

*Alma Mater Studiorum*  
**UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

**DOTTORATO DI RICERCA**

*Ingegneria Agraria*

Ciclo XX

Settore scientifico disciplinare di afferenza: AGR 09

Titolo tesi

**CONI STAMPATI PER GELATO ARTIGIANALE:  
CARATTERIZZAZIONE FISICO- MECCANICA E  
MODULAZIONI DI PROCESSO NELL'OTTICA  
DEL MIGLIORAMENTO DELLA  
GESTIONE DELLA QUALITÀ**

Presentata da: **Dott. Paolo Gradari**

Coordinatore Dottorato:  
**Prof. Ing. Adriano Guarnieri**

Relatore:  
**Ing. Angelo Fabbri**

---

**Esame finale anno 2008**



# INDICE

<i>Introduzione</i>	1
<b>PARTE GENERALE</b>	7
<b>CAPITOLO 1 Biscotti e wafer</b>	9
1.1 Ricette per pastella, miscelazione e particolarità	11
1.2 Cottura e raffreddamento della pastella	15
<b>CAPITOLO 2 Il cono cialda</b>	21
2.1 Cenni storici	21
2.2 Impianti per la produzione del cono cialda	23
2.2.1 Il batter mixer	25
2.2.2 Macchine manuali,semiautomatiche e automatiche	27
<b>CAPITOLO 3 Il checking</b>	31
3.1 La relazione tra forze di deformazione sulle strutture basate sul principio delle forze contrapposte	39
3.2 Le strutture basate sul principio della leva	41
3.3 I parametri che governano il comportamento delle strutture	48
<b>CAPITOLO 4 Lo studio di difettosità dei lotti e i sistemi di campionamento</b>	53
4.1 Statistica precampionaria	53
4.2 Stima sul lotto	56

	<b>PARTE SPERIMENTALE</b>	61
CAPITOLO 5	<b>Materiale e metodi: misura della resistenza meccanica del cono stampato e strumenti statistici per il controllo della qualità</b>	63
5.1	Organizzazione generale del lavoro	63
5.2	Statistica precampionaria e impiego del programma di campionamento	65
5.3	Prove a flessione	66
5.4	Statistica postcampionaria	71
5.4.1	Metodica di stima sul lotto	72
5.5	Risultati	76
5.5.1	Caratterizzazione della produzione mediante indici fisici e reologici	76
5.5.2	Definizione dell'ampiezza campionaria e stima della difettosità del lotto	79
5.5.3	Calcolo della probabilità di trovare elementi difettosi nel lotto	85
5.6	Discussione dei risultati	87
CAPITOLO 6	<b>Analisi del checking in relazione ad alcune modulazioni di processo</b>	89
6.1	Misura dei principali indici fisici della pastella in funzione dell'aumento del tempo di sosta e caratterizzazione fisico meccanica mediante prove a flessione di coni prodotti dalla stessa	90
6.1.1	Risultati	93
6.2	Prove a flessione di coni stampati ottenuti da campioni di pastella contenenti differenti quantità e tipologie di dolcificanti.	100
6.2.1	Risultati	102

6.3	Valutazione dell'effetto dell'aumento del tempo di sosta della pastella sull'efficienza della lievitazione	105
6.3.1	Risultati	108
6.4	Caratterizzazione fisico-meccanica, mediante prove a flessione, di cono ottenuti da differenti regolazioni dei forni di cottura	111
6.4.1	Risultati	112
6.5	Misura della resistenza fisico-meccanica di cono ottenuti da pastella contenente differenti quantitativi di agente lievitante	118
6.5.1	Risultati	118
6.6	Discussione dei risultati	122
<b>CAPITOLO 7</b>	<b>Confronto tra due metodiche per la valutazione delle proprietà fisico-meccaniche del cono stampato</b>	<b>125</b>
7.1	Organizzazione generale del lavoro e piano di campionamento	125
7.1.1	Test di compressione a flessione tramite dinamometro digitale	128
7.2	Risultati	131
	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>135</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>137</b>



## *Introduzione*

Il cono gelato è un contenitore per il gelato di forma conica, aperto alla base, spesso fatto di una pasta commestibile (wafer), da impugnare con la parte aperta in alto.

In relazione ai costi di produzione sostenibili per altre tipologie di prodotto, il cono gelato è da sempre considerato dalle industrie dolciarie un prodotto “povero”, sia per il valore commerciale delle materie prime impiegate, che per il semplice e non esoso processo di lavorazione.

Con l’aumento della sensibilità dei consumatori volta alla ricerca di prodotti con un livello di qualità crescente, anche le aziende produttrici di coni hanno dovuto diversificare le proprie produzioni con l’obiettivo di migliorare sia le caratteristiche organolettiche che le proprietà meccaniche del prodotto. In quest’ultimo caso in particolare risiede solitamente un aspetto critico per le aziende produttrici di coni, che ricevono da parte dei clienti, occasionali lamentele e resi di prodotto difettoso. La difettosità, data da coni danneggiati o fratturati, è caratterizzata da una fragilità del prodotto superiore alla media, fragilità che può manifestarsi con intensità variabile sul lotto di produzione, ma che sembra presentarsi più frequentemente durante i periodi di massima produzione, cioè in primavera e in estate.

Per altre tipologie di prodotti da forno a basso contenuto di umidità, come biscotti, wafer cracker ecc. la problematica appena descritta è conosciuta e definita con il termine “*checking*” . Sebbene in letteratura sia presente un modesto numero di lavori riguardanti lo studio dei processi chimico fisici che generano tale fenomeno, è dimostrato che la nascita di tensioni interne da cui si originano e sviluppano micro fratture nell’alimento è direttamente

collegata agli scambi di vapor d'acqua tra alimento e ambiente subito dopo l'uscita del prodotto dagli impianti di cottura.

Diverse strategie sono state proposte per minimizzare il problema, tra queste la cottura tramite radiazioni ad infrarosso, essiccamento con onde radio e microonde, trattamenti enzimatici, diverse formulazioni degli ingredienti e modulazioni di processo (Q. Saleem, 2005).

La quasi totalità dei lavori presenti in letteratura, relativi agli aspetti qualitativi del cono gelato, fanno riferimento alla cialda arrotolata, prodotto ottenuto dalla cottura di pastella (prodotto liquido prima della cottura) colata su piatti riscaldati a temperatura di circa 170° C e dal suo successivo avvolgimento in forma conica.

Huang *et al.* (1989), mettono a punto una metodica utile al fine di determinare un indice di resistenza meccanico del prodotto. Tale metodica simula l'operazione di farcitura del cono gelato attraverso l'applicazione di un carico verticale sulla superficie di una pallina da golf appoggiata alla base del cono, alloggiato a sua volta all'interno di un supporto cilindrico cavo. Gli autori hanno misurato i valori di forza massima di rottura di alcuni campioni confrontando la risposta di un semplice dinamometro con quella di un pressa collegata ad un sistema di acquisizione e registrazione dati. Non presentandosi differenze significative tra i valori medi ottenuti con i due procedimenti, la misura ottenuta con il dinamometro si è dimostrata utile al fine di monitorare la qualità del prodotto, in termini di forza di rottura, direttamente all'interno dei locali di produzione.

Nel caso di cialde arrotolate, ottenute con sistemi di cottura continui, i tipici difetti che si presentano, come l'eccessiva fragilità del prodotto, dipendono dall'adesività dei wafer cotti e dai relativi residui che restano sul fondo degli stampi di cottura. Huang *et al.*, (1988).



Gli stessi autori hanno indagato circa gli effetti della qualità della farina, la formulazione e la viscosità della pastella sulle performance di cottura di cialde arrotolate mediante una metodica di risposta superficiale. I risultati hanno mostrato che la viscosità della pastella è inversamente correlata all'aumento della temperatura e al contenuto di acqua e sale. Gli autori hanno sviluppato inoltre una relazione empirica per ottimizzare la viscosità della pastella variando ogni combinazione fornita di questi fattori. La variabilità della viscosità della pastella, dovuta alla qualità della farina e alla clorurazione potrebbe in larga misura essere controllata regolando l'aggiunta di sale ed altri elettroliti. Le condizioni di controllo di processo, compresa la velocità di agitazione, tempo e temperatura sono state determinanti per mantenere la pastella in un preciso range di viscosità.

Per valutare l'influenza di differenti condizioni ambientali (umidità e temperatura) sulla qualità del prodotto, Huang *et al.* (1989) hanno rilevato i valori di forza di rottura e di massa di un campione di 20 coni estratti singolarmente e giornalmente allo stesso orario di produzione. Indagando circa l'esistenza di possibili correlazioni tra i parametri sopra citati, nonostante i deboli valori dei coefficienti di correlazione calcolati su modelli di previsione lineari, sono risultati alti valori di significatività e, nel caso ad esempio della correlazione tra massa, umidità relativa e forza di rottura è possibile affermare che ad un aumento dell' U.R dal 50 al 75% potrebbe corrispondere un aumento di massa del cono di circa un grammo e una corrispondente diminuzione della forza di rottura.

Ulteriori informazioni riguardo al rapporto tra qualità del prodotto e umidità relativa sono state poi ricavate incubando i coni in camere climatiche regolate alla temperatura di 20° C. per differenti valori di umidità relativa. Misurando i valori di  $a_w$  all'equilibrio, previa disidratazione del campione, ed effettuando i test di compressione necessari

a determinare i valori di forza di rottura corrispondenti alle condizioni di umidità stabilite, Huang *et al.* (1989) hanno costruito l'isoterma di assorbimento del prodotto. Questa analisi ha permesso di ricavare i limiti di accettabilità del prodotto in termini di friabilità: per valori di  $a_w$  superiori a 0.32, cui corrisponde un valore di umidità del 4,7%, il prodotto non è più commerciabile.

Tra i fattori che possono influenzare il checking è indispensabile considerare le proprietà chimico fisiche delle materie prime e il bilanciamento degli ingredienti nella ricetta. A tal proposito è plausibile pensare che coni ottenuti dalla cottura di differenti tipologie di pastella (in relazione alla formulazione degli ingredienti) presentino, oltre che per le proprietà organolettiche, caratteristiche reologiche diverse sul profilo di resistenza alla rottura e quindi di texture. Huang *et al.* (1989) hanno dimostrato che la quantità ad esempio di grassi idrogenati influenza il grado di aerazione della pastella durante la miscelazione, quindi la densità e di conseguenza il prodotto finito. In modo simile la dose di sale e acqua si riflette sulla viscosità della pastella e presumibilmente sulla qualità dei coni. Gli autori hanno dimostrato inoltre che l'aggiunta di lattosio e siero di latte solido alla pastella (con lattosio al 70%) determina un aumento della forza di rottura di circa il 3%.

La ditta con la quale si è collaborato e che ha fornito gli spunti per questo lavoro di ricerca ha voluto indagare circa la comprensione delle cause che originano il problema della fragilità dei coni ottenuti tramite stampaggio estrusivo in forni a cottura continua. Questo lavoro si propone pertanto di presentare i risultati di una ricerca condotta su più livelli, partendo da un'analisi attenta del sistema produttivo con l'individuazione dei punti critici di processo, proseguendo con l'allestimento di un software di

campionamento per il monitoraggio del prodotto sui lotti di produzione. Successivamente si è affrontato uno studio riguardo le proprietà chimico-fisiche e reologiche della pastella e del cono, terminando con il confronto di campioni ottenuti dalla modulazione di più parametri di processo.

Per il monitoraggio e il controllo qualità del prodotto, partendo da misure effettuate in laboratorio tramite Texture Analyzer, si indagato infine circa la possibilità di allestire una metodica alternativa, rapida ed economica per la misura della resistenza meccanica del cono stampato direttamente all'interno dei locali di produzione.



# PARTE GENERALE



# CAPITOLO 1

## BISCOTTI E WAFER

Il cono gelato rientra nella categoria dei biscotti colati ed in particolare dei wafer. Da un punto di vista tecnologico il wafer classico presenta un processo lavorativo completamente differente dagli altri biscotti, esso è strutturato in strati alternati da due componenti diverse: una componente di biscotto (cialda), e una componente grassa (crema). E proprio dal punto di vista della componente “cialda”, i wafer possono essere inclusi nella categoria dei biscotti a pasta molto molle, in quanto la ricetta prevede un’elevatissima percentuale d’acqua (anche oltre il 60%): l’impasto è praticamente liquido e viene perciò chiamato pastella.

Nell’operazione di produzione della cialda wafer una piccola quantità di pastella viene colata e racchiusa fra due piastre di acciaio speciale, conducenti alta temperatura; dopo pochissimi minuti di cottura, in cui avviene l’evaporazione della quasi totalità dell’acqua, viene rilasciato un foglio semi rigido, secco e friabilissimo: la cialda. Ancora calda, la cialda ha un peso specifico molto basso con struttura perfettamente secca (U.R. vicina a zero); tuttavia assorbendo umidità atmosferica, il contenuto d’acqua si assesta subito su valori intorno al 2%.

In figura. 1.1 è riportato lo schema completo della cottura della cialda; forni da wafer più piccoli contengono mediamente 30 piastre, mentre forni più grossi arrivano anche a 64 piastre di dimensioni maggiori. Come si vede nello schema, le piastre di cottura sono agganciate fra loro in un circuito chiuso, come in una vera grossa catena; esse scorrono con ruote proprie sui binari, attraverso gruppi di fiamme o resistenze elettriche; il circuito è diviso in “andata e ritorno”: all’inizio del percorso di andata

viene colata la pastella e le piastre si chiudono immediatamente dopo; alla fine del percorso di ritorno, le piastre si aprono e rilasciano la cialda cotta. Il forno da wafer è a tutti gli effetti un forno continuo, ma a differenza degli altri forni continui, qui il carico del prodotto crudo (pastella) e scarico del cotto (cialda) avvengono nello stesso punto.

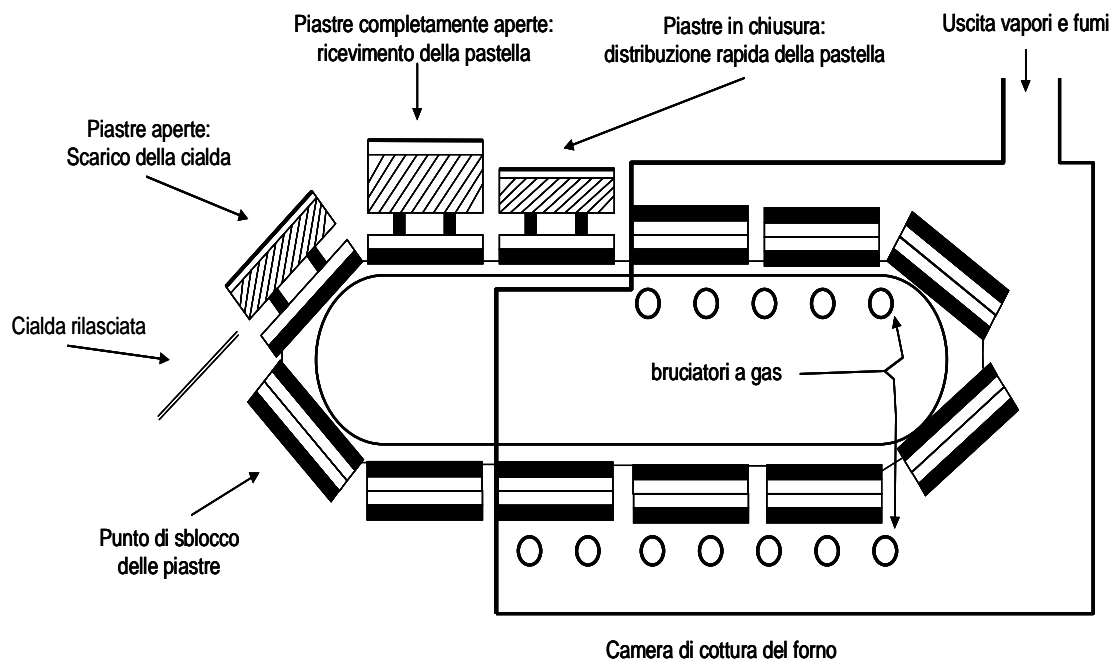


Figura. 1.1 Schema di funzionamento del forno wafer. (Lanza T., 2006)

L'austriaca HAAS è la ditta costruttrice di impianti da wafer più grande del mondo; specialmente gli impianti di ultima generazione sono completamente automatici, dotati di accessori e di apparecchi di controllo estremamente sofisticati. In giro per il mondo, però, sono ancora in funzione moltissimi impianti da wafer, più o meno obsoleti; sono anche più piccoli e meno automatizzati, ma tutto sommato riescono ad ottenere buoni risultati di produzione. Se consideriamo l'elevato costo di impianti moderni per i wafer, si può capire perché miriadi di impianti obsoleti resistano



ancora a lungo: tra tutti i macchinari per la produzione dei biscotti, quelli dei wafer sono in assoluto i più sofisticati e costosi, anche sotto il profilo della manutenzione. La tecnologia del wafer perciò rientra nell'ordine delle specialità alimentari industriali, pur vantando autentiche origini medievali, trova scarsa applicabilità nell'ambito artigianale.

### 1.1 RICETTE PER PASTELLA, MISCELAZIONE E PARTICOLARITA'

La composizione della pastella per le cialde da wafer si basa principalmente su due ingredienti: un'alta frazione di acqua aggiunta (55-60%) e una parte minore di farina (40-45%); dovendo calcolare le parti in base a 100 kg di farina, si dirà che l'acqua aggiunta può arrivare e superare quota 150. Quelle che seguono sono ricette per cialde wafer ampiamente sperimentate.

La pastella da wafer, ricchissima di acqua, dopo una rapida cottura forma una cialda leggerissima e praticamente anidra. Perciò l'esperienza degli operatori, più tradizionale che scientifica, fa preferire farine deboli e acqua con durezza minima. Secondo Prithchard (1973) in termini di qualità del wafer, qualsiasi farina può venir utilizzata nelle pastelle: farine molto deboli daranno cialde leggere e fragili, al contrario farine molto forti (come ad esempio quelle usate per la produzione del pane) formeranno cialde dure e rigide; con i casi estremi di farine, diventano frequenti le rotture delle cialde al rilascio dalle piastre e nei passaggi successivi.

La struttura della cialda wafer è in gran parte formata da amido gelatinizzato completamente. Data infatti la grande quantità di acqua nella pastella, ogni particella di amido viene completamente idratata e poi rapidamente gelificata per effetto del calore per conduzione. L'acqua diventa importante nel rapporto con la farina e determina la consistenza

della pastella: è infatti facilmente dimostrabile che maggiore è la consistenza della pastella, più pesante sarà la cialda e viceversa.

Gli impianti del wafer ,anche quelli più datati, quasi sempre dispongono, per la miscelazione della pastella, di propria sezione di mix incorporata nell'impianto: la pastella viene così preparata dentro a miscelatori rapidi e in tempi piuttosto brevi : di solito intorno ai 3 min. (da 2,5 a 6 min), la durata dipenda dalla presenza/assenza di grumi. La pastella deve comunque essere omogenea, con la parte solida distribuita uniformemente nella parte acquosa. Al termine dell'operazione, la pastella verrà trasferita alle vasche di alimentazione dei forni, e il completo utilizzo dovrebbe avvenire entro tempi brevi (15-20 min al massimo).

E' importante rimarcare che la pastella dovrà essere libera da grumi e parti filacciose, originate dal glutine in via di sviluppo. Le pastelle "agglutinate" costituiscono uno dei maggiori ostacoli alla regolare cottura sulle piastre da forno, grumi e sfilacci creano problemi alle pompe volumetriche di dosaggio e intasano i fori del braccio distributore. Per evitare lo sviluppo del glutine, allora, è fondamentale usare un mixer ad alta velocità con l'elemento miscelatore ben immerso nella pastella per tutto il tempo di mix. L'acqua, inoltre, dovrebbe avere basse temperature (15°-20°C) secondo Wade (1988) e la farina andrebbe aggiunta lentamente. Matz (1978) ribadisce che grumi e strisce di glutine nelle pastelle dei wafer sono causati da: 1) miscelazione con temperature elevate 2) mixer dotati di basse velocità 3) tempi di impasto eccessivamente lunghi.

*Tabella.1.1 Ingrediente e dosi utilizzate per la formulazione della pastella da wafer  
(T. Lanza,2006.)*

<b><i>Ingredienti</i></b>	<b><i>kg</i></b>	<b><i>kg</i></b>	<b><i>kg</i></b>	<b><i>kg</i></b>
FARINA	100	100	100	100
ACQUA	142	172	147	140
Lecitina di soia	1	1,25	0,95*	0,1
Farina di soia	=	2,5	=	=
Sodio bicarbonato	0,105	0,15	0,32	0,5
Ammonio bicarbonato	0,026	=	=	=
Sale	0,6	0,15	0,24	0,5
Olio di arachidi o di semi	1,67	3,25	2,38	1
Latte intero in polvere	2	=	=	=
Zucchero in polvere	1,3	=	=	=

\* = in polvere secondo la ricetta originale; ma la lecitina in pasta è più facilmente miscibile

Tra gli ingredienti la lecitina di soia è da sempre ritenuta ingrediente importante nelle pastelle, soprattutto per favorire il rilascio delle cialde all'apertura delle piastre di cottura; la lecitina, di solito in pasta, viene preferibilmente premiscelata con una frazione di olio o di shortening fuso. Una piccola frazione di olio poi è a sua volta determinante come vero agente staccante; un eccesso di olio, però, riduce i rilievi e gli eventuali disegni impressi sulla superficie delle cialde; per contro, cialde da pastelle completamente prive di olio tenderebbero a rimanere attaccate alle piastre di cottura.

L'uso di uova nelle pastelle è giustificato dal loro contenuto di lecitina, che abbiamo visto favorire il rilascio della cialda dalle piastre. Secondo Smith (1972) la farina di soia contribuisce alla stabilità di qualsiasi impasto da biscotti per l'elevato contenuto in lecitina e va perciò considerata anche per le pastelle del wafer come valido sostituto delle uova. Manley (2001) sostiene che la farina di soia va usata con cautela, ponendo attenzione al fenomeno della rancidità: cialda del wafer è una sorta di foglio destinato

alla massima esposizione all'aria e all'ossigeno, quindi all'ossidazione. Per precauzione contro l'ossidazione, alcuni produttori di wafer inseriscono gli antiossidanti nella pastella.

Piccole quantità di zucchero e latte in polvere nelle ricette migliorano il sapore; questi ingredienti, però, tendono a far attaccare le cialde alle piastre. Come mostrato dagli studi di Huang et. al (1990) il problema dell'adesività della pastella sugli stampi di cottura è positivamente correlato al contenuto in zucchero mentre tale fenomeno è sfavorito dalla presenza di shortening nella pastella.

La presenza di poco zucchero, comunque, aiuta a mantenere più a lungo la fragranza e friabilità della cialda. Come spesso accade nella formulazione dei prodotti da forno, anche qui bisogna trovare adeguati compromessi.

Il bicarbonato di sodio e ammonio, favoriscono lo squagliamento della pastella verso gli angoli delle piastre e producono bolle che contribuiscono alla formazione della classica struttura leggera del wafer. Come sappiamo, però, il bicarbonato di sodio rilascia anche una parte di sale neutro che condiziona il pH della cialda, influenzandone il colore tendenzialmente verso il giallo; secondo Manley (2001) il pH ideale per le cialde wafer è comprese fra 6,8 e 7,4. Vi sono, infine, produttori di wafer che fanno uso di lievito naturale nelle cialde; alcune specialità francesi mantengono per tradizione questa tecnologia, la quale, però, non sembra aver trovato vasta diffusione all'estero. In Italia nessun grosso produttore di wafer fa uso della fermentazione.

L'uso di aromi artificiali nella pastella del wafer non trova convincenti giustificazioni trattandosi infatti di sostanze volatili, gli aromi non lascerebbero tracce in un complesso liquido da cui l'acqua evapora totalmente in tempi brevissimi.

## 1.2 COTTURA E RAFFREDDAMENTO DELLA PASTELLA

La figura. 1.1 mostra il funzionamento del forno per la produzione delle cialde, mentre la figura 1.2 illustra più in dettaglio le piastre della cottura, dette anche “fornello”; si possono notare le barre di contenimento laterali con i fori di sfiato e le linee parallele (“reeding”) incise sulla superficie interna delle piastre. La disposizione più adottata dalle linee è di tipo perpendicolare, in modo da formare minuscoli quadratini su tutta la superficie interna di ciascuna piastra.

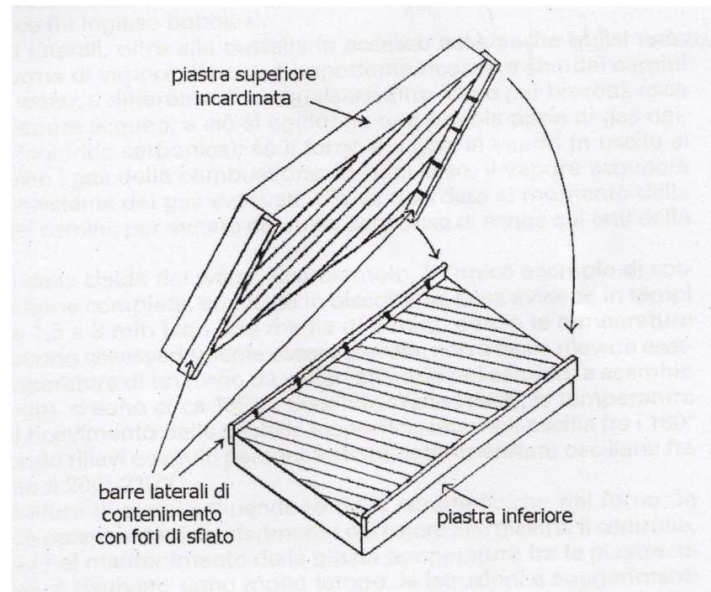
I quadratini possono misurare da 3 a 6 mm di lato, con una profondità variabile fra 0,5 e 12 mm. Questi solchi geometrici, secondo alcuni, dovrebbero favorire la distribuzione omogenea della pastella sulla piastra, evitando la formazione di bolle. Tra le due piastre, la disposizione dei quadrati è sfasata di 45°, in modo che la cialda sia irrobustita dalle nervature. Inoltre una volta impresse in positivo sulla superficie della cialda, i quadrati diventano determinanti per la stabilità del wafer finito, con linee così in rilievo, le cialde aderiscono meglio ai vari strati di crema.

Alcuni produttori di wafer classici, oltre alle linee, fanno incidere in negativo il logo della ditta, su una o entrambe le piastre, in modo che appaiano sul profilo finito. Lo spessore medio della cialda (spessore interno) è di 1-2 mm.

Le piastre dei forni da wafer sono elementi fusi in acciaio speciale, rettificati ad altissima precisione; vengono accoppiate con cardini e dispositivi di chiusura che devono avere una certa robustezza per contenere l'elevata pressione che sviluppa la cottura; secondo Prithchard e Stevens (1973) la pressione interna fra due piastre di 470x295mm, varia da 2 a 3 ton, pari a 1,4- 2,1 bar.

Le piastre da 470x295 mm producono cialde di circa 50g ma vi sono anche piastre con dimensioni maggiori, dette “jumbo” da 700x350 mm, che producono cialde da 90 g in grossi forni capaci di contenere fino a 64 piastre (HAAS).

La figura. 1.2 mostra, in maniera schematica, una coppia di piastre (fornello) per la cottura delle cialde wafer, non vengono riportate le quattro ruote di scorrimento poste sulla piastra inferiore e una ruota sulla piastra superiore necessaria per la chiusura/apertura del fornello. Nello schema non sono visibili neppure i cardi, che sono 2 per ogni coppia, e il dispositivo di chiusura, che prende il nome di “chiavistello meccanico”; questo dispositivo blocca le piastre chiuse subito dopo la colata della pastella e si sblocca solo a cottura ultimata. Tutti questi componenti meccanici sono estremamente importanti e vanno tenuti costantemente controllati e lubrificati. Ogni coppia di piastre, inoltre, contiene nella parte superiore un certo numero di viti di registrazione per la taratura fine dello spazio tra le due piastre, che determinano lo spesso della cialda, eventuali difetti (anche minimi) del parallelismo, causano cialde visibilmente cotte male, quasi destinate allo scarto. La manutenzione e la taratura delle piastre, sono perciò operazioni estremamente delicate, che richiedono una certa specializzazione. Per tutte queste ragione, le piastre di cottura sono ritenute, a ragione, il cuore della tecnologia meccanica contenuta in un forno da wafer.



*Fig. 1.2 Coppia di piastre (fornello) per la cottura delle cialde wafer*

La cottura della cialda comincia di fatto già durante colata, quando la pastella viene in contatto con la piastra inferiore. Alla chiusura delle piastre, che deve venire il più velocemente possibile, l'eccesso della pastella esce nel giro di pochi secondi e solidifica nel proseguimento della cottura; queste, però non si attaccano solidamente alle piastre perché ostacolate continuamente dagli sfiati di vapore acqueo. All'apertura delle piastre, le gocce si staccano e in gran parte cadono sul fondo del forno e quelle che rimangono vengono separate dalle cialde mediante semplici sistemi meccanici. La grande quantità di gocce cotte, viene raccolta e destinata quasi esclusivamente ad uso zootecnico. L'eccesso di pasta, in teoria, sarebbe uno spreco; la corretta cottura delle cialde, però, prevede che si formino sempre delle gocce in eccesso, ancorché piccole: esse infatti rappresentano l'immediato segnale di una colata sufficiente e una distribuzione corretta della pastella, per conto, la mancanza di gocce di eccesso, specialmente negli angoli delle piastre è preavviso di una cialda compatta. Le gocce di eccesso, inoltre sono importanti per capire se le

piastre sono ben registrate. Manley (2000) riferisce che in una corretta produzione, il 95,2% della pastella si trasforma in cialda e il rimanente 4,8% si perde in gocce.

Dagli sfiati laterali, oltre alla pastella in eccesso esce anche quasi tutta l'acqua sottoforma di vapore. Perciò, è importante ricordare che dai camini di un forno da wafer, a differenza di un qualsiasi altro forno per biscotti, esce in gran parte vapore acqueo; a ciò si aggiunge una piccola parte di gas derivato dalla lievitazione (anidride carbonica); se il forno è a gas, ai vapori in uscita si mescolano anche i gas di combustione. In ogni caso, il vapore acqueo è la parte più consistente dei gas evacuati. Ciò va ricordato al momento dell'installazione dei camini, per evitare dannose condense di acqua sui tetti della fabbrica.

La cottura delle cialde del wafer, ricordiamo, è l'unico esempio di cottura per conduzione completa, applicata in biscotteria. Essa avviene in tempi rapidissimi, da 1,5 a 3 min (con una media di 2 min), perciò le temperature delle piastre devono necessariamente essere elevate; non è facile rilevare esattamente la temperatura del forno da wafer: all'inizio del camino, a scambio termico avvenuto, ci sono circa 195°C. Secondo Wade (1988) la temperatura della piastra al ricevimento della piastrella (superficie interna) oscilla tra i 180°C e i 200°C.

La temperatura di cottura dipendono dalle caratteristiche del forno, in particolare dalla potenzialità di trasferimento del calore alle piastre. Il controllo, perciò, consiste nel mantenimento della giusta temperatura fra le piastre in un forno nuovo, riattivato dopo molto tempo, le istruzioni e i suggerimenti contenuti nei manuali obbligatoriamente forniti dai costruttori di forni, sono utili per l'impostazione iniziale delle temperature; ulteriori aggiustamenti vanno poi applicati nel corso della produzione, esclusivamente in base alla quantità della cialda cotta, compreso l'analisi



dell'umidità. Secondo Lanza T. (2006), tuttavia, quando un forno funziona a pieno regime produttivo, gli aggiustamenti alla cottura vengono applicati solo attraverso piccole variazioni delle velocità.

All'apertura delle piastre, la cialda subisce uno shock termico verso il freddo che crea una drastica contrazione della struttura: è questa contrazione che permette lo stacco pulito della cialda dalle piastre, operazione aiutata da precisi soffi d'aria compressa, direzionati dai dispositivi di stacco.

