

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE AGRO-ALIMENTARI**

**CAMPUS DI CESENA**

**CORSO DI LAUREA IN  
TECNOLOGIE ALIMENTARI**

**TITOLO DELLA TESI**

*Studio sul comportamento meccanico di coni wafer stampati*

Tesi in

29405 - IMPIANTI ALIMENTARI

Relatore: Prof. Ing Angelo Fabbri

Candidato: Andrea Evangelisti

Correlatrice: Dott.ssa Chiara Cevoli

numero matricola 793880

**ANNO ACCADEMICO 2018/2019**

**Sessione Unica**



## INDICE

INTRODUZIONE	1
PARTE GENERALE	
CAPITOLO 1 IL CONO DA GELATO	
1.1 Caratteri storici	4
1.2 Caratteristiche della pastella e sue peculiarità	8
1.3 Tipologie di prodotti	11
1.4 Metodologia produttiva	13
1.4.1 Tipologia degli impianti di cottura	17
1.5 Metodologie di stampa dei coni gelato	19
1.6 Principali problematiche dei coni	21
CAPITOLO 2 ANALISI DELLA TEXTURE	
2.1 Caratteri relativi alla texture del prodotto	23
2.2 Misura dei caratteri relativi alla texture	24
2.2.1 Analisi sensoriale	25
2.2.2 Analisi meccaniche	26
2.2.2.1 Origine e sviluppo dei test meccanici nella storia	27
2.2.2.2 Test a flessione	28
2.2.2.3 Bending tests	29
2.2.2.4 Test di penetrazione	30
2.2.2.5 Test di compressione	32
2.2.2.6 Test di taglio	34
2.2.2.7 Analisi sonora in parallelo ad un test meccanico	35
CAPITOLO 3 STATO DELL'ARTE	
3.1 Studi relativi a cialde wafer	36
3.2 Studi relativi alle proprietà meccaniche di cialde wafer	39

## CAPITOLO 4 MATERIALI E METODI

4.1 Organizzazione del lavoro	44
4.2 Campionamento	44
4.3 Prove meccaniche	47
4.4 Analisi dei dati	48
4.5 Analisi statistica	50

## CAPITOLO 5 RISULTATI

5.1 Tabella di lettura	52
5.2 Analisi dei risultati	53
5.2.1 Tensione equivalente	55
5.2.2 Modulo elastico	58

CONCLUSIONI	61
-------------	----

BIBLIOGRAFIA	63
--------------	----

## INTRODUZIONE

Il cono da gelato viene considerato, in biscotteria, facente parte della categoria dei wafer. Questo segmento produttivo include diverse tipologie di prodotti tra cui le cialde arrotolate ripiene di crema dette sigari, le cialde flessibili ed i wafer farciti con crema dolce. Tutte queste tipologie di prodotto sono caratterizzate, durante la fase produttiva, dall'utilizzo di una pastella liquida e quindi rientrano a loro volta nella categoria dei biscotti colati. Il cono gelato venne inventato nel 1903 da Italo Marchioni, che lo brevettò in America. In cento anni di vita questo prodotto è mutato in relazione alle differenze sociali e culturali, divenendo spesso simbolo di numerose realtà produttive. Si definisce come un contenitore per gelato, solitamente, di forma conica, aperto alla base e da impugnare con la parte suddetta in alto. Questo prodotto si discosta dagli altri appartenenti alla stessa categoria in quanto la sua produzione richiede l'utilizzo di materie prime di basso valore commerciale e un metodo produttivo non esoso e semplice rispetto ad altre tipologie produttive. Molto spesso questo prodotto viene così definito "povero". Durante gli anni si è assistito ad un aumento della sensibilità dei consumatori rispetto alla qualità del cono gelato, di conseguenza le aziende hanno cercato di migliorare sensibilmente l'aspetto organolettico e le caratteristiche meccaniche di questi prodotti. In modo particolare l'aspetto collegato con le proprietà meccaniche riveste notevole importanza per i produttori, in quanto spesso devono gestire resi di prodotti caratterizzati da una fragilità superiore alla media. Nel caso dei coni la fragilità sembra essere collegata con il processo produttivo, infatti è stata osservata una dipendenza tra con la quantità di residui presenti nel forno e l'incidenza di coni fratturati. Una forte dipendenza è stata evidenziata anche tra la formulazione della pastella e la variazione delle proprietà meccaniche. In modo particolare si è visto che i grassi idrogenati variano l'aereazione del prodotto e quindi cambiano la densità finale, che è in stretta dipendenza con le caratteristiche meccaniche. Sale e acqua regolano la viscosità della pastella, parametro importante nella lavorazione dei coni e nella loro qualità, mentre l'aggiunta di lattosio o siero di latte porta ad un aumento della resistenza meccanica del 3%. Tutte queste

casistiche hanno permesso un miglioramento della fase produttiva e del controllo qualitativo, causando allo stesso momento la possibilità di diversificare le produzioni, con l'obiettivo di soddisfare le richieste del mercato, pur mantenendo tutti i parametri organolettici e meccanici nella media.

Un ulteriore aspetto collegato con l'innovazione e la personalizzazione del prodotto è relativo alla presenza di differenti tipologie di trama sulla superficie esterna del cono. Questa caratteristica viene apportata durante la cottura nei forni di produzione e quindi una sua eventuale modifica non richiederebbe interventi invasivi lungo il processo produttivo ed andrebbe a soddisfare particolari richieste che possono essere presenti nel mercato.

In tale ottica l'obiettivo del seguente lavoro è stato quello di valutare se le differenti trame, impresse dalle aziende produttrici sui coni da gelato, influenzano le caratteristiche meccaniche dei prodotti. In modo particolare sono stati calcolati due indici quali: la tensione equivalente ed il modulo elastico, utilizzati comunemente per la caratterizzazione di un materiale. Le aziende produttrici, per quanto riguarda questa produzione specifica, pongono molta attenzione sulla trama che il prodotto deve avere al termine del processo produttivo, infatti attraverso essa si può soddisfare una particolare richiesta del mercato o il prodotto può essere differenziato da quello delle aziende concorrenti, per esempio con l'utilizzo, nella trama, del luogo di produzione. Le diverse tipologie di coni utilizzate nello studio sono state prodotte da una ditta collaboratrice e presentavano differenti superfici stampate



# Capitolo 1

## Il cono da gelato

### 1.1 Caratteri storici

I primi esempi di associazione tra il gelato e il wafer si possono ritrovare in Italia, precisamente durante il periodo del Rinascimento. Questo connubio, che consisteva in gelato con ostie di pane, venne poi introdotto da Caterina De' Medici anche in Francia. Negli altri stati la diffusione avvenne solo a partire dal 1600. In Inghilterra Mrs Marshall, celebre scrittrice culinaria, nel 1888 pubblicò un libro di cucina intitolato "Mrs A.B Marshall's cookery book" nel quale si può trovare una delle prime ricette relative a cialde ripiene commestibili. Si parla di cornetti ripieni di crema, gelato o sorbetto formati da un impasto di mandorle e cotti al forno, quindi differenti dall'attuale cono che non prevede l'utilizzo di questo ingrediente nella formulazione della pastella e viene premuto tra stampi e non cotto liberamente in forno. L'autrice pubblicò inoltre altre due trattazioni in merito alla produzione di gelato e brevettò una macchina di carattere produttivo. Nonostante le associazioni tra questi prodotti esistevano già da circa 200 anni, il gelato continuava, in Francia, Inghilterra e Germania, ad essere venduto in coni di carta, di metallo oppure in bicchieri di vetro, che tuttavia presentavano alcune problematiche come il rischio di rottura e soprattutto gli alti costi di produzione a carico del commerciante. La risoluzione di questo problema, che coincide con l'introduzione certa del cono da gelato in commercio, risale al 1913 quando a Washington D.C Italo Marchioni ricevette il brevetto Nr.746971, relativo all'invenzione del cono da gelato, che egli aveva venduto a partire dal 1896 in America. Marchioni nacque a Peaio di Vodo di Cadore il 21 dicembre 1868. Dopo la gioventù passata in Italia si trasferì in America alla ricerca di fortuna. In pochi anni divenne proprietario di tre ristoranti a New York, venne poi coinvolto in una truffa e perse tutti i suoi averi. Così concentrò le sue attenzioni nella gelateria, volendo inventare qualcosa che potesse sostituire i vari modi presenti per il consumo

di gelato. In quell'epoca questo prodotto era consumato durante i pranzi o le cene, quindi veniva servito in piatti o bicchieri, tuttavia si stava diffondendo anche il consumo in strada, mediante l'utilizzo delle stesse metodologie che però presentavano problemi di fragilità e alti costi. Per questo tipo di consumo si introdussero anche i classici coni in carta, che avevano però la caratteristica di generare troppo rifiuti. Per ovviare a queste problematiche Marchioni introdusse una macchina per la produzione di coni da gelato, nel brevetto si legge: «può essere particolarmente comoda per manipolare e modellare la pasta [...] in forme insolite che finora non sono mai state create, a causa della delicatezza della sostanza e della difficoltà di staccare la sostanza dagli stampi».

