodotti alimentari.

Nel mondo della pasta lo sviluppo di nuove tecnologie è sempre più difficile per il rapido progresso effettuato negli anni passati. L'essiccazione, soprattutto quella della pasta lunga, come tagliatelle e spaghetti, può essere tuttavia un'interessante area di studio per la peculiarità del prodotto che rende più complesse le procedure di produzione, richiedendo un elevato tempo di processo (anche se la durata di questo processo si è abbassata in 50 anni da 24 a 5 ore).

A tal proposito vi sono dei dogmi, come quello della direzione dei flussi d'aria che investono la pasta lunga in essiccazione. Si legge in un libro di Hummel, studioso inglese dei processi di pastificazione, scritto nell'anno 1966 (traduzione di chi scrive): *"e la miglior via per farlo (l'essiccazione di pasta lunga, Nda) è far circolare l'aria da sopra a sotto. Alternare la direzione del flusso d'aria non è necessario durante l'essiccazione, e far circolare l'aria da sotto verso l'alto agita troppo il prodotto."*

Da quando infatti la regolazione dei flussi avviene grazie a gruppi di ventilazione, l'aria calda e secca che investe la pasta è convogliata da sopra a sotto, mentre l'aria umida di ricircolo, senza più proprietà essiccanti, la investe da sotto a sopra.

Ma l'aria, caricandosi di umidità, non possiede le stesse proprietà in tutta la lunghezza dello spaghetti; ecco spiegato il motivo per cui non si può eccedere troppo nell'essiccazione: condizioni troppo spinte causerebbero venature e rotture nella pasta posta nella parte superiore delle canne.

Lo scopo dell'attività svolta presso la Pavan è stato quello di modificare un piccolo impianto pilota per l'essiccazione di pasta lunga sfruttando i risultati precedentemente ottenuti intervenendo sui flussi d'aria all'interno degli essiccatoi. Lo studio prevede di valutare il tempo complessivo richiesto dal processo e, a parità di qualità del prodotto finale, di confrontarlo con quello degli impianti comunemente impiegati. La realizzazione di quest'impianto pilota e la valutazione delle sue prestazioni sono le tappe fondamentali per passare dagli studi sperimentali alla successiva realizzazione di un impianto su scala industriale, permettendo di valutare se questa innovazione porterà a migliorare complessivamente il processo di produzione (ed in questo lavoro in particolare di essiccazione) di pasta lunga.



# Capitolo 2

## Modifiche all'impianto

In questo capitolo viene dapprima illustrato il funzionamento di un intero impianto industriale per la produzione di pasta lunga; successivamente sono identificate e giustificate le modifiche introdotte nell'impianto pilota per l'essiccazione ed in conclusione sono presentati i sistemi di produzione per la pasta utilizzata nei test.

### 2.1 FUNZIONAMENTO DI UN IMPIANTO INDUSTRIALE

La Pavan S.p.A., Azienda leader nella produzione, assemblaggio e collaudo di impianti industriali per la produzione di pasta, realizza tali impianti secondo la configurazione di seguito descritta.



**Figura 2.1** *Layout di un impianto industriale completo per la produzione di pasta lunga.*

**GRUPPO DOSAGGIO E PRESSA** Dosatore sfarinati a tenuta del vuoto totale. Vasca impastatrice in acciaio inossidabile con sonda radar per il controllo del livello in vasca. Processo di impastamento completamente sottovuoto, a basse temperature e a velocità ridotta di rotazione degli alberi dell'impastatrice per ottenere una maggiore elasticità del prodotto, evitando stress eccessivi nella formazione del reticolo glutinico. Vite "low shear" in acciaio al carbonio e cromata a spessore o in acciaio inox serie 400 temperato, a diametro maggiorato e passo variabile per garantire una ottimale velocità di rotazione e una compressione graduale del prodotto conferendo migliore omogeneità all'impasto. Cambio automatico di formato con sistema facilitato di estrazione trafila. Totale accessibilità agli organi meccanici per una facile manutenzione.

**STENDITORE MULTIPLO** Stenditore multiplo su canne di lunghezza di 2500 mm completo di dispositivo per il recupero e la triturazione degli scarti ed il loro convogliamento alla pressa. Struttura, organi meccanici, guidacatene e catene in acciaio al carbonio. Canne in acciaio inossidabile con profilo a goccia nel pieno rispetto di qualsiasi normativa alimentare internazionale. Gruppo per il pre-riscaldamento delle canne posto all'ingresso dello stenditore. Gruppo di pre-riscaldamento del prodotto all'ingresso dell'incartatore. Macchina dotata di pannelli di protezione in materiale plastico trasparente facilmente smontabili, sia per mantenere le opportune condizioni ambientali al suo interno che per rispondere alle norme di sicurezza e di igiene.

**PRE-ESSICCATOIO** Struttura in acciaio inossidabile, comprendente differenti zone climatiche. Ciascuna zona climatica è costituita da una o più centrali automatiche per il trattamento dell'aria, scambiatore di calore ad acqua surriscaldata per il controllo indipendente della temperatura e gruppo di estrazione aria per il controllo dell'umidità.

**ESSICCATOIO** Struttura realizzata interamente in acciaio inossidabile nelle zone di processo a piani separati e completa di centrali automatiche per il trattamento aria, scambiatori di calore e gruppo di estrazione aria indipendenti per garantire il puntuale controllo della temperatura e umidità. Pannellatura esterna a sandwich realizzata con materiali ad alto potere isolante e rivestiti internamente ed esternamente con lamiera in acciaio inossidabile. Totale accessibilità e ispezionabilità della macchina grazie all'apertura a libro delle porte. Guarnizioni di tenuta in materiale siliconico ad alto spessore e ad anello chiuso gonfiabili mediante aria compressa. Catene di trasporto canne "long life" in acciaio al carbonio con trattamento di nichelatura chimica e alettatura speciale. Zona di umidificazione posizionata a continuazione dell'ultimo piano dell'essiccatoio per stabilizzare il prodotto finale.

**RAFFREDDATORE** Unità completa di gruppi automatici di ventilazione e di raffreddamento con scambiatore di calore ad acqua refrigerata.

**ACCUMULO (A RICHIESTA)** Sezione di accumulo del prodotto steso su canna di capacità variabile e in funzione ai turni di lavoro composto da piani sovrapposti con movimento indipendente. Rivestimento esterno in pannelli di policarbonato trasparente che consente la vista del prodotto. Sistema di ricircolo aria per il mantenimento delle condizioni termo-igrometriche uniformi all'interno della camera di accumulo.

**SEGA SFILATRICE** Dispositivo per lo sfilaggio del prodotto dalle canne e taglio della pasta a misura voluta. Macchina composta da gruppo di trasporto a tappeto, gruppo di taglio, soffio dopo taglio, aspirazione polveri, triturazione e trasporto scarti.

**PACKAGING** Sistemi integrati di confezionamento dotati di dosatori volumetrici o ponderali abbinati a confezionatrici orizzontali a movimento continuo o intermittenti. Il prodotto varia da 230 a 260 mm di lunghezza confezionato in sacchetti a cuscino. Ciascun gruppo di confezionamento raggiunge i 120 sacchetti al minuto, confezioni da 500 g riferito ad un formato spaghetti diametro 1,7 mm.

### **2.1.1 Tecnologia TAS**

La pre-essiccazione e l'essiccazione vera e propria sono sicuramente fasi di lavorazione estremamente delicate e di primaria importanza per il buon risultato del prodotto finale. Pertanto essi necessitano della massima attenzione in sede progettuale.

La fase di pre-essiccazione viene suddivisa in zone climatiche mentre l'essiccatoio a tecnologia TAS (Thermo Active System) è composto da piani separati di processo. Sia il pre-essiccatoio che l'essiccatoio sono completi di centrali automatiche per il trattamento aria, scambiatori di calore e di gruppo di estrazione aria indipendenti, al fine di garantire il puntuale controllo della temperatura e dell'umidità. Il processo avviene alternando fasi di essiccazione con fasi di rinvenimento attivo per permettere al prodotto di mantenere uno stato elastico e poroso, controllando al tempo stesso lo sviluppo della reazione di Maillard. La veloce riduzione del contenuto d'acqua della pasta ed il progressivo aumento della temperatura evitano il rigonfiamento degli amidi e permettono di attivare la coagulazione proteica. Ne derivano l'esaltazione del colore e un'ottima tenuta in cottura della pasta. Grazie ad un software integrato che regola i tempi di ogni singola fase in base al diagramma di essiccazione prescelto, le condizioni termoigrometriche sono mantenute costanti trasferendo da una zona all'altra l'umidità in eccesso e garantendo l'uniformità di trattamento del prodotto. Le alte temperature e l'elevata umidità ambientale, sin dalle fasi iniziali del processo di essiccazione, assicurano una sterilizzazione pressoché totale.

Gli elementi costruttivi impiegati sono prevalentemente in acciaio inox quindi immuni da corrosione. L'alto grado di isolamento termico, con conseguente risparmio energetico, viene raggiunto con l'impiego di pannelli in acciaio inox multistrato costruiti con materiali isolanti quali il poliuretano espanso.

## **2.2 ESSICCATOIO PER PASTA LUNGA**

In questo paragrafo saranno presentate e motivate le modifiche introdotte nell'impianto pilota.

### **2.2.1 Impianto pilota esistente**

L'impianto pilota che è stato oggetto di modifiche è un "vecchio" essiccatoio semicontinuo (Pavan 1987) in grado di supportare un carico formato da 70 canne larghe 40 cm (lunghezza utile al supporto di spaghetti). Queste canne venivano depositate su un catena dentata che provvedeva al



loro movimento longitudinale all'interno della macchina. Quest'ultima era sostanzialmente divisa in due ambienti paralleli (sopra-sotto) atti a realizzare rispettivamente essiccazione e rinvenimento. L'essiccazione veniva realizzata secondo lo schema classico: l'aria veniva convogliata (in modo simmetrico) verso il centro dell'impianto da 2 ventilatori, passando poi attraverso 2 batterie e successivamente investiva gli spaghetti dall'alto. Infine l'aria chiudeva il ciclo passando, ormai priva di potere essiccante, agli estremi dell'impianto.