Ricordiamo inoltre, come sarà descritto in seguito nel capitolo 3, che un eccessivo sbalzo termico all'uscita del prodotto dai forni può aumentare significativamente il fenomeno del "checking".



## CAPITOLO 2

# IL CONO CIALDA

### 2.1 CENNI STORICI

I primi gelati muniti di ostie di pane vennero confezionati in Italia. Caterina de' Medici attraverso la servitù e i suoi cuochi italiani introdusse le sue ricette in Francia durante il Rinascimento. In Inghilterra invece, sempre ad opera di Italiani, tale tradizione si diffuse solo nel Sedicesimo secolo. Coni in carta o metallo vennero usati in Francia, Germania e Gran Bretagna, durante il XIX secolo, per mangiare il gelato. Uno dei primi riferimenti ad un cono commestibile si può trovare nel libro di cucina "Mrs A. B. Marshall's Cookery Book", scritto nel 1888 dalla celebrata scrittrice culinaria Agnes Marshall. La ricetta del "Cornetto con crema" indica che "i cornetti erano fatti con mandorle e cotti al forno, non premuti tra ferri". Ella inoltre aggiunge: "questi cornetti possono essere riempiti anche con qualsiasi gelato o sorbetto o crema o frutta, e servito a pranzo o a cena". Mrs Marshall fu una influente innovatrice e rese molto popolare il gelato in Gran Bretagna. Pubblicò due libri di ricette specifici sui gelati e brevettò inoltre una macchina per i gelati.

Il 13 dicembre 1903, Italo Marchiony (1868-1954), di origine marchigiana e residente a New York City, ricevette il brevetto statunitense Nr. 746971 per l'invenzione del cono gelato che aveva venduto in America sin dal 1896 (figura. 2.1). Pare difatti che l'idea nacque da uno stato di necessità dell'italiano, visto che inizialmente il suo gelato veniva servito in bicchieri di vetro. Capitava di frequente che i medesimi non venissero restituiti al

gelataio, o che si rompessero accidentalmente scivolando dalle mani dei clienti, comportandogli dunque una piccola perdita di capitale. È attualmente l'inventore più accreditato proprio in virtù di quel brevetto che il medesimo richiese ai primi del Novecento.

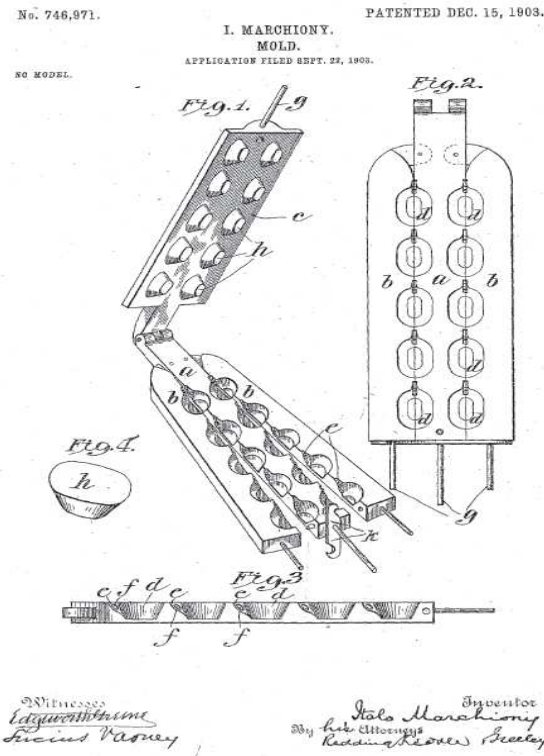


Figura. 2.1 Macchina di Marchiony per produrre cialde (U.S. Patent Nr. 746971)

Taluni invece pensano che il cono gelato sia invece stato inventato a Saint Louis, Missouri nel 1904 al Louisiana Purchase Exposition, dove la storia dice che un pasticcere siriano, Enrst Hamwi, che stava vendendo zalabia, una pasta croccante e gocciolante di sciroppo cotta in una pressa bollente per wafer, andò in aiuto al vicino venditore di gelati, forse Arnold Fornachou o Charles Menches, che stava finendo i piatti, arrotolando lo zalabia ancora caldo a forma di cono in modo potesse contenere il gelato. Tuttavia, molti uomini che vendevano pasticcini alla World's Fair sostennero di essere stati gli inventori del cono gelato e solo

dopo Marchiony, citando una varietà di diverse ispirazioni. Dopo la fiera, il cono gelato divenne popolare a St. Louis nel 1904. La storia di Hamwi è esclusivamente basata su una lettera che egli scrisse nel 1928, ben 25 anni dopo il brevetto di Marchiony, allo Ice Cream Trade Journal, dopo aver fondato la Cornucopia Waffle Company, che era diventata la Missouri Cone Company. Per quel periodo, l'industria dei coni gelato produceva già circa 250 milioni di coni l'anno in tutta la nazione.

La produzione su scala industriale dei primi coni, che venivano arrotolati a mano, avvenne intorno al 1912. Frederick Bruckman, un inventore di Portland, Oregon, brevettò una macchina per arrotolare i coni gelato. Vendette la sua compagnia alla Nabisco nel 1928.

L'idea di vendere coni gelato congelati era da lungo tempo un sogno dei produttori di gelato, ma non fu che nel 1959 che un altro italiano, un certo Spica, produttore di gelati con sede a Napoli, risolse il problema del gelato che rendeva fradicio il cono. Spica inventò un processo in cui l'interno del wafer veniva isolato dal gelato grazie ad uno strato di olio, zucchero e cioccolato. Spica registrò il nome "Cornetto" nel 1960. Le vendite iniziali furono scarse, ma nel 1976 la Unilever acquistò la Spica e iniziò una massiccia campagna di marketing in tutta Europa, rendendo il "Cornetto" uno dei gelati più popolari del mondo.

([http://it.wikipedia.org/wiki/Cono\\_gelato](http://it.wikipedia.org/wiki/Cono_gelato))

## 2.2 IMPIANTI PER LA PRODUZIONE DEL CONO CIALDA

Con il termine “cono cialda” vengono definite generalmente due categorie di prodotto: coni stampati e coni arrotolati. Questa distinzione va fatta in relazione alla tipologia di prodotto ottenuto e al corrispondente impianto di cottura; Figura. 2.2.

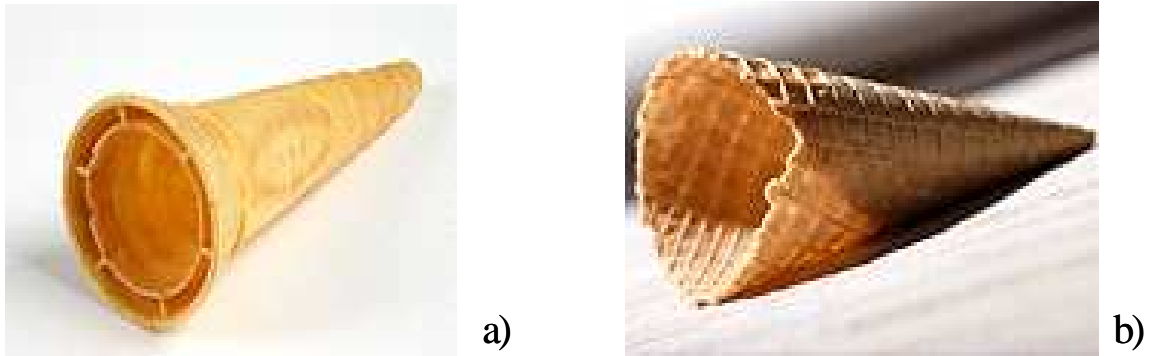


Figura. 2.2 a) Cono stampato; b) cono arrotolato (catalogo HAAS)

Le prime fasi della lavorazione sono simili per entrambe le linee (più precisamente fino all'ottenimento della pastella) sebbene le dosi degli ingredienti necessari alle due formulazioni sia generalmente differente (la cialda arrotolata o sugar-cone presenta solitamente un maggiore contenuto di zucchero).

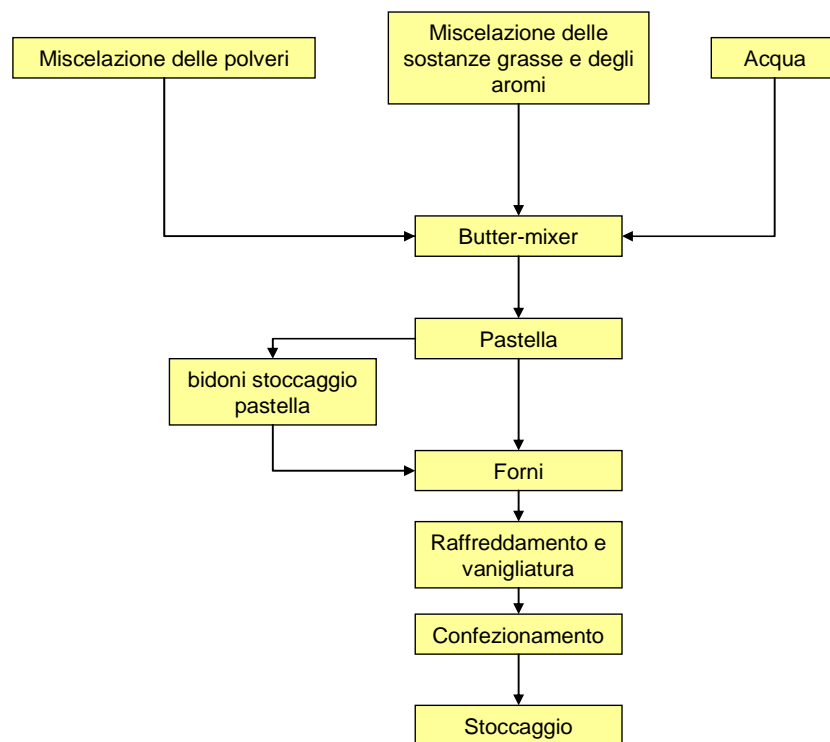
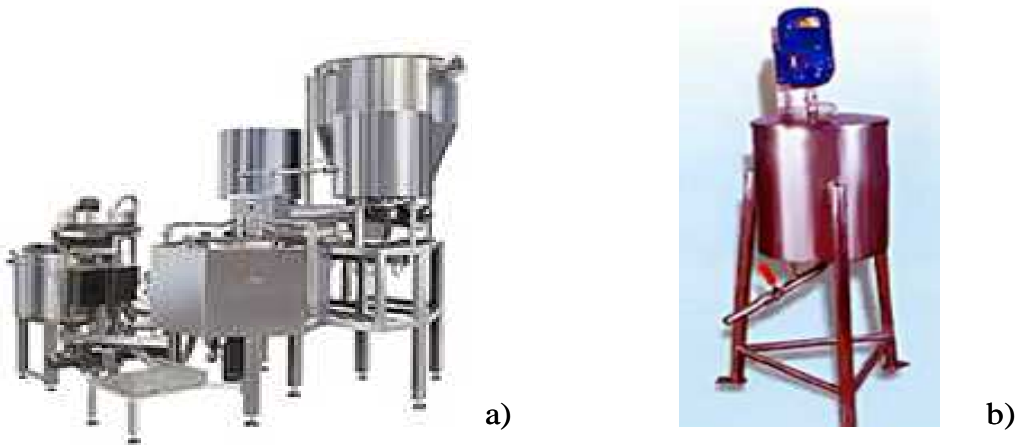


Figura. 2.3 Diagramma di flusso nella produzione di coni cialda

### 2.2.1 IL BATTER MIXER

La prima fase riguarda la miscelazione delle polveri; gli ingredienti vengono convogliati all'interno del batter mix il tutto viene diluito con acqua per poi essere miscelato.

Esistono vari tipi di batter-mix, che si differenziano principalmente tra sistemi continui in cui le fasi di miscelazione delle polveri e dei liquidi avvengono nello stesso impianto (Figura. 2.4 (a)) e sistemi discontinui in cui le due operazioni avvengono in impianti separati (Figura. 2.4 (b)).



*Figura. 2.4 (a) Sistema di miscelazione continuo; (b) batter-mix, sistema discontinuo.*

La pastella ottenuta viene stoccata in appositi bidoni oppure viene inviata direttamente ai vari forni per la cottura delle diverse tipologie di coni e cialde.

A questo punto i due sistemi di produzione prendono strade differenti.

Per quanto riguarda i coni stampati, tipologia di cono cialda presa in esame nel presente lavoro, la pastella preparata viene trasportata nei forni di cottura costituita da una serie di stampi all'interno di quali viene iniettato la pastella (figura. 2.5).

In tutte le macchine per la cottura gli stampi sono formati da una parte superiore ed una inferiore entrambe riscaldati da una fiamma oppure elettricamente. La parte inferiore o femmine è formata da due semistampi in ghisa speciale che contengono un numero di cavità/impronte in relazione alle dimensioni della tipologia di cialda da produrre. La parte superiore è costituita da maschi in ottone con riporto di cromo duro. Nei forni di cottura gli stampi possono essere montati, rispettivamente maschi e femmine su due tamburi rotanti o su nastri orizzontali. Lo stampo rimane chiuso fino alla fine del ciclo di cottura dove il maschio fuoriuscirà dalla femmina che a sua volta si aprirà nei due semistampi di cui è costituita rilasciando i coni su di un sistema di trasporto che li veicolerà fino ad un nastro trasportatore.



*Figura. 2.5 -Stampi per coni*



## 2.2.2 MACCHINE MANUALI, SEMIAUTOMATICHE E AUTOMATICHE

Esistono diverse tipologie di macchinari per la cottura dei coni stampati, dalle più semplici manuali per poi passare alle semiautomatiche ed infine alle automatiche.

Le macchine manuali sono adatte alla produzione di coni e tazze di cialda, stampati nelle più diverse forme e dimensioni, ideali per piccole produzioni o campionature (figura. 2.6)

Il riscaldamento è elettrico e possono produrre fino a 680 pezzi all'ora.

Sono dotate di un controllo automatico della temperatura e il tempo di cottura impostabile con un apposito regolatore incorporato. Il riempimento dello stampo avviene tramite l'apposito dosimetro e vasca.

Vengono definite manuali perché l'apertura e chiusura dello stampo avviene tramite leve azionate manualmente e dotate di un sistema di bilanciamento che ne consente l'azionamento con un minimo sforzo. L'espulsione dei coni avviene verso il basso all'apertura degli stampi.



*Figura. 2.6 Macchina manuale (foto catalogo Haas).*

Le macchine semiautomatiche vengono utilizzate per la fabbricazione di coni/bicchierini, tazze per gelato in cialda di wafer stampata (figura. 2.7). Gli stampi hanno dimensioni standard e sono intercambiabili. Il riscaldamento può essere a gas o elettrico con qualunque tipo di gas e tensione. La produzione va da 420 pezzi/h (per le più piccole) a 5500 pezzi/h per i macchinari di maggiori dimensioni.

Tali macchine possono avere stampi a 2, 3 o 4 file, oppure stampi da 5, a 9 file a seconda delle dimensioni. Il controllo di temperatura è automatico; la macchina mantiene il valore prefissato ed avvisa acusticamente e visivamente del termine della cottura. L'apertura e la chiusura dello stampo avviene tramite leve manuali con bilanciamento a contrappeso. Ne esistono alcuni tipi con chiusura e apertura per mezzo di attuatori pneumatici comandati mediante interruttori. Il riempimento dello stampo avviene mediante un apposito dosimetro.

I coni vengono espulsi automaticamente verso il basso quando viene aperto lo stampo inferiore e cadono su degli scivoli che li convogliano in un recipiente.



*Figura. 2.7 Macchine semiautomatiche (foto catalogo Gabrielli)*

Le macchine completamente automatiche sono utilizzate per la produzione di coni/bicchierini, tazze per gelato, in cialda di wafer stampata di qualsiasi tipo, forma e misura nonché di imitazioni dei cornetti arrotolati con alta percentuale di zucchero (figura. 2.8).

Tra le macchine automatiche, seppur non più in commercio, possiamo trovare quelle di tipo rotativo in cui gli stampi sono montati su tamburi rotanti con i movimenti (chiusura e apertura degli stampi, iniezione della pastella, ecc).

Nelle macchine che si trovano oggi sul mercato lo stampaggio avviene in modo verticale: gli stampi si muovono su nastri orizzontali e sia l'iniezione della pastella che la chiusura dello stampo con la parte maschio avvengono per discesa verticale. In tali macchine il riscaldamento degli stampi può

essere a gas o elettrico con un sistema automatico di accensione dei bruciatori del gas, un termostato per il controllo della temperatura ed un ventilatore ad alta pressione per la distribuzione uniforme del calore. Possono produrre da 1920 a 17280 pezzi/ora.

Possiedono stampi da 12, 18, 24 o 36 file, secondo la produzione desiderata e ciascuno stampo può avere da 3 a 11 cavità in relazione alla grandezza dei coni, le dimensioni sono standard e sono intercambiabili.

L'alimentazione della macchina avviene a mezzo di una tramoggia di carico della pastella, dotata di un filtro a setaccio per l'eliminazione delle granulosità che possono essere presenti nel composto. Una pompa automatica regolabile garantisce una precisa ed uniforme iniezione della pastella negli stampi. Dopo la cottura i coni sono rifiniti dall'eccesso di pasta che fuoriesce dagli stampi, tramite un coltello raschiatore. All'apertura degli stampi i coni espulsi sono convogliati mediante scivoli e sistemi automatici di trasporto al nastro di scarico dove, grazie a un singularizzatore, che dispone i coni in file pronti per essere imballati, arrivano all'operatore che provvede alla vanigliatura e all'insacchettamento – inscatolamento. (<http://www.haas.com/en/products/haas/wafer-plants/molded-cones.html>); (<http://www.gabbrielli.com/coni.asp?L=IT>)



*Figura. 2.8 Macchina automatica (foto catalogo Haas)*

## CAPITOLO 3

### IL CHECKING

Il checking, o la rottura capillare e parziale dei biscotti, è una delle problematiche di maggior rilievo, e ancor oggi non è stato completamente spiegato; Dunn AND Bailey (1928) lo studiarono e le loro conclusioni furono riprese negli anni da tutti gli altri ricercatori. Quella che segue è la sintesi di quelle conclusioni, ancor oggi reputate le più accreditate.

Non appena i biscotti escono dal forno, nella struttura morbida il centro è umido e la periferia è più secca, nel tempo immediatamente successivo, l'eccesso di umidità del centro migra verso la periferia, fino a raggiungere un punto di equilibrio. Durante questo assestamento dell'umidità la struttura subisce una contrazione nella parte centrale, mentre la parte periferica tende a dilatare: queste variazioni sono microscopiche, ma sufficienti a crea un certo stress nell'intera struttura: se la stessa è sufficientemente elastica per assorbire i micro-stress, il biscotto rimarrà intatto; altrimenti nel corso dei minuti e delle ore si verificheranno le prime rotture interne. Talvolta le rotture interne si estendono lentamente verso l'esterno, diventando visibili in superficie e rendendo il pezzo estremamente fragile o spezzandolo nettamente. Molto spesso, però, il biscotto con il checking non è completamente spezzato, e sulla superficie appare solo una sottilissima fenditura, più o meno lunga, e più o meno disposta in senso longitudinale - parallela alla marcia del forno se questi è a tunnel.

Il checking può materializzarsi già nelle prima ore dopo il confezionamento del prodotto, ma il più delle volte non è riscontrabile prima che siano trascorse almeno 24 ore. Il problema, quindi, non è strettamente collegato

alle mani del fornaio, ma è piuttosto una questione di prevenzione. La cottura ed il raffreddamento sono discriminanti di estrema importanza nella prevenzione del checking (secondo molti specialisti sono le più importanti). In relazione alla cottura e al raffreddamento, si ritiene che le cause di questo indesiderato fenomeno siano sostanzialmente due, sebbene determinate da diversi fattori:

Checking originato da shock termico immediatamente dopo la cottura.

Checking da stress di assestamento dell'umidità.

Lo shock termico non è solamente provocato da correnti di aria fredda esterne allo stabilimento, magari durante le stagioni fredde (figura. 3.1), ma talvolta anche la semplice ventilazione di aria forzata contro il prodotto caldo crea un certo contrasto termico; se il flusso dei ventilatori è rivolto direttamente sul prodotto, il contrasto è più evidente, sebbene si tratti sempre di aria dell'ambiente circostante, quindi non necessariamente molto fredda.

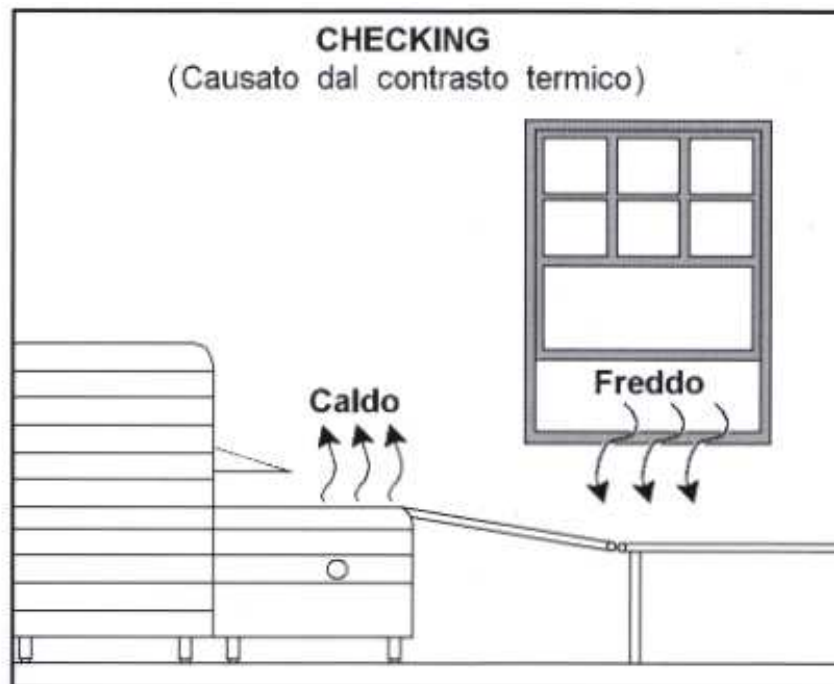


Figura. 3.1 Un esempio di contrasto termico, possibile causa del checking

Secondo molti costruttori di impianti per biscotti, è preferibile l'aspirazione del calore mediante ventilazione, rispetto la ventilazione forzata di aria diretta sul prodotto. È pur vero che anche l'aspirazione del calore crea a sua volta un movimento di aria che impatta fatalmente sul prodotto (in questo caso nella parte inferiore), tuttavia, l'effetto viene ampiamente mitigato dalla rete del trasportatore. Se invece il trasportatore ha un nastro in materiale plastico alimentare (PVC o poliuretano) l'aria non filtra dal basso; ma senza gli spazi delle maglie di rete, il flusso di aspirazione, quando eccessivo, potrebbe anche sollevare i biscotti.

L'umidità è una discriminante molto difficile da controllare. È necessario bilanciare bene la cottura, per far sì che la poca acqua rimasta nel biscotto risulti ben distribuita fra centro e periferia. Più esattamente, i punti di umidità di un biscotto dovrebbero essere il meno squilibrati possibile fra loro, dato che un certo squilibrio viene a crearsi comunque fra centro e periferia. La figura. 3.2 rende bene l'idea delle zone con differenti punti di umidità in un biscotto all'uscita dal forno.

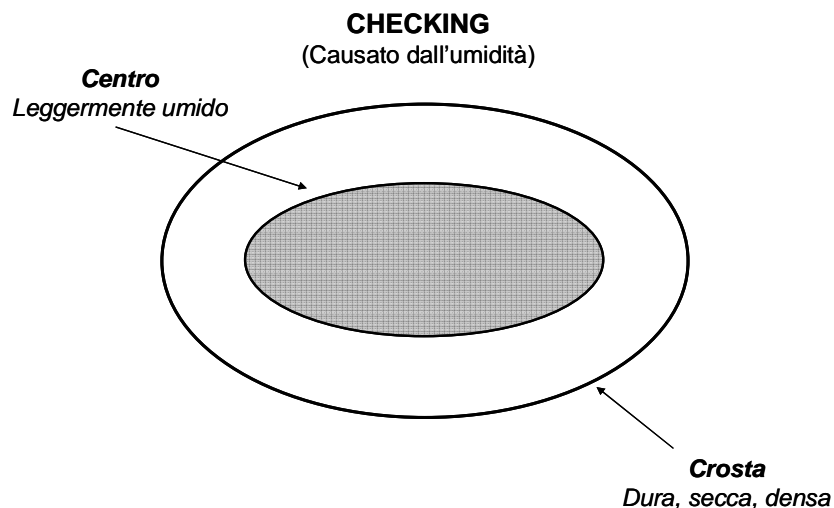


Figura. 3.2 Differenti punti di umidità in un biscotto all'uscita dal forno

L'opinione generale recita che “una cottura troppo veloce è sempre una cattiva cottura“. Una cottura troppo rapida può conferire gusto e colore alla superficie del biscotto, ma può anche lasciare all'interno della struttura un eccesso di umidità. Una cattiva cottura mette i biscotti a forte rischio di checking; le probabilità aumentano se poi il raffreddamento viene aiutato dalla ventilazione forzata.

Tra una cottura insufficiente e un raffreddamento veloce (shock termico) è difficile, se non impossibile, quale dei due fattori sia maggiormente responsabile del fenomeno del checking; entrambi di certo sono fattori molto negativi. Compatibilmente con le esigenze produttive e la versatilità del forno, è consigliabile mantenere tempi di cottura più lunghi e temperature più basse per i biscotti soggetti al rischio del checking; inoltre va attivata l'estrazione dei vapori nell'ultima zona del forno. Lo scopo è sempre quello di ottenere la miglior asciugatura nel centro del biscotto.

Nella tabella.3.1 che segue, Smith (1972) raccoglie i valori di umidità in quattro diverse zone di biscotti campione, cotti con quattro diversi tempi di cottura, utilizzando una temperatura impostata.

*Tabella. 3.1 valori di umidità (U.R.%):*

<b>Tempo di cottura a 224 °C ( min )</b>	<b>zona 1</b>	<b>zona 2</b>	<b>zona 3</b>	<b>zona 4</b>
<b>5</b>	2,41	5,22	6,01	6,52
<b>6</b>	1,23	2,92	3,53	4,06
<b>7</b>	0,93	1,66	2,33	2,73
<b>8</b>	0,78	1,21	1,6	1,86
<b>max differenza dovuta all'extra cottura</b>	1,63	4,01	4,41	4,66



Il biscotto è un secco laminato tondo (Mariè biscuit) e le porzioni esaminate corrispondono a 4 sezioni concentriche in cui sono stati tagliati i campioni:

- Zona 1 = bordo
- Zona 2 = parte periferica
- Zona 3 = parte inferiore
- Zona 4 = centro

Abbiamo già osservato che all'uscita del forno il biscotto è caldo, molle e umido, e nei minuti immediatamente successivi la struttura si asseta, in parte grazie al raffreddamento evaporativo. Bisogna aggiungere che, in questa fase, continua anche la migrazione dell'acqua dal centro del prodotto verso la parte esterna, che termina con l'abbassamento della temperatura.

Se al raggiungimento dei 35°- 30° C rimane ancora troppa umidità nel centro del biscotto, le probabilità del checking aumentano. Vediamo in dettaglio gli spostamenti di umidità nel corso dei minuti, sempre secondo i rilievi riportati dal Smith (1972); esattamente come per la tabella.3.1 le 4 zone corrispondono alle diverse sezioni concentriche in cui è stato tagliato il biscotto tondo campione: (tabella. 3.2).

*Tabella. 3.2 valori di U.R.% in diversi punti di biscotti lungo le zone di raffreddamento:*

<i>Zone</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Temperatura</i>
<b>uscita forno</b>	0,3	1,2	2,3	2,9	98,5°C
<b>dopo 7' di raffreddamento</b>	1,1	1,3	1,7	1,9	32°C
<b>dopo 30' nel pacchetto</b>	1,1	1,2	1,5	1,7	30,5°C

Una volta stabilizzata, l'umidità di un biscotto secco laminato non dovrebbe mai superare l'1,5 % nel suo complesso, mediamente suddiviso in:

- Centro = 2%
- Periferia = 1,0 - 1,5 %
- Bordi = 0,5 - 1,0 %

Mantenendo tali valori, il checking si verifica molto raramente (se non per ragioni estranee all'umidità).

Il checking, infine, viene propiziato da altri fattori:

- Uso di farine molto forti.
- Insufficiente tempo di impasto.
- Impasto non completato con pessima dispersione dei grassi.
- Forma e profondità degli stampi, in relazione al numero e posizione dei piolini (segmenti metallici inseriti verticalmente negli stampini, o ricavati direttamente sulla superficie interna dello stampo come per le altre decorazioni. Sono importanti per la cottura perché favoriscono lo sfiato dei gas, contribuendo alla stabilizzazione della cottura).

I fattori sopra citati sono quasi sempre correlati tra loro nella causa del checking; tra tutti però, le farine forti risultano estremamente determinanti; nei biscotti secchi e cracker le farine forti non precludono la riuscita di un buon prodotto, ma tendono a favorire il checking nelle successivi 24 - 48 ore, molto più che le farine deboli.

Esiste anche un'altra causa per il checking estranea alla cottura e ai processi tecnologici dei biscotti: si tratta degli shock meccanici, cioè le vibrazioni e i colpi di vario genere; fatalmente, se una struttura è già

parzialmente interessata da una rottura (anche solamente interna) eccessive vibrazioni o colpi ne aumenterebbero l'entità, fino ad estendere la rottura all'esterno e a tutto il biscotto. È questa una causa troppo spesso sottovalutata, che però incide particolarmente. I biscotti, quindi, vanno sempre trattati con estrema cura, regola molto antica quanto sempre attuale. Alcuni produttori preferiscono che il checking, eventualmente, si realizzi quando il prodotto è ancora nei magazzini della fabbrica, per meglio controllare e provvedere ai rimedi per le produzioni successive; infatti, se una partita di biscotti è già interessata da rotture interne prima o poi queste vengono ad amplificarsi, probabilmente già durante il trasferimento ai magazzini della distribuzione. Per tale ragione, con le produzioni dei biscotti prevedibilmente ad alto rischio di checking, è possibile costituire uno specifico controllo della qualità, organizzato in modo tale da consentire monitoraggi su campioni di prodotto già pronto per la spedizione. I monitoraggi dovrebbero essere di tipo visivo semplicemente aprendo pacchetti di prodotto presi casualmente tra i pallet della produzione: dovrebbero essere frequenti e in tempi prestabiliti, su campioni di differenti "età produttive":

- Dopo 6 ore dal confezionamento
- Dopo 12 ore dal confezionamento
- Dopo 24 ore dal confezionamento più controllo umidità su tre zone
- Dopo 48 ore dal confezionamento più controllo umidità su tre zone

Il controllo dell'umidità dei biscotti campione si può effettuare alla scadenza delle 24 ore e almeno su tre zone:

1. Centro
2. Anello medio - periferico
3. Bordi

I dati archiviati in registri e/o informatizzati su database, serviranno per il confronto in ogni particolare situazione futura (Controllo della Qualità (Lanza T. (2006)).

Sul checking sembra che i diversi tipi di forno giochino un ruolo importante, ma l'argomento è piuttosto controverso.

L'ing. Bademer ("Presidente della "IMAFORNI", 2005) sosteneva che la cottura efficace contro il checking si ottiene in un forno a tunnel con riscaldamento diretto per i primi due terzi, e convezione forzata nell'ultimo terzo. Ma anche i forni ciclo termici a cottura "indiretta" sono ugualmente efficaci, dipendendo dalla potenza delle prime zone, e sempre con la convezione forzata nella parte finale.

Secondo informazioni e opinioni raccolte da Lanza T. (2006) un forno di una certa potenza (con cottura a gas o elettrico), completato con un passaggio a radiofrequenza, dovrebbe fornire una migliore cottura "anti-checking". Il passaggio in radiofrequenza applica un riscaldamento cosiddetto elettronico, che non contribuisce alla cottura, ma completa l'asciugatura. Anche il riscaldamento ad infrarossi è di tipo elettronico ed è ritenuto efficace contro il checking.