Anche se queste parole risultano ad alto carattere innovativo la sua invenzione non divenne subito largamente conosciuta e soprattutto non fu remunerativa come supponeva, sia per le problematiche legali che subì sia per le diverse attribuzioni dell'origine di questo prodotto. Nonostante queste cause, egli consentì di evitare perdite di capitale e ferite ai consumatori durante il consumo del gelato. Dopo l'introduzione del brevetto iniziò una lite nella famiglia Marchioni. Frank Marchioni, cugino di Italo e suo ex socio, era in società con Antonio Valvona che, nel 1902, aveva registrato il brevetto di un apparecchio per la cottura di biscotti per gelato con il n. 701776.

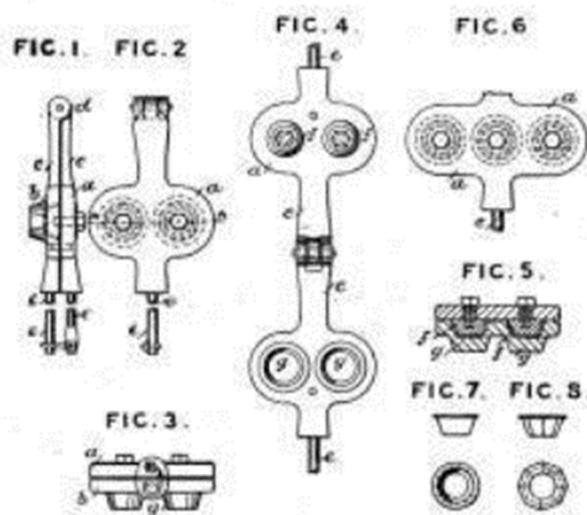


Figura 1: macchina brevettata da Valvona (U.S Patent nr 701776)

Frank Marchioni così accusò Italo di violazione del brevetto, portando così il caso in tribunale. Successivamente il giudice stabilì che Italo aveva ri-brevettato il cono di Valvona senza aggiungere nulla di nuovo, dando quindi ragione al cugino Frank. L'invenzione di Italo venne comunque utilizzata ampiamente anche se la sua importanza venne ricordata solo alla sua morte avvenuta nel 1954. In tale occasione il New York Herald Tribune pubblicò un articolo a lui dedicato nel quale si riportano le seguenti parole: "Italo Marchiony, ideatore del cono gelato e produttore di canditi, è morto ieri nella sua abitazione a Adolphus Ave". Nello stesso articolo si riporta anche la data relativa alla preparazione del primo cono che, secondo la famiglia Marchioni, risalirebbe al 1896, anno che anticiperebbe tutte le altre presunte invenzioni. Queste parole discostano l'attenzione dal brevetto, che era stato sede di problematiche legali e rafforzano la posizione di primo inventore. Nonostante tutte le problematiche Marconi, ai giorni d'oggi, è considerato ancora l'inventore più accreditato per questa categoria di prodotto, grazie al brevetto da lui richiesto durante i primi anni del 1900.

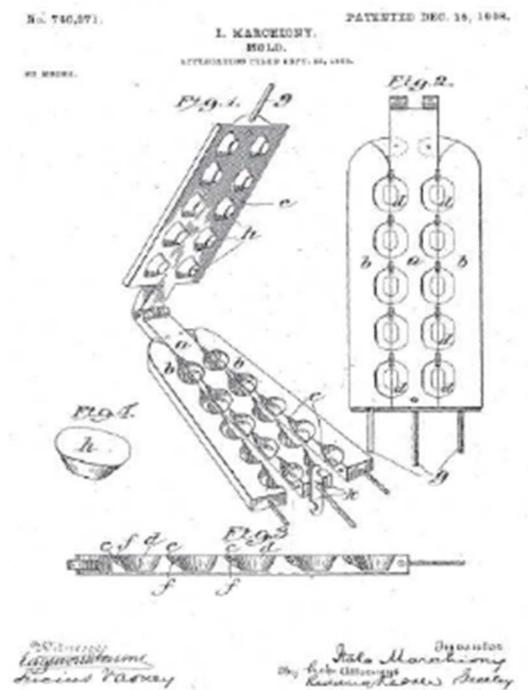


Figura 2: macchina brevettata di Marchiony (U.S Patent nr 746971)

L'introduzione di questo prodotto nel mercato non è però unica e certa, infatti alcune trattazioni riportano che i primi esempi di coni da gelato sono riconducibili alla fiera di Saint Louis, in Missouri nel 1904 denominata Louisiana Purchase Exposition. Questo evento fu un'esposizione mondiale delle più grandi innovazioni dell'epoca come: l'aeroplano, la radio, il telefono e i film muti. Allo stesso tempo però si caratterizzò anche per l'abbondanza dei prodotti alimentari. Secondo il New York Times si avevano torri di cereali, sculture in burro e palazzi di mais. Durante questo evento alcune fonti attribuiscono ad un pasticciere siriano, Ernest Hamwi, l'invenzione del cono da gelato. Hamwi produceva Zalabia, una pasta croccante di sciroppo cotto in stampi bollenti per wafer quando si accorse che il vicino venditore di gelato stava per finire i classici piatti. Così arrotolò un suo prodotto e vi ci pose del gelato, risolvendo in pochi istanti il problema del suo compagno. Questa storia però non ha verifiche scritte ma solo una lettera inviata dallo stesso protagonista nel 1928 all'Ice Cream Trade Journal ove si racconta dell'accaduto. A questa lettera non è stata data valenza storica visto che è stata scritta circa 25 anni dopo il brevetto di Marchioni, quando l'industria dei coni produceva 250 milioni di tonnellate all'anno e Hamwi era capo della Missouri Cone Company, fu quindi intesa come un tentativo per aumentare le produzioni aziendali. Allo stesso tempo, Menches, il gelataio che venne aiutato, però ha sempre sostenuto di aver arrotolato personalmente la Zalabia per primo, facendo i primi due coni della storia per una sua amica: uno per il gelato e l'altro per avvolgere un mazzo di fiori. Queste storie vanno poi ad aggiungersi alle dichiarazioni di diversi espositori della Fiera di St. Louis del 1904 che si attribuirono l'invenzione del primo cono. La storica Anne Cooper Funderburg, autrice di un libro sul gelato in America, sostiene che sia impossibile risalire alla verità: in quanto l'idea si è diffusa da uno stand all'altro della fiera. Nei primi anni del 1900 si iniziò così la produzione artigianale e industriale di questi prodotti innovativi, che erano stati introdotti sul mercato.

Nel 1912 si ha la prima produzione industriale di coni, che venivano arrotolati a mano e poi cotti. Solo nel 1928 Bruckman inventò una macchina per eseguire autonomamente questa azione. Negli stessi anni accanto alla produzione di coni da gelato per il commercio si voleva creare un utilizzo di questi prodotti anche per i gelati

congelati. Spica, un produttore di Napoli, nel 1959 permise anche questo utilizzo tramite uno strato isolante, di cioccolato, zucchero o olio, che veniva posto all'interno del prodotto da congelare per evitare un accumulo di umidità e quindi una perdita delle caratteristiche organolettiche e meccaniche del cono. Egli registrò il brevetto nel 1960 con il nome Cornetto. Anche in questo caso, come in quello di Marchioni, le vendite iniziali furono basse e non remunerative. Nel 1976 però la spica venne acquistata da Unilever e il prodotto si diffuse in tutto il mondo, attualmente è il gelato più conosciuto. (<http://www.ideafinder.com/history/inventions/icecreamcone.htm>)

## **1.2 Caratteristiche della pastella e sue peculiarità**

Come già detto in precedenza, il cono rientra nella famiglia dei wafer. Una tipologia di prodotti che è caratterizzata da una ricetta che prevede l'utilizzo di un impasto liquido, che viene classificato come pastella, in gergo tecnico. Questo impasto deve la sua caratteristica all'alta percentuale di acqua presente, si parla infatti di un 60 %. Il wafer viene prodotto in macchine rotanti, che in pochi minuti riescono a trasferire grandi quantità di calore e rendere così il prodotto secco e friabile. Attualmente questi impianti sono continui e quindi grande importanza è rivestita dalla formulazione della pastella, che viene poi utilizzata anche per la produzione dei coni da gelato. La sua composizione si sviluppa, fondamentalmente, su due principali ingredienti quali un'elevata percentuale di acqua e una frazione minore di farina (circa il 40%). Se si utilizzano 100 kg di farina si possono raggiungere, per alcune tipologie, i 150 kg di acqua addizionata. Prithchard (1973) afferma che possono essere utilizzate tutte le tipologie di farine, quelle deboli forniranno prodotti fragili mentre quelle più forti forniranno prodotti più duri e rigidi. Per semplicità produttiva si utilizzano farine con caratteristiche medie tra i due estremi, diminuendo così i casi di rottura all'uscita del forno o eccessiva fragilità durante il consumo. L'aggiunta alla pastella di amido proveniente da patate, riso, tapioca o mais aumenta la capacità dell'impasto di aderire allo stampo nella fase di modellamento, se si prevede l'utilizzo dell'amido del riso il prodotto diviene più croccante e resistente (Tiefenbacher, 2018). La pastella in fase di

preparazione è miscelata dentro mixer in tempi molto brevi (massimo 6 minuti), dipendenti solitamente dalla presenza/assenza di grumi. Al termine dell'aggiunta di tutti gli ingredienti, la pastella dovrà obbligatoriamente presentare l'assenza di grumi o parti filacciose, caratteristiche di paste agglutinate. Nel caso si presentassero tali caratteristiche si avrebbero problemi durante l'azione delle pompe volumetriche e quella degli ugelli distributori. Per evitare grumi e parti filacciose è opportuno utilizzare un mixer ben distribuito nella pastella, acqua a 20 °C ed aggiungere farina in modo dilazionato e lento (Wade,1988). Secondo Matz (1978) per l'ottenimento di una pastella ottimale si devono evitare alte temperature, basse velocità di miscelazione e tempi di impasto lunghi. A riguardo si ricorda che industrialmente si parla di un processo che dovrebbe avvenire entro 20 minuti, di norma.