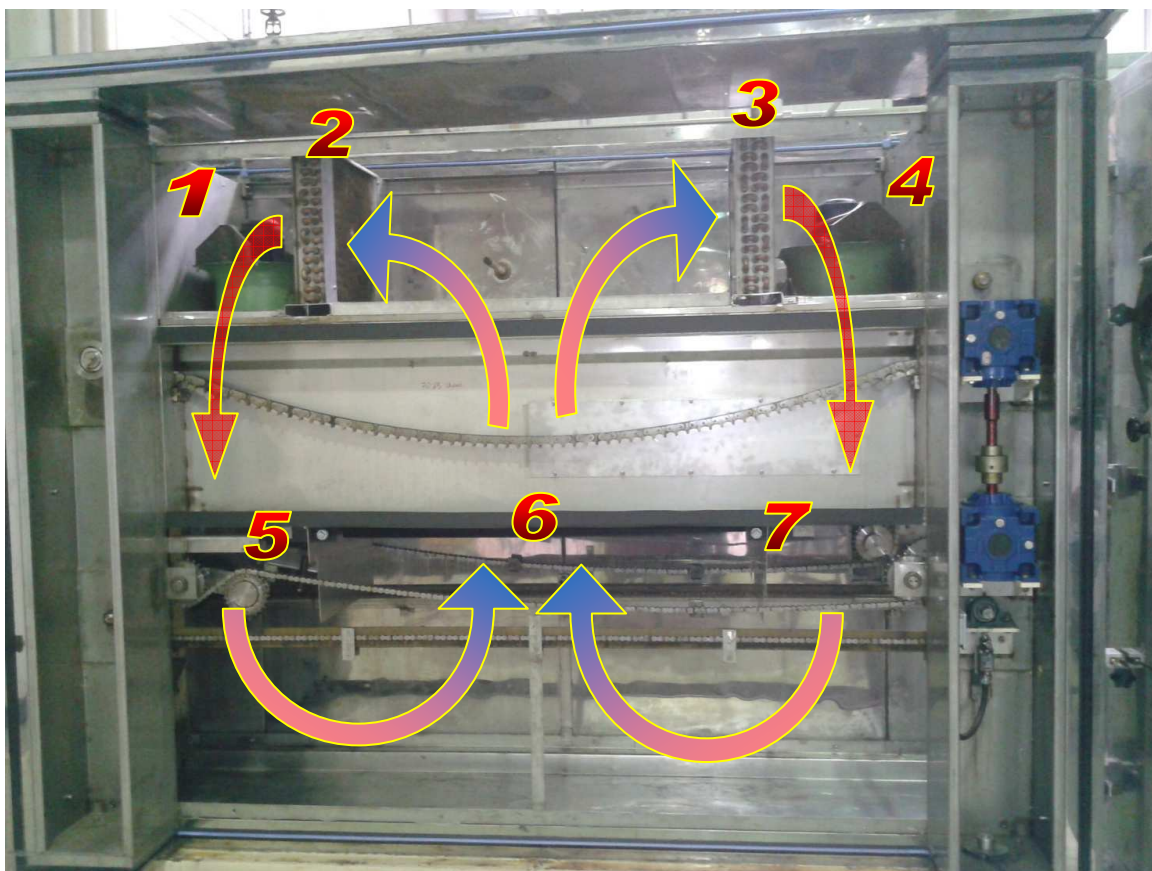
Le condizioni igrotermiche venivano mantenute tramite un sistema automatico composto da una sonda Rotronic (misura di temperatura e umidità), quadro elettrico con software integrato il quale comandava un'elettrovalvola per l'iniezione di vapore e una soffiante per il ricambio dell'aria.

Per quanto riguarda l'apporto di calore al processo, veniva utilizzata una green box per la produzione di acqua surriscaldata (condizioni limite 5 bar e 120°C).

Questo impianto è rimasto in disuso per diversi anni in quanto, oltre a prestazioni scadenti, aveva evidenziato diversi problemi di tenuta dell'ambiente interno (le guarnizioni non erano sufficienti a trattenere il vapore e perciò la macchina è stata completamente siliconata).

### 2.2.2 Interventi di modifica

La figura 2.2 rappresenta la condizione dell'essiccatoio al termine delle modifiche, prima di essere richiuso.



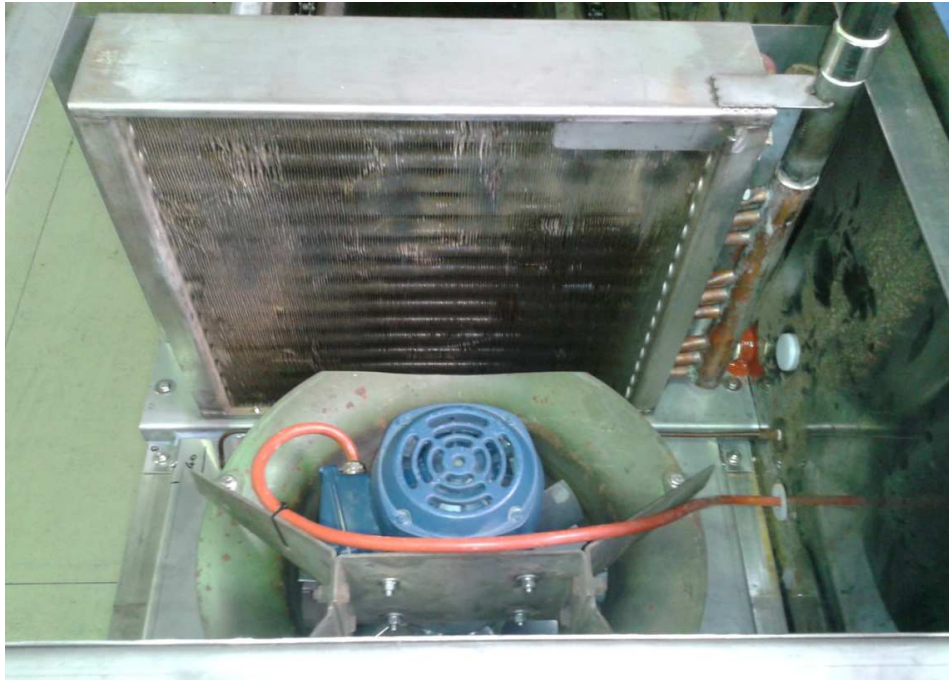
**Figura 2.2** Vista laterale dell'essiccatoio modificato.



In particolare, è stata modificata la disposizione dei ventilatori (1,4) e delle batterie (2,3), mentre è stata aggiunta la batteria 6. Inoltre sono stati inseriti i setti in lamiera (5,7), in modo da impedire all'aria di seguire un percorso troppo breve e realizzare il ciclo d'aria indicato dalle frecce.

Rispetto alla configurazione iniziale il ciclo realizzato è inverso: tale soluzione è stata adottata in modo da poter inserire una terza batteria per incrementare la capacità essiccante dell'impianto.

I dettagli del gruppo batteria-ventilatore (3,4) e della nuova batteria (6) si possono vedere rispettivamente dalle figure 2.3 e 2.4.



**Figura 2.3** Dettaglio del gruppo batteria-ventilatore lato destro.



**Figura 2.4** Dettaglio della batteria centrale.

Oltre a quanto fin ora indicato è stato completamente rifatto l'impianto per la fornitura di acqua calda per le batterie e quello per il vapore.

## 2.3 PRODUZIONE DELLA PASTA

Una volta realizzate le modifiche, l'impianto è stato collaudato procedendo alla produzione, in tempi diversi, sia di spaghetti che di fettuccine. Di seguito è illustrata la produzione di questi tipi di pasta.

### 2.3.1 Produzione di fettuccine

Le fettuccine costituiscono un tipo di pasta laminata che si distingue da quella estrusa, come gli spaghetti, per le caratteristiche proprie: la rugosità, che si percepisce al tatto e che consente un maggiore assorbimento dei condimenti e dei sughi. Il composto per la formatura delle classiche fettuccine prevede l'aggiunta di uova all'impasto di semola ed acqua; non sempre quest'ingrediente è stato utilizzato, sia per ragioni di semplicità che di comparabilità con il processo di produzione degli spaghetti.



Figura 2.5 Impianto pilota per la produzione di fettuccine da 2mm.



L'impianto pilota per la realizzazione di tagliatelle da 2 mm (in figura 2.5) è costituito da:

- 1 - impastatrice N50;
- 2 - sfogliatrice SP540;
- 3 - gruppo rulli di calibrazione doppi MR540;
- 4 - gruppo taglierina con rulli da 2mm TCT350

Acqua e semola di grano duro vengono pesate e impastate in discontinuo nella vasca N50 per circa 10-15 min. La capacità della vasca di impasto è di circa 10 kg. L'impasto poi viene travasato manualmente tramite un contenitore nella sfogliatrice. In questa macchina la pasta è mantenuta in miscelazione e viene forzata a passare attraverso due rulli con profilo piatto realizzando una sfoglia di larghezza regolabile tramite l'ausilio di taglierine mobili poste sul tappeto. La sfoglia viene successivamente inviata ai rulli di calibrazione che provvedono a regolarizzare lo spessore della sfoglia e infine alla taglierina la quale provvede a tagliare le fettuccine della lunghezza desiderata.

### 2.3.2 Produzione di spaghetti

Gli spaghetti sono prodotti esclusivamente con semola di grano duro ed acqua. Le fasi principali di lavorazione comprendono: dosaggio degli ingredienti, preparazione dell'impasto, formatura, essiccamento. Il processo industriale è continuo e condotto in impianti ad alta produzione, in grado di assicurare una produzione oraria che raggiunge alcune migliaia di chilogrammi. Nell'azienda dove si è realizzata la ricerca -Pavan S.p.A. di Galliera Veneta- si realizzano impianti di questo tipo. Per le prove in esame è stato utilizzato un impianto pilota disponibile presso l'Azienda. L'unità è costituita da una sezione nella quale si provvede alla produzione dell'impasto utilizzando un mixer batch a palette e da un estrusore pilota, denominato FP70, che lavora in continuo ed assicura la formatura del prodotto sottovuoto (figura 2.6).