Probabilmente non esistono forni tradizionali che si possono propriamente definire anti-checking; esistono semplicemente forni potenti e quindi efficaci. L'italiana STALAMAN, specializzata in impianti a radiofrequenza, ha risolto diversi casi di checking presso grosse biscotterie multinazionali, aggiungendo un proporzionato passaggio a radiofrequenza. L'acqua rimasta veniva quasi totalmente rimossa dal prodotto, senza condizionare minimamente la cottura, a prescindere dal tipo forni. (Lanza T., 2006)

### 3.1 LA RELAZIONE TRA FORZE E DEFORMAZIONI SULLE STRUTTURE BASATE SUL PRINCIPIO DELLE FORZE CONTRAPPOSTE

Spetta all'inglese Robert Hooke (1635 - 1703) il merito di avere chiarito per primo, sia pure con riferimento a elementi semplicemente tesi, la natura della relazione esistente tra azioni applicate e deformazioni conseguenti. Attraverso una serie di sperimentazioni su diversi tipi di molle (figura. 3.3) egli giunse a denunciare una legge oramai universalmente nota con il suo nome ed espressa dalla formula sintetica: "ut tensio sic vis" nella quale postulava la diretta proporzionalità tra il carico applicato a un corpo elastico ("vis") e la deformazione da questo subita ("tensio", da leggere come extensio, cioè allungamento).

Indicando con  $N$  il carico e con  $\Delta l$  l'allungamento, la legge di Hooke si può diagrammare con indicato in figura. 3.3.

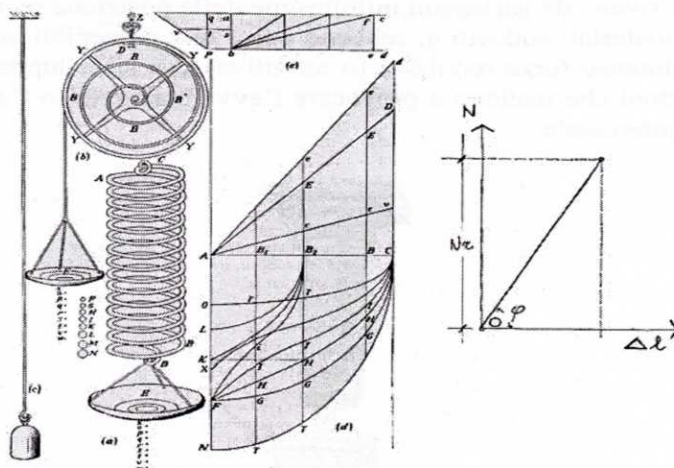


Figura. 3.3. Gli esperimenti di Robert Hooke

Le cose sono, in realtà alquanto più complesse.

Innanzitutto, la semplice relazione di proporzionalità diretta tra forze e deformazioni è valida, a rigore, solo per un campo di variazione delle forze limitato e il valore oltre il quale detta relazione cessa di descrivere il

comportamento effettivo è diversa da materiale a materiale. Nella Figura. 3.4 ad esempio, sono riportati due diagrammi di carico ottenuti, rispettivamente, mediante una prova di compressione su un cubetto di calce struzzo (figura 3.4 (a)) e una prova di trazione su un tondino d'acciaio (figura. 3.4(b)): si osserva come lo scostamento dal comportamento lineare sia pressoché immediato per il calcestruzzo mentre richiede un livello di carico apprezzabile per l'acciaio.

Inoltre, superata la soglia che delimita il campo di validità della legge di Hook, si verifica un riassetto irreversibile della struttura interna della materia e il materiale non è più in grado di recuperare la forma iniziale anche se si rimuove il carico: alle deformazioni residue si dà il nome di “deformazioni plastiche“ (per distinguerle da quelle elastiche del tratto lineare). Calcestruzzo e acciaio differiscono anche per quanto riguarda l'ampiezza del ramo plastico che appare assai più esteso per il secondo materiale.

La legge di Hooke resta comunque valida per carichi sufficientemente bassi e si presta per tanto a caratterizzare il comportamento iniziale di qualunque materiale da costruzione. Il rapporto tra il carico applicato e la variazione di lunghezza conseguente:

$$k = N / \Delta l$$

si definisce “rigidezza assiale” e rappresenta una misura della suscettibilità alla deformazione dell'elemento strutturale considerato: per poter esplicitare un determinato livello di forza detta “elemento strutturale” dovrà tanto più deformarsi quanto meno è rigido. La rigidezza assiale dipende da un parametro meccanico, la elasticità propria del materia (E), e da due parametri geometrici, la lunghezza (L) e la sezione trasversale (A) del provino.

$$k = (E * A) / L$$

il parametro meccanico prende il nome di “modulo di elasticità” o modulo di Young (1773 - 1829) ed è diverso da materiale a materiale.

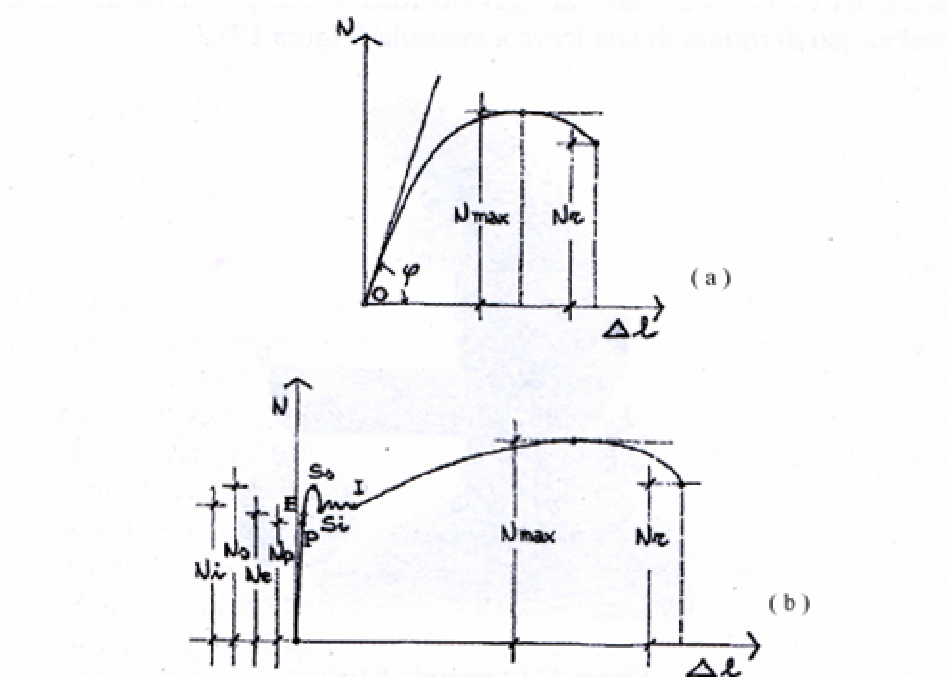


Figura. 3.4 Diagrammi di carico per un provino di calcestruzzo(a) e uno di acciaio(b)

### 3.2. LE STRUTTURE BASATE SUL PRINCIPIO DELLA LEVA

Gli elementi strutturali il cui comportamento è governato dal principio delle forze contrapposte, il filo teso, la colonna compressa, ecc., esibiscono dunque un regime di deformazioni tutto sommato elementare e consistente in allungamenti o accorciamenti uniformi di tutte le fibre che compongono gli elementi stessi.

Il comportamento deformativo, delle strutture che sfruttano il principio della leva e nelle quali interviene la grandezza nota come momento, si tratta di un problema ben più complesso e la cui soluzione non è altrettanto intuitiva. Esso prende le mosse da un problema ancor oggi ricordato come

problema di Galileo e relativo alla ricerca del carico di rottura di una trave a mensola (figura. 3.5).

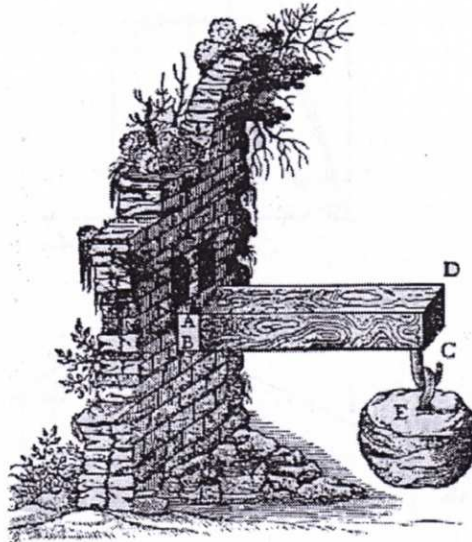


Figura. 3.5 La mensola di Galileo

La formulazione di Galileo è chiarissima e vale la pena riportarla per esteso: “[...] non sarà difficile l’intender la ragione onde avvenga che un Prisma o un Cilindro solido, di vetro, acciaio, legno, o altra materia frangibile, che sospeso per lungo sosterrà gravissimo peso che sia attaccato, ma intraverso(come poco fa dicevamo )da minor peso assai potrà talvolta essere spezzato, secondo che la sua lunghezza eccederà la sua grossezza. Imperò che figuriamoci il prisma solido ABCD, fitto in un muro dalla parte AB, e nell’altra estremità si intenda la forza del peso E (...): è manifesto che, dovendosi spezzare, si romperà nel logo B, dove il taglio del muro serve per sostegno, e BC per la parte della Leva dove si pone la forza; e la grossezza del solido BA è l’altra parte della Leva, nella quale è posta la resistenza, che consiste nello staccamento che s’ha da fare della parte del solido BD, che è fuor del muro, da quella che è dentro: e



*per le cose dichiarate, il momento della forza posta in C al momento della resistenza, che sta nella grossezza del Prisma, cioè nell'attaccamento della basa BA con la suo contigua, ha la medesimo proporzione che è la lunghezza CB alla metà della BA; e però l'assoluta resistenza all'esser rotto, che è nel Prisma BD (la quale assoluta resistenza è quella che si fa col tirarlo per diritto, perché allora tanto è il moto del movente quanto quello del mosso), ad esser rotto con l'aiuto della Leva BC, alla medesima proporzione che la lunghezza BC alla metà di AB nel Prisma, che nel cilindro è il semidiametro della sua base. E questa sia la nostra Prima Proporzione” [Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze, 1638].*

Galileo, dunque, assimila il comportamento della mensola, a collasso incipiente, a quello di una leva angola (figura. 3.6) con fulcro sul lato inferiore della base di incastro e bracci pari alla lunghezza (l) e a metà altezza della trave (h/2), rispettivamente, per il peso in E (P) e per la resistenza assoluta della trave stesso (N<sub>lim</sub>). si può, dunque descrivere:

$$P / N_{\text{lim}} = (h/2) \rightarrow P = N_{\text{lim}} * (h/2 * l)$$

Ora, la resistenza assoluta di cui parla galileo non è altro che la resistenza a rottura della trave soggetta a trazione semplice (la Fig. 5.4 è proprio tratta dai “Discorsi” galileiani) e, si è detto che, a parità di materiale, questa risulta proporzionalmente più grande al crescere dell’area della sezione trasversale della trave:

$$N_{\text{lim}} \propto b * h$$

Conseguentemente:

$$P \propto (b * h^2) / (2 * l)$$

Ovvero, con il linguaggio moderno la resistenza a flessione di una trave a sezione rettangolare è direttamente proporzionale alla lunghezza della trave e al quadrato della sua altezza.

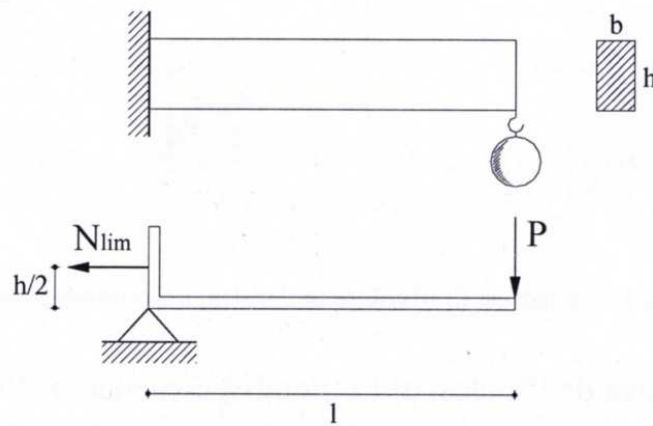


Figura.3.6 Leva angolare contenuta nella mensola di Galileo

Questa conclusione è corretta ma Galileo non riuscì a fornire la valutazione esatta della resistenza a flessione. Ciò nonostante il suo contributo resta fondamentale, al punto che alla mensola incastrata si riferisce ancor oggi come problema di Galileo, perché per la prima volta si intravede la necessità di considerare, ai fini dell'equilibrio delle strutture fondate sul principio della leva, accanto al momento esterno un momento interno ad esso contrapposto.

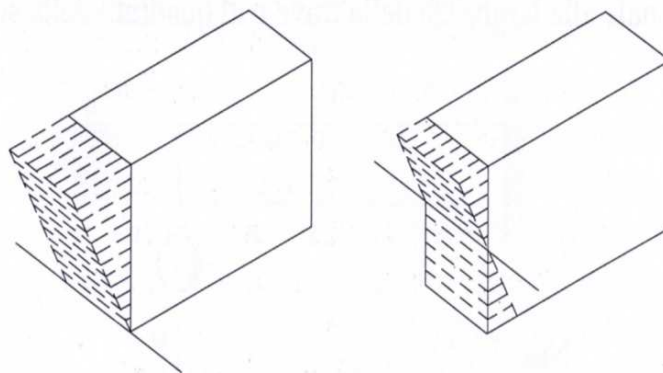
L'errore compiuto da Galileo nel valutare la resistenza a flessione della mensola è facilmente comprensibile. Tale valutazione presuppone, infatti, la preliminare definizione del regime deformativo che si sviluppa all'intero della trave inflessa e dal quale, come si è detto, dipende l'innescarsi di un sistema di reazione (forze e momenti in grado di assicurare l'equilibrio).

E perché tale definizione si realisticamente pensabile occorre non solo aver intuito che tra i due mondi, quello delle forze e quello delle deformazioni, esiste una qualche forma di relazione, ma, soprattutto, occorre aver precisato la natura di tale relazione. La soluzione corretta del problema sarebbe stata possibile solo dopo Hook.

Ora, nella leva angolare di Galileo è implicita l'ipotesi che la sezione trasversale della mensola subisca un allungamento uniforme (ed è questo l'errore): solo in questo caso, infatti, a senso riferirsi alla resistenza assoluta ossia quella opposta a una trazione o compressione uniforme, queste sì responsabili di deformazioni uniformi, e pensare tale resistenza applicata a metà altezza della trave (figura. 3.6).

In realtà, è la stessa leva angolare, qual'ora se ne immagini la rotazione, a suggerire un più plausibile regime di deformazioni consistente in allungamenti di ciascuna fibra longitudinale della mensola proporzionale alla distanza della fibra stessa dall'asse di rotazione (fulcro della leva): e, quindi, con valore nullo in corrispondenza dello spigolo inferiore della base di incastro e massimo in corrispondenza dello spigo opposto.

È questa la soluzione proposta da Mariotte (1620 - 1684), ma non è ancora quella corretta. La soluzione corretta non è compatibile, in realtà con la leva angolare citata perché comporta deformazione variabili sì linearmente ma di segno opposto, lungo l'altezza della trave, con allungamenti, nella metà superiore e accorciamenti in quella inferiore. Mariotte intuì il regime deformativo corretto, ma fu Coulomb (1736 - 1806) a darne la formulazione definitiva (figura. 3.7).



*Figura. 3.7. Le ipotesi di Mariotte (a sinistra) e Coulomb (a destra)*

Una giustificazione intuitiva dell'ipotesi di Coulomb è contenuta nella figura. 3.8, nella quale è riportato un esperimento che si può facilmente eseguire con una comune gomma per matita. Incurvandosi, la trave (gomma) AD si deforma assumendo la nuova configurazione A'D' e i quadrati disegnati sulla sua superficie laterale aiutano a visualizzare l'effetto di tale deformazione. È infatti evidente come la fibra estrema della trave, coincidente con il lato AB si allunghi portandosi in A'B', mentre la fibra estrema coincidente con il lato CD si accorci portandosi C'D'.

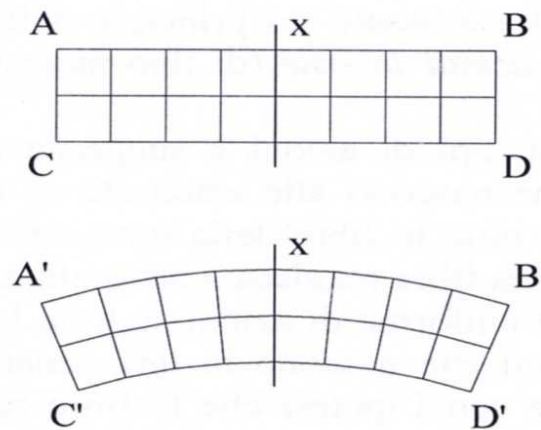
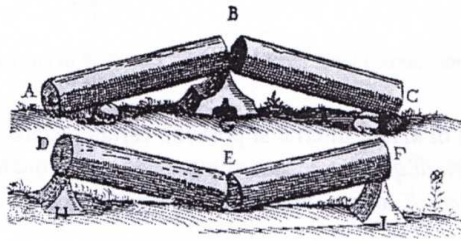


Figura. 3.8 Deformazione dovuta alla flessione

Ipotizzando, come pare lecito, che il passaggio tra queste due fibre a deformazione massima sia graduale, è ragionevole supporre che, grosso modo a metà altezza della trave (esattamente a metà altezza, se le variazioni di lunghezza della AB e della CD sono uguali), si debba incontrare una fibra la cui lunghezza rimane invariata e che separa le fibre che diventano più lunghe da quelle che diventano più corte. A questa fibra ci si riferisce come fibra neutra.

Ora, non è difficile convincersi che la deformazione esibita dalla mensola di Galileo è sostanzialmente la stessa di quella della trave AD, ciascuna metà della quale si può infatti riguardare proprio come mensola incastrata nella sezione di mezzevia (x - x) della trave stessa: ed è proprio questo il ragionamento compiuto dallo stesso Galileo (figura. 3.9).



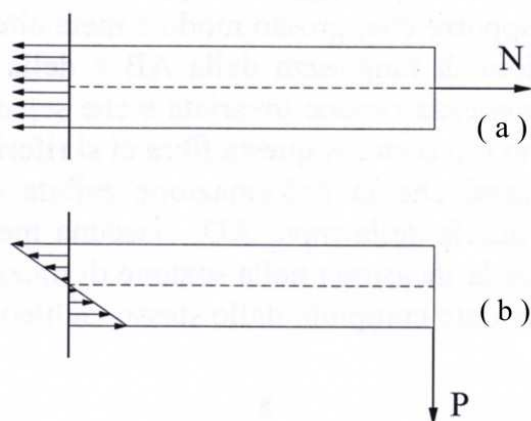
*Figura. 3.9 Equivalenza tra mensola e trave appoggiata*

In definitiva, la deformazione della sezione di incastro della mensola di Galileo si può rappresentare come derivante da una rotazione della sezione stessa attorno a un'asse passante a metà altezza della sezione e parallelo agli spigoli di base di questa: le fibre superiori della trave si allungano e quelle inferiori si accorciano, proporzionalmente alle rispettive distanze dall'asse di rotazione (o asse neutro). Come conseguenza di tali deformazioni, e queste legate dalla legge di Hook, nascono nelle fibre superiori delle forze di trazione e in quelle inferiori delle forze di compressione: il momento generato da tali forze rispetto all'asse neutro rappresenta quella che viene chiamato momento interno.

### 3.3 I PARAMETRI CHE GOVERNANO IL COMPORTAMENTO DELLE STRUTTURE

Così come nelle strutture basate sul principio delle forze contrapposte abbiamo riconosciuto, in conseguenza della legge di Hooke, la presenza di azioni interne (di tipo Forza) in grado di equilibrare le azioni esterne è la resistenza assoluta di cui parla Galileo, allo stesso modo riconosciamo dunque, nelle strutture basate sul principio della leva e, sempre in virtù della legge di Hook, la presenza di azioni interne (di tipo momento) in grado di equilibrare il momento delle azioni esterne.

Una immagine sintetica dei due tipi di azioni è suggerita nella figura. 3.10. La figura. 3.10 (a) mostra le azioni interne che nascono all'estremità di una trave soggetta a trazione; coerentemente con l'ipotesi che tutte le fibre della trave subiscono lo stesso allungamento, possiamo immaginare che ciascuna fibra reagisca a detto allungamento con la stessa intensità dando luogo a una distribuzione uniforme di azioni su tutta la sezione considerata. La figura. 3.10 (b) mette in evidenza, invece, le azioni che nascono in una generica sezione trasversale di una mensola inflessa; coerentemente con l'ipotesi che le fibre superiori si allungano e quelle inferiori si accorciano in proporzione alle rispettive distanze dalla fibra neutra, possiamo immaginare che le fibre superiori ed inferiori reagiscano con azioni di segno opposto e tanto maggiori quanto più sono distanziati dalla fibra neutra.



*Figura. 3.10 Azioni interne in una trave a) soggetta a trazione e b) in una mensola inflessa*

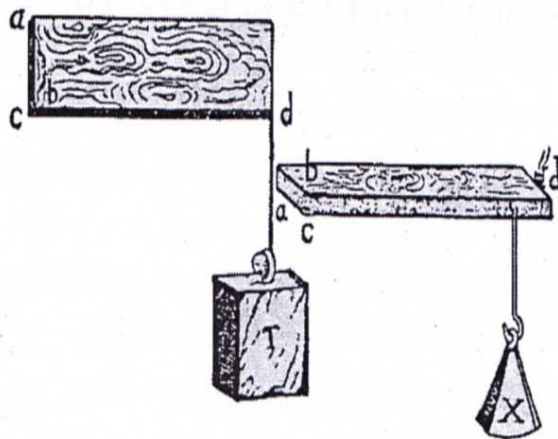
Entrambe le distribuzioni di azioni interne si possono caratterizzare mediante due tipi diversi di impianti: un parametro di qualità, legato al materiale con il quale l'elemento strutturale è realizzato, e un parametro di forma, legato all'area e alla forma della sezione trasversale dell'elemento stesso.

La legge di Hook consente di precisare il significato del parametro di qualità dal momento che il livello di deformazione necessario a garantire l'esplicitarsi di un determinato effetto reattivo dipende dalla elasticità del materiale. E questo vale sia per la resistenza assoluta delle colonne sia per la resistenza flessionale delle travi. Una colonna (trave) di legno deve deformarsi più di una colonna (trave) di acciaio per sostenere lo stesso carico, e una colonna (trave) di pietra più di una di legno.

Quanto al parametro di forma osserviamo che, nel caso delle strutture basta sul principio delle forze contrapposte, tale definizione è, in parte, impropria essendo il suddetto parametro rappresentato dall'area della sezione resistente e non dalla forma effettiva di questa (la forma entra però in gioco), a rigore nei problemi di stabilità dei quali cui non si è fatto cenno.

Già Galileo aveva correttamente riscontrato che la resistenza assoluta delle travi è proporzionale all'area della loro sezione trasversale.

Nel caso delle strutture basate invece sul principio della leva, il parametro di forma è effettivamente legato non solo alla dimensione complessiva della sezione trasversale della trave a anche alla sua forma. Avendo infatti riconosciuto con Galileo, che la resistenza flessionale di una mensola incastrata cresce in proporzione diretta con il quadrato dell'altezza della sua sezione trasversale è immediato convincersi che, qual'ora detta sezione trasversale abbia forma rettangolare, il comportamento della trave è sensibilmente diverso a secondo che la trave stessa sia inserita nel muro di "piatto" o di "taglio" (figura. 3.11).



*Figura. 3.11 Il parametro di forma per le travi inflesse*

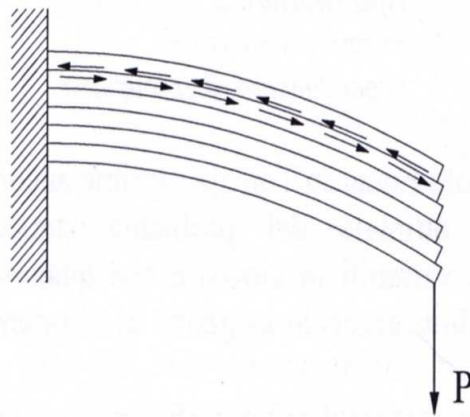
Il parametro che sinteticamente esprime questa differenza è noto come momento di inerzia della sezione trasversale rispetto all'asse neutro (asse di rotazione) della sezione stessa. Il momento di inerzia dipende dalla legge con cui è distribuita l'area resistente della sezione e misura il contrasto che questo offre alla rotazione indotta dal momento prodotto dai carichi esterni. Il nome deriva dal fatto che tale grandezza venne introdotta in ambito



squisitamente dinamico, da Christian Huyghens (1629 - 1697) a rappresentare l'equivalente della massa per il moto di rotazione.

Ricordiamo, ad esempio che alla componente di razione di contromomento è sempre associata un'altra componente di razione, nota come taglio; così come il momento interno si oppone all'incurvarsi della trave il taglio si oppone allo scorrimento mutuo delle fibre longitudinali (Figura 3.12).

Tocci C.; <http://dsg.uniroma1.it/Tocci/MaterialeDidattico.htm>



*Figura. 3.12 La deformazione dovuta al taglio.*



## CAPITOLO 4

# LO STUDIO DI DIFETTOSITÀ DEI LOTTI E I SISTEMI DI CAMPIONAMENTO

### 4.1 STATISTICA PRECAMPIONARIA

Si calcola la probabilità che in un campione, estratto da un lotto di difettosità nota, vi sia almeno un elemento non conforme. Dunque si cerca il campione di ampiezza minima, ovvero quello, che con probabilità prefissata, contiene almeno un elemento difettoso, ed è dunque in grado di individuare la difettosità del lotto.

Nell'esempio seguente è riportata l'applicazione di tale metodica.

**1** - un fornitore afferma di poter vendere un lotto di 5000 pezzi, caratterizzato da una difettosità inferiore all'1%;

**2** - quale deve essere la dimensione minima del campione adatto a sostenere una tale affermazione?

**3** - dipende da  $p$ , ovvero dal livello di affidabilità che si vuole dare all'affermazione **1**, che potrebbe essere così modificata per un ipotetico contratto: non posso dire con certezza quanti pezzi difettosi conterrà il lotto (per saperlo dovrei controllare tutti gli elementi del lotto) però posso dire con probabilità  $p=95\%$  che il lotto di 5000 pezzi contiene meno dell'1% di pezzi difettosi se su un campione da  $N_c$  pezzi non sono stati osservati elementi difettosi. Il valore  $N_c$ , con i dati dell'esempio, vale 300.

**4** - una volta estratto un campione (p.e. di 300 elementi) e condotte le verifiche, se il campione da 300 pezzi ha difettosità nulla, allora è garantito al 95% che la difettosità del lotto è inferiore all'1%; altrimenti noto l'effettivo numero di pezzi difettosi  $d$ , nell'ultima colonna si può leggere la

stima della difettosità più probabile del lotto di provenienza. Per se si osservano 6 elementi difettosi (su un campione di 300 pezzi) allora la difettosità stimata del lotto vale circa 0.7%.

### Dettagli teorici

Quando il rapporto dimensione del campione/dimensione del lotto è piccolo (circa inferiore al 10%) il codice fa riferimento alla distribuzione ipergeometrica, altrimenti si approssima quest'ultima con una distribuzione binomiale.

Per la maggior parte dei fini industriali (difettosità inferiori al 10%) vale bene la distribuzione binomiale, che approssima la dimensione della popolazione di partenza ad infinito.

### *Distribuzione Binomiale*

Si abbia una popolazione di un gran numero di pezzi, dei quali la frazione  $p$  sia formata da pezzi buoni, mentre la frazione  $q=1-p$  esprime la quantità di pezzi difettosi. La probabilità  $P(x)$  di estrarre, con  $n$  estrazioni indipendenti,  $x$  pezzi buoni e, quindi,  $n-x$  pezzi difettosi, vale:

$$P(x) = \binom{n}{x} \cdot p^x \cdot q^{n-x} \quad x=1,2,\dots,n.$$

in cui  $\binom{n}{x}$  sono i coefficienti binomiali, ovvero le combinazioni  $x$  a  $x$  di  $n$  elementi:

$$\binom{n}{x} = \frac{n!}{x!(n-x)!}$$

Esempio: Si abbia un lotto molto grande, il quale contenga il 10% di pezzi difettosi. Allora  $p=0.90$  e la probabilità di estrarre esattamente 2 pezzi

difettosi su un campione di 10 pezzi estratti, cioè di estrarre 8 pezzi buoni su 10, è:

$$P(8) = \binom{10}{8} \cdot 0.90^8 \cdot 0.10^2 \cong 0.1937$$

### *Distribuzione ipergeometrica*

Supponiamo di avere una popolazione di  $N$  elementi. Un certo numero  $D < N$  di essi ricada in una classe di interesse (p.e. sono difettosi). Si estragga dalla popolazione un campione casuale di  $n$  elementi senza sostituzione, allora la probabilità  $P(x)$  che  $x$  elementi del campione siano difettosi vale:

$$P(x) = \frac{\binom{D}{x} \binom{N-D}{n-x}}{\binom{N}{n}} \quad x = 0, 1, \dots, \min(n, D)$$

in cui  $\binom{a}{b}$  è, al solito, il numero di combinazioni di  $a$  elementi presi in numero  $b$  alla volta.

Esempio: Si supponga che un lotto contenga 100 elementi, dei quali 5 non siano conformi alle specifiche tecniche. Se si forma un campione casuale di 10 elementi, senza sostituzione, allora la probabilità di trovarne uno o nessuno non conforme nel campione è:

$$P\{x \leq 1\} = P\{x = 0\} + P\{x = 1\} = \frac{\binom{5}{0} \binom{95}{5}}{\binom{100}{10}} + \frac{\binom{5}{1} \binom{95}{9}}{\binom{100}{10}} = 0.923$$

## 4.2 STIME SUL LOTTO

Ogni campione di ampiezza  $n_c$ , che è possibile estrarre dal lotto ha un proprio valore medio, in genere differente da quello del lotto. Tuttavia è possibile stimare quest'ultimo sulla base delle sole osservazioni campionarie: nella cella G8 si trova il valore approssimato per difetto della stima del valore medio dell'indice di resistenza del lotto. Tale stima ha un'affidabilità definita dal livello di probabilità contenuto in D2 e viene calcolata come:

$$val.med.min = \bar{x} - t(p) \cdot \frac{s}{\sqrt{n_c - 1}} \cdot \sqrt{\frac{N - n_c}{N - 1}}$$

in cui:

$\bar{x}$ : la media campionaria;

$t(p)$ : valore critico del parametro *t-Student*, che è funzione del livello di probabilità prescelto  $p$ ;

$s$ : deviazione standard campionaria;

$N$ : la numerosità del lotto;

$n_c$ : la numerosità del campione;

Similmente la stima per eccesso viene calcolata in cella J8 come:

$$val.med.max = \bar{x} + t(p) \cdot \frac{s}{\sqrt{n_c - 1}} \cdot \sqrt{\frac{N - n_c}{N - 1}}$$

Con modalità simili vengono calcolate, nelle caselle G8 e J9, le stime per difetto e per eccesso della deviazione standard del lotto, a partire dai dati campionari:

$$st.dev.min = s \cdot \sqrt{\frac{n_c}{n_c - 1}} - t(p) \cdot \frac{s}{\sqrt{2n_c}}$$

e

$$st.dev.max = s \cdot \sqrt{\frac{n_c}{n_c - 1}} + t(p) \cdot \frac{s}{\sqrt{2n_c}}$$

Infine, nelle caselle G10 e J10 vengono calcolate rispettivamente le stime per i valori più basso e più alto che con il livello di probabilità definito in D2 possono essere trovati nel lotto:

$$val.min = \bar{x} - t(p) \cdot \sigma \quad e \quad val.max = \bar{x} + t(p) \cdot \sigma$$

In questo caso il parametro  $s$ , ovvero deviazione standard della popolazione, è stimato come media delle stime campionarie del punto precedente.