Oltre agli ingredienti già descritti si ricordano altri componenti importanti per la produzione dei coni. La lecitina di soia, valido emulsionante, è comunemente utilizzata da molte realtà produttive e riveste un ruolo importante nel distacco del prodotto dallo stampo; se si utilizza quella in pasta, solitamente, si ha un pre-miscelamento in olio. E' noto che la frazione in olio sia la principale artefice del distacco dallo stampo e non la sola lecitina, tuttavia un suo eccesso potrebbe causare una diminuzione della stampa che caratterizza il prodotto (Lanza,2008). In alternativa si possono usare uova o farina di soia; in particolare, secondo Manley (1977), quest'ultima è utile in tutte le formulazioni come ingrediente sostitutivo delle uova. L'aggiunta di questi componenti deve poter essere valutata anche attraverso un'attenta analisi del fenomeno della rancidità, visto che spesso questi prodotti sono destinati alla massima esposizione all'aria, soprattutto durante le ultime fasi produttive. Alcune aziende produttrici, se aggiungono tali ingredienti, aggiungono antiossidanti per evitare tale fenomeno indesiderato. Nelle pastelle più comuni si aggiungono anche zuccheri e latte in polvere che contribuiscono alle caratteristiche organolettiche e meccaniche dei prodotti. L'azienda collaboratrice cambia la percentuale di questi componenti per produrre diverse tipologie di cono, ottenendo così particolari caratteristiche di croccantezza. Studi di Huang et. all (1990) riportano che l'aggiunta di zuccheri è in contrasto con l'azione provocata dall'utilizzo di lipidi nella pastella. Le due componenti in questione

vanno quindi modulate secondo gli aspetti richiesti e la realtà produttiva Karl F. Tiefenbacher (2018) afferma che l'aggiunta in basse percentuali di saccarosio è in grado di influenzare il colore e le caratteristiche meccaniche del prodotto, ma dal punto di vista industriale richiedono poi una maggiore frequenza nella pulizia degli stampi. Si ricorda che la percentuale di zuccheri in una pastella da coni è al massimo pari al 20 % della farina utilizzata, valori maggiori si possono utilizzare quando la trama finale del prodotto non è troppo articolata. Nei coni gelato attualmente non sono utilizzati dolcificanti intensivi come aspartame o Stelvia, vengono preferiti quelli naturali e con meno potere dolcificanti. Nella formulazione si aggiungono poi agenti lievitanti come bicarbonati di sodio o ammonio, che permettono la diffusione su tutto lo stampo e la presenza di bolle d'aria che caratterizzano la struttura di wafer e coni, il primo agente però rilascia una parte di sale neutro che condiziona il Ph e fa variare la colorazione verso il giallo, utile e caratteristica dei coni da gelato. La percentuale di utilizzo varia da 0.15 a 0.5% della farina utilizzata. Alti livelli di sodio bicarbonato diminuiscono il peso e la stabilità del cono mentre bassi quantitativi aumentano la capacità di adesione allo stampo e quindi la riuscita della stampa. Se si utilizza ammonio bicarbonato si hanno percentuali di utilizzo pari allo 0.1% della farina utilizzata, valori maggiori creano problematiche relative al distacco del prodotto dallo stampo, questo ingrediente è in grado di neutralizzare l'acidità della farina o di altri ingredienti. Solitamente nella preparazione di una pastella non si prevede l'utilizzo di aromi visto che poi subirebbero una veloce evaporazione e quindi non potrebbero rientrare nelle caratteristiche del prodotto finale. In rari casi si prevede l'utilizzo di fibra alimentare che aumenta la flessibilità e la resistenza di coni di grandi dimensioni (F Tiefenbacher,2018). La fibra utilizzata deve presentare la stessa granulometria della farina utilizzata e per svolgere l'effetto non deve superare il 2,5 % di essa.

Alcune aziende produttrici utilizzano coloranti per stabilizzare l'aspetto del prodotto nel tempo, si ricordano a riguardo caramello solfito ammoniacale E150d ed estratto di paprika. L'aggiunta di carbonato di magnesio E 504 è utile nella fase di distacco dallo stampo, nel caso di pastelle atipiche. Questo ingrediente, considerato tra quelli minori

viste le percentuali di utilizzo (0.7% della pastella), ha un'importante azione nella protezione del prodotto dall'umidità esterna.

### 1.3 Tipologie di prodotti

Si possono differenziare due tipologie produttive per questo prodotto (figura 3). La prima raggruppa tutti i coni che presentano un basso contenuto di zuccheri o l'assenza di questi componenti tali coni vengono definiti coni stampati. La seconda tipologia raggruppa i prodotti con alto quantitativo di zuccheri, si parla di una quantità maggiore a 20 parti su 100 parti di farina. Questi prodotti solitamente sono definiti croccanti o vengono utilizzati per i coni arrotolati.



Figura 3: coni stampati e arrotolati (catalogo Disfida)

Per molti anni entrambi questi prodotti hanno presentato una trama geometrica regolare, spesso con il fondo piatto e l'imboccatura che era rappresentata da una circonferenza regolare, tuttavia negli ultimi anni si è sviluppata un'innovazione di prodotto, partita dal Giappone, che ha portato alla nascita di coni con geometrie particolari e strutture non circolari nella sommità. Oggi tra coni stampati e arrotolati, la varietà è estremamente ampia. Esistono molte forme differenti che si possono elencare a partire dalla tipologia definita classica, di forma geometrica regolare con bordi lisci o decorati e avente l'imboccatura della coppa regolare. Si ricordano poi i bicchieri o

coppe tronche e i cestini. Alcune tipologie presentano, nel bordo interno, un'utile trama geometrica che ha lo scopo di trattenere il gelato in superficie evitando che scivoli lungo le pareti interne. Anche le dimensioni sono molto differenti si può parlare di diametro dell'imboccatura o lunghezza totale che può andare dai 100 millimetri dei più piccoli agli oltre 200 millimetri dei maxi-coni (Figura 4)



Figura 4: tipologie di coni

Negli ultimi anni sono stati introdotti coni di diversa forma o variamente aromatizzati o decorati. Come esempio si possono ricordare prodotti con il bordo rivestito di glassa al cacao che a sua volta può essere arricchita da granella di nocciole tostate, scaglie di cocco, piccole praline di zucchero bianco o colorato (Figura 5). Queste innovazioni stanno portando il cono dalla sola funzione di supporto verso quella più articolata di prodotto dolciario.



Figura 5: coni pralinati

## 1.4 Metodologia produttiva

In questa trattazione prenderemo in considerazione solo la tipologia dei conigli stampanti in quanto oggetto del seguente lavoro sperimentale. In figura 6 è presente un sintetico diagramma produttivo, relativo alla tipologia di matrice descritta.

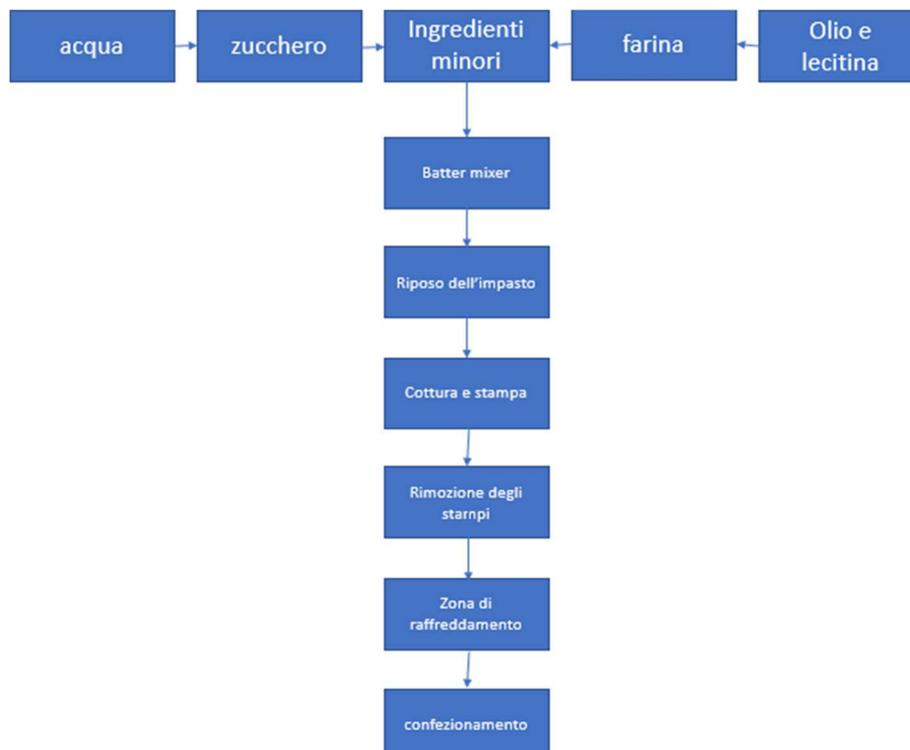


Figura 6: diagramma produttivo

La prima fase produttiva, comune tuttavia ad entrambe le tipologie, avviene in uno strumento detto batter mix ove si collocano aromi, lipidi, acqua e polveri secondo la ricetta. Gli ingredienti non vengono aggiunti liberamente ma seguono una sequenza precisa che evita la formazione di una pastella disomogenea che non fornirebbe un prodotto idoneo. Nella tabella seguente si riporta un esempio di sequenza di formulazione proposta da Tiefenbacher, 2018.