**Figura 2.6** Impianto pilota per la produzione di spaghetti da 1,5 mm.

FP70 è l'acronimo di formatore pressa da 70mm: l'impianto è formato principalmente da una vite, di diametro 70mm appunto, che provvede a forzare l'impasto attraverso una trafila che dà la forma all'estruso. A valle di questa si trova un taglierino rotante che permette di ottenere spaghetti della lunghezza voluta. Nei test effettuati non è stato utilizzato il taglierino ma gli spaghetti sono stati rifilati a mano.

I parametri di funzionamento impostati sono i seguenti:

- trafila: diametro spaghetti 1,5 mm, in teflon;
- maglia filtro trafila: 1,2 mesh ;
- giri della vite: 18,1 rpm;
- pressione nella testata: 75 bar;
- pressione di vuoto: 640 mmHg;
- temperatura del cilindro: 35 °C;
- umidità impasto: 33,85 %.

# Capitolo 3

## Analisi dei dati e risultati

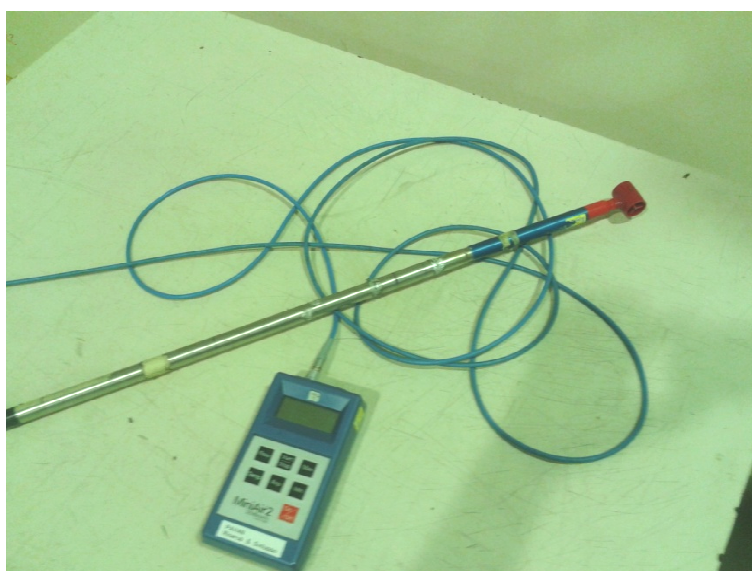
In questo capitolo vengono presentati ed analizzati i dati raccolti durante lo studio, corredati dalle condizioni sperimentali nelle quali sono state effettuate le misurazioni e descritti gli strumenti utilizzati.

### 3.1 VERIFICA DELLA VENTILAZIONE

Lo scopo di questa parte dello studio è stato quello di valutare se la struttura realizzata fosse in grado di assicurare adeguati profili della velocità dell'aria. In particolare l'indagine condotta ha permesso di apportare alcune modifiche in corso d'opera, di verificare l'assenza di eventuali dispersioni e la simmetria dei flussi che si realizzano all'interno.

Le misurazioni di velocità sono state effettuate con un anemometro (Figura 3.1).

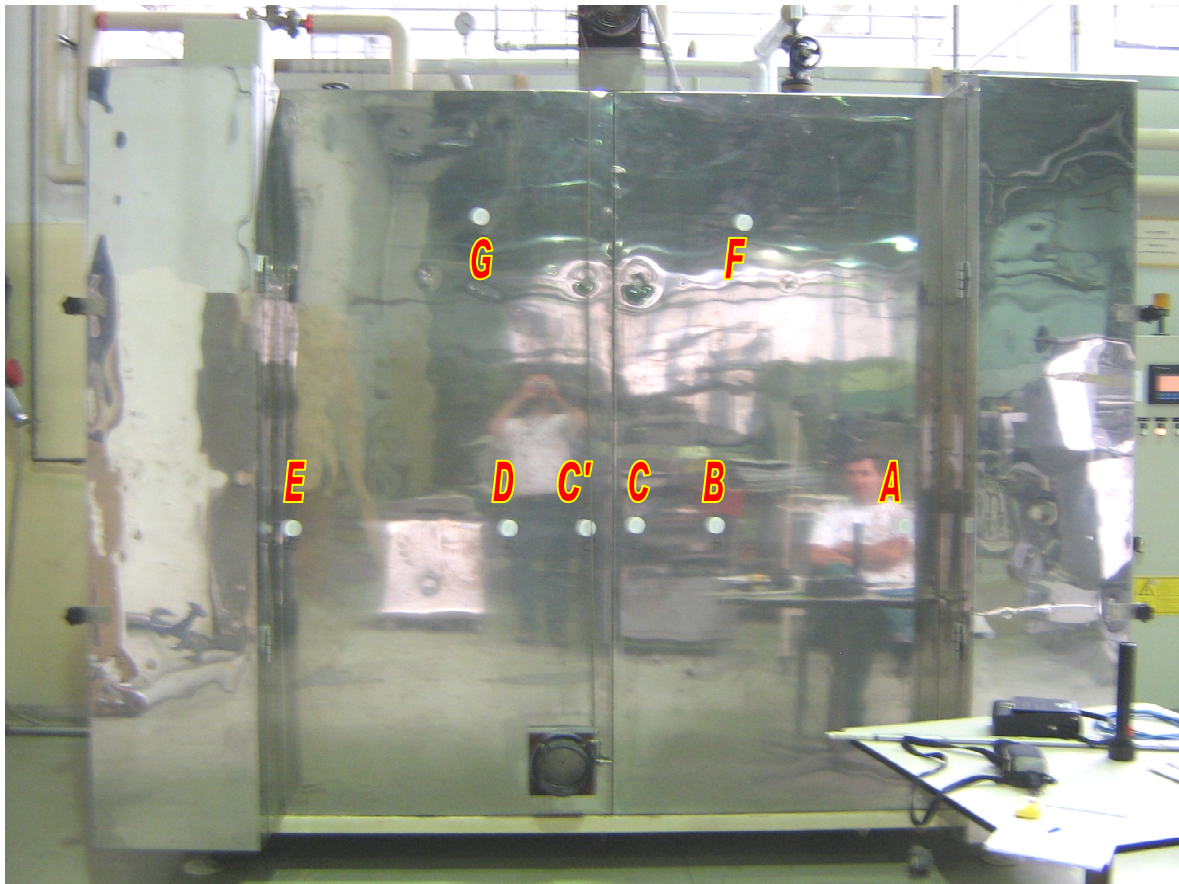
Il principio di funzionamento di questo strumento è basato su un contatore capacitivo che rileva il numero di giri compiuti da una piccola ventola metallica posta all'interno di una struttura cilindrica. Esso è poi collegato a un microprocessore che permette, oltre alla visualizzazione della velocità istantanea, anche di calcolare una misura media nel tempo desiderato.



**Figura 3.1** Anemometro con microprocessore associato.

Per quanto riguarda il campionamento, si è deciso di rilevare la velocità dell'aria all'interno dell'essiccatoio a tre profondità, per ogni punto di campionamento. Queste profondità coincidono

una con l'asse delle canne e le altre due rispettivamente a 5 cm dal bordo utile per il deposito degli spaghetti.



**Figura 3.2** Impianto completo al termine delle modifiche e punti di campionamento indicati con le lettere A, B, C, C', D, E, F e G.

I punti di prelievo, evidenziati in figura 3.2, sono otto. Per ciascuno sono state rilevate le due componenti di velocità, orizzontale e verticale. Nel test preliminare, a freddo, le zone considerate sono state sette, in particolare C e C' coincidono.

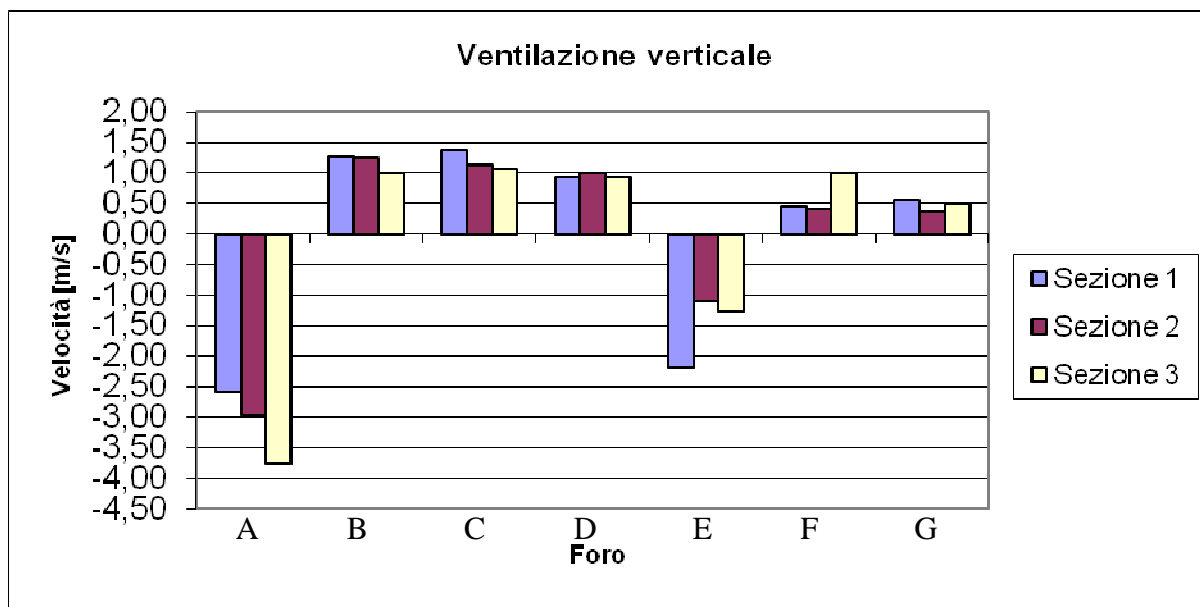
### 3.1.1 Prova preliminare a freddo

Preliminarmente è stato effettuato un test a freddo, escludendo l'impianto di riscaldamento. La macchina è stata caricata con fettuccine da 2 mm e lunghezza pari a 95 cm, in modo da depositarle ripiegate sulle canne con una lunghezza di 47 cm. I motori dei ventilatori sono stati fatti girare a 30Hz .