Infine, la probabilità di trovare un elemento caratterizzato da un indice di resistenza inferiore a quello prefissato è calcolato in cella D23 e D24 rispettivamente con riferimento alla teoria Gaussiana approssimata ed a quella esatta di Student.

### *Dettagli teorici*

Nell'osservazione di un sistema (p.e. i prodotti di un'azienda) è spesso impossibile per motivi tecnici, economici o di produzione osservare l'intera popolazione. In alternativa se ne può esaminare solo una porzione, detta campione.

Se si prelevano da una popolazione dei campioni formati ciascuno da  $N_c$  elementi, otteniamo una serie di valori (p.e. di indici di resistenza dei coni:  $Ir_1, Ir_2, \dots, Ir_n$ ) e si calcola il valor medio di ciascuno di tali campioni, allora avrò una nuova popolazione del tipo  $I\bar{r}_1, I\bar{r}_2, I\bar{r}_3, \dots, I\bar{r}_\infty$ . È possibile dimostrare che le medie campionarie tendono a distribuirsi normalmente (teorema del valore centrale).

Dunque, in generale, non è possibile conoscere la distribuzione di probabilità di una popolazione o comunque di un lotto di produzione, però sappiamo che la distribuzione di probabilità di una popolazione di medie, ottenute da campioni di  $N_c$  elementi può essere assimilata ad una distribuzione normale, purché  $N_c$  sia abbastanza grande.

La probabilità che il lotto presenti un elemento con indice di resistenza inferiore ad un limite prefissato  $Ir^*$  vale:

$$\Pr\{Ir < Ir^*\} = \int_{-\infty}^{Ir^*} \Psi(Ir) dIr = \int_{-\infty}^z \Psi(z) dz$$

in cui  $\Psi(z)$  è la distribuzione gaussiana standardizzata, con la media nulla e varianza unitaria:

$$\Psi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{z^2}{2}},$$

essendo  $z$  la forma standardizzata della variabile

$$Ir: z = \frac{Ir - \bar{Ir}}{\sigma_{Ir}},$$

con:

$Ir$ : variabile (indice di resistenza);

$\bar{Ir}$ : valore medio dell'indice di resistenza;

$\sigma_{Ir}$ : deviazione standard dell'indice di resistenza.

Il valore medio di  $Ir$  calcolato sul lotto è naturalmente incognito, ma può essere stimato sulla base dei valori campionari, in virtù del teorema del valore centrale:

$$\bar{Ir} = \bar{Ircamp} \pm t_c(p) \cdot \frac{\sigma_{Ir}}{\sqrt{N}}$$

in cui:

$\bar{Ircamp}$ : media campionaria dell'indice di resistenza;



$tc(p)$ : la variabile standardizzata  $t$  di *Student*, relativa al livello di probabilità prescelto  $p$ ;

$$\frac{\sigma_{I_r}}{\sqrt{N}} : \text{errore standard della media.}$$

Purché il numero  $N_c$  di elementi del campione sia abbastanza grande, approssimativamente superiore a 30, è possibile stimare  $\sigma_{I_r}$  per mezzo di  $s$ :

$$\sigma_{I_r} = s \cdot \sqrt{\frac{N}{N-1}}$$



# PARTE SPERIMENTALE



# CAPITOLO 5

## MATERIALI E METODI: MISURA DELLA RESISTENZA MECCANICA DEL CONO STAMPATO E STRUMENTI STATISTICI PER CONTROLLO DELLA QUALITÀ

### 5.1 ORGANIZZAZIONE GENERALE DEL LAVORO

Nella presente sezione, il lavoro è stato condotto con l'obiettivo di determinare un indice di resistenza meccanico dei coni stampati tramite prove di carico a flessione fino a rottura.

Il fine è stato quello di caratterizzare la resistenza a rottura del prodotto in modo da poter valutare la difettosità del campione, stimando successivamente la difettosità del corrispondente lotto di produzione.

Il campionamento ha previsto il prelievamento di 50 coni stampati, a inizio, metà e alla fine di una giornata di produzione per un totale di 150 pezzi.

La prova è stata ripetuta per tre giornate di produzione perciò si sono analizzati complessivamente 450 coni (figura.5.1)

### Statistica precampionaria

- Dimensione del lotto: 10000 pz.

- Livello di affidabilità scelto 95%



**Coni estratti per  
giornata di produzione**

50 a inizio produzione

+

50 dopo 7h, (metà produzione)

+

50 dopo 14h, (fine produzione)



Osservazione su  
tre giornate di  
produzione per un  
totale di  
450 coni  
analizzati

Figura.5.1 - piano di campionamento

Sebbene il modello statistico utilizzato per la stima della difettosità del lotto si basi sul valore complessivo dell'ampiezza campionaria, indipendentemente dalla numerosità e dal tempo scelto per le estrazioni, si è stabilito di prelevare il campione in tre periodi differenti della stessa giornata lavorativa, in modo da valutare anche l'andamento della produzione.

Di ogni cono è stata misurata la massa e, dopo la prova a flessione si è provveduto a misurare l'altezza della porzione di prodotto rimasta integra dopo la frattura. Questa misura è stata presa in considerazione poiché empiricamente l'azienda ha qualificato come "fragile" il prodotto che, impugnato e leggermente compresso, si frattura in prossimità dell'apice.

L'andamento della produzione, in funzione di tutti i parametri misurati, è stato valutato mediante analisi della varianza (ANOVA) al fine di identificare differenze significative tra le misure ottenute sia durante la singola giornata che nei tre giorni in cui si è effettuato il campionamento.

Impiegando infine i modelli statistici post campionari è stato allestito un programma, su foglio elettronico, in grado di fornire il valore della

difettosità campionaria dal quale si ricava direttamente la difettosità dell'intero lotto di produzione.

## 5.2 STATISTICA PRECAMPIONARIA E IMPIEGO DEL PROGRAMMA DI CAMPIONAMENTO

Per stabilire l'entità del campionamento in funzione della dimensione del lotto di produzione e del livello di affidabilità scelto, è stato realizzato un semplice software in C. in grado di fornire tale valore. Il programma è stato progettato sulla base della teoria statistica riguardante in particolare la distribuzione binomiale e ipergeometrica di cui si è parlato nel capitolo 3.

Tale programma denominato *campionamento.exe* si esegue su di una finestra DOS (figura. 5.2) e si inseriscono i seguenti dati:

- dimensione del lotto ( $N_p$ );
- la massima difettosità tollerabile del lotto  $p$ , che può assumere valori compresi nell'intervallo  $[0, 1]$ ;

A screenshot of a DOS window titled "C:\DOCUME~1\paolo\Desktop\CAMPIO~1\CAMPIO~1\CAMPIO~1.EXE". The window contains the following text:

```
Dimensione del lotto <N > 1 : 1000
Massima difettosita' tollerabile del lotto <0 < p_lotto < 1 : 0.1
Numero di elementi difettosi del campione <d >= 0 : 4
Calcolo in corso.329.333.327.333.325.333.323.333.
```

Figura.5.2 – Finestra DOS di programma *campionamento.exe*

I risultati del calcolo vengono inseriti nel file *FileOut.txt* posizionato nella stessa cartella di *campionamento.exe*. Tale file è organizzato come una

tabella di valori. In figura. 5.3 è riportato a titolo di esempio un file di testo ottenuto considerando una popolazione di partenza di 1000 unità ed una difettosità massima tollerabile del 10%.

```
Dim.Lotto:1000 pDifett:10%
[...]
dim.camp.: 26( 2.6%lot)      iperg.:93.772% [6.5%] mean:2.60      dev.st:1.51
dim.camp.: 28( 2.8%lot)      iperg.:94.986% [5.2%] mean:2.80      dev.st:1.57
dim.camp.: 30( 3.0%lot)      iperg.:95.965% [4.2%] mean:3.00      dev.st:1.62
dim.camp.: 32( 3.2%lot)      iperg.:96.754% [3.4%] mean:3.20      dev.st:1.67
dim.camp.: 34( 3.4%lot)      iperg.:97.391% [2.8%] mean:3.40      dev.st:1.72
dim.camp.: 36( 3.6%lot)      iperg.:97.903% [2.3%] mean:3.60      dev.st:1.77
[...]
```

*Figura. 5.3 FileOut.txt ottenuto dal programma di precampionamento*

scorrendo la colonna dell'affidabilità del campione fino a superare il livello di probabilità che ci interessa (p.e. il 95%) se ne conclude che con un campione di ampiezza 30 (pari al 3% del lotto) esiste una probabilità superiore al 95% che se è presente almeno un difetto nel campione, allora la difettosità del lotto è superiore al 10%.

### 5.3 PROVE A FLESSIONE

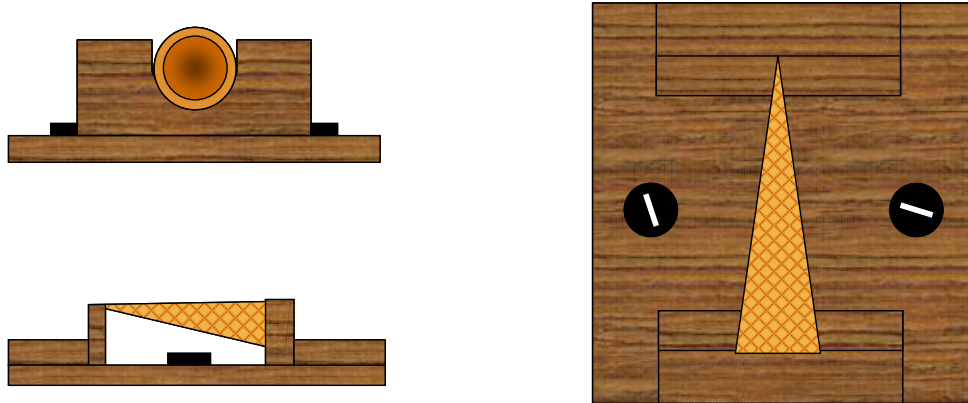
La prova di compressione a flessione è stata condotta applicando sul cono un carico trasversale, ossia una forza  $F$ , normale all'asse maggiore del cono stesso.

L'intento è stato quello di sollecitare il materiale studiandone reazione e comportamento fino alla rottura in base alla teoria riguardante la flessione di una trave, vincolata alle estremità da due cunei e sottoposta ad un carico trasversale. Per tale prova si è costruito un supporto in legno da montare alla base del Texture Analyzer in grado di alloggiare il campione (figura. 5.4).



Il TA HDi Texture Analyser è uno strumento per la misura della tessitura degli alimenti, ma in generale di qualsiasi prodotto di cui devono essere misurate le proprietà fisico meccaniche e reologiche, definite da curve forza/spostamento.

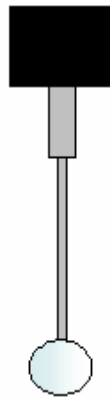
Esso è in grado di operare con una forza massima di 500 kg, acquisendo con frequenza di campionamento fino a 500 campioni al secondo per qualsiasi parametro preso in considerazione (forza, tempo, spostamento). Opera ad una velocità compresa tra i 0,1 e i 15 mm/s con un accuratezza di misura di 0,001 in relazione alla cella di carico inserita.



*Figura. 5.4- Supporto in legno utilizzato per le prove a flessione*

Il Texture Analyzer THDi, munito di cella di carico da 5 kg è stato impostato ad una velocità di discesa verticale costante pari a 5mm/s.

Considerando la particolare irregolarità superficiale della cialda, dovuta al disegno proprio dello stampo di cottura, si è preferito applicare il carico su di una superficie relativamente estesa, impiegando perciò una sonda di tipo sferoidale del diametro di 24 mm, in materiale plastico con raccordo in acciaio (figura.5.5).



*Figura.5.5 -Sonda sferoidale*

Osservando una curva forza/spostamento registrata con il Texture Analyzer, come riportata a titolo di esempio in figura.5.6, si osserva che il tratto iniziale mostra un andamento di tipo esponenziale per poi raggiungere un massimo (yield point), successivamente la curva mostra un andamento irregolare ed estremamente variabile per poi crescere fino al punto di rottura.

Nella presente sezione si sono ricavati i valori di ordinata  $F$  (N) corrispondenti a tre punti “critici” caratteristici di ciascuna curva forza spostamento: ordinata nel tratto lineare che precede lo yield point (dove  $dF/dD = \text{costante}$ ), il valore di ordinata di quest’ultimo e infine l’ordinata al massimo valore di forza registrato  $f$ , valore che solitamente precede una brusca diminuzione dei valori di ordinata per cedimento completo del materiale.

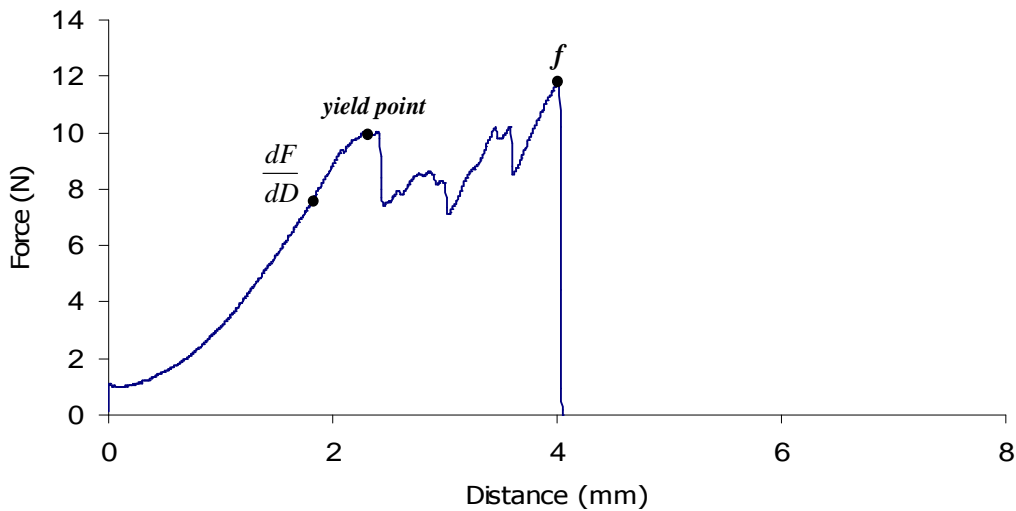


Figura5.6– Esempio di curva forza - spostamento e punti critici ricavati

La ricerca di un indice di resistenza meccanica del prodotto è stata condotta combinando i valori di ordinata appena descritti con i valori dimensionali che descrivono geometricamente la convessità di sonda e porzione di alimento a contatto con essa durante la compressione, secondo quanto illustrato in due metodiche ASAE : S368.1, 1998 e S368.4 DEC00, 2003. figura.5.7.

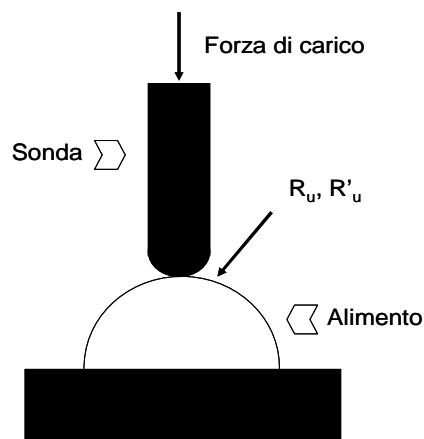


Figura.5.7.- Geometria di carico per la determinazione degli indici di resistenza meccanica; ASAE S368.1, 1998

I modelli hanno fornito pertanto due indici che verranno indicati come: modulo apparente di elasticità (**E**), in Pa e forza di deformazione (**σ**), in Pa; le equazioni corrispondenti sono riportate di seguito:

$$E = \frac{0.338 K_u^{3/2} F (1 - \mu^2)}{D^{3/2}} (1/R_u + 1/R'_u + 4/d)^{1/2} ;$$

$$\sigma = 0.365 \left[ \frac{F}{A^2} (1/R_u + 1/R'_u + 4/d)^2 \right]^{1/3}$$

dove:

E = modulo di elasticità apparente (Pa);

σ = forza di deformazione (Pa);

F = forza di carico (N) - ordinata ricavata dai tre punti critici;

D = deformazione elastica (m);

d = diametro della sonda sferica (m);

R = raggio del cono in corrispondenza del punto di applicazione di F (m);

μ = coefficiente di Poisson;

A = costante anelastica espressa dal rapporto  $A = (1 - \mu^2)/E$ .

Gli Indici **E** e **σ**, calcolati per il valore di ordinata corrispondenti allo yield point e per  $dF/dD = costante$  sono stati indicati rispettivamente **E<sub>max</sub>**, **σ<sub>max</sub>** ed **E<sub>m</sub>**, **σ<sub>m</sub>**. Nel caso invece dell'ordinata corrispondente al punto *f*, tali indici sono stati indicati semplicemente **E** e **σ**. Lo stesso punto critico *f* è stato considerato e confrontato come un indice di resistenza da confrontare agli altri sei e di seguito sarà denominato *forza massima di rottura*, figura.5.8.

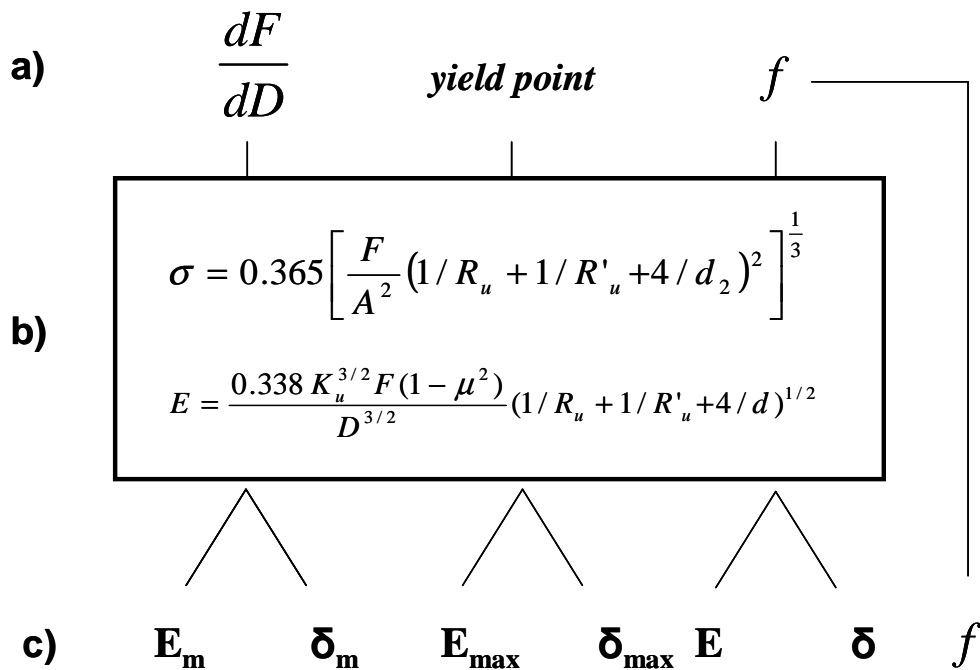


Figura.5.8 Schema del processo di elaborazione degli indici di resistenza:  
a) punti critici ricavati dalle curve forza spostamento. b) Il valore dell' ordinata corrispondente ai punti critici è stata sostituito alla forza di carico  $F$  in ciascuna delle equazioni rappresentanti le metodiche standard ASAE. c) Indici di resistenza ottenuti.

## 5.4 STATISTICA POST CAMPIONARIA

Dopo aver individuato il miglior indice di resistenza descrivente la resistenza meccanica del cono in cialda, si è provveduto a compilare un foglio di calcolo appositamente studiato e allestito per fornire rapidamente informazioni utili alla caratterizzazione della produzione, nell'ottica dell'ottimizzazione del controllo qualità dell'azienda (figura 5.9).

### 5.4.1 METODICA DI STIMA SUL LOTTO

Ogni campione di ampiezza  $n_c$ , che è possibile estrarre dal lotto ha un proprio valore medio, in genere differente da quello del lotto. Tuttavia è

possibile stimare quest'ultimo sulla base delle sole osservazioni campionarie: nella cella G8 si trova il valore approssimato per difetto della stima del valore medio dell'indice di resistenza del lotto. Tale stima ha un'affidabilità definita dal livello di probabilità contenuto in D2 e viene calcolata come:

$$val.med.min = \bar{x} - t(p) \cdot \frac{s}{\sqrt{n_c - 1}} \cdot \sqrt{\frac{N - n_c}{N - 1}}$$

in cui:

$\bar{x}$ : media campionaria;

$t(p)$ : valore critico del parametro  $t$ -Student, che è funzione del livello di probabilità prescelto  $p$ ;

$s$ : deviazione standard campionaria;

$N$ : numerosità del lotto;

$n_c$ : numerosità del campione;

Similmente la stima per eccesso viene calcolata in cella J8 come:

$$val.med.max = \bar{x} + t(p) \cdot \frac{s}{\sqrt{n_c - 1}} \cdot \sqrt{\frac{N - n_c}{N - 1}}$$

Con modalità simili vengono calcolate, nelle caselle G8 e J9, le stime per difetto e per eccesso della deviazione standard del lotto, a partire dai dati campionari:

e

$$st.dev.min = s \cdot \sqrt{\frac{n_c}{n_c - 1}} - t(p) \cdot \frac{s}{\sqrt{2n_c}}$$

$$st.dev.max = s \cdot \sqrt{\frac{n_c}{n_c - 1}} + t(p) \cdot \frac{s}{\sqrt{2n_c}}$$

Infine, nelle caselle G10 e J10 vengono calcolate rispettivamente le stime per i valori più basso e più alto che con il livello di probabilità definito in D2 possono essere trovati nel lotto:

$$val.min = \bar{x} - t(p) \cdot \sigma \quad \text{e} \quad val.max = \bar{x} + t(p) \cdot \sigma$$

In questo caso il parametro  $s$ , ovvero deviazione standard della popolazione, è stimato come media delle stime campionarie del punto precedente.

Infine, la probabilità di trovare un elemento caratterizzato da un indice di resistenza inferiore a quello prefissato è calcolato in cella D23 e D24 rispettivamente con riferimento alla teoria Gaussiana approssimata ed a quella esatta di Student.

### *Input*

Colonna A: tutti i dati ottenuti dopo l'analisi condotta sugli elementi del campione. P.e. da A1 ad A51 nell'esempio (numerosità campionaria 50);

casella D1: numerosità del lotto, cioè  $N$ ;

casella D2: livello di affidabilità dell'analisi (in punti percentuali);

casella D3: valore minimo accettabile dell'indice di resistenza dei coni.

Questo valore è dunque il minimo garantito dal produttore di coni.

### *Output*

Casella D8: numerosità del campione  $n_c$ , calcolata per mezzo della semplice funzione di Excel `conta.numeri(A:A)`;

casella D9: valore medio campionario, ovvero il semplice valore medio aritmetico degli indici di resistenza del campione;

casella D10: deviazione standard campionaria;

caselle D14 e D16: rispettivamente i valori minimi e massimi dell'indice di resistenza misurato sul campione;

casella D15: valore mediano campionario. Divide la serie di valori in due sottoserie di identica numerosità;

casella D13: la curtosi è un indice di dispersione simile alla deviazione standard: tanto più è piccolo e tanto meglio il valore medio è rappresentativo di tutti gli elementi del campione;

casella D12: indice di asimmetria della distribuzione dei valori campionari. Tanto più è piccolo e tanto più sono affidabili le stime campionarie.



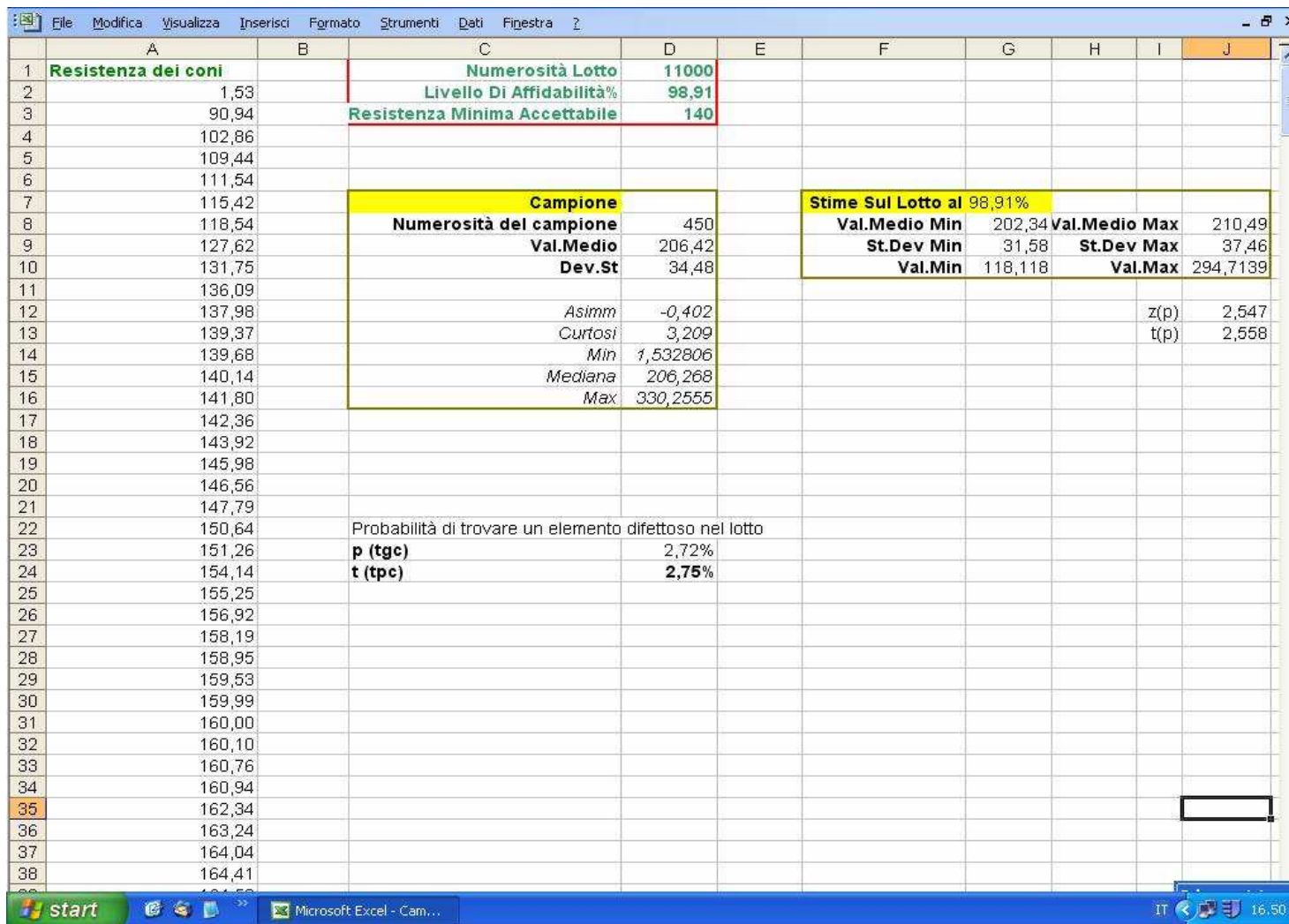


Figura5.9 Interfaccia grafica del foglio di calcolo allestito per la stima della difettosità sul lotto di produzione.

## 5.5 RISULTATI

### 5.5.1 CARATTERIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE MEDIANTE INDICI FISICI E REOLOGICI

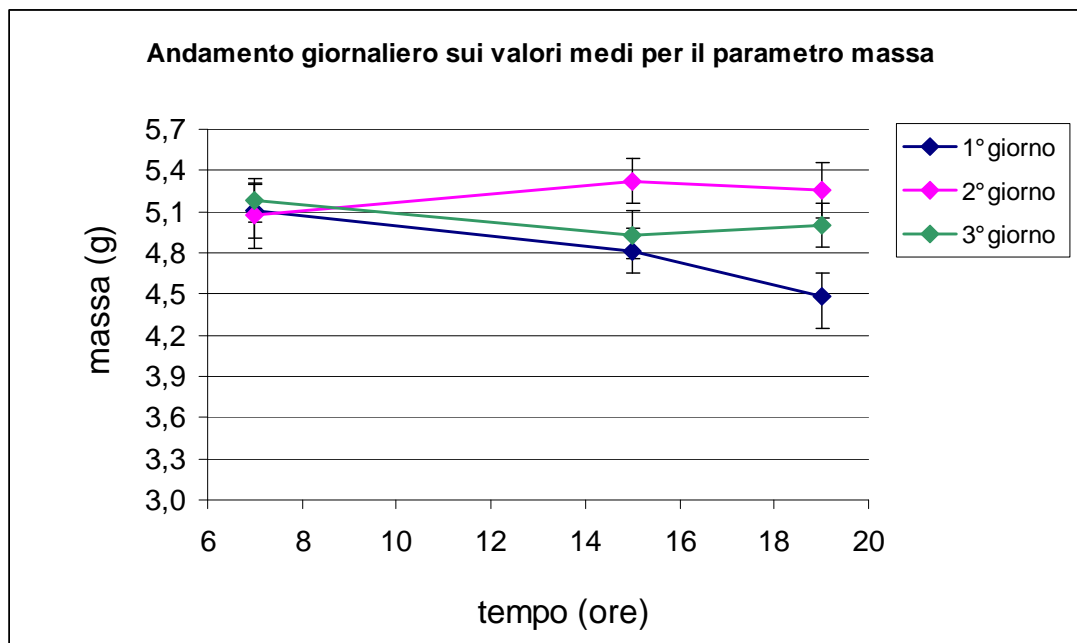
Al fine di valutare l'andamento della produzione, eventuali differenze significative tra le misure ottenute nelle singole giornate sono state valutate, quando possibile, mediante l'analisi della varianza (ANOVA) e, in alternativa, sono stati impiegati test non parametrici (Mann Whitney).

Nei grafici 5.1-5.2-5.3-5.4 sono riportati gli andamenti dei tre giorni di produzione rispetto i valori medi dei parametri: massa (M), altezza di rottura (h), forza massima di rottura (f), forza di deformazione ( $\sigma_{max}$ ) in funzione dei tre tempi scelti per l'estrazione del campione.

Per quanto riguarda il parametro massa (M) - grafico 5.1, si è notato che complessivamente le produzioni dei tre giorni sono risultate tutte significativamente diverse.

Inoltre, dall'analisi di ogni singola giornata di produzione, sia nel primo che nel secondo giorno si sono riscontrate differenze significative fra i tre gruppi di coni estratti. In particolare i coni del primo giorno, di fine produzione, mostrano una diminuzione della massa fino al 10% rispetto a quelli di inizio produzione, mentre il secondo giorno le differenze oscillano sino al 6% con andamento opposto.

In relazione sempre a tale parametro, durante il terzo giorno la produzione è risultata costante per tutta la giornata



*Grafico 5.1*

Per il parametro altezza di rottura (h) - grafico 5.2, il primo giorno è risultato significativamente diverso dagli altri, mentre non sono state riscontrate differenze tra gli altri due giorni.

Il primo giorno infatti, i coni prelevati a metà e a fine produzione tendono a rompersi in modo differente, in particolare ad un'altezza decrescente che va da 10,6 cm ai 10,1 cm, rispetto agli 11 cm che caratterizzano le rotture dei coni prodotti il secondo e il terzo giorno.