Sequenza	ingredienti	percentuale
1	Acqua	130-150
2	Zucchero	0-3
2	Caramello	0-1
2	Uovo in polvere	0-1
2	Uova fresche	0-3.5
2	sale	0-0.75
2	Latte in polvere	0-1
2	Bicarbonato di Sodio	0.15-0.6
2	aromi	0-0.05
2	Farina di soia	0-3
2	Lecitine in polvere	0-4
2	amido	2-30
3	Farina di grano	100
4	fibra	0-1.5
4	Lecitine fluide	0.2-1.2
4	Oli e lipidi	0.5-2.5

La scelta dei vari ingredienti dipende dalle caratteristiche dei mezzi produttivi e da quelle di alcuni tra i principali ingredienti. Riguardo il secondo caso si ricordano le variazioni dovute alla durezza e conducibilità dell'acqua, alle caratteristiche della farina o del glutine utilizzato. Vi sono poi variazioni della ricetta dovute a particolari aspettative di colore, sapore e odore da parte dei consumatori. Il tutto subisce poi miscelazione e si ottiene così una pastella. In commercio esistono vari tipi di batter mix, la differenziazione si articola in impianti continui o discontinui. Nei primi la miscelazione di tutti gli ingredienti avviene nello stesso momento, mentre nei secondi l'aggiunta di acqua avviene in un impianto separato da quello in cui le polveri sono miscelate (Figura 7).



Figura 7: sistema miscelazione continuo (a) e sistema discontinuo (b)

Una volta preparata la pastella questa viene immessa in appositi contenitori, attraverso i quali poi viene inviata nei forni di cottura, negli impianti di carattere artigianale la pastella è immessa direttamente all'interno dei forni. Il processo deve essere svolto in tempi rapidi, inferiori ad un'ora. In questo modo si evitano fermentazioni incontrollate e indesiderate attuate dai microorganismi ed enzimi presenti nella farina. Il forno di cottura è caratterizzato da una serie di stampi che si muovono in un binario precostituito e vengono riempiti con la pastella. Il loro riscaldamento può essere elettrico o tramite fiamma e il materiale che li costituisce è la ghisa che si adatta alle alte temperature di processo. Lo stampo inferiore detto femmina è caratterizzato da una trama che poi si definirà all'esterno del prodotto finale, è formato da due semi-stampi che poi si apriranno al termine della cottura in modo da rilasciare il cono su di un nastro di raffreddamento. Le aziende di medie dimensioni spesso utilizzano più forni, ognuno con stampi di una specifica trama, quelle di minor dimensione invece sono costrette a cambiare gli stampi nel momento in cui si vuole definire un'altra tipologia di cono. Lo stampo superiore, definito maschio è invece in ottone e si colloca sopra la pastella fino a quando la cottura non sarà terminata. La temperatura di cottura varia da 180 a 205 °C ed è mantenuta per un massimo di due minuti. Il processo di cottura si può dividere in tre parti, nei primi 15 secondi si perde l'umidità presente in modo rapido viste le alte temperature, in questo modo si definisce la struttura tipica di questi prodotti (Mohammed,2011). Dopo la prima fase si hanno le ultime due ove il

prodotto definisce la sua colorazione e le sue caratteristiche sensoriali (F Tiefenbacher,2018). L'umidità finale sarà del 2% e garantirà l'aspetto croccante del cono. Se la prima fase non avviene in modo idoneo si avranno migrazioni di umidità all'interno del prodotto, con formazione di micro-fessure che causeranno gravi variazioni alle caratteristiche meccaniche del prodotto. Al termine della cottura seguirà poi il confezionamento dopo un periodo definito di raffreddamento, indispensabile per evitare problematiche relative alla perdita di caratteristiche ricercate. Il confezionamento si rende necessario quando si parla di prodotti altamente igroscopici come i wafer o i coni gelato. Una delle funzioni svolte dall'imballaggio è proprio quella di proteggere il prodotto dall'umidità esterna, che causerebbe una perdita delle proprietà meccaniche. Se l'assorbimento di umidità avviene fino al 6 % si hanno rigonfiamenti e possibili rotture del prodotto sopra questo valore si hanno poi le perdite indesiderate riguardanti le caratteristiche meccaniche (F Tiefenbacher,2018). Si ricorda che il solo cartone non soddisfa questa protezione, visto la sua natura igroscopica, quindi i prodotti sono immessi in buste di plastica idonee. Una seconda azione svolta dal materiale di imballaggio è quella protettiva, infatti la natura croccante del prodotto lo rende poco resistente agli urti esterni, è quindi necessaria una protezione che attutisce questi urti. Il confezionamento permette anche di evitare l'assorbimento da parte del prodotto di odori non graditi, che vista l'igroscopicità del cono lo contaminerebbero facilmente. Infine il prodotto è protetto dall'aria e dalla luce, evitando così i problemi dovuti alla rancidità. F Tiefenbacher,2018 ricorda che se questi prodotti sono mantenuti in un luogo fresco e asciutto possono avere una shelf life di 6 mesi. Questo tempo è però dipendente dalla qualità degli ingredienti, dal processo produttivo e da un sistema di imballaggio idoneo. Un fattore molto importante, che riguarda la fase di cottura, è quello relativo ai residui presenti all'interno del forno dopo un ciclo di produzione, essi oltre a deprezzare visivamente il prodotto, visto che spesso sono parti imbrunite o carbonizzate, e mutare i caratteri di trasmissione termica, alterano negativamente le caratteristiche di resistenza a rottura del prodotto. Un'azienda del territorio attraverso un programma di campionamento interno, che prevede il prelievo di un numero determinato di campioni ad ogni ora produttiva riesce a evitare la problematica dei residui e quindi il deprezzamento del

prodotto. I campioni prelevati vengono sottoposti a prove di resistenza, tramite Texture Analyzer e i dati raccolti vengono immessi in un foglio di calcolo che poi permette di valutare il momento in cui si deve prevedere la pulizia dei forni e degli stampi produttivi.

### 1.4.1 Tipologia degli impianti di cottura

Vi sono tre tipi diversi di impianti di cottura dei conì, si parla infatti di macchinari:

- manuali,
- semi-manuali
- automatici

I primi (figura 8) sono adatti a piccole produzioni e sono molto adattabili anche a diverse forme di produzione. Si ha un riscaldamento elettrico e la produzione può arrivare a 700 conì all'ora, si compongono di: dosimetro per la gestione della pastella, controllo termico automatico e regolatore di temperatura. Questi impianti sono definiti manuali visto che la chiusura degli stampi e l'apertura avviene azionando una leva di carattere manuale.



Figura 8: macchina manuale (Catalogo Haas)

La seconda tipologia (figura 9) di macchina invece viene definita semi-manuale, gli stampi sono intercambiabili il riscaldamento può avvenire anche attraverso il gas, sono impianti di maggiori dimensioni rispetto i primi, si ricorda infatti una produzione oraria che può arrivare a 5500 pezzi. Sono simili alle precedenti in termini di apertura e chiusura degli stampi, tuttavia spesso vi sono pistoni pneumatici che aiutano l'operatore durante le fasi di carico e scarico del prodotto.



Figura 9: macchina semi-manuale (catalogo Gabbrielli)

L'ultima tipologia di forno è quella automatica (figura 10) che si adatta a tutti i tipi di coni e cialde, molto valida anche per i coni arrotolati. La fase di iniezione della pastella e le fasi di apertura e chiusura in queste macchine avvengono su di un nastro orizzontale, il movimento dei cursori è verticale e non più rotativo. Queste macchine, a differenza delle altre, hanno anche ventilatori ad alta pressione che permettono di distribuire il calore in modo omogeneo. Per quanto riguarda la produzione oraria si parla di un massimo di 17000 pezzi. Oltre al classico dosatore, queste macchine operando in continuo, non tollerano la presenza di grumi in pastella, così viene spesso collocato un filtro al termine del dosatore. Tutte le fasi sono automatizzate e si concludono con il collocamento in file dei coni prodotti, che poi verranno immessi all'interno dei sistemi di confezionamento. In alcuni casi il prodotto prima di essere

confezionato subisce un trattamento con zucchero vanigliato che evita l'adesione tra le parti. Quest'ultima tipologia è caratterizzata da un'ampia possibilità di adattabilità a varie produzioni e soprattutto si distingue dalle altre per l'automatizzazione e quindi la standardizzazione di produzione, che riveste importanza significativa nel caso di grandi produzioni.