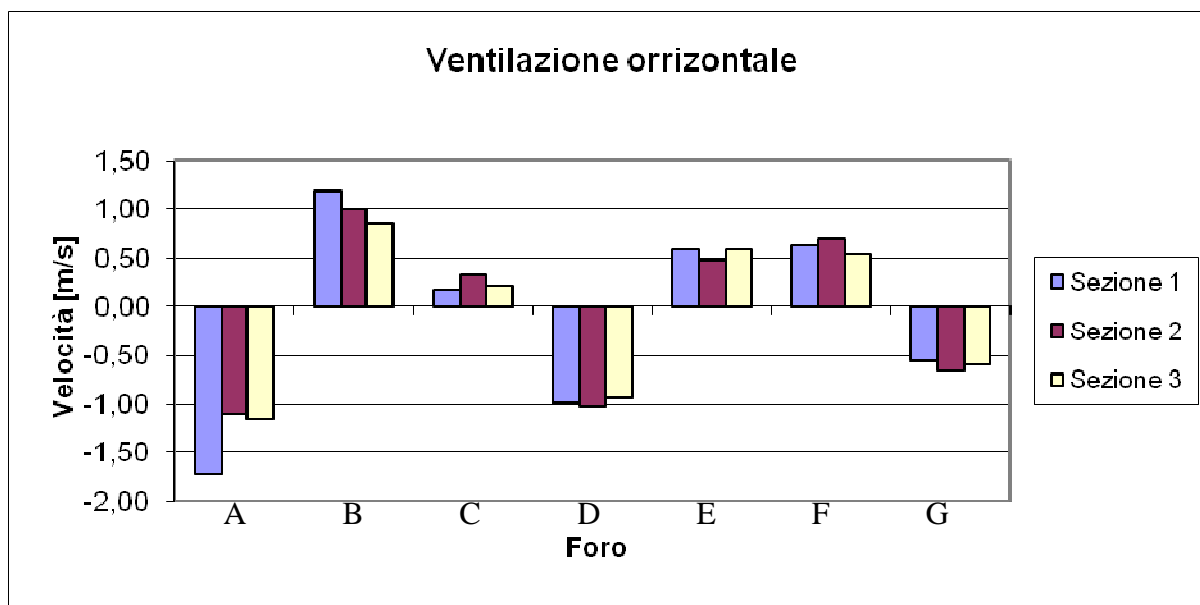
Le misure sono state condotte considerando un intervallo di tempo pari a 10 s. I dati riportati corrispondono alla media nel periodo di campionamento (verso positivo assunto: alto-destra).

Come si può notare in figura 3.3 i profili verticali sono leggermente asimmetrici in ogni zona; inoltre si evidenzia la sostanziale differenza tra la distribuzione della velocità nel punto A e nel punto E, pur trovandosi entrambi sull'asse del ventilatore.

Dall'analisi dei dati relativi alla componente orizzontale della velocità (figura 3.4), invece, si nota che all'interno della macchina è presente elevata turbolenza dato che i valori nei diversi punti di campionamento variano di poco nelle tre sezioni considerate. Tuttavia ciò è probabilmente è stato dovuto dal non rigoroso caricamento della macchina. Infatti il prodotto utilizzato non era stato depositato sulle canne con elevata uniformità. Questo perché l'obiettivo della prova era appunto verificare che i motori fossero sufficienti a mantenere una ventilazione adeguata.



**Figura 3.3** Test a freddo. Profili della componente verticale della velocità dell'aria con riferimento ai 7 punti di prelievo (A-G) considerati. Le sezioni 1,2 e 3 si riferiscono rispettivamente al bordo sinistro, il centro e il bordo destro della canna.



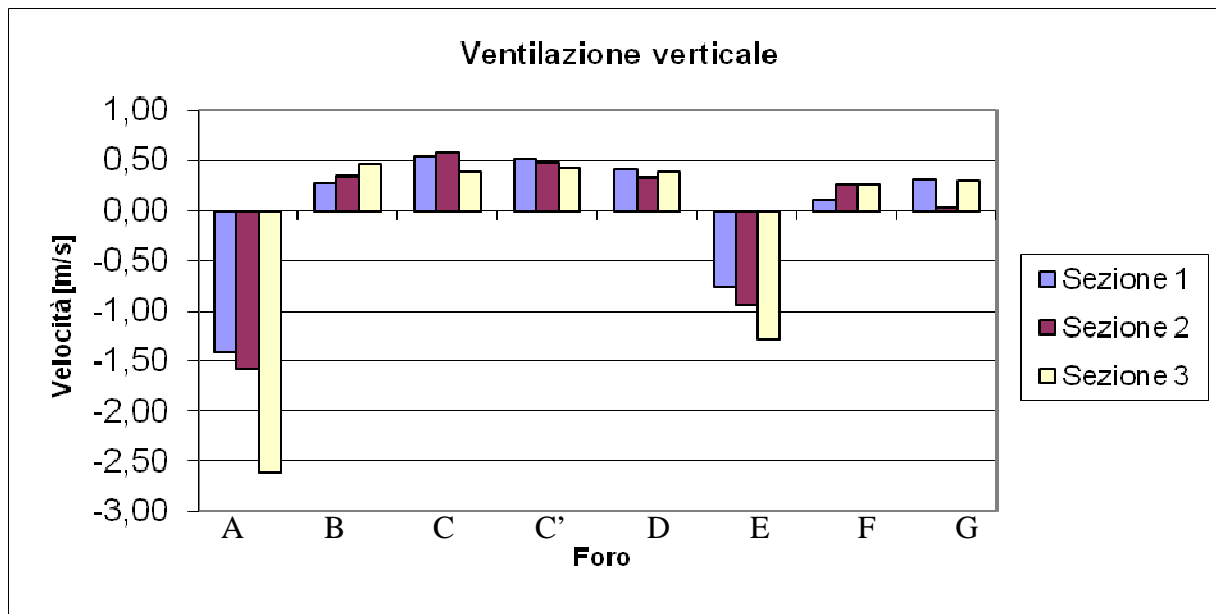
**Figura 3.4** Test a freddo. Profili della componente orizzontale della velocità dell'aria con riferimento ai 7 punti di prelievo (A-G) considerati. Le sezioni 1,2 e 3 si riferiscono rispettivamente al bordo sinistro, il centro e il bordo destro della canna.



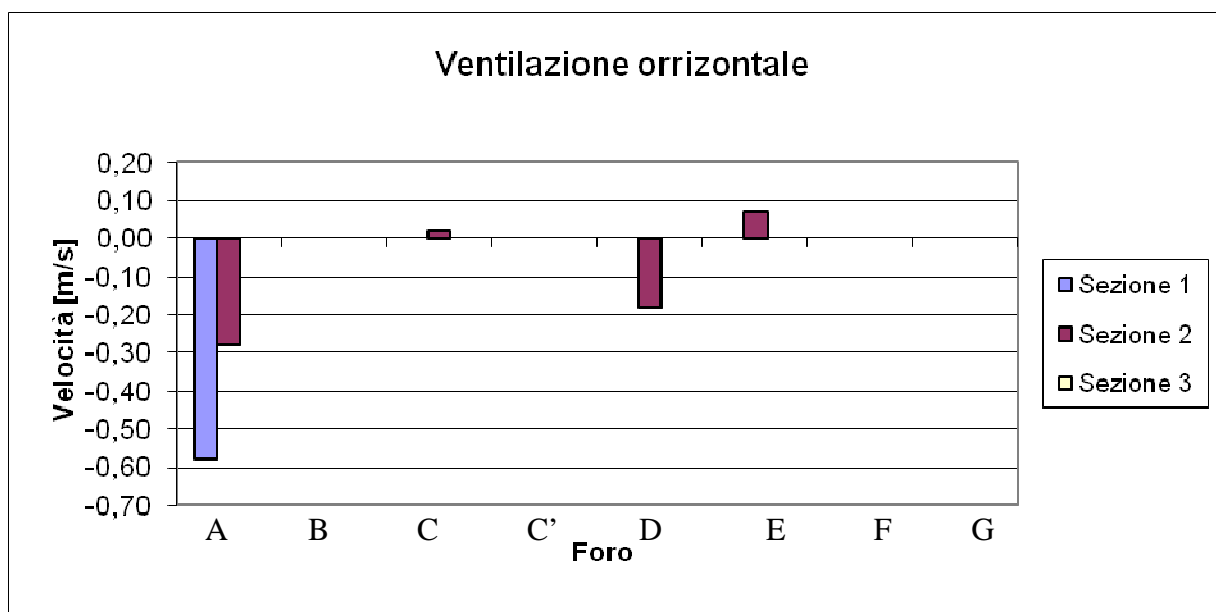
### 3.1.2 Prova a caldo

Per lo svolgimento di questo test sono stati realizzati spaghetti di diametro 1,5 mm e lunghi 99 cm, realizzando così una lunghezza sulla canna di 49 cm, la massima possibile per questo impianto. Al momento della raccolta dati l'impianto ha lavorato a 80°C, con umidità relativa dell'aria pari a 85% e frequenza di rotazione dei motori pari a 30 Hz.

Come il precedente test i dati riportati corrispondono alla media su 10s di campionamento.



**Figura 3.5** Test a caldo. Profili della componente verticale della velocità dell'aria con riferimento agli 8 punti di prelievo (A-G) considerati. Le sezioni 1,2 e 3 si riferiscono rispettivamente al bordo sinistro, il centro e il bordo destro della canna.