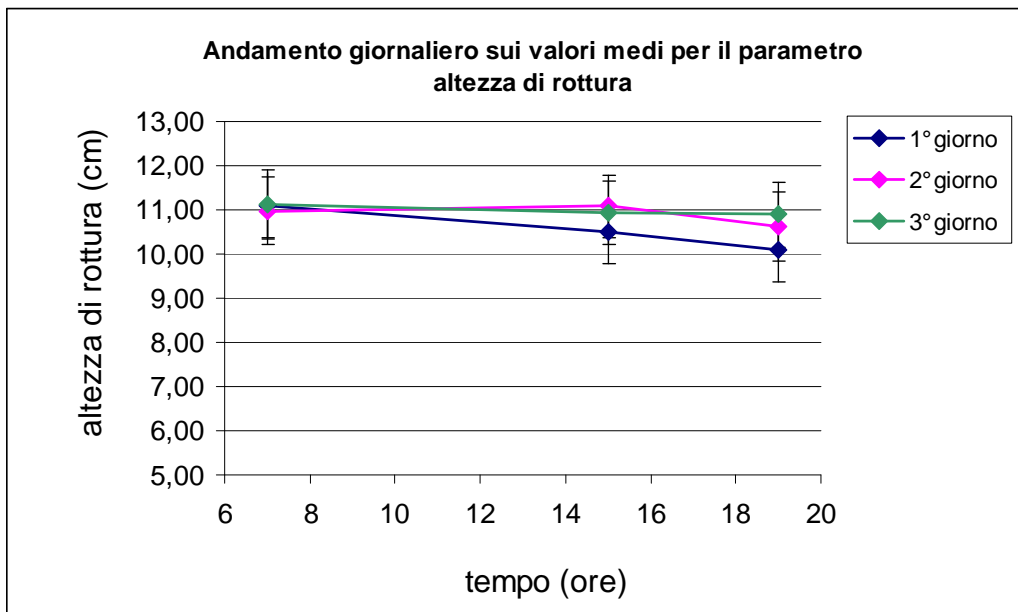
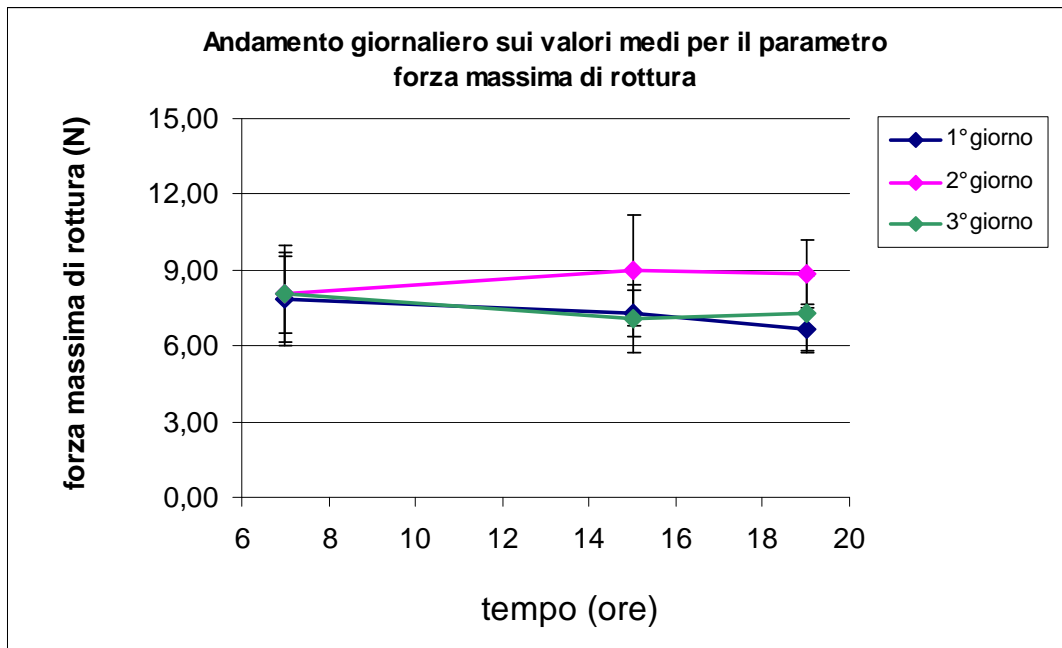


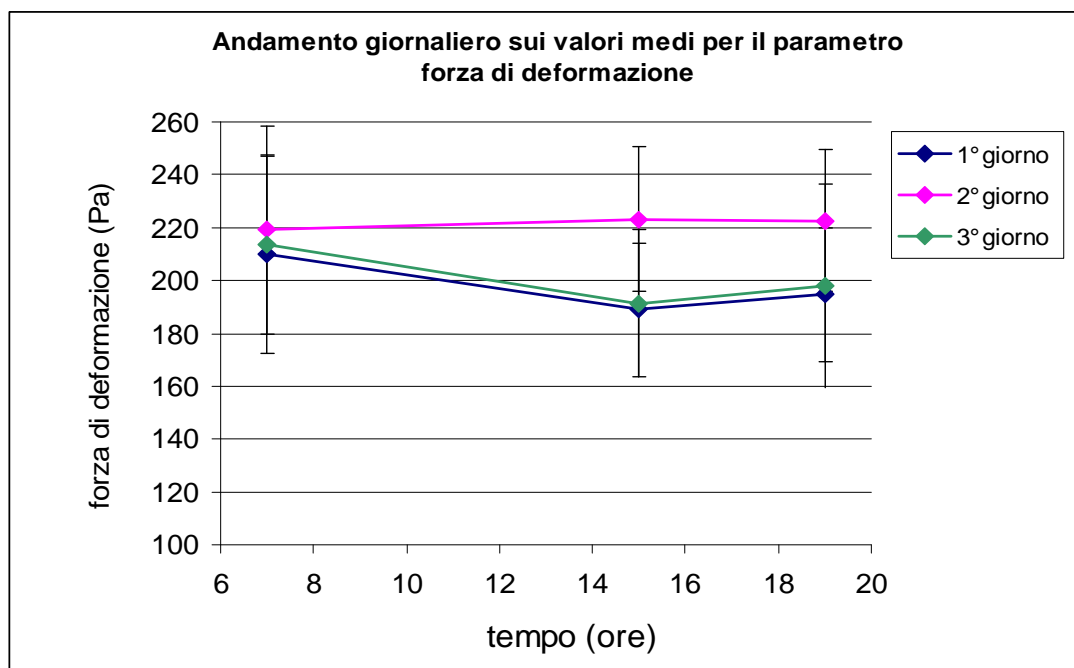
Grafico 5.2

Osservando il parametro forza massima di rottura ( $f$ )- grafico 5.3, si è notato che il secondo giorno è significativamente diverso dal primo e dal terzo. Nel secondo giorno infatti i coni prelevati a metà e fine produzione risultano diversi da quelli di inizio produzione con un incremento dell'11%. Negli altri giorni il parametro forza massima di rottura tende a diminuire spostandosi da metà a fine produzione.



*Grafico 5.3*

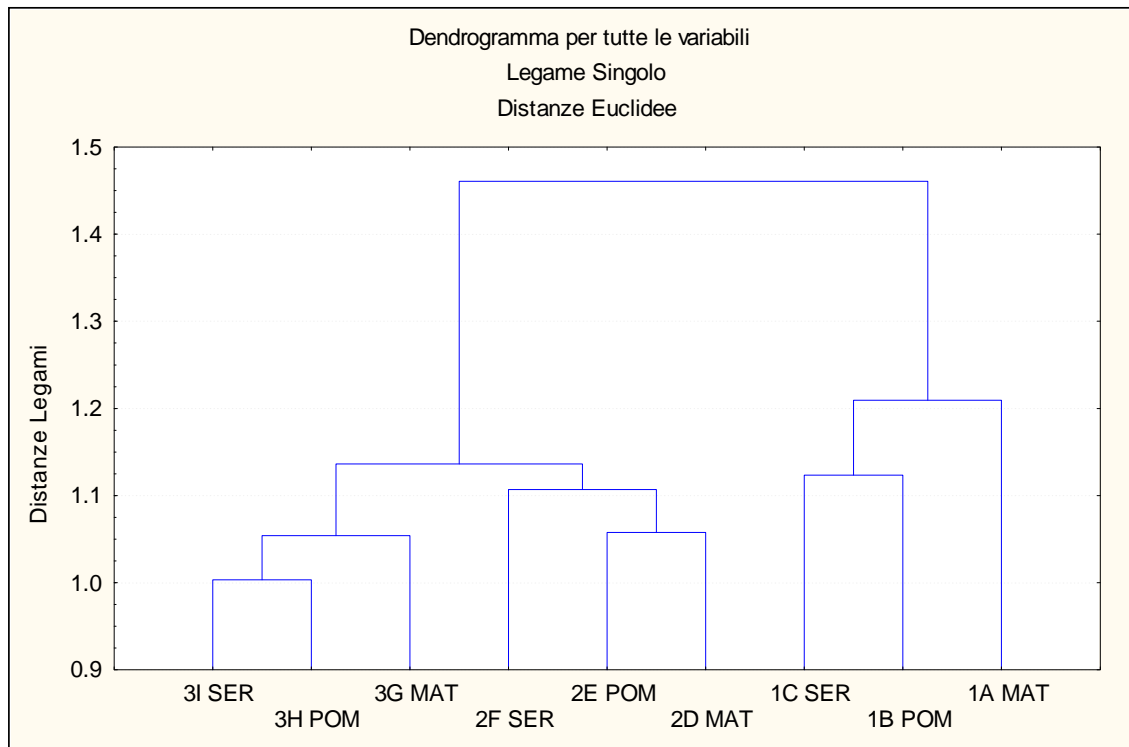
Per la forza di deformazione ( $\sigma_{max}$ ) - grafico 5.4, è risultato significativamente differente il primo giorno e il terzo dal secondo, come già evidenziato per il precedente indice di resistenza.



*Grafico 5.4*

Per meglio evidenziare le differenze tra i giorni e nei giorni di produzione considerati è stata fatta un'analisi discriminante (dendrogramma 5.5).

Esso evidenzia una netta separazione fra i tre giorni di produzione ed anche alcune differenze in linea con quanto già descritto tra i coni prelevati nei diversi momenti della giornata.



*Dendrogramma 5.5*

### 5.5.2 DEFINIZIONE DELL'AMPIEZZA CAMPIONARIA E STIMA DELLA DIFETTOSITÀ DEL LOTTO

Al fine di caratterizzare la difettosità campionaria e quindi la difettosità del lotto di produzione, sulla popolazione campionaria è stata valutata la distribuzione di frequenza dei singoli parametri descrittivi la difettosità. La scelta del parametro più rappresentativo è avvenuta sulla base di tre considerazioni.

In primo luogo sono state prese in esame solo le curve di distribuzione con tendenza normale, ossia di tipo gaussiana; si è poi valutata la valenza reologica dell'indice corrispondente.

Nei grafici 5.6-5.7-5.8 sono rappresentate le distribuzioni di frequenza per i parametri forza ( $f$ ), forza di deformazione ( $\sigma_{\max}$ ) che hanno fornito i migliori risultati in tal senso; ( $N = 450$  con).

In particolare, la distribuzione di frequenza per il parametro  $f$  (grafico 5.7) mostra un massimo assoluto per valori nell'intorno degli 8 N e un massimo relativo tra 11 e 13 N. L'apparente sovrapposizione di due curve normali centrate su tali valori è comprensibile osservando le curve riportate in nel grafico 5.6, corrispondenti alle distribuzioni di frequenza dello stesso indice, ottenute per ogni giornata di produzione ( $N=150$ ). Si può notare infatti un aumento della dispersione dei valori attorno al valore medio, valore che si sposta da circa 6.8 N per il primo giorno a circa 7.5 N e 8.5 N per il 2° e 3° giorno rispettivamente.

Nel (grafico 5.8) è riportata la curva di distribuzione corrispondente al parametro forza di deformazione calcolata allo yield point.

La tendenza di tale curva alla normalità gaussiana è ben approssimata se si considera la simmetria di tale curva rispetto all'asse passante per il valore medio  $\approx 220$  Pa.

Tale parametro, assieme alla forza di rottura è stato quindi scelto per l'identificazione della difettosità del campione. Sono stati ritenuti non conformi tutti i coni che presentavano uno scostamento dalla media di due volte la deviazione standard ( $-2\sigma$ ).

In entrambi i casi si è riscontrata una difettosità campionaria di poco inferiore al 3%.

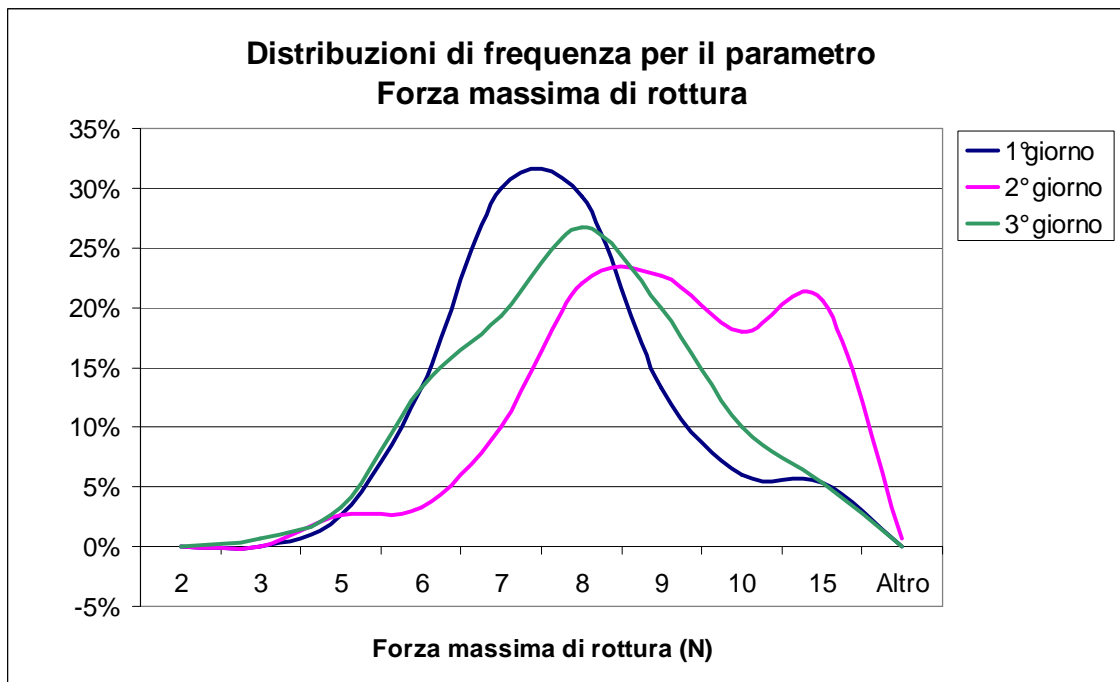
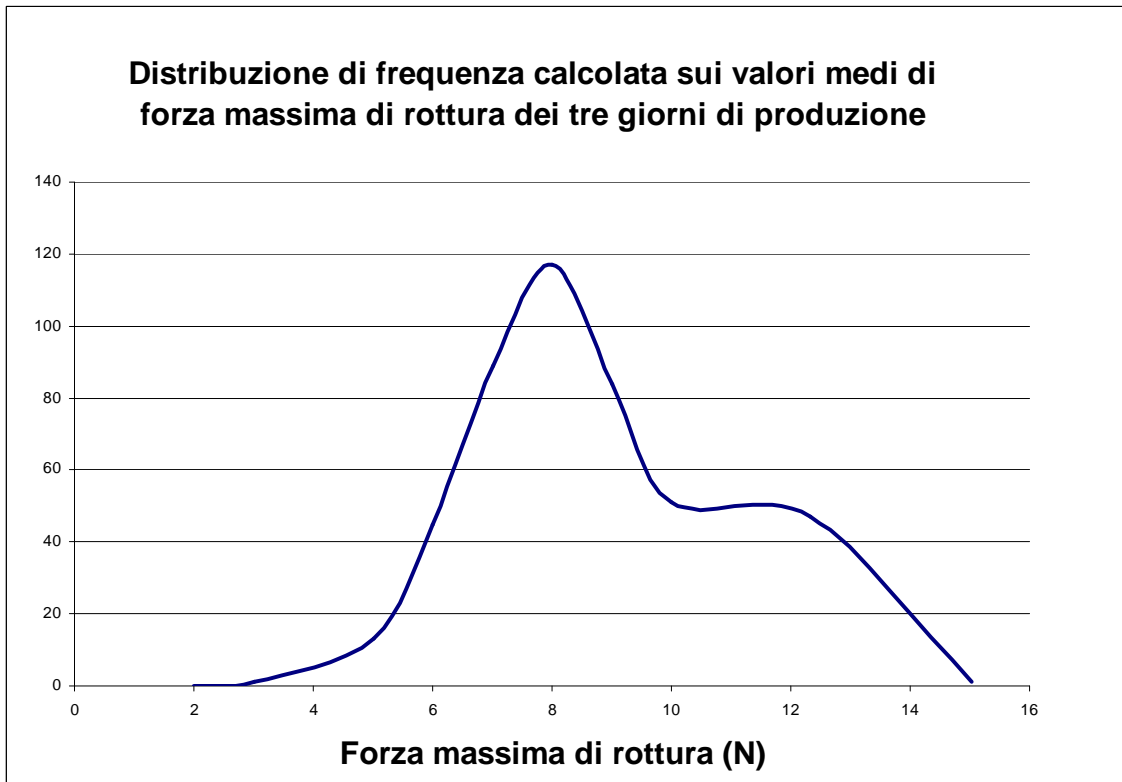
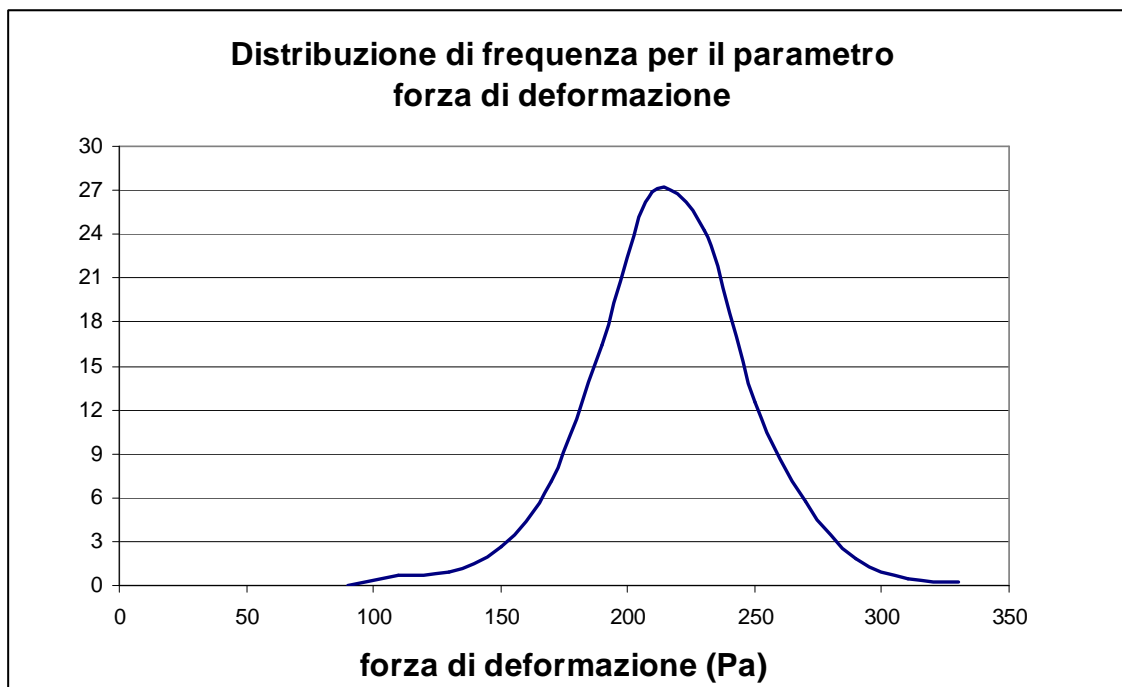


Grafico 5.6





*Grafico 5.7*



*Grafico 5.8*

Dal software statistico si sono ottenuti i seguenti risultati:

quando si lancia *campionamento.exe* in una finestra DOS e si inseriscono i seguenti dati:

- dimensione del lotto ( $Np$ );
- la massima difettosità tollerabile del lotto  $p$ , che può assumere valori compresi nell'intervallo  $[0, 1]$ ;
- l'effettivo numero di pezzi difettosi nel campione  $d$ , determinato come descritto in precedenza.

i risultati del calcolo eseguito dal software vengono trascritti nel file *FileOut.txt*, posizionato nella stessa cartella di *campionamento.exe*. Tale file è organizzato come una tabella di valori. Il programma stampa, in funzione dell'ampiezza campionaria (prima colonna):

- l'affidabilità del campione (seconda colonna) e la probabilità di non trovare elementi difettosi (in parentesi quadra);
- il valore più probabile del numero di pezzi difettosi per campione e la deviazione standard del numero di pezzi difettosi per campione (colonne 3 e 4);

Dim.Lotto:25000 pDifett:1% (nDifett:250) difetti nel campione:12				
dim.camp.: 292( 1.2%lot)	binom.:94.685% [5.3%]	mean:2.92	dev.st:1.69	Difett.lotto:2.64%
dim.camp.: 294( 1.2%lot)	binom.:94.791% [5.2%]	mean:2.94	dev.st:1.70	Difett.lotto:2.62%
dim.camp.: 296( 1.2%lot)	binom.:94.895% [5.1%]	mean:2.96	dev.st:1.70	Difett.lotto:2.60%
dim.camp.: 298( 1.2%lot)	binom.:94.996% [5.0%]	mean:2.98	dev.st:1.71	Difett.lotto:2.58%
<b>dim.camp.: 300( 1.2%lot)</b>	<b>binom.:95.096% [4.9%]</b>	<b>mean:3.00</b>	<b>dev.st:1.71</b>	<b>Difett.lotto:2.56%</b>
dim.camp.: 302( 1.2%lot)	binom.:95.194% [4.8%]	mean:3.02	dev.st:1.72	Difett.lotto:2.54%
dim.camp.: 304( 1.2%lot)	binom.:95.289% [4.7%]	mean:3.04	dev.st:1.72	Difett.lotto:2.52%
dim.camp.: 306( 1.2%lot)	binom.:95.383% [4.6%]	mean:3.06	dev.st:1.73	Difett.lotto:2.50%
dim.camp.: 308( 1.2%lot)	binom.:95.475% [4.5%]	mean:3.08	dev.st:1.74	Difett.lotto:2.48%
dim.camp.: 310( 1.2%lot)	binom.:95.565% [4.4%]	mean:3.10	dev.st:1.74	Difett.lotto:2.46%
dim.camp.: 312( 1.2%lot)	binom.:95.653% [4.3%]	mean:3.12	dev.st:1.75	Difett.lotto:2.44%
dim.camp.: 314( 1.3%lot)	binom.:95.740% [4.3%]	mean:3.14	dev.st:1.75	Difett.lotto:2.42%
dim.camp.: 316( 1.3%lot)	binom.:95.824% [4.2%]	mean:3.16	dev.st:1.76	Difett.lotto:2.40%
dim.camp.: 318( 1.3%lot)	binom.:95.907% [4.1%]	mean:3.18	dev.st:1.76	Difett.lotto:2.38%
dim.camp.: 320( 1.3%lot)	binom.:95.989% [4.0%]	mean:3.20	dev.st:1.77	Difett.lotto:2.36%
dim.camp.: 322( 1.3%lot)	binom.:96.069% [3.9%]	mean:3.22	dev.st:1.77	Difett.lotto:2.34%
dim.camp.: 324( 1.3%lot)	binom.:96.147% [3.9%]	mean:3.24	dev.st:1.78	Difett.lotto:2.33%

Osservando la colonna dell'affidabilità del campione fino a superare il livello di probabilità che ci interessa (il 95%) se ne conclude che con un campione di ampiezza 300, esiste una probabilità superiore al 95% che sia presente almeno un elemento difettoso nel campione, allora la difettosità del lotto si attesterà al 2,56% in linea con i risultati sperimentali ottenuti.

### 5.5.3 CALCOLO DELLA PROBABILITÀ DI TROVARE ELEMENTI DIFFETTOSI NEL LOTTO.

Si consideri un lotto formato da  $N=25000$  coni (produzione media giornaliera). Da questo lotto prendiamo per l'analisi un campione formato da  $n_c= 300$  elementi (numerosità del campione precedentemente calcolata con *campionamento.exe*). Su ciascuno di tali elementi viene misurato il valore di un indice di resistenza meccanica ( $\sigma_{\max}$  o forza di rottura). Si vuole calcolare quale è la probabilità che il lotto di partenza presenti almeno un elemento difettoso, ovvero un elemento che abbia un indice di resistenza inferiore ad un limite prefissato (figura 5.10).

Resistenza dei coni 136,09 170,32 171,46 230,07 208,85 197,91 207,96 115,42 131,75 178,75 191,42 205,80 199,86 224,90 179,56 169,52 226,85 244,85 263,77 269,35 200,45 229,76 221,61 247,97 288,03 279,00 221,80 219,94 220,08 233,97	<table border="1"> <tr> <td><b>Numerosità Lotto</b></td> <td><b>25000</b></td> </tr> <tr> <td><b>Livello Di Affidabilità%</b></td> <td><b>95,00</b></td> </tr> <tr> <td><b>Resistenza Minima Accettabile</b></td> <td><b>138,95</b></td> </tr> </table>		<b>Numerosità Lotto</b>	<b>25000</b>	<b>Livello Di Affidabilità%</b>	<b>95,00</b>	<b>Resistenza Minima Accettabile</b>	<b>138,95</b>																													
	<b>Numerosità Lotto</b>	<b>25000</b>																																			
	<b>Livello Di Affidabilità%</b>	<b>95,00</b>																																			
	<b>Resistenza Minima Accettabile</b>	<b>138,95</b>																																			
	<table border="1"> <tr> <td colspan="2"><b>Campione</b></td> </tr> <tr> <td><b>Numerosità del campione</b></td> <td>300</td> </tr> <tr> <td><b>Val.Medio</b></td> <td>207,15</td> </tr> <tr> <td><b>Dev.St</b></td> <td>33,60</td> </tr> <tr> <td><i>Asimm</i></td> <td>0,117</td> </tr> <tr> <td><i>Curtosi</i></td> <td>1,182</td> </tr> <tr> <td><i>Min</i></td> <td>90,9401</td> </tr> <tr> <td><i>Mediana</i></td> <td>206,4045</td> </tr> <tr> <td><i>Max</i></td> <td>330,2555</td> </tr> </table>		<b>Campione</b>		<b>Numerosità del campione</b>	300	<b>Val.Medio</b>	207,15	<b>Dev.St</b>	33,60	<i>Asimm</i>	0,117	<i>Curtosi</i>	1,182	<i>Min</i>	90,9401	<i>Mediana</i>	206,4045	<i>Max</i>	330,2555	<table border="1"> <tr> <td colspan="2"><b>Stime Sul Lotto al 95,00%</b></td> </tr> <tr> <td><b>Val.Medio Min</b></td> <td>203,34</td> <td><b>Val.Medio Max</b></td> <td>210,95</td> </tr> <tr> <td><b>St.Dev Min</b></td> <td>30,96</td> <td><b>St.Dev Max</b></td> <td>36,36</td> </tr> <tr> <td><b>Val.Min</b></td> <td>140,9041</td> <td><b>Val.Max</b></td> <td>273,39</td> </tr> </table>		<b>Stime Sul Lotto al 95,00%</b>		<b>Val.Medio Min</b>	203,34	<b>Val.Medio Max</b>	210,95	<b>St.Dev Min</b>	30,96	<b>St.Dev Max</b>	36,36	<b>Val.Min</b>	140,9041	<b>Val.Max</b>	273,39	
	<b>Campione</b>																																				
	<b>Numerosità del campione</b>	300																																			
	<b>Val.Medio</b>	207,15																																			
	<b>Dev.St</b>	33,60																																			
	<i>Asimm</i>	0,117																																			
	<i>Curtosi</i>	1,182																																			
	<i>Min</i>	90,9401																																			
	<i>Mediana</i>	206,4045																																			
	<i>Max</i>	330,2555																																			
	<b>Stime Sul Lotto al 95,00%</b>																																				
	<b>Val.Medio Min</b>	203,34	<b>Val.Medio Max</b>	210,95																																	
	<b>St.Dev Min</b>	30,96	<b>St.Dev Max</b>	36,36																																	
	<b>Val.Min</b>	140,9041	<b>Val.Max</b>	273,39																																	
	<p>Probabilità di trovare un elemento difettoso nel lotto</p> <p><b>p (tgc)</b> 2,14%</p> <p><b>t (tpc)</b> 2,18%</p>																																				
				<i>z(p)</i>	1,960																																
				<i>t(p)</i>	1,968																																

Figura 5.10-Foglio Excel per il calcolo della probabilità di trovare elementi difettosi nel lotto.

I risultati del calcolo eseguito mediante il foglio Excel mostrano che il campione estratto da un lotto di produzione ed analizzato mediante il parametro  $\sigma_{\max}$  possiede una probabilità di trovare almeno un elemento difettoso pari al 2,14% con un livello di affidabilità del 95 %.

Il foglio elettronico fornisce, inoltre, una stima della probabilità basata sul calcolo empirico del valore del parametro al disotto del quale il cono viene considerato difettoso. Tale probabilità si attesta in questo caso al 1,96 %.

## 5.6 DISCUSSIONE DEI RISULTATI

I risultati ottenuti nella presente sezione forniscono alcune indicazioni che possono essere utilizzate per approfondire la problematica del checking all'interno del processo produttivo del cono stampato. Tutti i parametri analizzati, anche se in modo diverso, hanno denotato un carattere incostante durante tale processo. La massa dei coni ha registrato aumenti fino al 6 % e diminuzioni fino al 10%, rispettivamente durante il secondo ed il primo giorno. La forza massima di rottura e gli altri parametri reologici hanno mostrato valori significativamente superiori nei coni prodotti il secondo giorno. Tali coni apparivano, a livello visivo, tendenzialmente più imbruniti a denotare una maggiore cottura.

In definitiva tutti i parametri misurati ed analizzati statisticamente hanno permesso di discriminare i coni prodotti in giorni diversi ed in momenti diversi nella stessa giornata.

Tale risultato è in linea con gli obiettivi della ricerca, ed in particolare il parametro reologico forza di deformazione allo yield point è risultato quello migliore al fine di caratterizzare la difettosità del campione.

L'applicazione della statistica campionaria ha permesso, inoltre, di determinare un sistema di campionamento di pratica applicabilità e in

grado di descrivere con buona attendibilità le caratteristiche dei lotti di produzione.

Lo studio della difettosità del campione ed il foglio di calcolo appositamente costruito sono in grado di fornire al produttore la probabilità di trovare elementi non conformi con un grado di affidabilità che loro stessi possono decidere. Le informazioni così ottenute possono essere uno strumento di garanzia per l'assicurazione qualità dell'azienda.

Nonostante le differenze rilevate a livello sperimentale, la connotazione artigianale di tale produzione ne giustifica la presenza.

## CAPITOLO 6

### MATERIALI E METODI:

### ANALISI DEL CHECKING IN RELAZIONE AD ALCUNE MODULAZIONI DI PROCESSO

Le soluzioni proposte in letteratura da più autori, relative alla completa o parziale riduzione del checking nei biscotti e prodotti da forno riguardano interventi nel processo produttivo a più livelli. Oltre ad una giusta cottura e un proporzionato raffreddamento, determinati accorgimenti tecnologici e l'utilizzo di particolari ingredienti possono aiutare a ridurre il fenomeno (Lanza T., 2006). Non presentandosi in letteratura riferimenti specifici alla problematica relativa al cono stampato, nel presente lavoro si sono valutati gli effetti di alcune modulazioni di processo sulla resistenza meccanica del prodotto e sulle proprietà fisico-meccaniche della pastella .

Le prove effettuate sono elencate di seguito:

- Misura dei principali indici fisici della pastella in funzione dell'aumento del tempo di sosta e caratterizzazione fisico meccanica mediante prove a flessione di coni prodotti dalla stessa.
- Prove a flessione di coni stampati ottenuti da campioni di pastella contenenti differenti quantità e tipologie di dolcificanti.
- Valutazione dell'effetto dell'aumento del tempo di sosta della pastella sull'efficienza della lievitazione.
- Caratterizzazione fisico-meccanica, mediante prove a flessione, di coni ottenuti da differenti regolazioni dei forni di cottura.

- Misura della resistenza fisico-meccanica di coni ottenuti da pastella contenente differenti quantitativi di agente lievitante.