Figura 10: macchina automatica (Catalogo Opessi)

### **1.5 Metodologie di stampa dei coni gelato**

Nel settore dolciario quando si parla di stampa o decorazione di prodotto si possono annoverare diverse tipologie di azione. Lanza nei suoi studi le diversifica notevolmente soprattutto in base al diverso tipo di prodotto su cui avvengono. Nei biscotti a pasta dura si hanno dorature e accoppiamenti con creme anche di vario tipo, questa possibilità è data dalle caratteristiche della matrice che sono adatte a molte soluzioni decorative. Quando si parla invece di biscotti a pasta molle o molto molle, settore in cui rientrano i coni gelato, si hanno forti limitazioni nelle decorazioni, causate dalla fragilità del prodotto. Spesso le decorazioni si limitano a trame superficiali e solo in alcuni casi la matrice viene usata come base per la struttura a sandwich. Nella

trattazione seguente la matrice studiata attualmente non prevede l'uso di particolari decorazioni, escludendo i casi di coni pralinati, ove particolare attenzione deve essere riposta alle caratteristiche apportate dal cioccolato, che non devono includere un cambiamento della resistenza del prodotto. Notevole importanza nei coni gelato è rivestita dalla stampa sul prodotto, che può essere di trama regolare o più articolata, in alcuni casi si riportano anche denominazioni dell'azienda produttrice o del luogo produttivo che hanno forti valenze commerciali, rispetto a prodotti neutri. In questo caso non si parla di stampa alimentare classica, ossia quella che prevede l'uso di inchiostri alimentari, adottata nella produzione di biscotti ma di una stampa che avviene grazie alla struttura interna dello stampo di cottura. Grazie a questa trama il prodotto, dopo il processo di cottura, avrà una trama ben definita che lo caratterizzerà e gli permetterà di essere differenziato dalle altre tipologie. In figura 11 sottostante si possono vedere alcune principali tipologie di trama del prodotto, che lo differenziano anche sulla base del luogo di produzione che è riportato sulle tipologie più vendute da questa azienda ed imprime un particolare legame con il territorio.



Figura 11: differenti trame di stampa.

## 1.6 Principali problematiche dei coni

Durante la produzione di questi prodotti si possono verificare problematiche relative a prodotti non idonei, che spesso non assicurano le caratteristiche meccaniche ricercate oppure presentano sapori non graditi. Se il prodotto presenta una colorazione non uniforme la causa potrebbe essere dovuta ad una cottura non idonea oppure un eccessivo quantitativo di umidità residua rimasta all'interno del prodotto all'uscita dallo stampo. Tiefenbacher (2018) suggerisce di diminuire il quantitativo di acqua nell' impasto o aumentare il tempo di cottura dell'impasto per evitare questo difetto di colorazione. Una problematica più grave è quella che riguarda la mancanza di caratteristiche meccaniche, secondo F.Tiefenbacher (2018) le cause sono da ricercare in un eccesso di acqua o di lievito nell'impasto oppure in una cottura eccessiva che ha reso la struttura più fragile. Se la quantità di acqua è eccessiva il prodotto avrà un'umidità non idonea che tenderà a migrare durante la fase di stoccaggio, se la migrazione sarà lieve si avranno prodotti deformati spesso ovalizzati, se invece la migrazione sarà più marcata vi saranno casi di rottura. Lo stampo riveste ampia importanza in questo prodotto, in alcuni casi se i due stampi non sono centrati si avranno coni con diversi spessori e quindi caratteristiche non idonee, questa caratteristica può essere data anche da stampi consumati dai sistemi di pulizia troppo invasivi. Infine si può poi ricordare il problema relativo alla deformazione del prodotto all'uscita dello stampo, l'eccesso di zuccheri può causare questa problematica che si può evitare utilizzando edulcoranti più intensi quindi vanno usati in minor dosi o con l'utilizzo di aria fredda capace di ri-cristallizzare il modo più veloce lo zucchero presente nei coni. Come si può capire la matrice in questione presenta una facilità di gestione del rischio chimico e microbiologico ma stessa cosa non si può dire riguardo alla capacità di mantenere le sue caratteristiche nel tempo, infatti si hanno alcune reazioni favorite come: la rancidità, l'aumento o la migrazione di umidità e l'assorbimento di odori non graditi, lo svolgersi di queste azioni porterebbero ad un rapido deprezzamento del prodotto.



## Capitolo 2

### **Analisi della texture**

#### **2.1 Caratteri relativi alla texture del prodotto**

Riguardo questa tipologia di prodotto, notevole importanza è rivestita dal controllo di qualità relativo alla misura delle caratteristiche riguardanti la texture e la conformazione del cono da gelato, che sono direttamente correlate con la metodologia di conservazione, che prevede l'isolamento da fonti di luce dirette e soprattutto l'isolamento da luoghi con alti livelli di umidità relativa, che causerebbero una perdita di caratteristiche desiderate. La croccantezza al primo morso è una tra le caratteristiche più ricercate dal consumatore, le aziende produttrici valutano questo aspetto di notevole importanza e predispongono metodologie di analisi specifiche. Nel mondo si hanno diversi parametri di preferenza, vista l'artigianalità di questa produzione, in Nord Africa si preferisce una croccantezza maggiore rispetto il Nord America; quindi si devono valutare anche tali differenze per poi soddisfare le esigenze dei vari consumatori. La texture è definita da vari caratteri all'interno di questa matrice come: lo stato vetroso, l'alta porosità e gli ingredienti utilizzati nella ricetta. Lo stato vetroso è definito dopo cottura, dato dalla bassa percentuale di umidità residua, secondo Slade e Levine (1991) questo stato è definito dalle proteine e dall'amido presenti in matrice. Lo stato vetroso è definito fino ad un tenore di umidità del prodotto pari a 6 %, si ha poi il passaggio verso lo stato gommoso, che non permette più di avere le caratteristiche ricercate. Un altro carattere che influenza la texture è la porosità, che si crea durante il processo di cottura, grazie ai sali immessi come agenti lievitanti, una lievitazione naturale non sarebbe attuabile viste varie limitazioni date da l'elevato tenore zuccherino della matrice e tempi maggior rispetto la lievitazione chimica. La struttura si può dividere in parte superficiale formata da pori di piccole dimensioni e densi, poi di ha una seconda parte più interna che è caratterizzata da pori di maggiori dimensioni. La loro combinazione definisce le caratteristiche del prodotto di

croccantezza e facilità di rottura all'applicazione di una forza. Questi caratteri di matrice sono anche determinati dagli ingredienti scelti in preparazione, se si va ad aumentare il peso dell'impasto attraverso l'uso di alcuni ingredienti il prodotto finale presenterà diverse caratteristiche. Riducendo la quantità di bicarbonato di sodio, impiegato nella ricetta si avrà una minore lievitazione, nello stampo di avrà quindi una quantità maggiore di impasto e il prodotto finale avrà maggiore peso, tuttavia non si deve eccedere nella diminuzione perché altrimenti si avrebbe una mancanza strutturale. In alternativa si possono usare amidi con alti punti di gelatinizzazione, che creano una struttura con maggiore densità (Van der Sman,2016). In alcuni casi invece è possibile aumentare il peso tramite l'azione chimica di alcuni composti che incrementano le possibili interazioni tra i componenti; si ricorda l'uso di sostanze chimiche quali ioni bivalenti, anche presenti nelle acque dure, che permettono di creare legami con proteine e zuccheri che rafforzano la struttura. Fibre e albume d'uovo riducono la fragilità del prodotto, tuttavia non vengono utilizzate. Si hanno anche modificazioni allo stato vetroso, se si aggiungono piccole quantità di saccarosio si ha un aumento di croccantezza e la distribuzione è su tutta la struttura del prodotto. La modificazione della struttura può essere definita anche dall'azione biologica di enzimi (Hansen,2008) quali alfa-amilasi termostabili che modificano la struttura di matrici a basso contenuto di zuccheri, si migliorano le caratteristiche di croccantezza e di solubilità all'interno del cavo orale.

## **2.2 Misura dei caratteri relativi alla texture**

I coni hanno una bassa attività dell'acqua intorno allo 0.2-0.3, sono però molto deperibili a causa dell'elevata capacità di assorbimento dell'umidità che porta ad una perdita delle caratteristiche ricercate ed a una espansione del materiale (Barron, 1977). Martinez e Navarette (2004) affermano che il limite relativo al mantenimento delle caratteristiche volute, nel caso di coni e wafer si colloca al 6 % di umidità, se si arriva poi al 12% si ha un collasso della struttura e una perdita di tutte le caratteristiche

ricercate (figura 11). La facilità con cui avviene il mutamento delle caratteristiche obbliga ad un condizionamento prima di ogni misura della texture, i campioni sono infatti collocati per 24 ore a 22-25 gradi in condizioni definite di umidità, in modo da stabilizzare il prodotto.