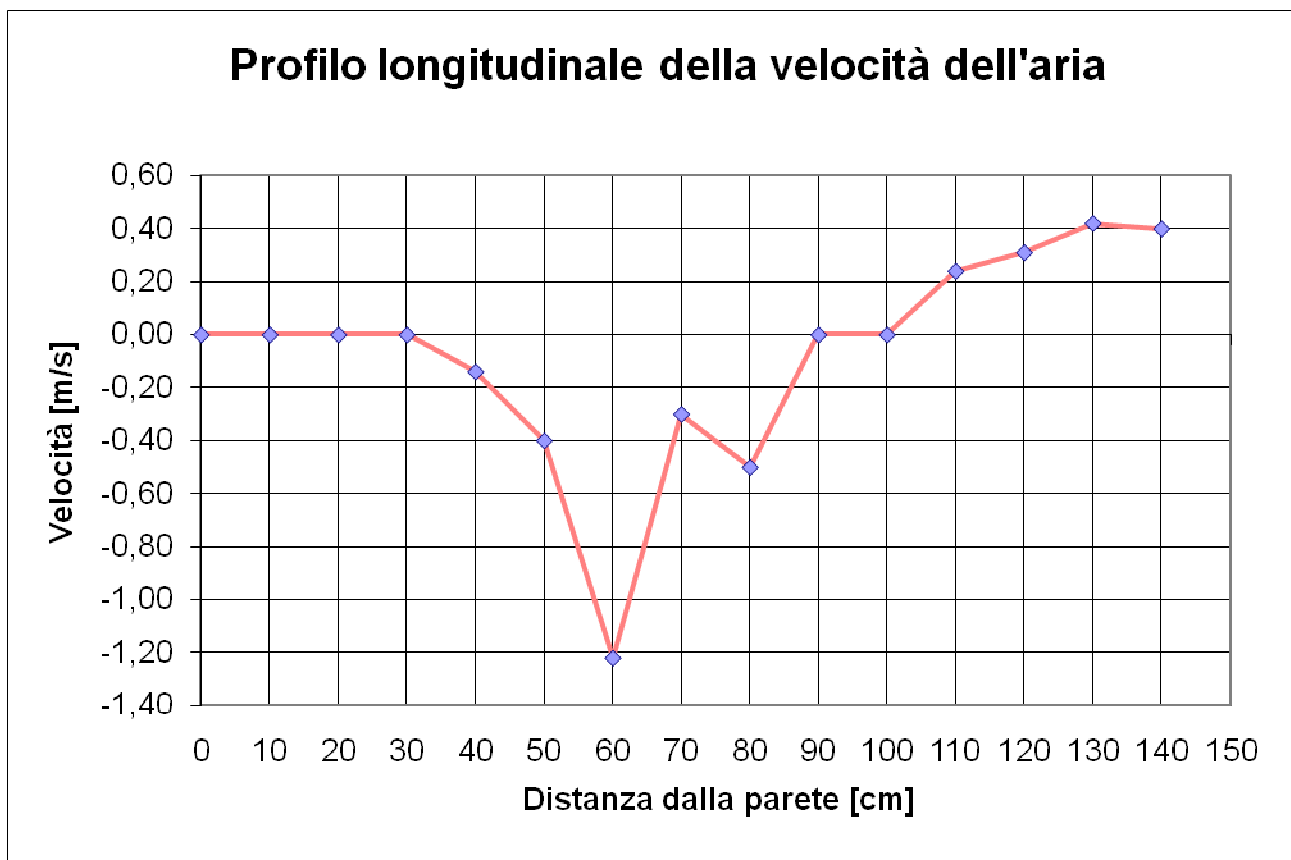


**Figura 3.6** Test a caldo. Profili della componente orizzontale della velocità dell'aria con riferimento agli 8 punti di prelievo (A-G) considerati. Le sezioni 1,2 e 3 si riferiscono rispettivamente al bordo sinistro, il centro e il bordo destro della canna.



Si può notare (figura 3.5 e 3.6) come la velocità e la turbolenza siano generalmente minori rispetto al test a freddo. Ciò è dovuto oltre che dalle diverse condizioni termo-igrometriche anche al miglior caricamento effettuato. Tuttavia persiste la turbolenza interna in alcuni punti, in particolare la zona relativa alla foro A presenta componenti orizzontali della velocità il cui valore è discretamente diverso da zero. Ciò è molto probabilmente dovuto alla non perfetta tenuta dei setti e delle pareti installate in tale zona.

Oltre a questi profili è stato rilevato il profilo di velocità longitudinale a partire dalla parete destra e fino al centro della macchina, in corrispondenza dell'asse di simmetria verticale e all'altezza della batteria centrale. I risultati ottenuti sono riportati in figura 3.7.



**Figura 3.7** Test a caldo. Profilo longitudinale della velocità dell'aria. La situazione rappresentata si riferisce a metà macchina, a partire dalla parete di destra.

Per la prova si è assunta l'ipotesi di sistema simmetrico. Il profilo di velocità in figura 3.7 riassume il percorso dell'aria all'interno dell'impianto: essa è convogliata dai ventilatori laterali verso il basso, per poi completare il ciclo risalendo attraverso il centro.

## 3.2 VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA

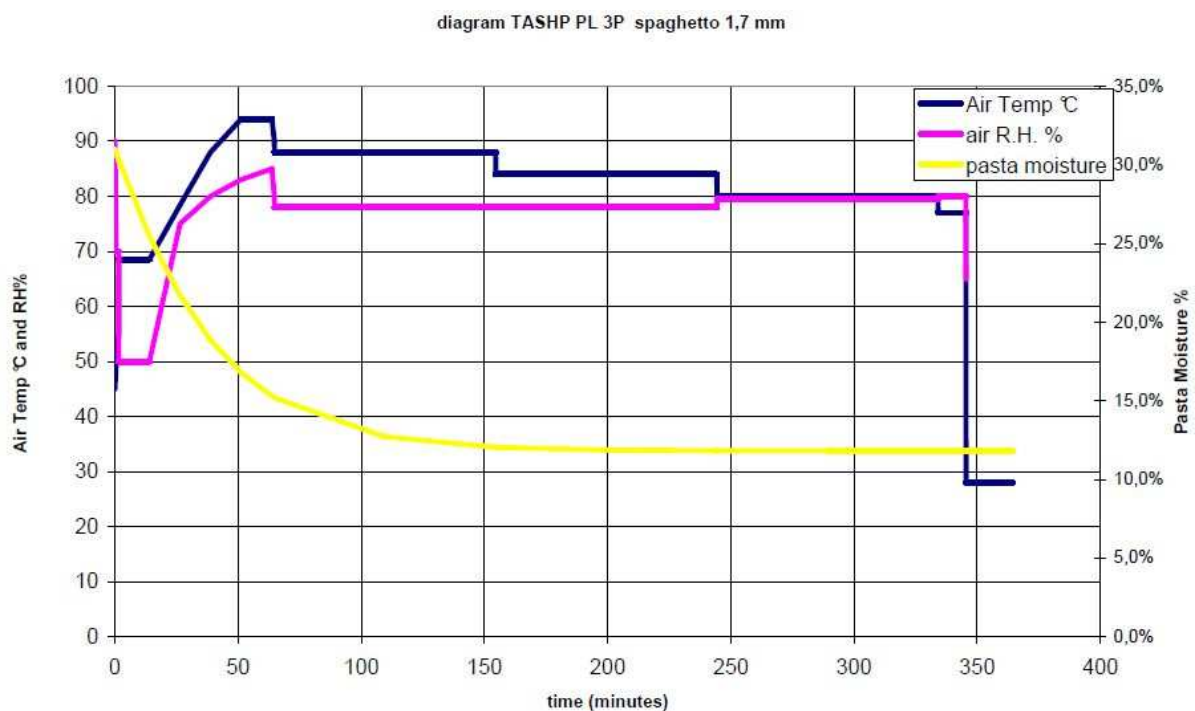
Dopo le verifiche di funzionamento è necessario valutare la qualità dell'essiccazione del prodotto. Da ricordare che l'efficienza non dipende solamente dalla parte meccanica dell'essiccatoio, ma è legata soprattutto alla ricetta che viene impostata. Le condizioni per favorire l'essiccazione non sono le stesse per tutta la durata del processo e ciò obbliga all'esecuzione di diversi test, in diverse condizioni, per poter valutare la qualità della pasta alla fine del processo.

### 3.2.1 Umidità e temperatura

L'umidità relativa è definita come il rapporto tra la massa (m) del vapor d'acqua presente in un certo volume di aria secca e la massa (m\*) del vapor d'acqua in condizioni di saturazione presenti nello stesso volume e nelle medesime condizioni di temperatura e pressione. Essa viene quindi quantificata dall'eq. 3.1:

$$UR\% = 100 \times m/m^* \quad (3.1)$$

Come già precedentemente rilevato, l'umidità relativa e la temperatura dell'ambiente di essiccazione sono le variabili fondamentali da considerare per la buona riuscita del processo.



**Figura 3.8** Diagramma delle condizioni di processo per un essiccatoio industriale.

Da quando si può vedere in figura 3.8 le condizioni ottimali di processo sono tali da favorire la rapida diminuzione dell'umidità del prodotto senza che esso però ne venga intaccato, in particolare con formazione di venature e colorazioni troppo brune.

Per mantenerle sotto controllo, l'essiccatoio è dotato di diverse sonde per la temperatura sull'acqua calda in ingresso e in uscita dalle batterie e una sonda Rotronic per la misura della temperatura e dell'umidità dell'aria nella camera superiore della macchina. Queste sonde sono poi collegate a un quadro elettrico nel quale un software provvede a leggere questi dati e ad agire sulle elettrovalvole dell'acqua calda, del vapore e dell'immissione di aria fresca, in modo da mantenere le condizioni impostate per il processo.