#### 6.1 MISURA DEI PRINCIPALI INDICI FISICI DELLA PASTELLA IN FUNZIONE DELL'AUMENTO DEL TEMPO DI SOSTA E CARATTERIZZAZIONE FISICO MECCANICA MEDIANTE PROVE A FLESSIONE DI CONI PRODOTTI DALLA STESSA.

Considerando il tempo di sosta massimo della pastella, dalla sua preparazione al momento dell'iniezione all'interno degli stampi, si sono misurati: temperatura, massa volumica, consistenza e velocità di sedimentazione al fine di valutarne la stabilità fisico strutturale. Per tale prova si sono impiegati:

- un termometro digitale;
- una bilancia tecnica;
- tre matracci da 50ml;
- un consistometro Bostwick LS100;
- un cilindro graduato da 1 l.

Le misure sono state effettuate simultaneamente prelevando campioni di prodotto subito dopo la sua preparazione e dopo una sosta rispettivamente di 15, 30, 40, 50, 65, 75 e 90 minuti.

Si è provveduto inoltre a condurre le prove all'interno di una camera termostata alla temperatura di 30°C al fine di riprodurre la temperatura estiva del locale di produzione, momento in cui si registra la massima attività produttiva.



### *Massa Volumica*

Per ciascun campionamento si è registrata la temperatura e si è misurata la massa volumica della pastella, ottenuta dal valore medio di tre ripetizioni. Per tale misura sono stati utilizzati tre matracci a volume noto. Gli stessi matracci sono stati riempiti con la pastella e pesati per determinare la massa volumica della pastella che è stata espressa in  $10^3 \text{ kg/m}^3$

### *Consistenza*

La consistenza della pastella è stata misurata impiegando un consistometro Bostwick LS100.



*Figura 6.1-Consistometro Bostwick LS100.*

Tale strumento viene utilizzato per la determinazione della consistenza nei prodotti alimentari fluidi quali derivati di pomodoro (hot break e cold break), cremogenati di frutta, yogurt. Lo strumento è costituito da una vaschetta in acciaio inox di spessore pari a 2 mm e di capacità 100 ml, con piedini di regolazione e bolla di livello. Una paratia mobile separa lo spazio per il campione (circa 2" x 2" ) dalla corsia di scorrimento graduato fino a 230 mm con frazioni di 5 mm.

50ml di campione sono stati collocati nella vaschetta chiusa dalla paratia e, dopo aver rilasciato la paratia agendo sul sistema a scatto, si è letto lo spazio percorso dal campione, in cm, nel tempo di un minuto.

### *Sedimentazione*

Durante la produzione dei coni la pastella può sostare anche per tempi di 90 minuti prima di essere versata all'interno della tramoggia di carico del forno. Ipotizzando un fenomeno di sedimentazione delle componenti durante tale periodo, il campione è stato inserito all'interno di un cilindro graduato da un litro e, dopo ogni intervallo di tempo considerato si è misurata la sedimentazione visivamente, leggendo cioè sulla scala graduata del cilindro il volume di liquido (in ml) che presentava una netta variazione di colore rispetto al volume totale. La scelta di questa metodica è stata fatta per verificare la presenza o meno di una separazione di fase del prodotto ed esula dal voler fornire una misura analitica di tale parametro.

### *Prove a flessione*

Accanto alle prove di cui si è detto sopra, al fine di valutare l'effetto della sosta della pastella sul prodotto finito, ciascun campione di pastella prelevato dopo ogni intervallo di tempo considerato è stato versato all'interno della tramoggia di carico del forno. A fine cottura sono stati prelevati in maniera random 30 coni per ciascun step.

La prova a flessione è stata condotta come illustrato nel paragrafo 5.3.

### 6.1.1 RISULTATI

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalle elaborazioni statistiche. In tutte le prove, escluse le misure riguardanti l'osservazione dei principali indici fisici della pastella in funzione dell'aumento del tempo di sosta e della dose di agente lievitante, si è sempre verificata l'omogeneità della varianza tramite il test di Levene e, in tutti i casi, i dati hanno evidenziato la non applicabilità dell'analisi della varianza (ANOVA). Per tale motivo si sono eseguiti test non parametrici (Mann-Whitney) ed in alternativa si sono costruiti modelli di regressione con metodo Stepwise e generazione di variabili Dummy.

#### *Massa volumica, consistenza e sedimentazione della pastella*

In Tabella 6.1 sono riportati i valori di temperatura, massa volumica e consistenza della pastella, misurati ai tempi considerati. I valori di massa volumica sono risultati pressoché costanti all'aumentare del tempo di sosta, mentre gli andamenti della temperatura e della velocità di scivolamento sono apparsi tendenzialmente crescenti, come mostrato dai grafici 6.1 e 6.2. Ricordiamo che le misure appena descritte sono avvenute in camera termostata a 30 °C e la temperatura della pastella appena prodotta era di circa 25°C, per tale motivo è comprensibile l'aumento della temperatura e il conseguente aumento della velocità di scivolamento del prodotto.

Per quanto riguarda la prova di sedimentazione, la separazione delle fasi della pastella, misurata dopo 90 minuti è stata di circa 20ml su 1000ml. La metodica non ha consentito di valutare livelli di sedimentazione significativamente differenti tra gli intervalli di tempo presi in esame. In relazione al tipo di metodica impiegata, si può concludere che il grado di

sedimentazione della pastella è stato sostanzialmente minore di quanto ci si aspettasse.

Taella. 6.1 Valori di temperatura, consistenza e massa volumica della pastella.

<i>Trattamento</i>	<i>Tempo (min)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Velocità di scivolamento (cm/min)</i>	<i>Massa volumica (<math>10^3 \text{ kg/m}^3</math>)</i>
T0	0	24,8	8,1	1,16
T1	15	24,9	8,2	1,15
T2	30	25,1	8,6	1,15
T3	40	25,1	8,8	1,16
T4	50	25	8,7	1,15
T5	65	25,3	9	1,15
T6	75	25,3	8,8	1,15
T7	90	25,4	8,9	1,15

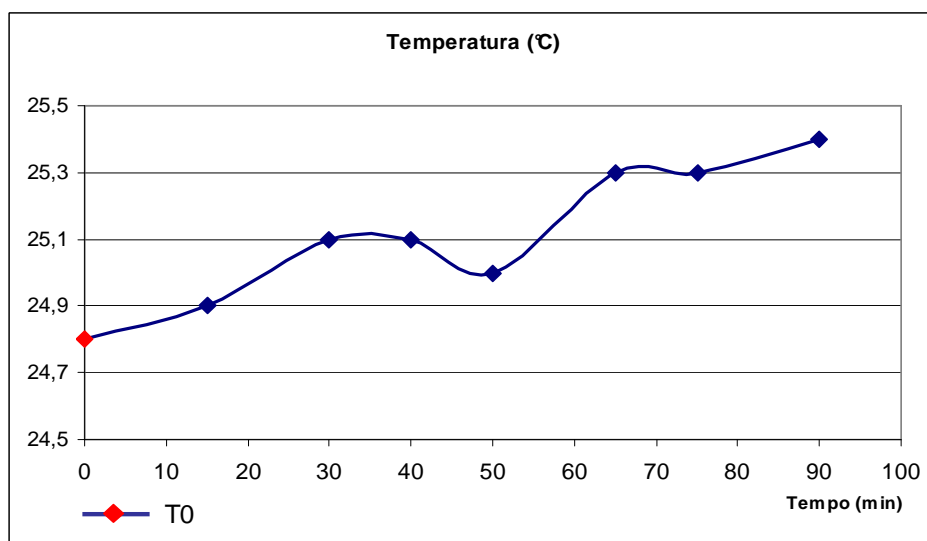


Grafico 6.1 Andamento della temperatura della pastella all'aumentare del tempo di sosta.

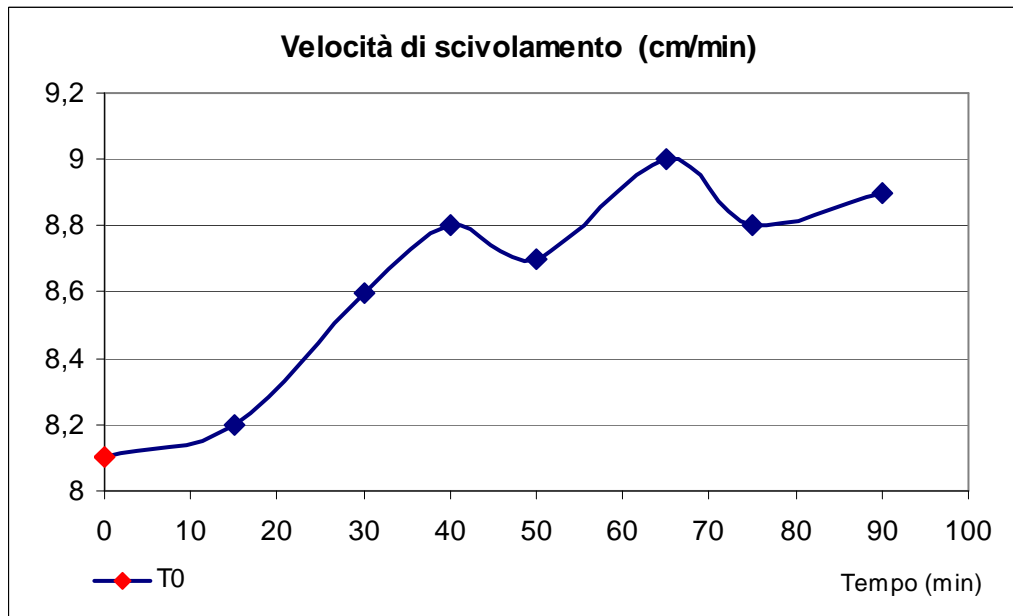


Grafico 6.2 Andamento della perdita di consistenza della pastella all'aumentare del tempo di sosta.

### Prove a flessione

In tabella. 6.2 sono mostrati i valori medi di massa, forza di deformazione e forza di rottura massima registrati dopo le prove di carico a flessione sui coni estratti dai corrispondenti campioni di pastella.

Taella 6. 2 Valori medi e deviazioni standard dei parametri misurati corrispondenti ai relativi trattamenti (tempi di sosta della pastella) .

<i>Trattamento</i>	<i>Tempo (min)</i>	<i>Massa (g)</i>	<i>Forza massima di rottura (N)</i>	<i>Forza di deformazione (Pa)</i>
T0	0	5,31 (0,20)	14,79 (2,4)	267,96 (31,87)
T1	15	5,05 (0,17)	14,58 (2,2)	234,10 (46,63)
T2	30	5,09 (0,12)	14,72 (1,7)	244,31 (39,43)
T3	40	5,10 (0,16)	14,20 (2,1)	233,90 (36,71)
T4	50	5,13 (0,16)	11,86 (2,8)	234,17 (22,22)
T5	65	5,10 (0,13)	13,63 (2,7)	225,08 (28,78)
T6	75	5,16 (0,14)	12,32 (2,1)	206,89 (27,74)
T7	90	5,19 (0,12)	12,98 (1,9)	187,69 (28,63)

### *Massa*

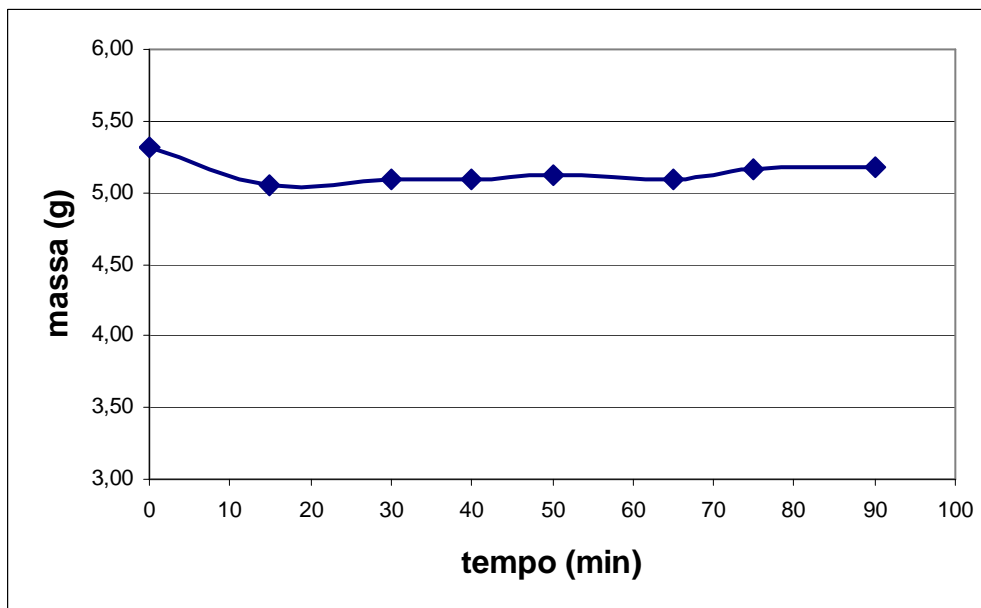
In tabella 6.3 sono indicate le sigle con cui sono stati contrassegnati i trattamenti del modello di regressione corrispondenti ai tempi di sosta della pastella da cui si sono estratti i coni analizzati.

L'andamento della massa, in funzione dell'aumento del tempo di sosta è mostrato dal grafico 6.3. Nonostante i deboli valori del coefficiente di determinazione ( $R^2 = 0,20$ ) tutti i trattamenti compaiono all'interno del modello di regressione causando decrementi significativi rispetto al trattamento T0 (massa = 5,3 g) e , in particolare:

- il trattamento T1 produce un decremento del 4,9% rispetto a T0;
- il trattamento T2 produce un decremento del 4,32% rispetto a T0;
- il trattamento T3 produce un decremento del 4,13% rispetto a T0;
- il trattamento T4 produce un decremento del 3,57% rispetto a T0;
- il trattamento T5 produce un decremento del 4,13% rispetto a T0;
- il trattamento T6 produce un decremento del 3 % rispetto a T0;
- il trattamento T7 produce un decremento del 2,44 % rispetto a T0;

L'andamento della massa può essere spiegato ipotizzando che l'attività della polvere lievitante, normalmente aggiunta alla pastella, richieda un certo periodo per raggiungere la piena attivazione, ciò dovrebbe avvenire durante i primi minuti di sosta durante i quali gli equilibri (es bicarbonato di sodio)  $\text{ione carbonato} \leftrightarrow \text{acido carbonico}$  si spostano a favore dell'acido carbonico che a sua volta, in presenza di calore, libera anidride carbonica.

E' ragionevole infatti pensare che, ad una maggior dispersione della  $\text{CO}_2$  nella miscela corrisponda una diminuzione della massa media del cono prodotto, come descritto dall'andamento superati i 15 minuti di sosta.



*Grafico 6.3 Andamento dei valori medi di massa dei coni di coni prodotti da pastella a differenti tempi di sosta.*

#### *Forza massima di rottura*

I parametri utilizzati per descrivere la resistenza meccanica dei coni estratti dai campioni di pastella ai tempi di sosta stabiliti sono stati la forza di rottura, in N e lo sforzo di deformazione, in Pa.

Ricordiamo che, impiegando una sonda sferica, i due indici hanno un effetto complementare nella descrizione fisica della prova a flessione, per tale motivo sono stati considerati entrambi.

Mentre il primo esprime il carico necessari alla rottura del cono il secondo fornisce un indice delle caratteristiche fisico meccaniche del materiale.

Il grafico 6.4 mostra l'andamento dei valori in funzione dell'aumento del tempo di sosta della pastella. I trattamenti T4, T5, T6 e T7 sono risultati significativamente differenti ( $R^2 = 0.18$ ) dal trattamento di riferimento T0 (Forza di rottura = 14,6 N ) e in particolare:

- Il trattamento T4 produce un decremento 18,5 % rispetto a T0;

- Il trattamento T5 produce un decremento del 6,2 % rispetto a T0;
- Il trattamento T6 produce un decremento del 15,8% rispetto a T0;
- Il trattamento T7 produce un decremento del 11% rispetto a T0.

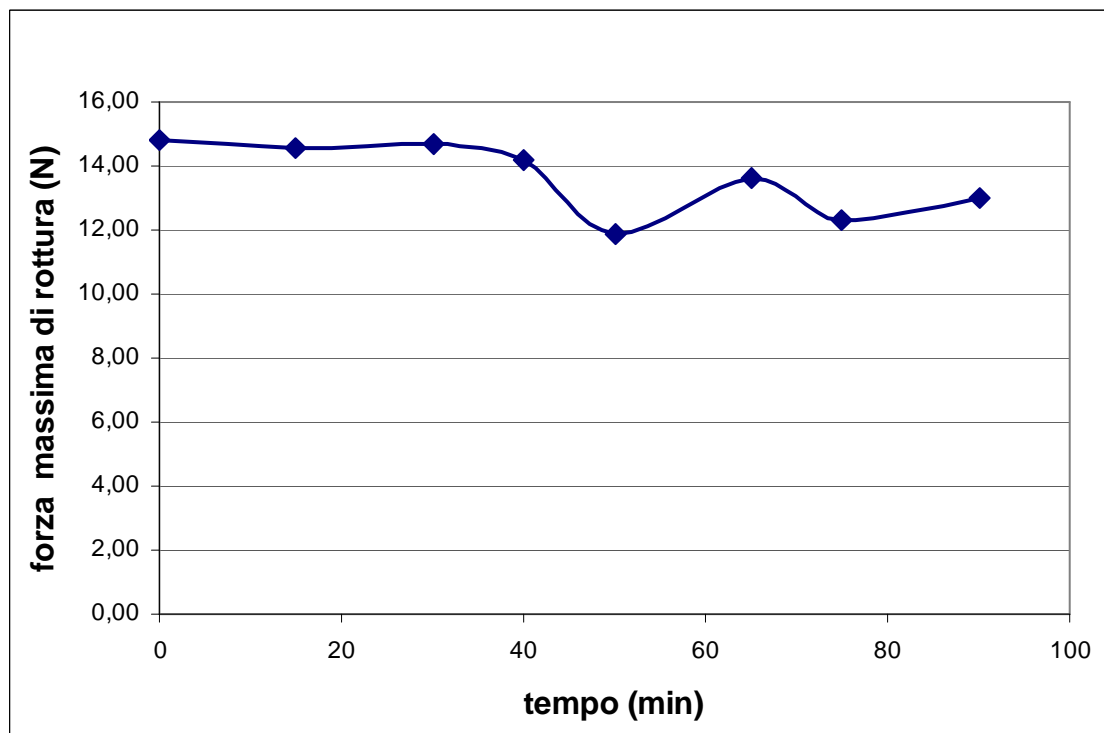


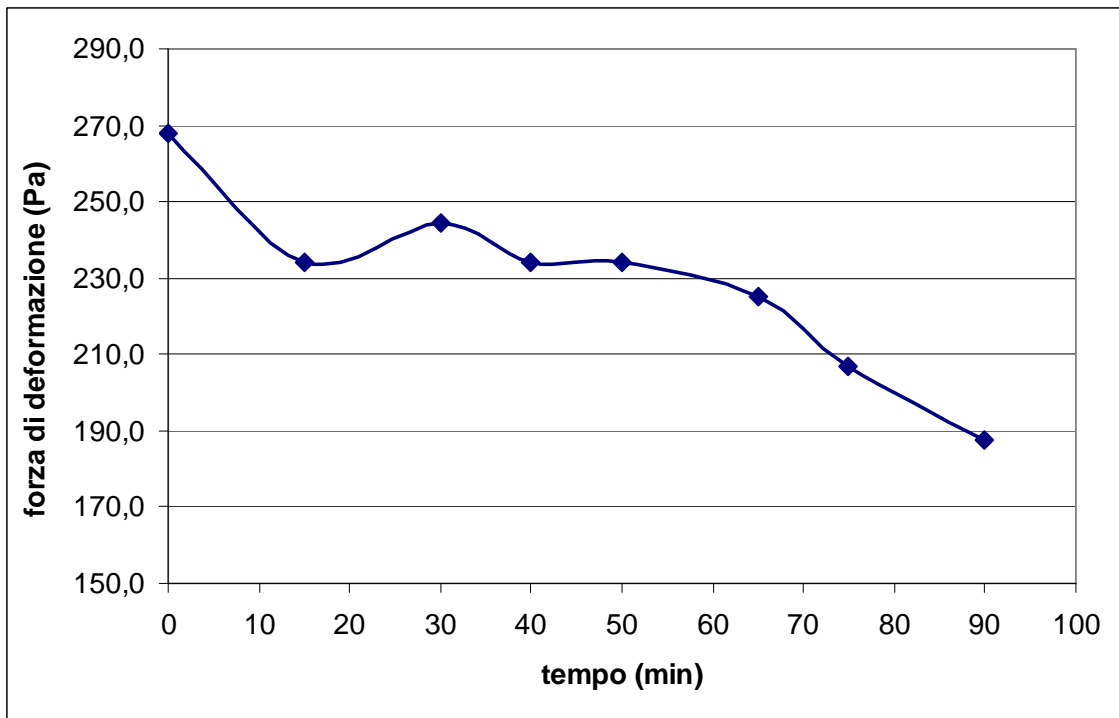
Grafico 6.4 Andamento dei valori medi di Forza massima di Rottura di coni prodotti da pastella a differenti tempi di sosta.

#### *Forza di deformazione*

Nel grafico 6.5 è illustrato l'andamento della forza di deformazione sempre riferita all'aumento del tempo di sosta della pastella. In questo caso i trattamenti che sono risultati significativamente differenti rispetto a T0 (forza di deformazione = 242,9 Pa ) sono stati T5, T6 e T7 dove:

- Il trattamento T5 produce un decremento del 7,3% rispetto a T0;
- Il trattamento T6 produce un decremento del 14,8% rispetto a T0;
- il trattamento T7 produce un decremento del 21,9% rispetto a T0;





*Grafico 6.5 Andamento dei valori medi di forza di deformazione di coni prodotti da pastella a differenti tempi di sosta.*

## 6.2 PROVE A FLESSIONE DI CONI STAMPATI OTTENUTI DA CAMPIONI DI PASTELLA CONTENENTI DIFFERENTI QUANTITÀ E TIPOLOGIE DI DOLCIFICANTI.

La prova ha riguardato lo studio e il confronto delle caratteristiche fisico-meccaniche dei cono stampati in funzione di differenti quantitativi e tipologie di dolcificanti aggiunti alla formulazione della pastella.

Secondo l'opinione di alcuni autori, il checking può essere ridotto in modo significativo dalla sostituzione di saccarosio con zucchero invertito (zucchero composto da monosaccaridi di glucosio e destrosio) T. Lanza (2006). Bisogna considerare inoltre che il saccarosio produce una notevole quantità di residui sugli stampi di cottura. Ciò determina uno svantaggio tecnologico sia in termini di disomogeneità di trasmissione del calore e relativa cottura non uniforme del cono, che di resa produttiva per le conseguenti operazioni di pulizia dell'impianto Huang *et al.* (1990).

Attraverso prove a flessione, analoghe a quelle precedentemente descritte, si sono analizzati 6 campioni di 35 cono ciascuno, prodotti da pastella contenente dosi e tipo di dolcificante come mostrato in tabella 6.3. Nella stessa tabella sono riportati inoltre i nomi dei trattamenti impiegati nell'elaborazione dei dati.

La formulazione delle ricette dei diversi campioni di pastella è avvenuta nell'ottica di confrontare principalmente la resistenza meccanica del prodotto che presenta saccarosio con quello che contiene zucchero invertito. Considerando poi il maggior potere edulcorante di quest'ultimo, di circa il 30% rispetto al saccarosio, le sostituzioni con zucchero inv. sono avvenute a parità di *POD* (potere dolcificante) di saccarosio. Questa scelta è stata ragionata al fine di verificare la possibilità di sostituire in parte o

completamente il saccarosio senza alterare le proprietà organolettiche del prodotto in soli termini di dolcezza.

*Tabella 6.3 Tipologia, quantità di zucchero e nome dei trattamenti corrispondenti ai campioni di pastella analizzati*

<b>CAMPIONI</b>	
<b>T0</b>	saccarosio dose std.
<b>T1</b>	saccarosio al 75% rispetto alla dose std.
<b>T2</b>	saccarosio al 50% rispetto alla dose std.
<b>T3</b>	zucchero inv. (dose di zucchero inv. calcolata a parità di POD di 100% di saccarosio)
<b>T4</b>	saccarosio al 50% rispetto alla dose std. + zucchero inv. (dose di zucch. inv. calcolata a parità di POD di 50% di saccaroio)
<b>T5</b>	saccarosio al 75% rispetto dose std. + zucchero inv (dose di zucchero inv. calcolata a parità di POD di 25% di saccaroio)

## 6.2.1 RISULTATI

In tabella 6.4 sono riportati i valori medi e le deviazioni standard per i parametri misurati di massa e forza massima di rottura.

*Tabella 6.4 Valori medi e deviazioni standard dei parametri misurati corrispondenti ai relativi trattamenti (dose e tipologia di dolcificante)*

<i>Trattamento</i>	<i>Massa (g)</i>	<i>Forza massima di rottura (N)</i>
T0	4,99 (0,18)	11,66 (1,37)
T1	4,89 (0,17)	10,77 (1,45)
T2	4,98 (0,20)	9,67 (1,64)
T3	4,98 (0,19)	10,32 (1,78)
T4	4,83 (0,14)	10,82 (1,36)
T5	5,06 (0,23)	11,58 (1,38)

### *Massa*

Il grafico 6.6 illustra l'andamento dei valori medi di massa dei coni ottenuti dai rispettivi trattamenti.

Dall'analisi della varianza non sono emerse differenze significative tra i trattamenti .

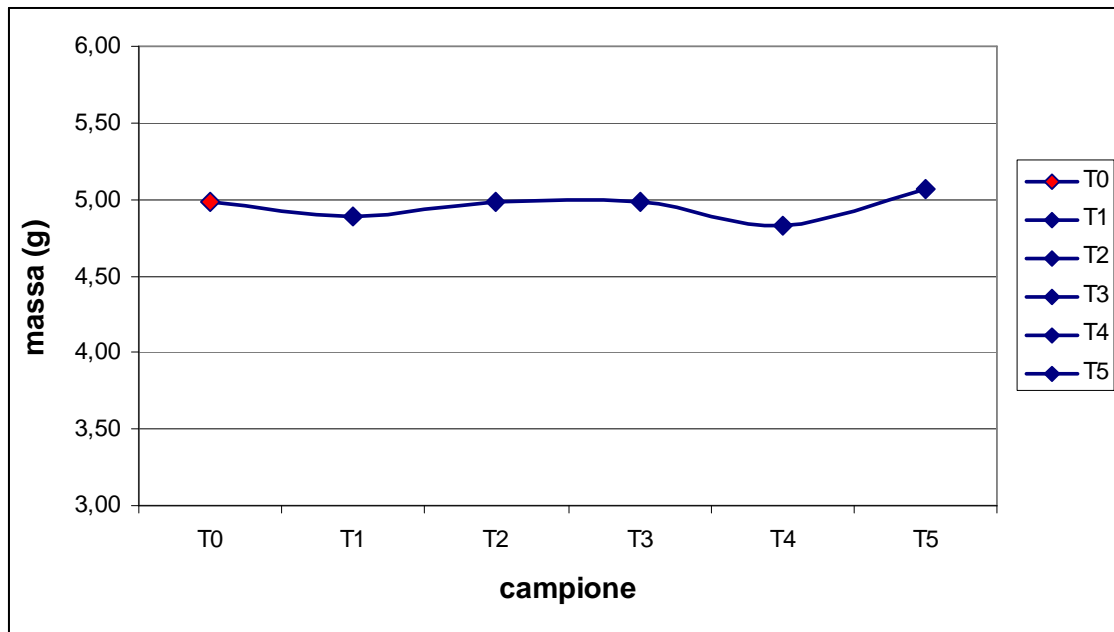


Grafico 6.6 Andamento dei valori medi di massa dei coni in funzione del tipo di trattamento (dose e tipologia di dolcificante) .

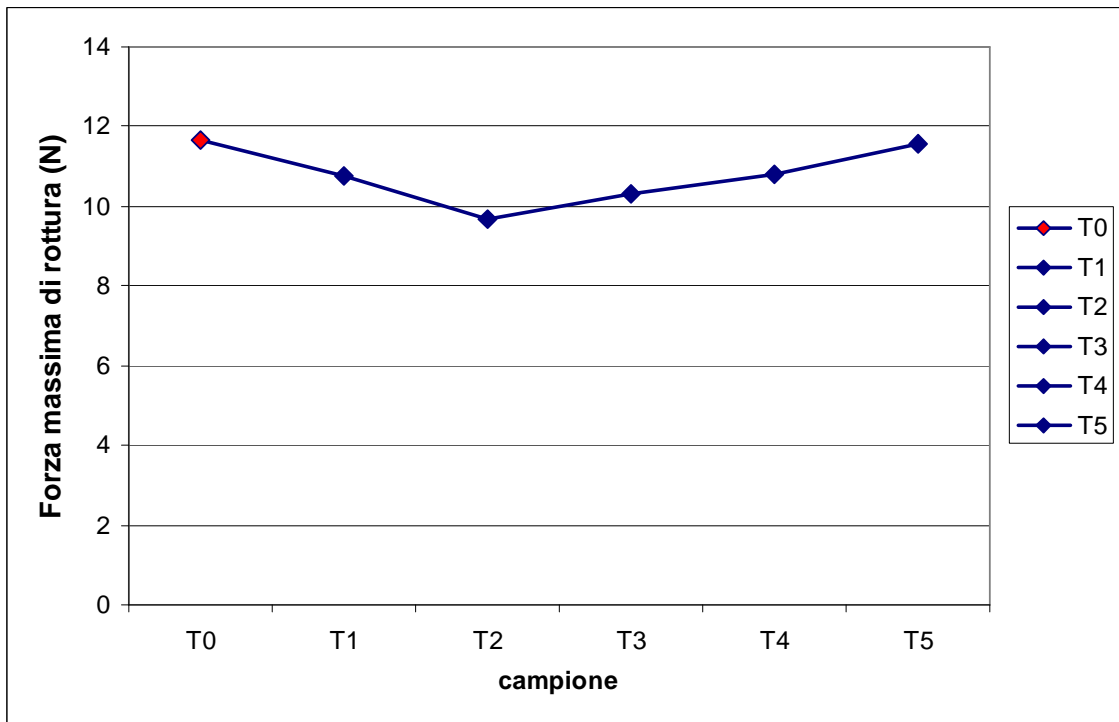
### Forza massima di rottura

Il grafico 6.7 riporta l'andamento dei valori medi di forza massima di rottura in funzione dei corrispondenti trattamenti. Dopo la verifica dell'applicabilità dell'analisi della varianza, i risultati hanno evidenziato quanto segue dalla tabella. 6.4.

I valori evidenziati in rosso rappresentano le differenze significative per  $p\text{-level} < 0,05$ .

Tabella 6.4 Differenze significative tra i campioni ottenute dall'analisi della varianza

		Test LSD; Variabile: Forza massima (zuccheri_ok) Diff. marcate significative a livello $p < ,05000$					
		{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
Campione		M=11,662	M=10,770	M=9,6723	M=10,324	M=10,816	M=11,579
T0	{1}		0,014305	0,000000	0,000270	0,020081	0,819824
T1	{2}	0,014305		0,002648	0,217826	0,898674	0,025996
T2	{3}	0,000000	0,002648		0,072220	0,001755	0,000000
T3	{4}	0,000270	0,217826	0,072220		0,174184	0,000616
T4	{5}	0,020081	0,898674	0,001755	0,174184		0,035631
T5	{6}	0,819824	0,025996	0,000000	0,000616	0,035631	



*Grafico 6.7 Andamento dei valori medi di Forza di Rottura in funzione del tipo di trattamento (dose e tipologia di dolcificante)*

### 6.3 VALUTAZIONE DELL'EFFETTO DELL'AUMENTO DEL TEMPO DI SOSTA DELLA PASTELLA SULL'EFFICIENZA DELLA LIEVITAZIONE.

L'effetto della sosta della pastella sul potere lievitante è stato valutato mediante un sistema appositamente studiato per riprodurre le condizioni di stampaggio e di cottura dei coni.