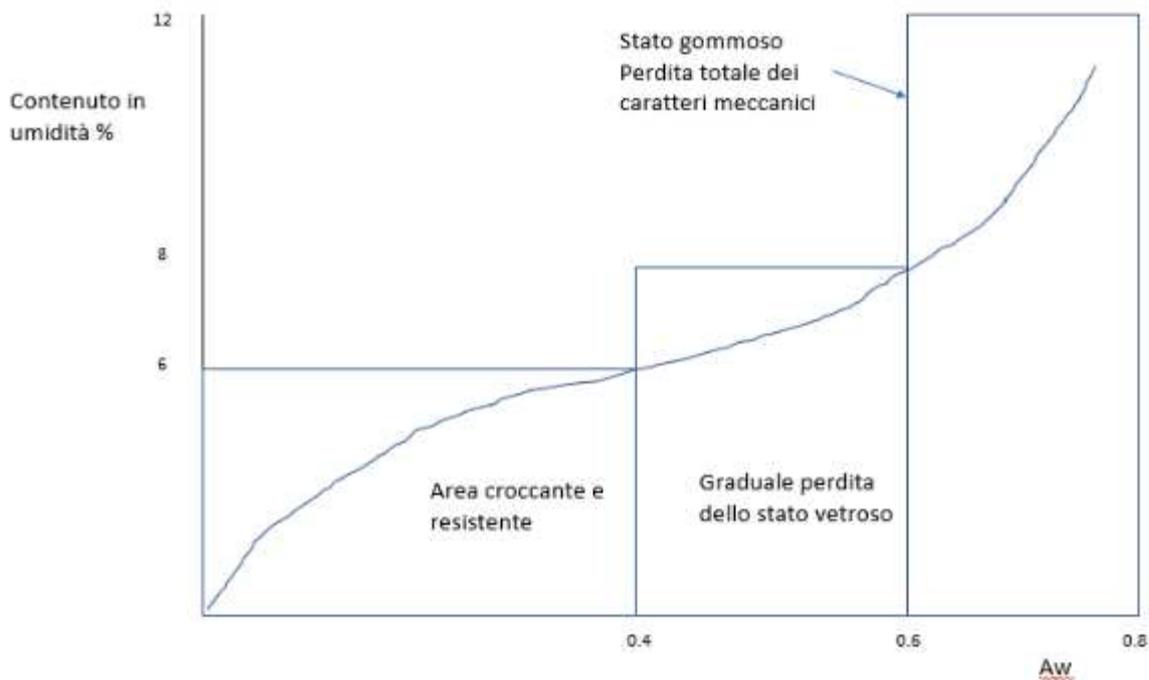


Figura 11: assorbimento umidità e caratteri di texture di una cialda.

### 2.2.1 Analisi sensoriale

Questa analisi non appartiene a nessun procedimento regolamentato in merito a questa matrice, tuttavia riveste notevole importanza per la caratterizzazione del prodotto e per la soddisfazione delle richieste del cliente. Generalmente si utilizza un vocabolario definito dal panel, per avere un'analisi oggettiva e utilizzabile in assenza di giudizi soggettivi. Attualmente si ricercano nuovi prodotti come coni senza grassi idrogenati o con specifici ingredienti come il carbone vegetale che tuttavia devono rispettare le

prove meccaniche relative alla texture ma anche prove sensoriali che valutano odori, sapori e aspetto all'interno di specifiche conformità.

### **2.2.2 Analisi meccaniche**

Come già trattato in precedenza la superficie dei coni è caratterizzata da due estremità che sono caratterizzate da piccoli pori che assicurano una maggiore densità e una centrale caratterizzata da pori di dimensioni maggiori, questa differenza poi caratterizza la metodica di analisi della texture. La combinazione tra queste due strutture assicura il carattere croccante ma cedevole di questa matrice. I test condotti sono volti alla verifica del processo produttivo e si cerca di sceglierli in modo da avvicinarsi alle condizioni di consumo reale, un test che si adatta a queste richieste è quello del bending test. Generalmente i test adottati si basano sulla misurazione delle caratteristiche di penetrazione, compressione, rottura e analisi sonora della rottura di coni da gelato.

### 2.2.2.1 Origine e sviluppo dei test meccanici nella storia

L'applicazione di questi test è relativa soprattutto al settore edilizio ove sono presenti già da molti anni vari studi riguardo le caratteristiche di compressione e trazione di materiali come calcestruzzo o travi in diverse conformazioni. Da qualche decennio le stesse caratteristiche vengono valutate nel settore alimentare, dove in particolari matrici, come i coni gelato rivestono notevole importanza. Un altro settore ove questi test vengono applicati è quello relativo ai materiali di confezionamento, per alimenti ma anche per altre destinazioni. Nella storia i primi studi relativi al comportamento di un corpo, in seguito alla forza da lui subita sono da attribuire a Hooke, che tramite la formula relativa alla costante elastica di un corpo afferma la diretta proporzionalità tra forza applicata (F) e deformazione subita ( $\Delta x$ ).

$$K=F/\Delta x$$

Questa relazione non è applicabile in tutte le situazioni di studio, infatti è valida nella zona ove il corpo ha un comportamento elastico, nel caso di wafer e coni gelato questa zona è limitata e quindi si devono valutare anche altri parametri. Superata la zona di validità della legge il corpo subisce una deformazione irreversibile, definita plastica. In un grafico forza- deformazione si può definire il modulo di Young, che caratterizzerà ogni materiale e quindi il suo comportamento. Il carattere di elasticità nei coni gelato non è valutato con massima importanza visto che valori elevati, annullerebbero le caratteristiche del prodotto. Hooke con questi studi introdusse una nuova visione del problema galileiano della leva angola, si capì infatti che il corpo appeso ad un'estremità della mensola subisce delle deformazioni prima di rompersi, che non riguardano semplicemente l' allungamento delle fibre superiori e l'accorciamento delle fibre inferiori come affermato da Mariotte (1620-1684) ma uno sviluppo simile, che però si differenzia a causa di una fibra neutra che rimane nella uguale alla sua lunghezza iniziale durante tutta la deformazione subita, questa ipotesi è attualmente definita come valida ed è stata promossa da Coulomb. Dopo questi studi si può parlare di fibre superiori o inferiori che mutano in base alla distanza dall'asse neutro, si

introduce in momento interno che si oppone a quello esterno, definito tramite la forza applicata. Queste considerazioni si applicano ai vari test condotti per la validazione di processo e attestazione dei parametri di qualità che di seguito verranno elencati

### 2.2.2.2 Test a flessione

Il test preso in considerazione in queste righe è quello che più si avvicina al problema galileiano, mentre gli altri si adattano alla teoria sviluppata successivamente riguardante le fibre interne di un materiale. Il campione a differenza degli altri test è vincolato ad un supporto rettangolare, si ha quindi una disposizione a mensola. La velocità di avanzamento è importante perché permette di valutare con maggiore o minore precisione la struttura del campione, si hanno velocità comprese tra 10 e 30 mm/minuto. Quando il cursore tocca il campione la struttura si deforma in modo elastico e infine si rompe. Da questo test si possono ricavare informazioni utili riguardanti la flessibilità e la massima forza di rottura. Lo strumento che imprime la forza sul campione, spesso ha cursori terminali intercambiabili. Viste le caratteristiche della matrice, in questione, si usano cursori di medie dimensioni come sfere di 25 mm di diametro, questo per eliminare le differenze tra i vari campioni presenti a causa della trama di superficie, che non sempre è omogenea su diversi campioni.



Figura 12: esempio di test a flessione

### 2.2.2.3 Bending tests

Questo tipo di test è molto utilizzato nell'analisi delle caratteristiche di un alimento. Il campione viene sospeso tra due supporti rettangolari e subisce una forza di carico in uno o due punti, con orientamento normale alla sua direzione (figura 10)

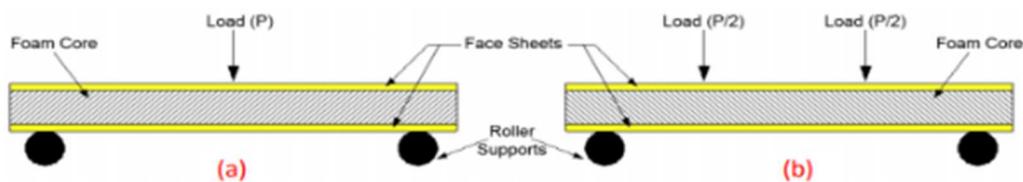


Figura 13: binding test a tre (a) e quattro (b) punti (Mohammed, 2011).

Il cursore si muove generalmente a velocità compresa tra i 10 e 30 mm/s e ha una forma cilindrica, disposta con la sua altezza parallela al campione. Durante l'esecuzione del test sia la distanza tra i due supporti sia lo spessore del campione devono essere costanti per eliminare possibili errori dovuti alle differenze significative tra i campioni. Quando il cursore intercetta la superficie la struttura si deforma per un certo periodo in modo elastico e poi avviene la rottura, vista l'assenza di carattere plastico, si ottengono così informazioni sulla flessibilità di prodotto e la massima forza di rottura. Nel caso in cui si analizzano solo alcune sezioni di cono il cursore può essere differente anche di medie dimensioni, come nel caso studiato in questa trattazione.