### 3.2.2 Analisi dei dati

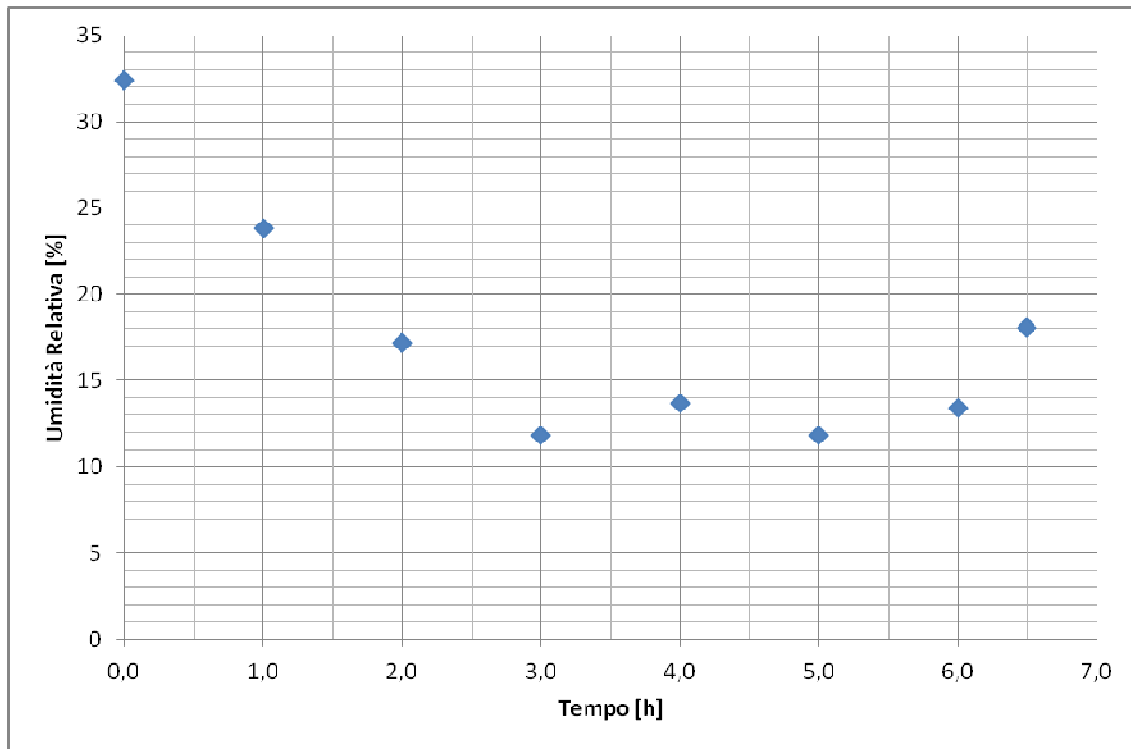
Sono di seguito riassunti i dati ottenuti nelle prove effettuate. Per ciascun test vengono riportati: la ricetta impostata, le misure di umidità e i risultati ottenuti. Da notare che in tutte le esperienze i dati risentono del fatto che il caricamento non è contiguo con la produzione. Ciò implica che il prodotto ha umidità diverse al momento dell'avviamento del processo.

#### Test 1 08-09-2011

Sono stati essiccati spaghetti di farina di frumento con umidità iniziale dell'impasto pari al 32,4%. La seguente ricetta è stata impostata nel quadro di controllo:

Drying temperature 1°step	°C	65
Relative humidity 1°step	%	75
1°step drying time	min	15'
Drying temperature 2°step	°C	70
Relative humidity 2°step	%	85
2°step drying time	min	15'
Drying temperature 3°step	°C	75
Relative humidity 3°step	%	85
3°step drying time	min	30'
Drying temperature 4°step	°C	85
Relative humidity 4°step	%	85
4°step drying time	min	30'
Drying temperature 5°step	°C	80
Relative humidity 5°step	%	78
5°step drying time	min	90'
Drying temperature 6°step	°C	80
Relative humidity 6°step	%	82
6°step drying time	min	90'
Drying temperature 7°step	°C	85
Relative humidity 7°step	%	75
7°step drying time	min	90'
Total drying time	min	390
Final moisture content	%	10'

Gli spaghetti per poter essere appoggiati alle canne sono stati tagliati ad una lunghezza di 520 mm; il carico dell'essiccatoio è durato circa 2 ore. Durante le fasi di essiccazione a ogni 30' è stata misurata l'umidità ottenendo i risultati riportati in figura 3.9.



**Figura 3.9** Test 1. Umidità del prodotto durante il processo di essiccazione

Da essi si può notare l'andamento anomalo dell'umidità, la quale nell'ultima fase di essiccazione cresce invece di diminuire; inoltre il suo valore finale è abbondantemente superiore ai limiti fissati dalla relativa normativa (12,5%).

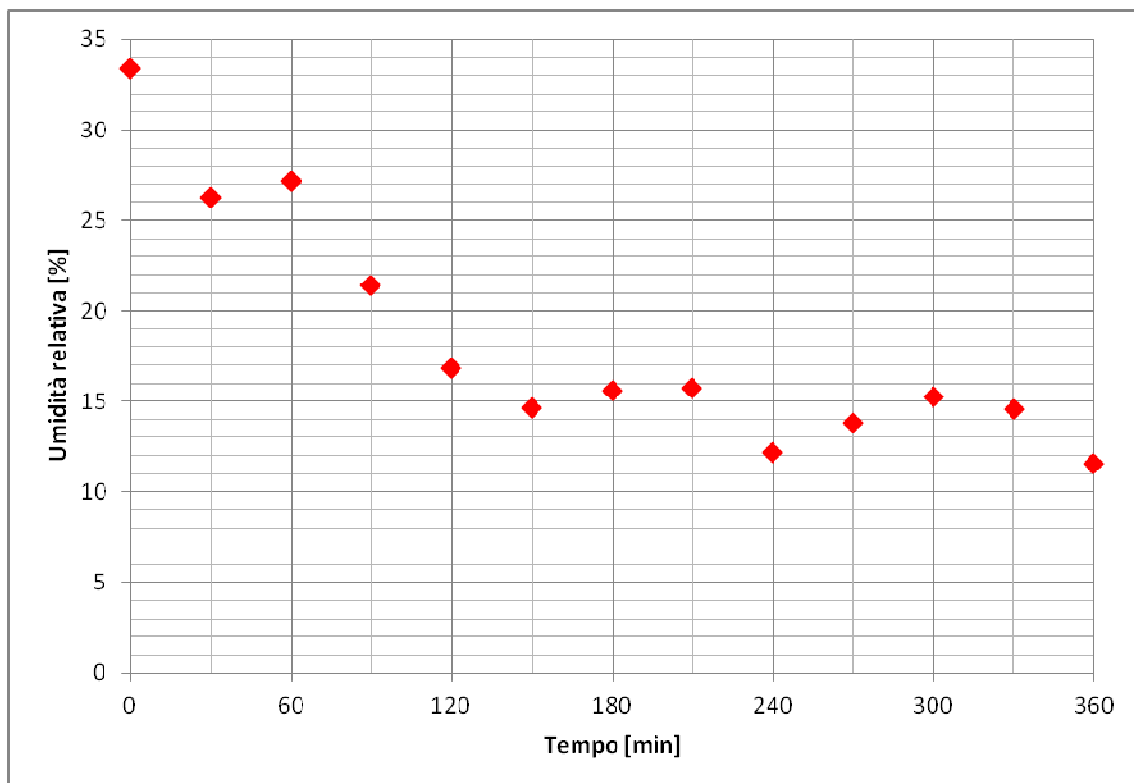
Per quanto riguarda la conduzione della test, durante la prima fase dell'essiccazione è stato notato che l'umidità relativa dell'aria saliva molto lentamente, rimanendo al disotto di circa 10 punti rispetto al valore di set point per la prima ora e mezza per poi raggiungere improvvisamente tale valore, Tale comportamento è da imputare ad un malfunzionamento della valvola di immissione del vapore. Lo stesso problema è stato riscontrato per la temperatura che, per la prima ora, ha assunto valori al disotto del set point raggiungendo tranquillamente tale valore solo successivamente. Si è quindi ritenuto necessario effettuare, preliminarmente, un preriscaldamento dell'impianto.

**Test 2** 14-09-2011

Sono stati essiccati spaghetti di semola di grano duro con umidità iniziale dell'impasto pari al 33,35%.

La seguente ricetta è stata impostata nel quadro di controllo:

Drying temperature 1°step	°C	65
Relative humidity 1°step	%	75
1°step drying time	min	15'
Drying temperature 2°step	°C	70
Relative humidity 2°step	%	85
2°step drying time	min	30'
Drying temperature 3°step	°C	75
Relative humidity 3°step	%	85
3°step drying time	min	30'
Drying temperature 4°step	°C	85
Relative humidity 4°step	%	85
4°step drying time	min	30'
Drying temperature 5°step	°C	99
Relative humidity 5°step	%	78
5°step drying time	min	90'
Drying temperature 6°step	°C	80
Relative humidity 6°step	%	82
6°step drying time	min	99'
Drying temperature 7°step	°C	85
Relative humidity 7°step	%	75
7°step drying time	min	90'
Total drying time	min	405
Final moisture content	%	11,58