La polvere lievitante, aggiunta alla pastella, reagisce alla temperatura dello stampo producendo anidride carbonica e vapore acqueo. Tale effetto provoca la risalita dell'impasto negli stampi, la distribuzione dello stesso e la caratteristica alveolatura. L'influenza dell'effetto della polvere lievitante sulle caratteristiche meccaniche e strutturali del cono rappresenta, quindi, un parametro molto importante per definirne le caratteristiche di resistenza.

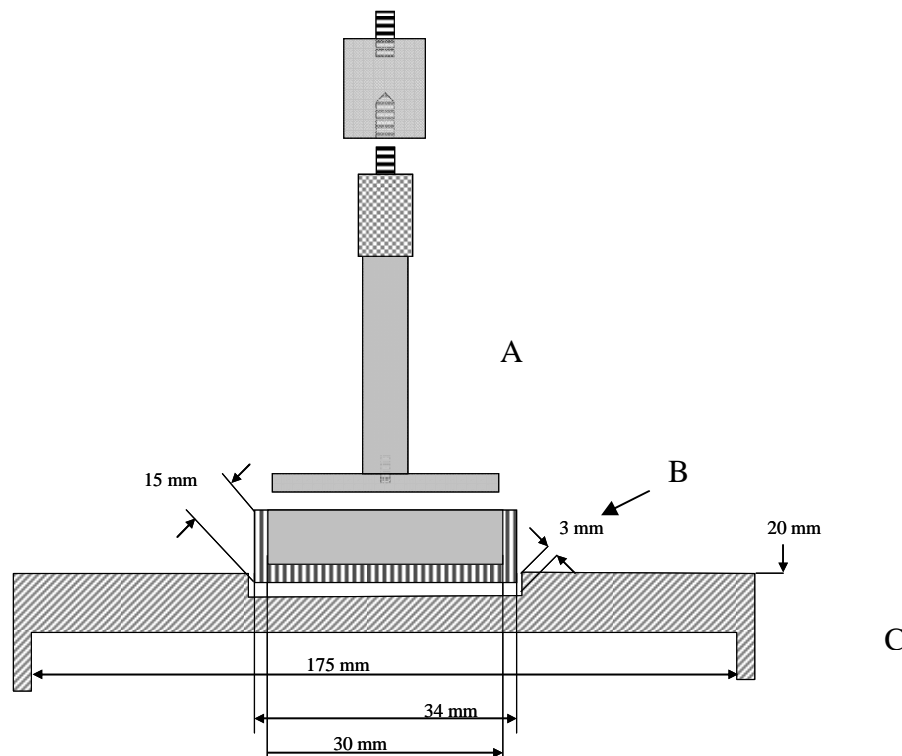
La strumentazione progettata e realizzata (figura. 6.2) si compone di una piastra riscaldante, una base in alluminio che funge da volano termico, un cilindro porta campione, alloggiato nella piastra ed uno stantuffo per lo stampaggio. Lo stantuffo è a sua volta collegato ad una cella di carico di un Texture Analyzer HDI, strumento per la misura reologica dei materiali.

Il controllo della temperatura è stato effettuato mediante termocoppie montate sia in prossimità del porta campione sia sullo stantuffo. Le termocoppie sono collegate ad un sistema di acquisizione per il monitoraggio della temperature durante tutta la prova di stampaggio e cottura.

Le prove sono state condotte prelevando in doppio 2 ml di pastella a diversi tempi di sosta: 0, 10, 30,40, 50, 65, 75 e 90 minuti.

Dopo il prelievo la pastella è stata iniettata nello stampo mentre veniva fatto scendere il piatto per la compressione azionando il Texture Analyzer. Lo strumento era settato ad una velocità di discesa di 1 mm/s fino a comprimere il 90% dello spessore della pastella, mantenendo la compressione stabile fino a fine cottura (2 minuti). La temperatura del portacampione, registrata mediante termocoppia, è stata in media di 170 °C. Una volta compressa la pastella nello stampo sono stati registrati i valori di forza e spostamento. I valori di forza registrati sono quelli con cui la pastella agisce sul piatto comprimendolo verso l'alto.

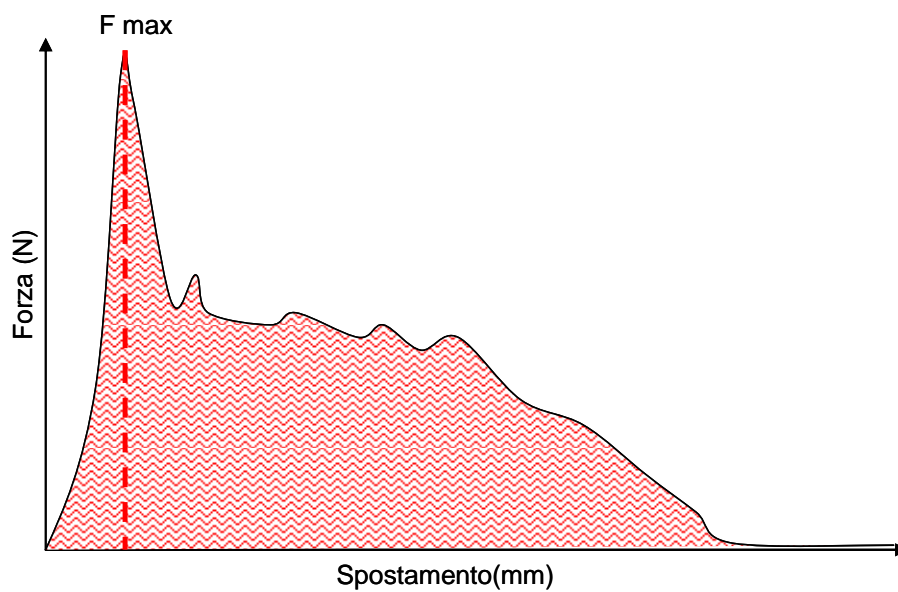
*Figura 6.2 - A) Stantuffo con piatto per la compressione; B) Cilindro porta pastella; C) Piastra di alluminio.*





I risultati delle misure sono stati espressi in termini di lavoro di compressione totale (N·mm) , rappresentato dall'area sottesa dalla curva e lavoro di compressione fino al picco di forza massima (N·mm) rappresentato dall'area sottesa dalla curva fino a F max (Fig. 6.3).

*Figura 6.3 Curva forza spostamento registrata durante la compressione a caldo della pastella.*



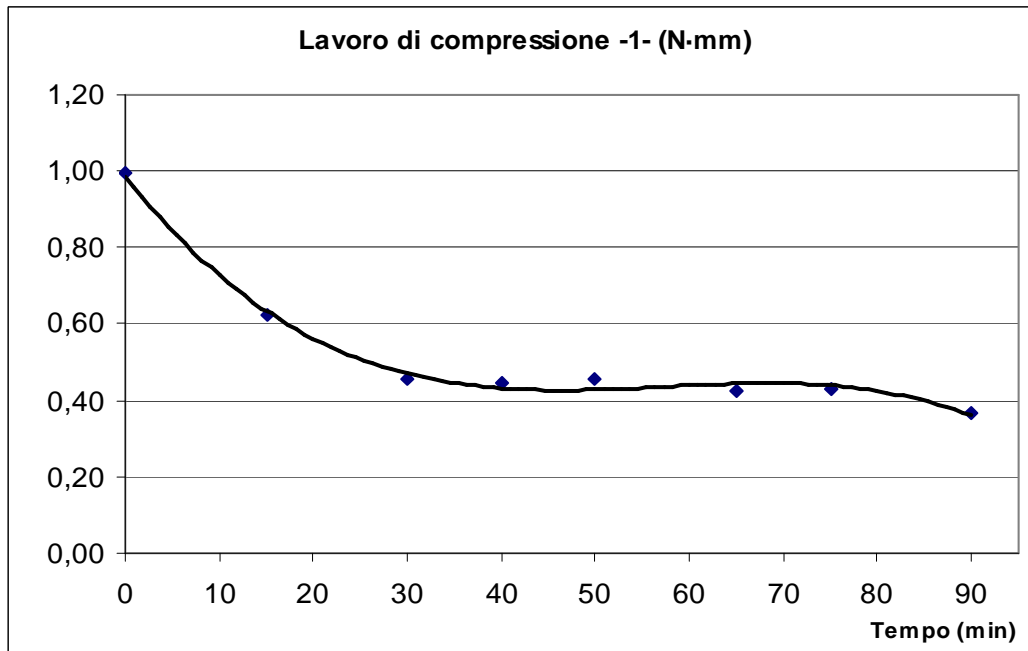
### 6.3.1 RISULTATI

In tabella 6.5 sono riportati i valori medi registrati i diversi tempi di sosta della pastella, il lavoro di compressione fino alla forza massima e il lavoro di compressione totale.

*Tabella 6.5 Valori medi registrati a diversi tempi di sosta della pastella*

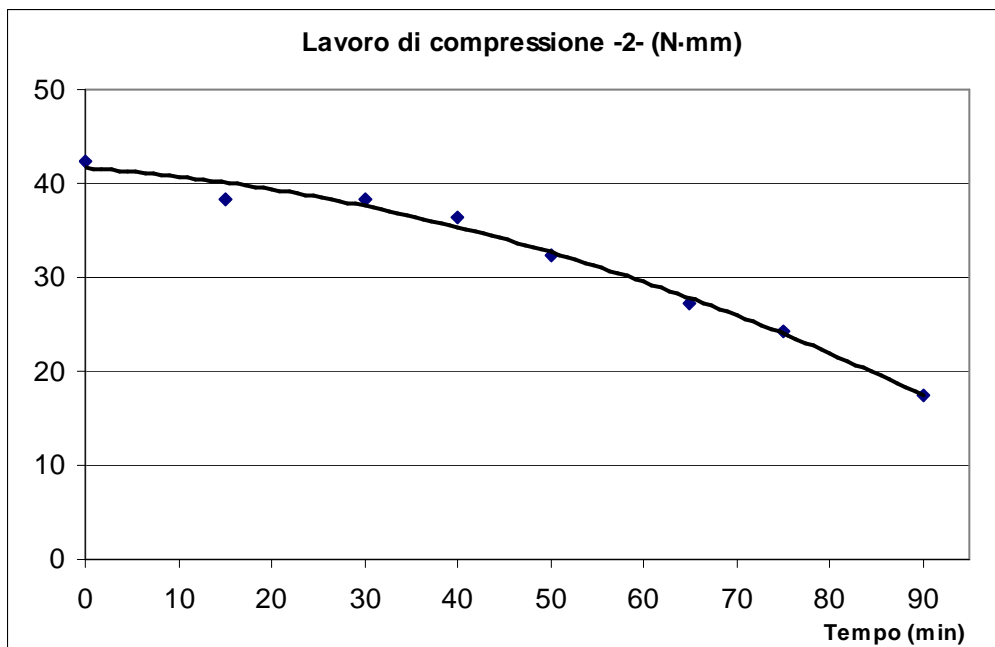
<i>Tempo (min)</i>	<i>Lavoro di compressione 1 (Nmm)</i>	<i>Lavoro di compressione 2 (Nmm)</i>
0	0,99	42,38
15	0,62	38,23
30	0,45	38,33
40	0,45	36,35
50	0,45	32,28
65	0,42	27,32
75	0,43	24,27
90	0,37	17,37

Il lavoro di compressione fino alla forza massima (grafico 6.8) mostra un decremento molto rapido nei primi 30 minuti ed uno stabilizzarsi dei valori nei 60 minuti successivi.



*Grafico 6.8 Lavoro di compressione fino alla forza massima*

Si può notare (Grafico 6.9) come il lavoro di compressione totale presenti un decremento più significativo dopo 50 minuti.



*Grafico 6.9 Lavoro di compressione totale.*

I due andamenti, anche se in apparenza diversi, seguono perfettamente la logica dell'esperimento.

Il primo rappresenta la spinta estrusiva con cui l'espansione della pastella, dovuta all'effetto combinato calore-lievito chimico, agisce sullo stantuffo dello strumento. Tale effetto risulta molto elevato per la pastella "fresca" e tende a stabilizzarsi successivamente fino a decrescere nell'ultimo periodo. Per quanto riguarda il lavoro di compressione totale, bisogna tener conto anche dell'energia con cui la pastella mantiene compresso lo stantuffo durante tutta la cottura. Tale fenomeno non coinvolge solo il lavoro di compressione iniziale, generalmente necessario per la risalita della pastella negli stampi, ma l'intero processo di cottura, che comporta inoltre la formazione della struttura del cono (grado di alveolatura, dimensione degli alveoli e spessore della superficie).

#### 6.4 CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA, MEDIANTE PROVE A FLESSIONE, DI CONI OTTENUTI DA DIFFERENTI REGOLAZIONI DEI FORNI DI COTTURA.

Il forno utilizzato per lo stampaggio e la cottura dei coni cialda può essere controllato esclusivamente attraverso la regolazione della pressione del gas di combustione, agendo su di una valvola, oppure selezionando la velocità di rotazione del tamburo a mezzo di una leva meccanica circolare modulabile su una scala di 10 posizioni.

Considerando la regolazione normalmente impiegata dall'operatore durante la produzione (pressione = 735-784 Pa; velocità = 4), si è voluto prelevare un campione di 30 coni per ciascun tipo di regolazione del forno in modo da poter valutare, tramite prove a flessione sul prodotto finito, le regolazioni ottimali (trattamenti) in grado di minimizzare la produzione di coni sensibili a frattura (tabella 6.6).

Ricordiamo che le combinazioni tra pressione e velocità del tamburo sono state scelte escludendo quelle che avrebbero potuto favorire la produzione di coni cialda commercialmente difettosi perché eccessivamente cotti o al contrario, troppo crudi.

Tabella 6.6 Combinazioni scelte tra pressione e velocità di rotazione del tamburo; il valore evidenziato corrisponde alla combinazione p- v normalmente impiegata dall'operatore.

V \ P	P			
	735-784	882-931	1128-1177	1471
3	T1	T4		
3,5	T2	T5	T9	T14
4	<b>T0</b>	T6	T10	T15
4,5	T3	T7	T11	T16
5		T8	T12	T17
5,5			T13	T18
6				T19

P: pressione del gas(Pa); V: scala di velocità del tamburo

#### 6.4.1 RISULTATI

##### *Massa*

In tabella 6.7 sono riportati i valori medi e le deviazioni standard delle misure di massa dei coni analizzati, in relazione al tipo di trattamento.

Nel grafico 6.10 sono rappresentati gli andamenti dei valori medi di massa in funzione del tipo di trattamento impiegato. Dall'analisi statistica dei dati, rispetto al trattamento T0, secondo cui  $p = 735-784$  Pa e  $v = 4$  e  $m = 5,3$  g , sono risultati significativamente differenti i trattamenti T2, T9, T10, T11,

T12, T13, T14, T1, T15, T16, T17 e T19. Anche in questo caso, nonostante i deboli valori di  $R^2 = 0,37$ , è possibile affermare che:

- Il trattamento T2 apporta un incremento del 1,5% rispetto a T0;
- Il trattamento T9 apporta un decremento del 2,5% rispetto a T0;
- Il trattamento T10 apporta un decremento del 2,8% rispetto a T0;
- Il trattamento T11 apporta un decremento del 1,9% rispetto a T0;
- Il trattamento T12 apporta un decremento del 2,5% rispetto a T0;
- Il trattamento T13 apporta un decremento del 2,5% rispetto a T0;
- Il trattamento T14 apporta un decremento del 6,8% rispetto a T0;
- Il trattamento T15 apporta un decremento del 4,7% rispetto a T0;
- Il trattamento T16 apporta un decremento del 3% rispetto a T0;
- Il trattamento T17 apporta un decremento del 2,3% rispetto a T0;
- Il trattamento T19 apporta un decremento del 1,1% rispetto a T0.

*Tabella 6.7 Valori medi e deviazioni standard della massa dei coni per ciascun trattamento.*

<i>Velocità</i>		<i>P=735-784</i> <i>(Pa)</i>		<i>P=882-931</i> <i>(Pa)</i>		<i>P=1128-1177</i> <i>(Pa)</i>		<i>P=1471</i> <i>(Pa)</i>
3	(T1)	51,993 (1,57)	(T4)	52,09 (1,37)				
3,5	(T2)	52,778 (1,56)	(T5)	51,89 (1,27)	(T9)	50,72 (1,27)	(T14)	48,36 (1,27)
4	(T0)	52,582 (2,25)	(T6)	51,60 (1,17)	(T10)	50,52 (1,27)	(T15)	49,54 (1,37)
4,5	(T3)	52,287 (1,37)	(T7)	52,29 (1,47)	(T11)	51,01 (1,37)	(T16)	50,42 (1,37)
5			(T8)	51,70 (1,07)	(T12)	50,62 (1,17)	(T17)	50,82 (1,07)
5,5					(T13)	50,91 (1,17)	(T18)	51,7 (1,07)
6							(T19)	51,4 (1,08)

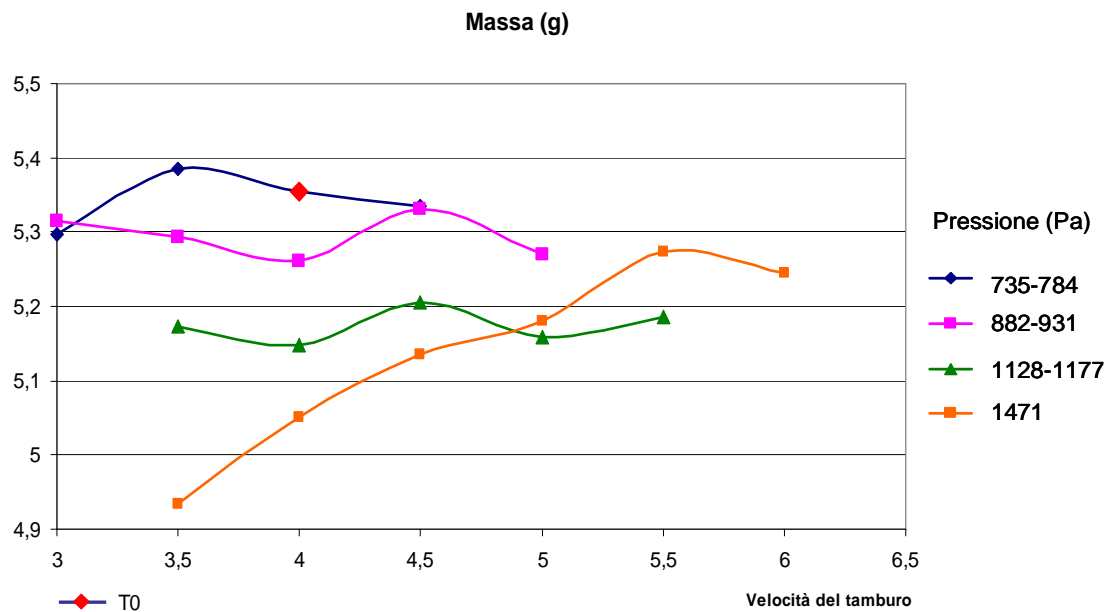


Grafico 6.10 Andamenti dei valori medi di massa in funzione del tipo di trattamento.

### Forza massima di rottura

In tabella 6.8 sono riportati i valori medi e le deviazioni standard delle misure di Forza di rottura dei coni analizzati, in relazione al tipo di trattamento.

L'andamento dei valori medi di forza massima di rottura è mostrato nel grafico 6.11.

In questo caso il modello di regressione ( $R^2 = 0,20$ ) ha qualificato come trattamenti significativi rispetto a T0 (forza di rottura = 15N) T3, T6, T7, T8, T10, T11, T12, T13, T16, T17, T18, T19. Anche in questo caso, nonostante i deboli valori di  $R^2 = 0,37$ , è possibile affermare che:

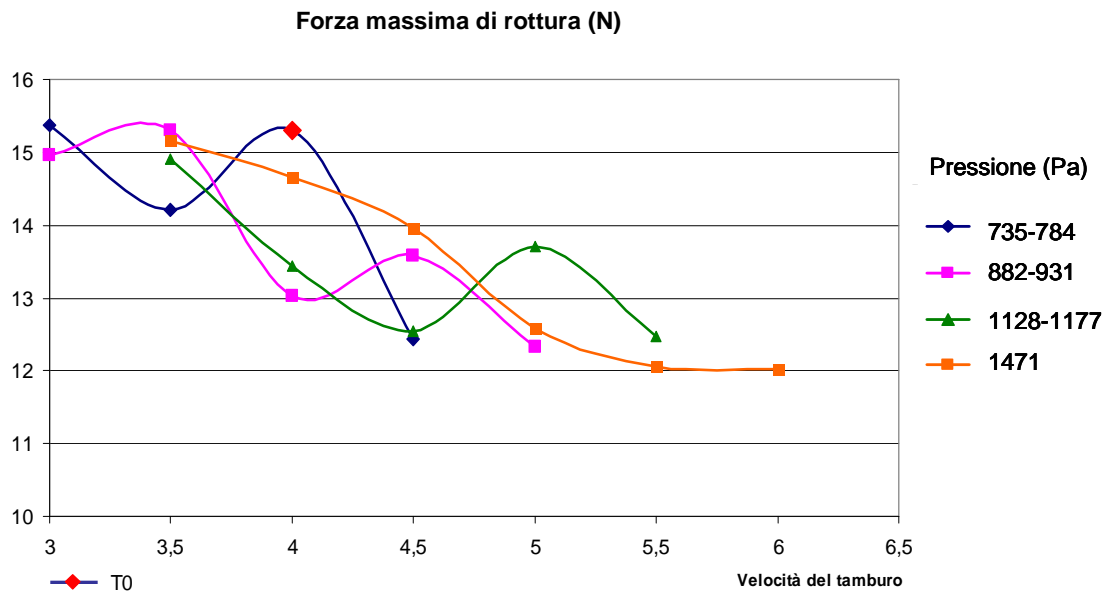
- Il trattamento T3 apporta un decremento del 16,7% rispetto a T0;
- Il trattamento T6 apporta un decremento del 13,3% rispetto a T0;
- Il trattamento T7 apporta un decremento del 9,3% rispetto a T0;
- Il trattamento T8 apporta un decremento del 18% rispetto a T0;



- Il trattamento T10 apporta un decremento del 10,6% rispetto a T0;
- Il trattamento T11 apporta un decremento del 16% rispetto a T0;
- Il trattamento T12 apporta un decremento del 10.6% rispetto a T0;
- Il trattamento T13 apporta un decremento del 16% rispetto a T0;
- Il trattamento T16 apporta un decremento del 6% rispetto a T0;
- Il trattamento T17 apporta un decremento del 16% rispetto a T0;
- Il trattamento T18 apporta un decremento del 20% rispetto a T0;
- Il trattamento T19 apporta un decremento del 20% rispetto a T0;

*Tabella 6.8 Valori medi e deviazioni standard della Forza massima di rottura per ciascun trattamento.*

<i>Velocità</i>		<i>P=735-784</i> <i>(Pa)</i>	<i>P=882-931</i> <i>(Pa)</i>	<i>P=1128-1177</i> <i>(Pa)</i>	<i>P=1471</i> <i>(Pa)</i>
3	(T1)	150,78 (19,12)	(T4) 146,86 (25,30)		
3,5	(T2)	139,40 (32,07)	(T5) 150,09 (21,28)	(T9) 146,27 (19,91)	(T14) 148,72 (12,16)
4	(T0)	149,99 (25,01)	(T6) 127,82 (25,30)	(T10) 131,75 (22,36)	(T15) 143,72 (21,87)
4,5	(T3)	122,04 (27,86)	(T7) 133,12 (26,19)	(T11) 123,12 (20,89)	(T16) 136,95 (18,44)
5			(T8) 120,96 (26,78)	(T12) 134,50 (17,55)	(T17) 123,31 (20,11)
5,5				(T13) 122,43 (20,60)	(T18) 118,31 (29,03)
6					(T19) 118,01 (24,32)



*Grafico 6.11 Andamenti dei valori medi di forza massima di rottura in funzione del tipo di trattamento*

### *Forza di deformazione*

In tabella 6.9 sono riportati i valori medi e le deviazioni standard delle misure di Forza di deformazione dei coni analizzati, in relazione al tipo di trattamento.

I risultati ottenuti per il parametro forza di deformazione seguono l'andamento riportato nel grafico 6.12.

Dall'analisi del modello di regressione ( $R^2 = 0,10$ ), i trattamenti significativamente differenti da T0 (Forza di deformazione = 217,4 Pa) sono stati: T1, T4, T5, T9 e T11 e:

- Il trattamento T1 apporta un incremento del 10,3% rispetto a T0;
- Il trattamento T4 apporta un incremento del 8,7% rispetto a T0;
- Il trattamento T5 apporta un incremento del 6,2% rispetto a T0;
- Il trattamento T9 apporta un decremento del 4,7% rispetto a T0;
- Il trattamento T11 apporta un decremento del 3,9% rispetto a T0;

Tabella 6.9 Valori medi e deviazioni standard della Forza di deformazione per ciascun trattamento.

Velocità		<i>P=735-784</i> (Pa)	<i>P=882-931</i> (Pa)	<i>P=1128-1177</i> (Pa)	<i>P=1471</i> (Pa)
3	(T1)	2353,2 (136,35)	(T4) 2319,8 (226,61)		
3,5	(T2)	2107,7 (180,70)	(T5) 2264,7 (196,39)	(T9) 2031,7 (218,37)	(T14) 2121,6 (234,65)
4	(T0)	2142,4 (213,85)	(T6) 2082,3 (162,84)	(T10) 2088,2 (252,11)	(T15) 2169,7 (245,54)
4,5	(T3)	2085,8 (220,03)	(T7) 2152,0 (208,65)	(T11) 2048,5 (182,85)	(T16) 2195,2 (250,64)
5			(T8) 2078,7 (216,80)	(T12) 2213,4 (236,61)	(T17) 2126,2 (251,13)
5,5				(T13) 2159,3 (216,21)	(T18) 2090,6 (278,50)
6					(T19) 2173,4 (283,60)

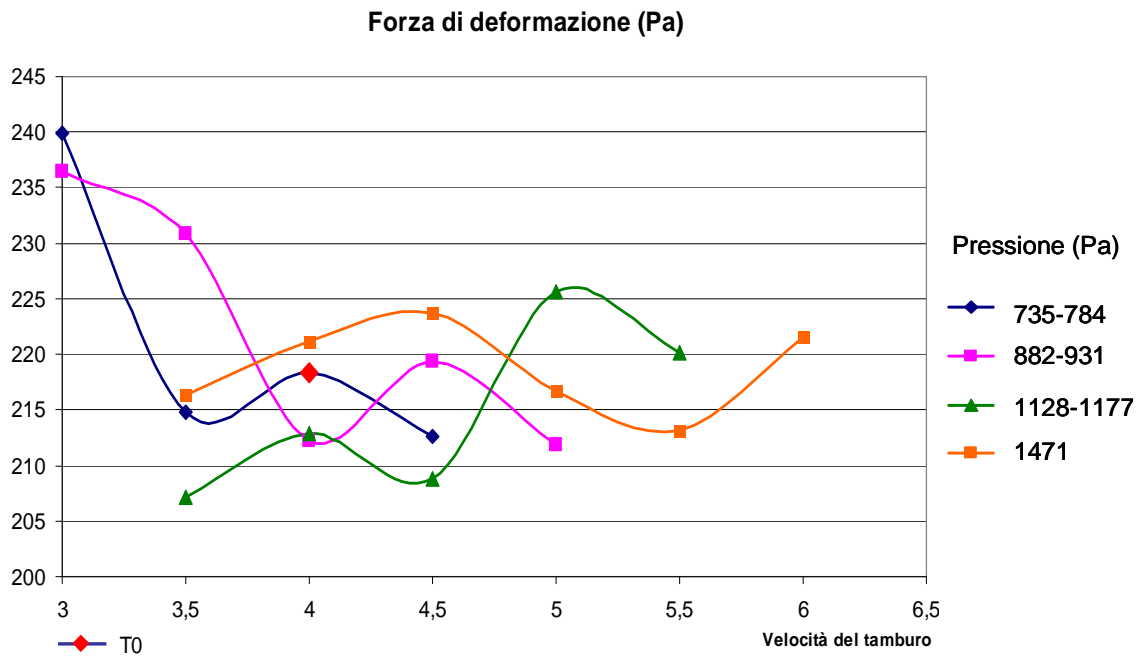


Grafico 6.12 Andamenti dei valori medi di forza di deformazione in funzione del tipo di trattamento

## 6.5 MISURA DELLA RESISTENZA FISICO-MECCANICA DI CONI OTTENUTI DA PASTELLA CONTENENTE DIFFERENTI QUANTITATIVI DI AGENTE LIEVITANTE.

Con questa prova si è voluto testare l'influenza dell'agente lievitante sulla resistenza meccanica del prodotto finito. Sapendo che la dose di bicarbonato solitamente aggiunta per la preparazione della pastella è di circa 30 g su 42/43 kg di prodotto, si è stabilito di preparare campioni di pastella contenenti 18, 22, 26, 30, 34, 38 e 42 grammi di lievito prelevando successivamente 30 coni ottenuti da ciascun campione di pastella.

Il metodo seguito per le prove di compressione è stato il medesimo impiegato nelle prove precedenti.

### 6.5.1 RISULTATI

In tabella 6.10 sono riportati i valori medi e le deviazioni standard calcolati per i parametri di massa, forza massima di rottura e forza di deformazione in relazione ai corrispondenti indici dei trattamenti.

*Tabella 6.10 Valori medi e deviazioni standard dei parametri misurati*

<i>Trattamento</i>	<i>Agente lievitante (g)</i>	<i>Massa (g)</i>	<i>Forza massima di rottura (N)</i>	<i>Forza di deformazione (Pa)</i>
T1	18	4,94 (0,1)	15,10 (1,73)	232,44 (27,93)
T2	22	4,93 (0,08)	15,66 (2,26)	195,99 (29,38)
T3	26	4,92 (0,11)	14,37 (2,35)	217,22 (29,14)
T0	30	4,91 (0,12)	14,48 (2,94)	210,59 (25,43)
T4	34	4,90 (0,13)	13,83 (1,88)	221,22 (20,58)
T5	38	4,83 (0,07)	14,25 (1,83)	218,77 (21,01)
T6	42	4,76 (0,07)	14,71 (1,71)	210,86 (21,19)

## Massa

Anche in questo caso di ogni cono è stata misurata la massa prima di ogni prova a flessione e, come mostra il grafico 6.13 si è registrato un decremento dei valori di massa in funzione dell'aumento della quantità di lievito aggiunta alla pastella. Il decremento rispecchia le attese poiché è ragionevole pensare che all'aumentare del contenuto di CO<sub>2</sub> presente nella pastella la struttura dei coni ottenuti da questa contenga un maggior numero di cavità per unità di volume.