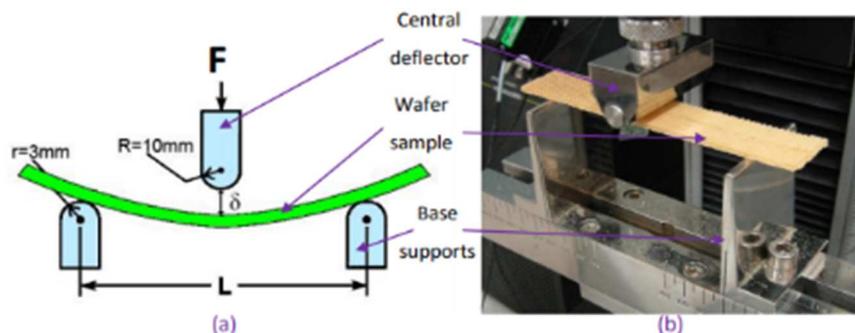


Figura 14: particolare test su wafer (Mohammed, 2011)

Questo tipo di test è in grado di fornire diverse curve forza spostamento che permettono di analizzare il comportamento dei vari campioni. Questi grafici (figura 12) sono caratterizzati da uno sviluppo esponenziale nella prima parte che termina con il punto di limite elastico, che in letteratura si riporta come yield point, poi vi sono alcune zone irregolari dovute alla composizione interna della matrice (Mohammed, 2011) e infine vi è il raggiungimento della massima forza raggiunta, che coincide con la rottura definitiva. Nel tratto lineare che precede lo yield point si ha una derivata costante  $b$  ( $\Delta F/\Delta S$ ).

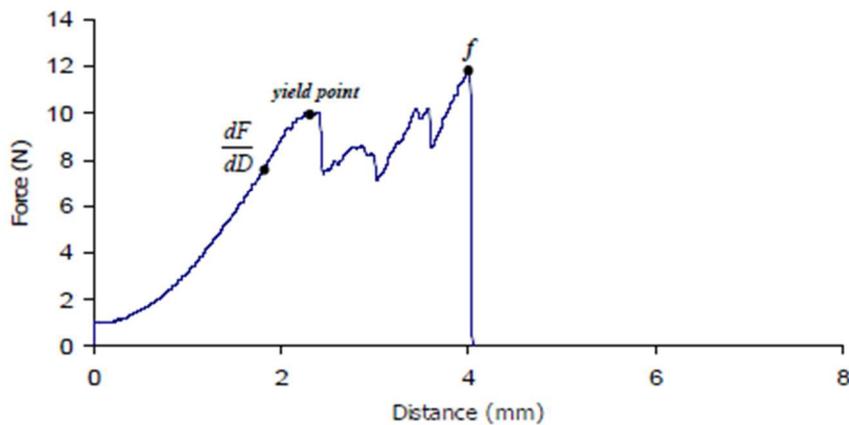


Figura 15: esempio di grafico forza spostamento (Gradari, 2008)

#### 2.2.2.4 Test di penetrazione

In questo tipo di test un cursore metallico, di area definita, si muove verso il campione che è posto su di un piedistallo di supporto. Il cursore si muove sulla normale al piedistallo. L'area su cui agisce la forza è molto limitata e permette molto spesso di valutare lo stato di maturazione dei frutti, in questo caso si parla di uno strumento chiamato penetrometro (figura 16).

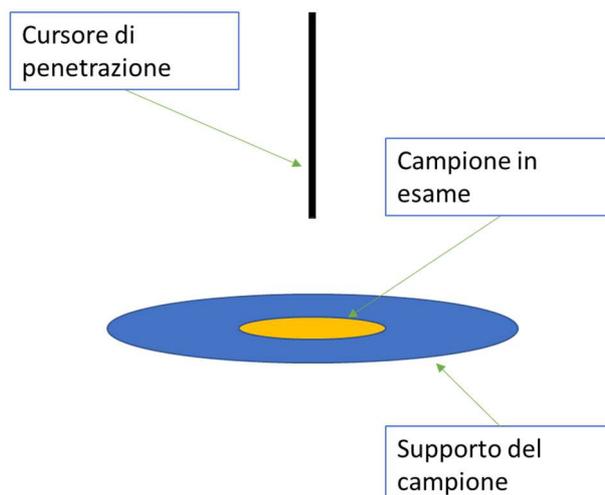


Figura 16: esempio teorico del test

In questo test si può misurare la massima forza richiesta per la penetrazione, che però cambia notevolmente in base alla struttura dei diversi campioni, quindi si devono considerare numerose repliche al fine di ottenere un dato statistico significativo. In figura 17 si riporta un esempio di applicazione in un prodotto caseario, ove la valutazione della consistenza e delle caratteristiche di superficie rivestono particolare importanza.



Figura 17: test di penetrazione (catalogo FTC)

### 2.2.2.5 Test di compressione

Un disco piano, si muove in direzione normale al piedistallo ove è collocato il campione e si ha una misurazione della forza di compressione. Riguardo la velocità di avvicinamento del cursore essa assume valori variabili, spesso compresa tra 30 e 50 mm/minuto. Questo campo di variazione permette di adattarsi alle varie matrici e ai vari scopi di studio (figura 18)

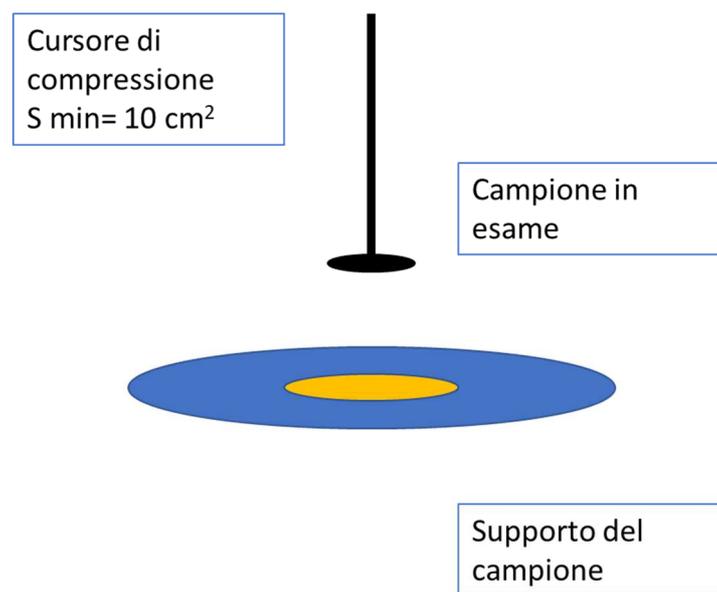


Figura 18: esempio di test

Il cursore si avvicina al campione e inizialmente deforma la struttura centrale, poi si ha rottura della parte superficiale più densa e infine si ha la rottura totale di tutti i legami che creavano la struttura. In figura 19 si riportano gli studi di Mohammed relativi ai wafer.

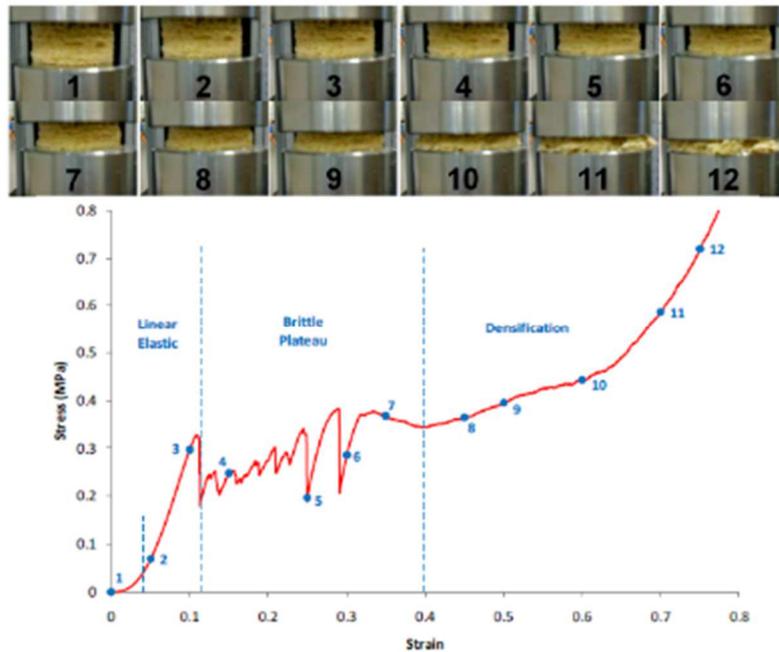


Figura 19: test di compressione su wafer (Mohammed,2011)

Come si può vedere dal grafico forza-deformazione vi sono tre differenti zone definite come: zona elastica, zona plastica e l'ultima zona che non presenta una particolare denominazione visto che non riveste particolare importanza, tuttavia in essa si ha un aumento notevole della densità del campione che tuttavia ha già perso tutte le sue caratteristiche meccaniche. Per questo motivo spesso, nei test effettuati si colloca l'attenzione solo sulle prime due zone del grafico, la compressione viene interrotta a valori definiti come il 40% della forza massima di compressione o una percentuale definita di compressione come il 70%. Se il campione non si trova più nello stato vetroso, per esempio quando si hanno valori non idonei di umidità del prodotto, si ha un'assenza di elasticità e plasticità. Nel caso dei coni da gelato o coppe da gelato, questo test è molto utilizzato, si prevede però la sostituzione del cursore piano con cursori sferici o basculanti (figura 20) che si adatto meglio alla conformazione del cono, l'analisi infatti deve essere effettuata sulla normale al campione.