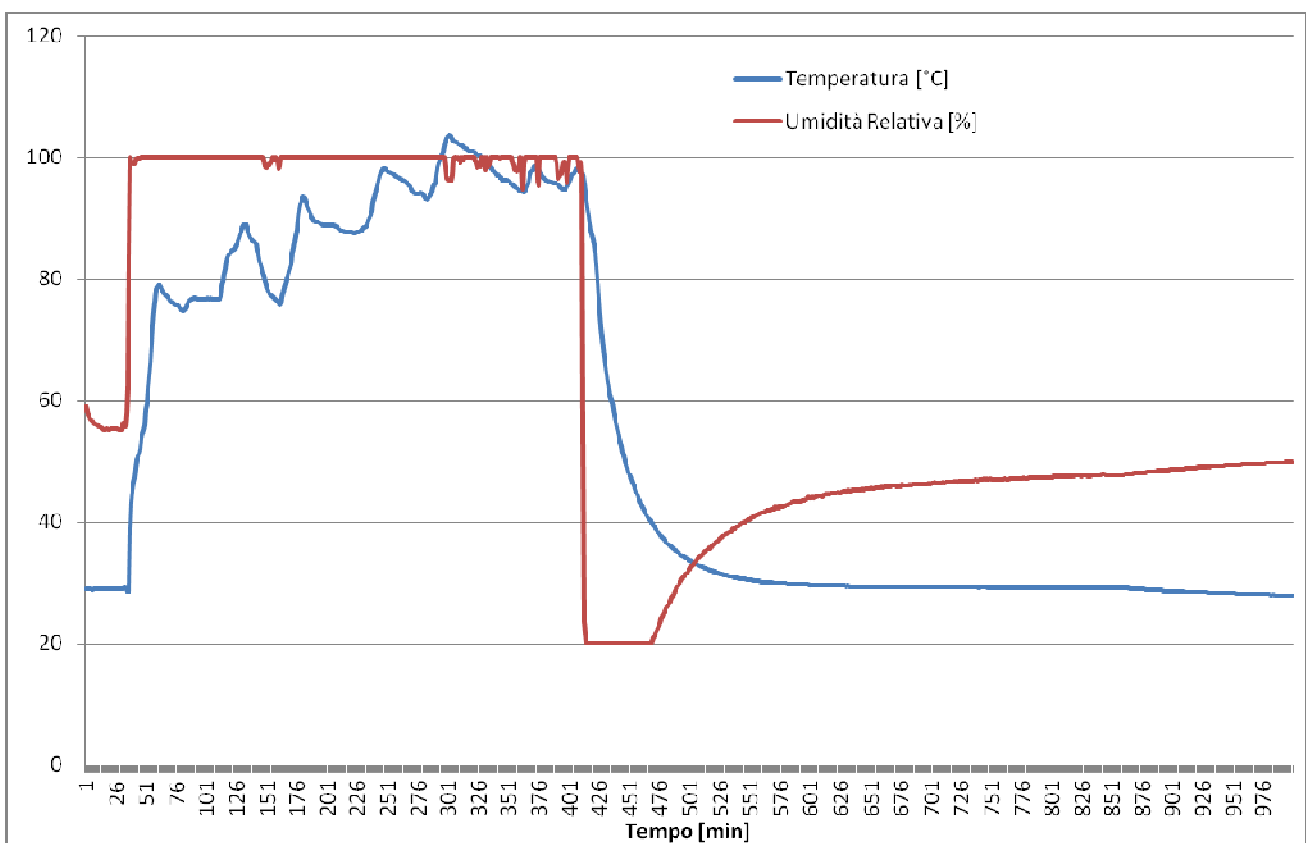
**Figura 3.10** Test 2. Umidità del prodotto durante il processo di essiccazione

Gli spaghetti per poter essere appoggiati alle canne sono stati tagliati ad una lunghezza di 520mm; l'impianto è stato preriscaldato ed il carico dell'essiccatoio è durato circa 2h. Durante le fasi di essiccazione, ad ogni 30' è stata misurata l'umidità, ottenendo i risultati riportati in figura 3.10.

A differenza della prova precedente, in questo caso l'andamento dell'umidità è decrescente e il suo valore finale è prossimo a quanto stabilito dalla normativa (12,5%).

Durante il test si è rilevata una differenza della velocità di ventilazione tra set point e point value, che ha suggerito di verificare il fondo scala dell'inverter della ventilazione.

L'essiccazione ha avuto esito negativo: la pasta si è tutta venata, ciò è stato probabilmente causato dall'eccesso di temperatura impostato a metà processo per far fronte a una troppo scarsa essiccazione iniziale.



**Figura 3.11** Test 2. Temperatura e umidità relativa dell'ambiente di essiccazione

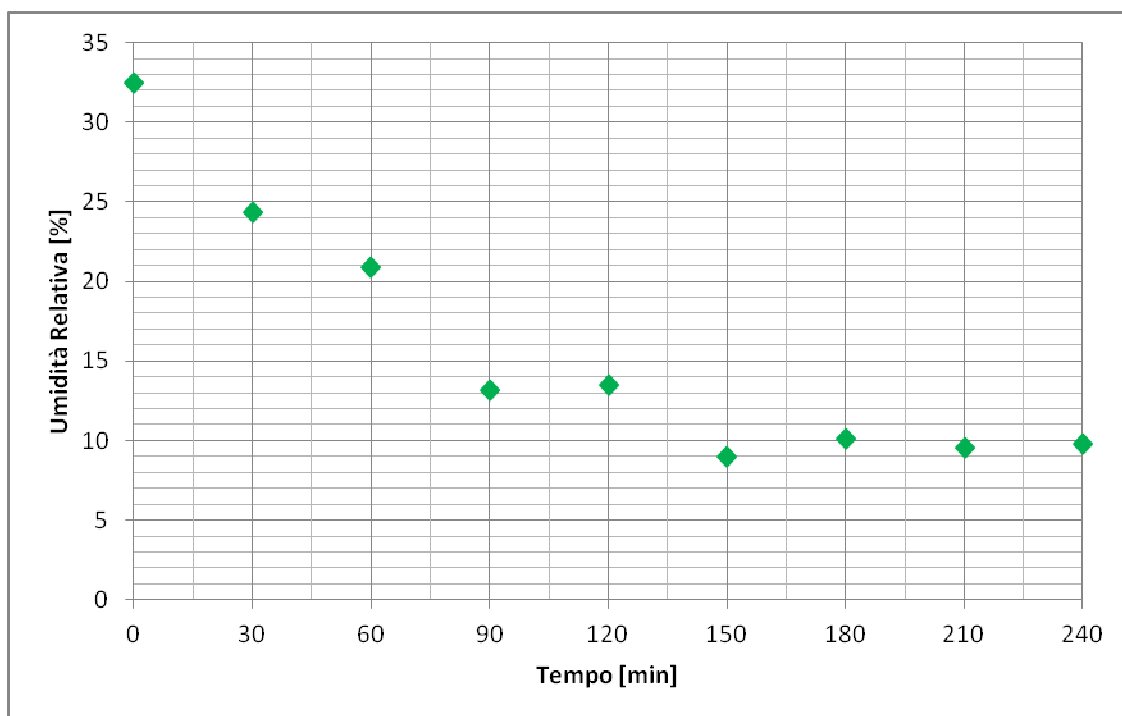
Per la verifica delle condizioni interne all'impianto è stato posto su una canna un data trace elettronico, che ha permesso di rilevare i dati riportati in figura 3.11. I dati rilevati fino al tempo di 405 min sono quelli all'interno dell'essiccatoio, mentre i valori successivi si riferiscono alle condizioni che si sono instaurate spontaneamente durante la fase di stabilizzazione del prodotto. Da quanto si può notare l'umidità si è praticamente mantenuta sul 100%, fattore che sfavorisce la rapida essiccazione del prodotto. Si è ritenuto perciò necessario aumentare la ventilazione, per favorire l'instaurarsi delle condizioni impostate.

**Test 3 30-09-2011**

Sono stati essiccati spaghetti di semola di grano duro con umidità iniziale dell'impasto pari al 32,4%.

La seguente ricetta è stata impostata nel quadro di controllo:

Drying temperature 1°step	°C	85
Relative humidity 1°step	%	75
1°step drying time	min	30'
Drying temperature 2°step	°C	88
Relative humidity 2°step	%	85
2°step drying time	min	30'
Drying temperature 3°step	°C	90
Relative humidity 3°step	%	70
3°step drying time	min	60'
Drying temperature 4°step	°C	85
Relative humidity 4°step	%	70
4°step drying time	min	120



**Figura 3.12** Test 3. Umidità del prodotto durante il processo di essiccazione

Gli spaghetti per poter essere appoggiati alle canne sono stati tagliati ad una lunghezza di 520 mm; sono stati disposti su dei cavalletti e successivamente messi all'interno dell'essiccatoio. Prima di ciò è stato effettuato il pre-riscaldamento ad una temperatura di 85°C ed umidità relativa pari al 75%. Si è lavorato con la ventilazione a 50 Hz e la valvola dell'immissione del vapore chiusa.

Il risultato finale di questa prova è stato discreto: le punte e le teste degli spaghetti si sono venate, forse a causa dell'eccessiva ventilazione. Da notare che ai lati, a causa della turbolenza dell'aria, per un tratto di 4-5 spaghetti, si ha un prodotto che presenta venature.

I risultati ottenuti evidenziano che bisognerebbe eliminare le turbolenze dell'aria con delle modifiche laterali dell'essiccatoio e poi ridurre la ventilazione a 40Hz.

**In ogni caso si deve considerare che nonostante le venature, si è riusciti ad ottenere un prodotto con umidità entro i limiti previsti dalla normativa e a ridurre il tempo di essiccazione da 6h a 4h. In questo modo la durata del processo risulta ridotta del 33% rispetto agli impianti industriali.**

Durante la conduzione dei test, si è individuato un problema legato alla forma della sezione della zona di essiccazione (figura 3.13). In essa si possono notare le due zone di processo: quella superiore di essiccazione e quella inferiore di rinvenimento.

Come indicato dalle frecce in figura 3.13, la sezione della zona di essiccazione non è perfettamente rettangolare, il che genera un'elevata turbolenza che contribuisce a far diminuire la qualità del prodotto.



**Figura 3.13** Vista frontale dell'impianto pilota a porte aperte . Le frecce indicano la variazione di sezione nella zona di essiccazione.