Dal modello di regressione ( $R^2 = 0,30$ ), i trattamenti significativi, rispetto al trattamento di riferimento T0 ( $m = 4,9\text{g}$ ) sono stati: T5 e T6, secondo cui:

- Il trattamento T5 apporta un decremento del 1,6% rispetto a T0;
- Il trattamento T6 apporta un decremento del 3,3% rispetto a T0;

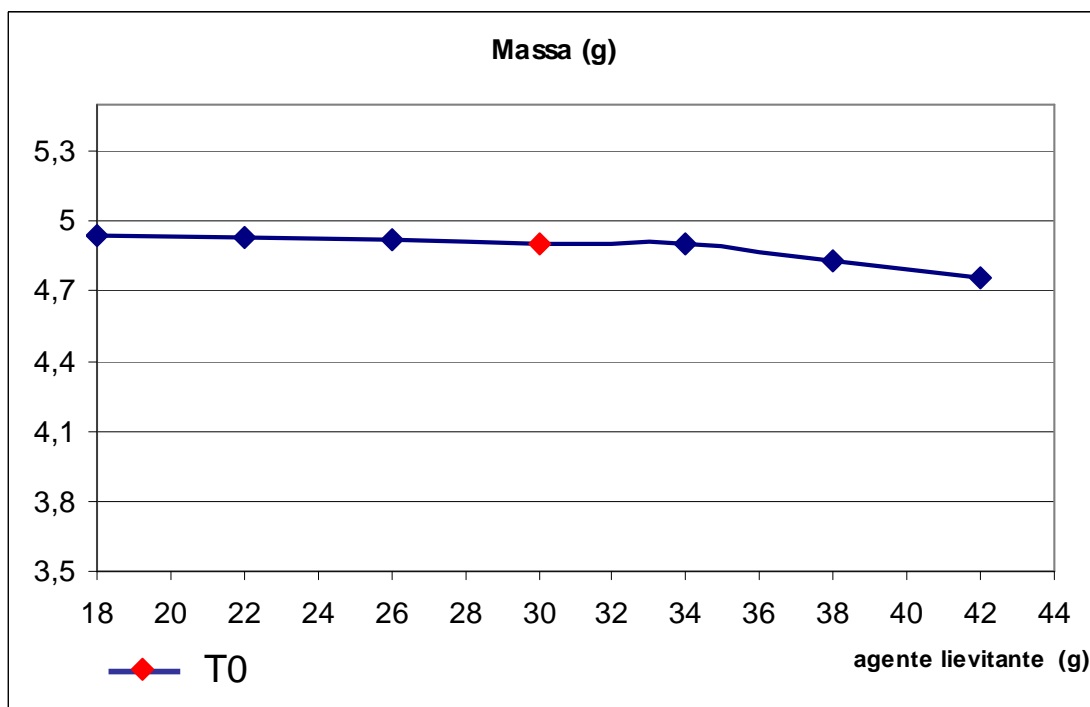
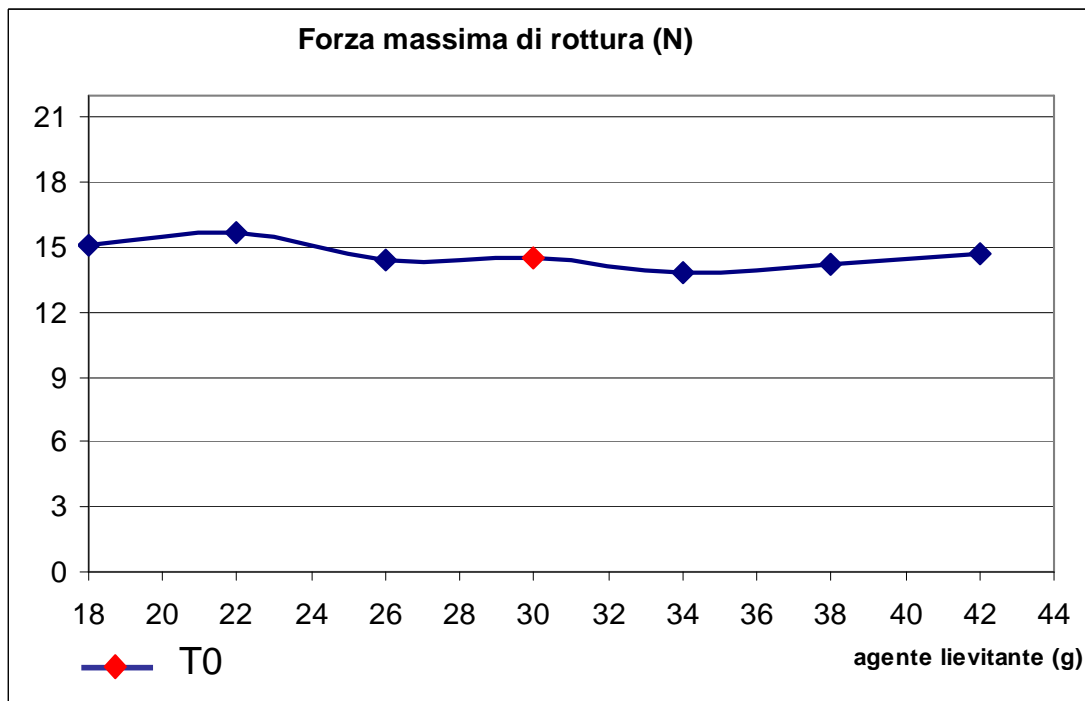


Grafico 6.13 Andamento dei valori medi di massa dei coni per ciascun trattamento

### *Forza massima di rottura*

L'andamento del parametro forza di rottura, in funzione dell'aumento della quantità di lievito aggiunta alla pastella è mostrato dal grafico 6.14. Per tale parametro l'unico trattamento che è apparso nel modello di regressione ( $R^2 = 0,20$ ), in relazione alla variabile dipendente T0 (Forza massima di rottura = 14,5N) è stato T2, per il quale si è registrato un incremento dell'8,3% rispetto a T0.

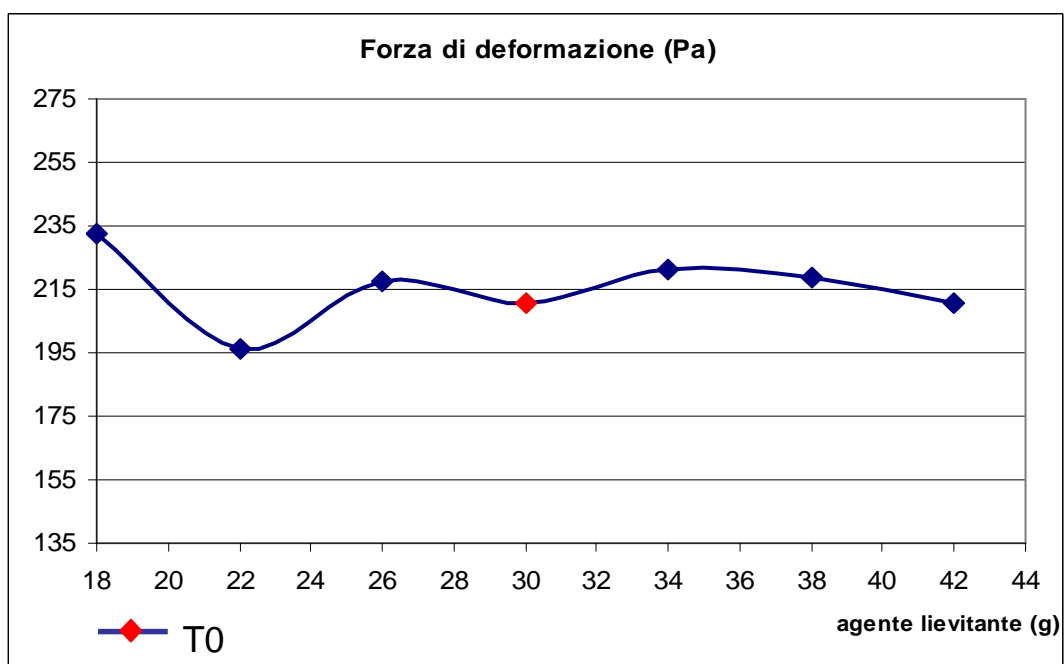


*Grafico 6.13 Andamento dei valori medi di Forza massima di Rottura in funzione del tipo di trattamento*

### *Forza di deformazione*

Per il parametro forza di deformazione (grafico 6.15), i valori significativamente differenti da T0 (Forza di deformazione = 215,8 Pa) sono risultati T1 e T2, quindi nel modello di regressione ( $R^2=0,40$ ):

- Il trattamento T1 apporta un incremento del 7,7% rispetto a T0;
- Il trattamento T5 apporta un decremento del 9,2% rispetto a T0;



*Grafico 6.15 Andamento dei valori medi di Forza di deformazione in funzione del tipo di trattamento*

## 6.6 DISCUSSIONE DEI RISULTATI

La caratterizzazione fisica della pastella ha messo in evidenza che, nonostante l'alternarsi di diversi operatori nella miscelazione degli ingredienti, le caratteristiche fisiche analizzate della pastella rimangono pressoché costanti. Si può quindi ipotizzare che la resistenza meccanica dei coni dipende sostanzialmente da tre condizioni:

- tempo che intercorre tra produzione della pastella e cottura;
- processo e condizioni di cottura;
- ingredienti.

Nei primi 15 minuti seguenti la preparazione della pastella, i coni ottenuti risultano possedere una massa superiore del 5% rispetto a quelli ottenuti nelle altre condizioni, mentre, differenze significative per quanto riguarda i parametri di forza massima di rottura e forza di deformazione si sono ottenute dopo 50 minuti con un calo rispettivamente del 18% e del 14%.

Durante l'aumento del tempo di sosta della pastella non si sono registrate apprezzabili variazioni nella sua massa volumica, velocità di scivolamento e sedimentazione, denotando un'alta stabilità strutturale. Ciò considerato, le variazioni riscontrate nei coni prodotti a differenti tempi di sosta della pastella possono essere imputabili al tempo di attivazione e alla dose dell'agente lievitante.

I risultati dei test effettuati con le prove di valutazione dell'effetto dei diversi tempi di sosta della pastella sull'efficienza della lievitazione confermano l'andamento dei due indici di resistenza descritti inizialmente. Si denota infatti una significativa diminuzione del potere lievitante (circa 30%) dopo 50 minuti. Il lavoro di compressione alla forza massima (spinta estrusiva) diminuisce esponenzialmente di circa il 50% nei primi 30 minuti..



Valutando l'aggiunta di differenti quantità di agente lievitante alla pastella è possibile affermare che la riduzione fino al 40% della quantità di lievito, rispetto alla dose normalmente impiegata (30g/20kg di pastella), determina un incremento della forza di deformazione di circa il 10% senza compromettere lo stampaggio e la qualità.

Per quanto riguarda le prove a flessione effettuate sui coni ottenuti da differenti regolazioni del forno non si sono registrate apprezzabili differenze dei parametri misurati per i diversi trattamenti rispetto alla combinazione  $p - v$  normalmente impiegata dall'operatore. Solamente i trattamenti corrispondenti a velocità di rotazione del tamburo = 3 e pressioni rispettivamente di 735-784 Pa e 882-931 Pa hanno mostrato un incremento dei valori di forza di deformazione di circa il 10%.

Analizzando infine la resistenza meccanica dei coni prodotti da pastelle contenenti diversi quantitativi e tipologie di dolcificante è possibile concludere che una riduzione di saccarosio del 25% e 50%, rispetto alla dose standard impiegata, comporta una perdita di resistenza rispettivamente dell'8 e 18 %. A parità di POD, pastella contenente esclusivamente zucchero invertito determina una resistenza meccanica del prodotto inferiore del 12% rispetto al saccarosio. Non presentandosi differenze significative di forza massima alla rottura, tra coni prodotti con solo saccarosio e coni ottenuti da un impasto contenente 75% di saccarosio e 25% di zucchero invertito, una variazione della ricetta a favore di quest'ultima sostituzione comporterebbe una riduzione dei residui di prodotto sugli stampi di cottura senza variazioni organolettiche (in termini di dolcezza) e perdita di resistenza.



# CAPITOLO 7

## CONFRONTO TRA DUE METODICHE PER LA VALUTAZIONE DELLE PROPRIETA' FISICO-MECCANICHE DEL CONO STAMPATO

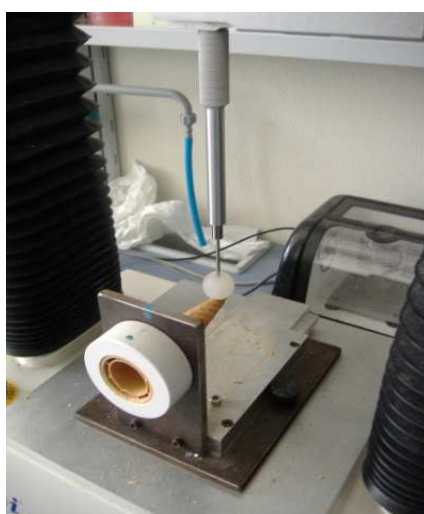
### 7.1 ORGANIZZAZIONE GENERALE DEL LAVORO E PIANO DI CAMPIONAMENTO

La presente sezione ha riguardato il confronto tra due metodiche basate su test di compressione a flessione eseguiti su campioni di coni stampati, vincolati alla base sui quali è stato applicato un carico all'estremità, carico diretto ortogonalmente rispetto all'asse maggiore del cono.

A differenza della metodologia finora riportata per le prove di carico a flessione, in questa sezione vengono riportati i risultati di prove in cui gli strumenti testati sono stati equipaggiati con un supporto alloggiato cono appositamente realizzato in maniera da contenere il campione orizzontale al piano e perpendicolare rispetto alla direzione del carico applicato. Tuttavia, in questo caso il carico è stato applicato verso l'estremità opposta rispetto alla base, seguendo i principi che regolano il modello di una trave inflessa; Figura 7.1 (a).



a)



b)

*Figura 7.1 a) Supporto alloggia cono; b) Supporto alloggia cono montato su Texture Analyzer THDi*

Rispetto alla metodica precedente, e in base ad un confronto preliminare tra le curve forza-spostamento ottenute su di uno stesso campione, il supporto e il relativo test di seguito riportato hanno mostrato il vantaggio di rendere più semplice l'individuazione di un indice di resistenza rappresentativo. Attraverso il three point bending test infatti occasionalmente la sonda poteva penetrare all'interno del prodotto prima che questo cedesse definitivamente sotto il carico a flessione. A questo effetto si accompagnava la registrazione di un segnale estremamente disturbato dalle microfratture della sonda, pertanto non era possibile isolare un valore massimo di ordinata relativo alla pura flessione del materiale.

Per le prove di compressione a flessione della presente sezione, il Texture Analyzer THDi, munito di cella di carico da 5 Kg e con frequenza di campionamento pari a 200 punti per secondo è stato impostato ad una velocità di discesa verticale costante pari a 1mm/s.

Il confronto è stato eseguito in collaborazione con un'azienda dolciaria la quale ha fornito campioni di coni prodotti in giornate differenti nell'arco della stagione estiva 2007. In particolare il piano di campionamento ha previsto l'estrazione di sette campioni, ciascuno di 60 coni suddivisi in due gruppi di 30, analizzati contemporaneamente tramite le due metodiche di compressione che di seguito verranno descritte.

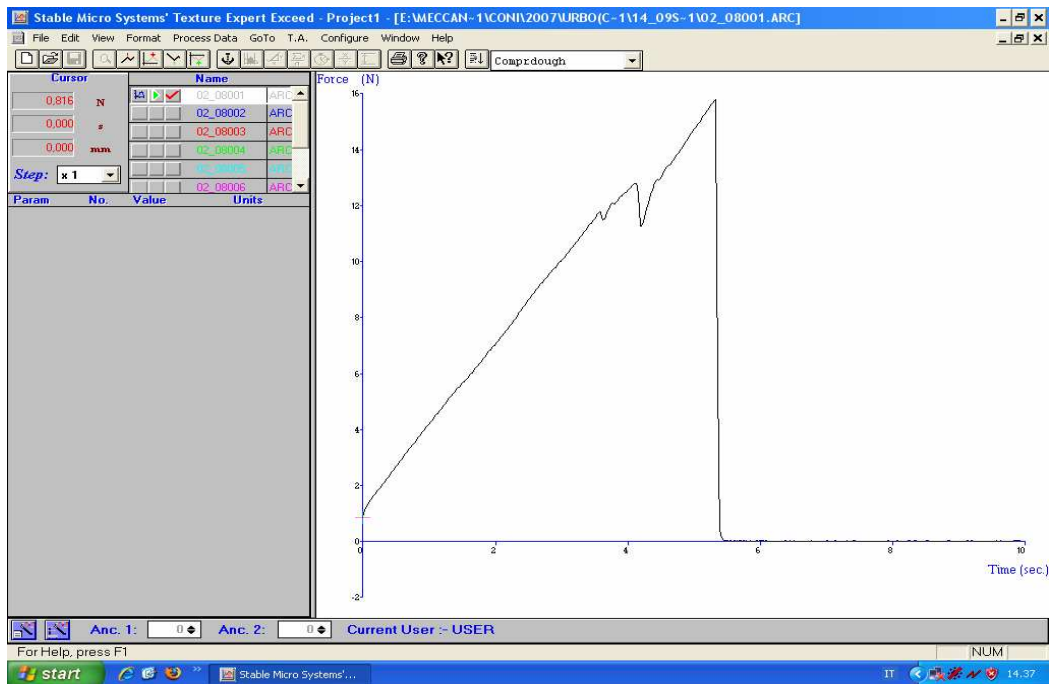


Figura 7.2 Esempio di curva forza-spostamento ottenuta dai test di compressione a flessione (metodo della trave in flessa).

### 7.1.1 TEST DI COMPRESSIONE A FLESSIONE TRAMITE DINAMOMETRO DIGITALE

La scelta dell'attrezzatura utilizzata per eseguire i test di compressione con dinamometro digitale è stata fatta cercando di riprodurre i test eseguiti al Texture Analyzer, ottimizzando il rapporto costo-prestazioni, con l'obiettivo di ottenere misure non significativamente differenti anche in presenza di un fattore di errore.

Il dinamometro da noi utilizzato durante le analisi è prodotto dalla PCE Group ed il modello è di tipo PCE-FM 50; Figura 7.3.



*Figura 7.3 Dinamometro digitale*

Il dinamometro è stato montato su di una colonna porta trapano (KENZO), utilizzata quindi come stativo, tramite una lastra in acciaio appositamente forata in corrispondenza dei fori ciechi presenti sullo strumento. La discesa verticale del dinamometro, durante i test di compressione, avviene manualmente agendo sulla leva, come appare dalla figura 7.4.



*Figura 7.4 Attrezzatura impiegata durante i test di compressione con dinamometro digitale*

I valori di forza massima acquisiti nei test sono stati ricavati impostando la funzionalità Peak Hold, che permette di visualizzare sul display LCD il valore massimo di forza registrato durante la compressione.

La cella di carico dello strumento, pari a 5Kg di fondo scala, permette un campionamento alla frequenza massima di 5 punti per secondo.

Come nel caso dei test di compressione a flessione eseguiti col Texture Analyzer, anche in questo caso si è montato sullo strumento il medesimo tipo di sonda sferoidale e si è utilizzato lo stesso supporto alloggia cono.

(<http://www.pce-italia.it/html/dati-tecnici-1/dinamometro-pce-fm50-200.htm>)



## 7.2 RISULTATI

I valori medi di forza massima a rottura (in kg) e massa (in g) registrati durante i test di compressione sono mostrati in tabella 7.1.

Si sono confrontati i valori ricavati dai due test di compressione a flessione considerando indipendentemente i sette prelievi e il confronto ha riguardato l'analisi di 60 coni, 30 per ciascun test. Nel complesso sono stati misurati valori di forza massima a rottura e massa di 420 coni.

Il test eseguito per verificare l'omogeneità della varianza (test di Levene) sui valori di forza massima alla rottura ha evidenziato la non applicabilità dell'analisi (ANOVA), per tale motivo si sono eseguiti test non parametrici (Mann-Whitney).

Dal confronto è emerso che i valori di forza massima alla rottura sono significativamente differenti tranne che per il campione numero 3. I valori di massa, in generale, non hanno mostrato differenze significative, a dimostrazione della corretta randomizzazione campionaria. Inoltre, confrontando separatamente i test, nel caso della compressione a flessione con Texture Analyzer, ogni campione ha evidenziato differenze significative in termini di forza massima a rottura, invece nel caso dei test col dinamometro, alcuni campioni non hanno mostrato differenze significative tra loro, in particolare il secondo col quarto e il primo rispetto al terzo e al quinto.

Questi risultati possono essere determinati da due fattori: da una parte la differente sensibilità delle due celle di carico, in termini di frequenza di campionamento e dall'altra il differente metodo di discesa verticale delle apparecchiature; ricordiamo che la discesa del Texture Analyzer è modulabile e costante poiché regolata da un motore passo-passo, mentre l'azione del dinamometro è di tipo manuale, perciò potenzialmente

soggetta ad un errore di tipo casuale. Prove successive potranno essere condotte, ad esempio, montando il dinamometro digitale sullo stativo del Texture Analyzer, escludendo la cella di carico di quest'ultimo ed effettuando test di compressione a flessione analoghi a quelli presentati in questo lavoro. L'obiettivo sarà in ogni caso quello di valutare singolarmente il contributo della discesa manuale e della sensibilità della cella di carico sull'incertezza della misura. Nel caso in cui non si determinassero differenze significative tra le misure ottenute con le celle delle due apparecchiature, si potrebbe sostituire la colonna da trapano con uno stativo meccanico dotato di motore passo – passo; la strumentazione potrebbe consentire di eliminare l'errore casuale o di convertirlo in errore sistematico.

Nell'ottica del controllo qualità del cono stampato, questa soluzione consentirebbe di impiegare un'attrezzatura nel complesso economica, se confrontata al Texture Analyzer o ad apparecchiature con simili caratteristiche tecniche e di semplice applicabilità all'interno dei locali di produzione.

*Tabella 7.1 Valori medi, deviazioni standard e coefficienti di variazione per i parametri massa e forza massima di rottura*

<b>campione</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>F TX (kg)</b>	<b>CV</b>	<b>F DIN (kg)</b>	<b>CV</b>
<b>1</b>	4,72 (0,142)	1,071 (0,144)	0,13	1,163 (0,144)	0,12
<b>2</b>	4,50 (0,100)	1,104 (0,133)	0,12	0,969 (0,109)	0,11
<b>3</b>	4,74 (0,095)	1,118 (0,147)	0,13	1,042 (0,103)	0,10
<b>4</b>	4,73 (0,108)	1,212 (0,134)	0,11	0,964 (0,111)	0,11
<b>5</b>	4,82 (0,062)	1,301 (0,150)	0,11	1,104 (0,103)	0,09
<b>6</b>	4,55 (0,130)	1,350 (0,205)	0,15	1,474 (0,215)	0,15
<b>7</b>	4,93 (0,115)	1,882 (0,278)	0,15	1,658 (0,257)	0,15

F TX: forza massima misurata per le prove a flessione con Texture AnalyzerTHDi

F DIN: forza massima misurata per le prove a flessione con dinamometro digitale

CV: coefficiente di variazione

Grafico 7.1 Valori medi e deviazioni standard per il parametro massa

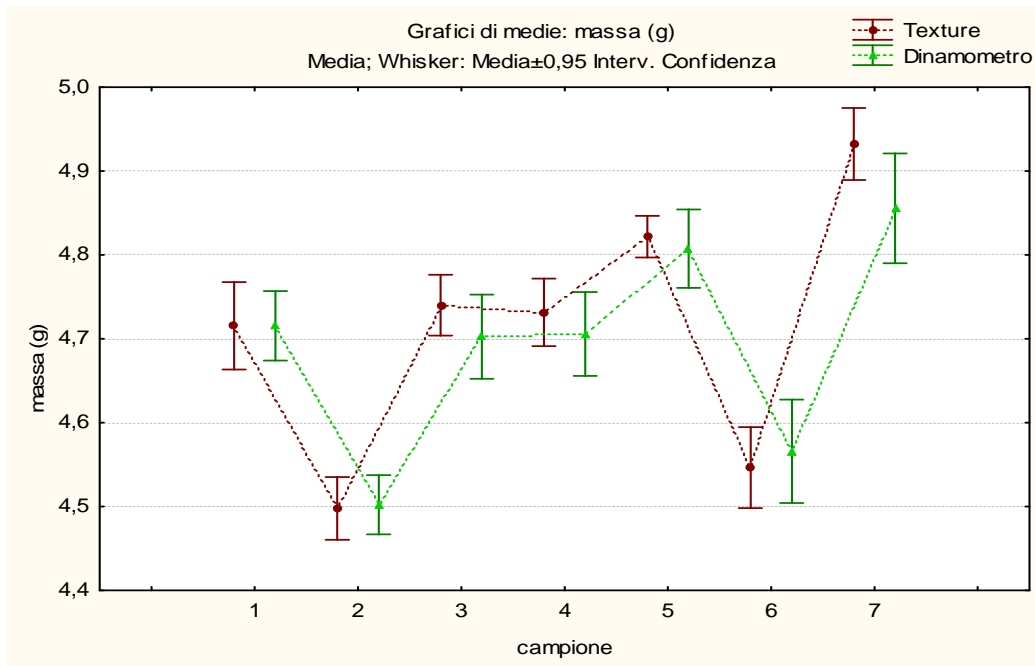
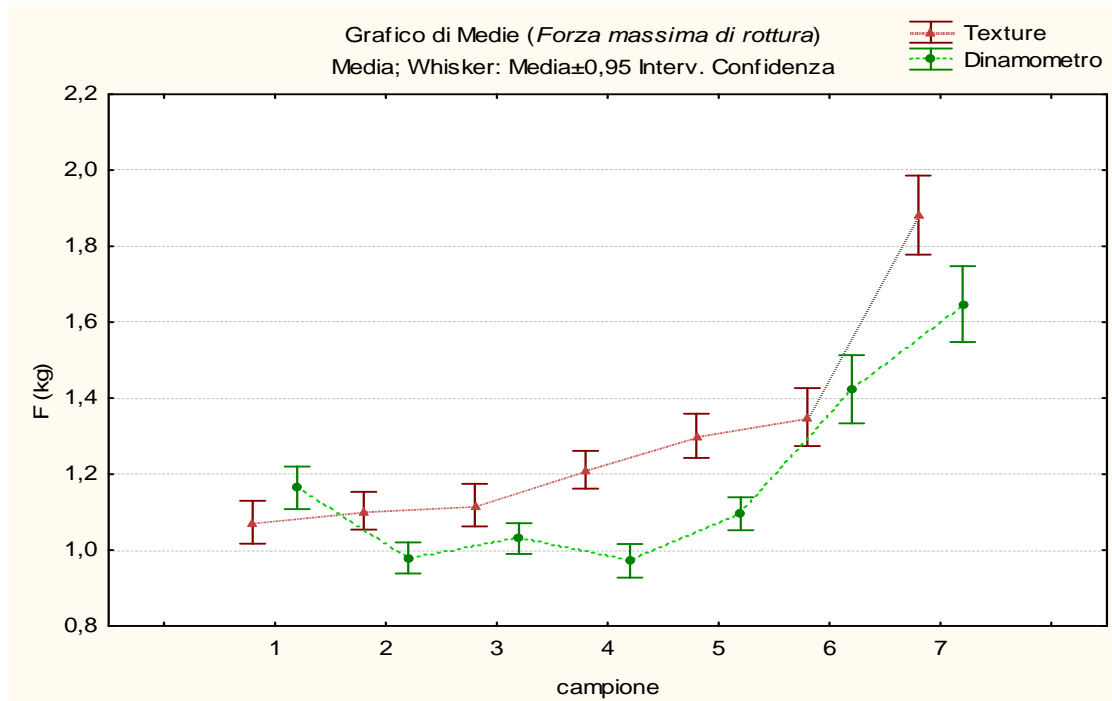


Grafico 7.2 Valori medi e deviazioni standard per il parametro forza massima di rottura.





## CONCLUSIONI

Nell'ottica del miglioramento della gestione della qualità delle aziende dolciarie specializzate nella produzione di coni stampati, il presente lavoro ha fornito uno spunto per la realizzazione e l'applicazione di un sistema di controllo e sviluppo del prodotto in relazione alla problematica del checking. Tale sistema è stato creato partendo dall'osservazione del processo di lavorazione all'interno dei locali di produzione, unitamente alla ricerca dei riferimenti presenti in letteratura relativi alla problematica.

Lo studio reologico affrontato per determinare un indice di resistenza meccanico del prodotto e lo sviluppo di un software statistico allestito per stabilire l'ampiezza della dimensione campionaria e successiva stima della resistenza meccanica del prodotto sul lotto, hanno consentito di creare le basi per poter osservare, monitorare e migliorare la qualità del cono stampato.

Attraverso questi strumenti è stato possibile modulare alcuni parametri di processo considerando norme e procedure di lavorazione, materie prime, sistemi di cottura e formulazione di differenti ricette. Lo scopo è stato quello di valutare gli effetti di tali cambiamenti sulla resistenza meccanica del cono con l'intento di preservare le caratteristiche organolettiche del prodotto, suggerendo allo stesso tempo possibili interventi correttivi.

L'ultimo obiettivo è stato quello di proporre una metodica alternativa ai test di compressione presentati nella prima parte del lavoro per poter offrire un sistema di analisi rapido, economico e di semplice applicabilità nei locali di produzione. Nonostante l'incertezza delle misure ottenute dalla metodica alternativa, rispetto al Texture Analyzer, è importante ricordare che l'azienda con la quale si è collaborato per la realizzazione delle prove non

possedeva alcuno strumento per monitorare il checking sul prodotto, pertanto tale soluzione al momento potrebbe rappresentare un valido punto di partenza per un futuro controllo della qualità del cono stampato.

Per quanto possa sembrare scontato è bene sottolineare che i processi artigianali che caratterizzano la produzione del cono stampato e di simili tipologie di prodotti da forno sono il risultato ottenuto dall'esperienza e dalla tradizione. In tale contesto il mancato raggiungimento di un livello di qualità del prodotto ottimale e costante è imputabile alla natura variabile delle materie prime impiegate e ad altri fattori tecnologici difficilmente controllabili. A questi fattori si aggiungono convinzioni e abitudini ormai consolidate nelle tecniche di lavorazione, con effetti spesso non calcolati e che non sempre hanno una dimostrata efficacia sulla qualità del prodotto.

## BIBLIOGRAFIA

Dunn J.A. and Bailey C.H., 1928, *Factors influencing checking in biscuits*, *Cereal Chemistry* 5, pp. 395–430.

Huang V.T., Luebbers S.T., Lindamood J.B. and Hansen P.M.T., 1988, *Ice - cream cone baking: dependance of baking performance on flour and batter viscosity*; Pillsburg corporate R&d (Minneapolis), Department of Food Science and Nutrition, The Ohio University Columbus.

Huang V.T., Luebbers S.T., Lindamood J.B. and Hansen P.M.T., 1989, *Food Hydrocolloids Vol 3 no. 1*, pp. 41-55; Department of Food Science and Nutrition, The Ohio University Columbus.

Huang V.T., Lindamood J.B., and Hansen P.M.T. 1990. *Ice cream cone baking: 3. Characterization of residues on baking plates*. *Food hydrocolloids* Vol.4 no.1 pp.48-58, 1990.

Lanza T., 2006, *Tecnologia e pratica per la produzione dei biscotti*; Chiriotti editori.

Manley D., 2001, *Biscuit, cracker and cookie recipes for the food industry*; Woodhead Publishing Limited, (Cambridge).

Manley D., 2000, *Technology of biscuit, cracker and cookie*; Woodhead Publishing Limited, (Cambridge).

Matz S.A. Matz T., 1978, *Cookie & cracker technology, second edition*; AVI book, Publishing Company Inc., Westport (Connecticut).

Saleem Q., 2005, *Biscuit checking: under standing, strategies and recent avances*; Nutrition Abstracts and Reviews: Series A 75 (10), 45N - 50 N

Smith W.H., 1972, *Biscuit, Cracker and Cookie, Vol 1: Technology, Production and Management*; Applied Science Publ. Ltd (London).

Smith W.H., 1972, *Biscuit, Cracker and Cookie, Vol 2: Technology, Recipes and Formulations*; Applied Science Publ. Ltd (London).

Steffe, J.F (1993). *Rheological Methods in Food Process Engeneering*. Freeman Press. East Leasing, Mi, USA

Wade P., 1988, *Biscuit, Cracker and Cookie, Vol 1: The principle of the craft*; Elisevier Applied Science (London).

SITI INTERNET CONSULTATI:

[http://143.225.250.10/Utenti/clandi/Appunti%20MEL/90\\_Trasduttori%20\(Cenni\)](http://143.225.250.10/Utenti/clandi/Appunti%20MEL/90_Trasduttori%20(Cenni))

<http://dsg.uniroma1.it/Tocci/MaterialeDidattico.htm>

<http://www.gabrielli.com/coni.asp?L=IT>

<http://www.haas.com/en/products/haas/wafer-plants/molded-cones.html>



[http://it.wikipedia.org/wiki/Cono\\_gelato](http://it.wikipedia.org/wiki/Cono_gelato)

<http://www.superiorisesto.it/site/lavori/sensori/forza.htm>

<http://www.pce-italia.it/html/dati-tecnici-1/dinamometro-pce-fm50-200.htm>

<http://www.stablemicrosystems.com>