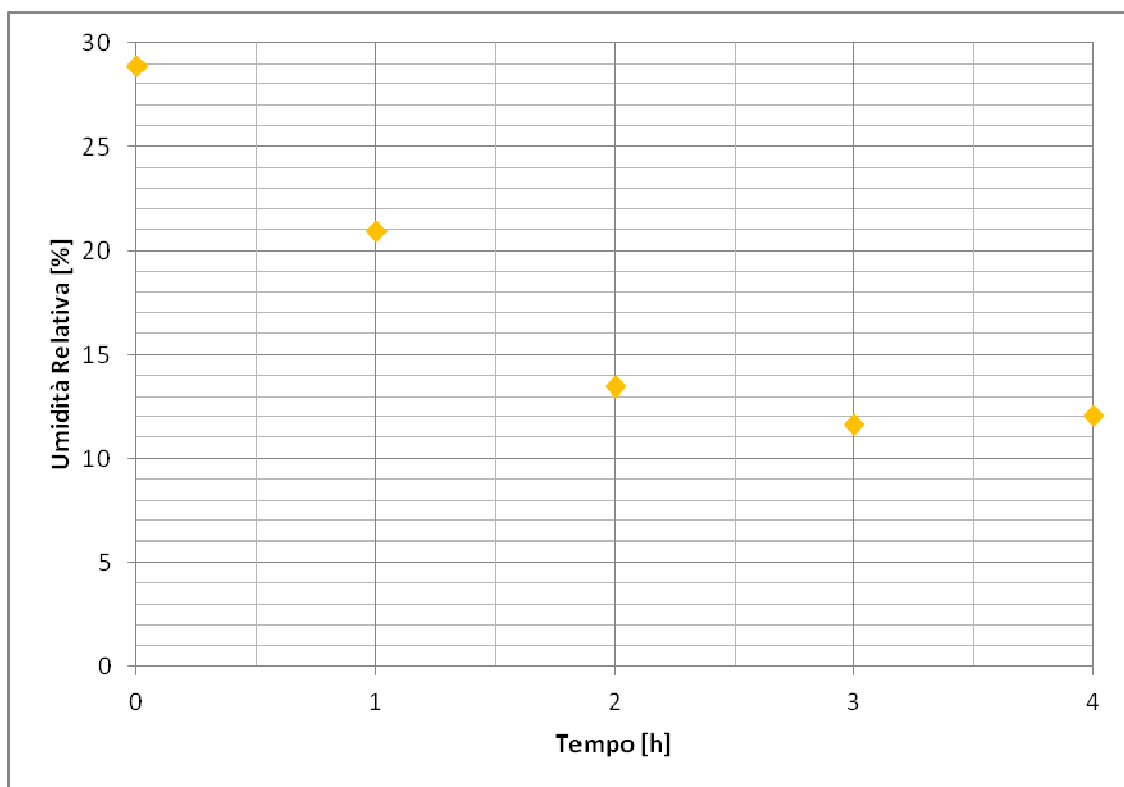


**Test 4 05-09-2011**

Sono stati essiccati spaghetti di semola di grano duro con umidità iniziale dell'impasto pari al 32,4%, umidità fuori trafila 28,9%.

La seguente ricetta è stata impostata nel quadro di controllo:

Drying temperature 1°step	°C	85
Relative humidity 1°step	%	75
1°step drying time	min	30'
Drying temperature 2°step	°C	88
Relative humidity 2°step	%	85
2°step drying time	min	30'
Drying temperature 3°step	°C	90
Relative humidity 3°step	%	70
3°step drying time	min	60'
Drying temperature 4°step	°C	85
Relative humidity 4°step	%	70
4°step drying time	min	120



**Figura 3.14** Test 4. Umidità del prodotto durante il processo di essiccazione

Gli spaghetti per poter essere appoggiati alle canne sono stati tagliati ad una lunghezza di 520 mm; sono stati disposti su dei cavalletti e dopo messi all'interno dell'essiccatoio. Prima di ciò è stato effettuato il pre-riscaldamento ad una temperatura di 85°C ed umidità relativa pari al 75%. Si è lavorato con la ventilazione a 40 Hz. La valvola dell'immissione del vapore è rimasta chiusa fino al momento in cui l'umidità relativa dell'ambiente non è scesa al di sotto del 55%. Raggiunto tale

limite minimo, la valvola è stata riaperta fino al raggiungimento del set point, e poi richiusa nuovamente. Tale modalità di lavoro è stata adottata per tutto il ciclo dell'essiccazione.

Il risultato finale di questa prova è stato peggiore di quello ottenuto nel test 3, a causa del fatto che al termine del processo è stata aperta l'immissione del vapore, come avviene negli impianti industriali, e un po' di prodotto in più si è venato. Anche in questo test le punte e le teste si sono venate, forse a causa dell'eccessiva ventilazione, così come ai lati, per un tratto di 4-5 spaghetti, a causa della turbolenza dell'aria.

I risultati ottenuti suggeriscono di eliminare le turbolenze dell'aria con delle modifiche laterali dell'essiccatoio e di ridurre ulteriormente la ventilazione a 30Hz.

**In ogni caso, anche in questa prova si è riusciti ad ottenere un prodotto discreto con tempo di processo del 33% inferiore rispetto a quello necessario negli impianti industriali, confermando l'efficacia della soluzione proposta e la reale possibilità di applicazione della nuova configurazione.**

# Conclusioni

L'attività sperimentale svolta durante il periodo di tirocinio presso l'azienda Pavan S.p.A. di Galliera Veneta, aveva lo scopo di verificare i risultati di precedenti studi sull'inversione dei flussi di aria durante l'essiccazione di pasta lunga. Per realizzare ciò un vecchio impianto pilota obsoleto e non performante è stato completamente riadattato secondo una configurazione innovativa per la realizzazione di flussi alternati.

Una volta terminate le modifiche meccaniche ed allacciato l'essiccatoio ai servizi di fabbrica, l'impianto è stato collaudato. In questa fase sono emersi i vari problemi connessi alla realizzazione della nuova configurazione. Tutto ciò ha permesso di identificare le variazioni da introdurre e di evidenziare le problematiche legate ad una eventuale futura produzione su grande scala di questi essiccatoi di nuova generazione. Ma oltre ai problemi è emerso un importante pregio. Nella nuova configurazione, la struttura interna del macchinario è stata semplificata: sono stati eliminati deflettori e convogliatori, sfruttando il corpo stesso della pasta per realizzare la separazione tra i due ambienti (essiccazione e rinvenimento). Ciò comporta non solo un ovvio risparmio in fase di realizzazione ma anche un vantaggio in fase di manutenzione, in quanto la struttura più scarna semplifica notevolmente la mobilità all'interno dell'impianto stesso.

Per quanto riguarda l'efficienza del processo, l'esito della modifica non può essere ancora considerato definitivo. I risultati fin ora ottenuti sono piuttosto promettenti, tuttavia sono necessarie ulteriori prove per identificare e affinare la ricetta da impostare per ottenere risultati ottimali, in quanto si tratta di un processo delicato e dall'esito molto sensibile alle condizioni di lavoro adottate. In particolare negli ultimi due test, il prodotto ottenuto è stato discreto, ma non ancora ottimale.

I dati ottenuti hanno permesso comunque di identificare i problemi tecnico-strutturali e quelli processistici connessi all'ottenimento di pasta di alta qualità.

Per quanto riguarda l'aspetto tecnico-strutturale, l'impianto necessita ancora di una relativamente ampia modifica per ridurre la turbolenza, in particolare per quanto riguarda la sezione della zona di essiccazione. Oltre a ciò sarebbe necessario realizzare un sistema di caricamento automatico, in modo da ridurre drasticamente la differenza di umidità dovuta ai tempi di attesa prima del caricamento.

Per quanto riguarda invece l'ambito processistico, l'esecuzione dell'essiccazione senza immissione di vapore fino al 55% di umidità relativa connessa con la temperatura generale dell'aria, condizione questa maggiore rispetto agli impianti industriali, ha permesso di spingere particolarmente il processo, riducendone la durata da 6 a 4 ore. Un tale risparmio in termini di durata, se confermato, permetterà, a livello industriale, una riduzione della lunghezza degli essiccatoi del 33%, che in termini monetari si può quantificare in circa 1 milione di euro a impianto.

In conclusione il progetto sviluppato ha fornito elementi fondamentali per lo sviluppo di una tecnologia innovativa per l'essiccazione della pasta lunga, che, una volta ottimizzata e sviluppata su scala industriale, permetterà alla Pavan S.r.L di rendere più competitivi i propri prodotti.



# Riferimenti bibliografici

1. De Cindio, B., M. Migliori, F. Carbone (1994). *Modellazione matematica del processo di essiccazione di pasta di alta qualità*. Documento interno azienda Pavan, Galliera Veneta.
2. Di Leo, V. (1994). Modellazione dell'essiccazione di paste alimentari. *Tesi di laurea in ingegneria chimica*, Università degli studi di Napoli.
3. Didonè, G e C. M. Pollini (1992). *La reazione di Maillard nelle tecnologie ad altissima temperatura*. Documento interno azienda Pavan, Galliera Veneta.
4. Hummel, C. (1966). *Macaroni Products* (2<sup>nd</sup> ed.). Food Trade Press, Londra.
5. Milatovic, L. e G. Mondelli (1990). *La tecnologia della pasta alimentare*. Chiriotti editori, Pinerolo.
6. Mondelli, G. (2003). Elementi tecnologici fondamentali per l'essiccazione della pasta (Parte 1<sup>^</sup>). *Pasta e pastai*, 33.
7. Mondelli G. (2008). *Essiccazione statica della pasta – Tecnologia e pratica operativa*. Edizioni Avenue media, Milano-Bologna.
8. Padovan, G. (2010). Verifica sperimentale di modelli di trasporto di acqua nell'essiccazione di pasta lunga. *Tesi di laurea in ingegneria chimica*, Università degli studi di Padova.
9. Virtucio, Luisito (2008). *Drying technology*, Documento interno azienda Pavan, Galliera Veneta.
10. Zanini De Vita, O. (2009). *Encyclopedia of pasta*. California Studies in Food and Culture, Berkeley (U.S.A.).
11. Zanini De Vita, O. (2010). Pasta around the world. *Pasta e pastai*, 87.

## Siti web

[www.pavan.it](http://www.pavan.it), (ultimo accesso 29/9/2010).



# Ringraziamenti

Durante il tirocinio, nello svolgimento delle attività presso la Pavan S.r.L , ho collaborato e sono stato seguito da diverse persone, le quali hanno contribuito notevolmente nello sviluppo del progetto che mi era stato assegnato.

In particolare, per la collaborazione nella realizzazione delle modifiche meccaniche ringrazio il reparto “Impianti Sperimentali” composto da:

Agostini Loris;

Dolzan Davis;

Mercuri Luca;

Pivato Walter.

Per il collaudo dell’impianto e per l’esecuzione dei test di essiccazione ringrazio i tecnologi:

Antonello Vanni;

Freato Dott. Vittorio.

Per la direzione generale e la consultazione per la stesura della tesi ringrazio il responsabile del reparto “Ricerca e Sviluppo”:

Mondardini Dott. Luciano.