Figura 20: particolare della sonda basculante (Concessione Babbi SRL)

### 2.2.2.6 Test di taglio

Questi test non rientrano nella logica del problema galileiano, ove ad un momento esterno è associata un contro-momento, che stabilizza la struttura fino al punto di rottura. Si analizzano altre due componenti ossia il taglio causato da un cursore, normale alla direzione del campione e lo scorrimento delle fibre interne al materiale, se lo scorrimento di esse è poco vincolato da forze di attrito si avrà un taglio caratterizzato da una minor forza di azione. In figura 21 si riporta un esempio esplicativo.

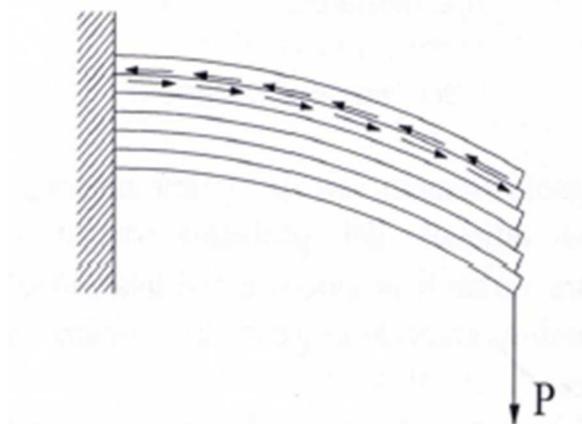


Figura 21: particolare teorico del test (Gradari, 2008)

Il cursore si muove ad una velocità di 1 mm ogni minuto e al raggiungimento del campione può essere fermata come nel caso dei test di compressione, quando la struttura perde una parte definita delle sue caratteristiche.

#### **2.2.2.7 Analisi sonora in parallelo ad un test meccanico**

L'analisi sonora è stata studiata a partire dal 1982 da Mohamed, che ha effettuato i primi test su prodotti friabili, si è vista una relazione tra la massima forza di rottura e il massimo impulso di carattere sonoro. Questi studi rivestono particolare importanza visto che associano una caratteristica meccanica con una di carattere sensoriale che il consumatore può percepire attraverso l'udito. In modo particolare si è visto che la diminuzione della forza applicata sul campione corrisponde ad un cedimento della struttura, che non è più in grado di ritornare alla forma di partenza. Secondo Mohamed (1982) e Barclay (2005) l'energia applicata sul campione che non è più assorbita da esso, visto il cedimento della struttura è trasformata in energia di carattere sonoro che viene percepita dal fruitore al momento del consumo e che contraddistingue il prodotto.

## Capitolo 3

### Stato dell'arte

#### 3.1 Studi relativi a cialde wafer

Come già affermato in precedenza, nell'industria dolciaria relativa alla produzione di biscotti esistono varie tipologie di prodotti che differiscono anche notevolmente tra loro. Tiziano Lanza (2008) nella sua trattazione intitolata: "Tecnologia e pratica per la produzione dei Biscotti", 2008 divide le varie produzioni in quattro grandi gruppi che, seppur molto articolati, riescono a includere tutte le produzioni moderne. Le categorie vengono di seguito riportate solo attraverso un elenco di carattere riassuntivo.

- Biscotti a pasta dura
- Biscotti a pasta semi-dura
- Biscotti a pasta molle
- Biscotti a pasta molle o liquida

In questa trattazione si è sviluppato uno studio sui conigli da gelato che rientrano nell'ultima categoria che include i wafer, ossia un esempio di prodotto che si articola tramite la cottura di una pastella liquida, molto simile a quella utilizzata per la produzione di conigli da gelato. È utile ricordare che questi prodotti sono divisi in varie categorie ma esistono poi relazioni molto forti tra diverse strutture, molti prodotti a base di cereali come cereali da colazione, vari snacks e alcuni biscotti hanno le stesse caratteristiche relative ai wafer o conigli, infatti hanno una struttura definita da uno stato vetroso, che grazie alla microstruttura interna del prodotto è in grado di conferire determinate caratteristiche (Attenburrow, 1992). I conigli da gelato, come già affermato rientrano in tale categoria e sono formati partendo da una pastella, ove la farina di

grano riveste un importante componente insieme al quantitativo di umidità del prodotto. Diversi studi di Attenburrow e Davies (1992) hanno valutato l'importanza dei vari componenti. Riguardo la relazione tra proprietà meccaniche e grado di umidità è stato riportato che entro il 9% i conigli sono nello stato vetroso, quindi il tempo di rottura è molto breve. Quando invece si hanno valori maggiori di 10 il tempo di rottura è molto maggiore arrivando anche a 500 ms, questo risultato è stato valutato come la conseguenza dell'effetto plasticizzante che le molecole di acqua attuano nei confronti della struttura del cono. Questa diminuzione delle proprietà meccaniche però non è solo dovuta all'effetto plasticizzante che si verifica nel prodotto ma è anche valutato dai cambiamenti strutturali che si verificano a carico dell'amido e del glutine presenti nella pastella. Come riportato in figura 22, la resistenza dell'amido diminuisce notevolmente quando il quantitativo di umidità aumenta, stessa cosa avviene parlando della componente proteica che è costituita prevalentemente dal glutine. Anche le caratteristiche di questi due componenti relative all'emissione acustica sono annullate ad alti valori di umidità (Ollet,1991).

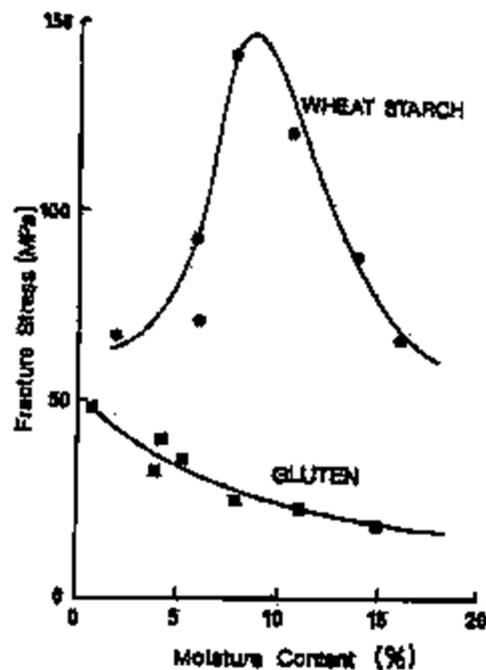


Figura 22: Correlazione tra componenti e umidità (Attenburrow et al,1992)

Quando l'umidità del prodotto arriva a questi valori non si hanno più le caratteristiche ricercate, riveste quindi particolare importanza la conservazione del prodotto, anche negli ultimi stadi della catena produttiva, come gelaterie o rivenditori specializzati. Oltre ai macro-componenti della pastella come amido, glutine e acqua vi sono altri componenti minori di notevole importanza lavoro del dott. Ollet ha eseguito vari studi sui componenti minori di questo prodotto; si ricordano gli zuccheri a basso peso molecolare come glucosio o saccarosio, in particolare si è visto che aggiungendo diversi quantitativi di questi composti a campioni di amido, aventi sempre la stessa umidità relativa, il prodotto finale aveva caratteristiche diverse. L'aggiunta di questi componenti rende più fragili i campioni, si richiede infatti una pressione minore per arrivare alla rottura. Ci sono due teorie che spiegano questo comportamento, la prima relativa al basso peso molecolare che non presenta alti legami glucosidici che conferiscono resistenza alla matrice. La seconda teoria invece è quella più probabile relativa ad un'interazione del componente in questione con lo stato vetroso, con un indebolimento della struttura.

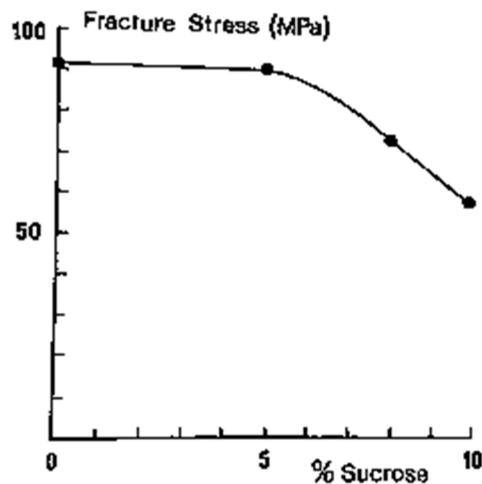


Figura 23: relazione tra zucchero e caratteri meccanici (Attenburrow et al,1992)

Questi test sono stati eseguiti all'interno di importanti studi sui prodotti a base di cereali, che presentano alte variazioni tra loro e quindi non sono validi per tutte le tipologie di prodotto e soprattutto non valutano le associazioni tra i componenti delle varie ricette. Analizzando i singoli componenti come amido, glutine e zuccheri si ricavano però importanti informazioni sulle caratteristiche di questi componenti. Ogni

prodotto poi richiederà, oltre a queste analisi generali, anche studi più selettivi basati sulle caratteristiche della matrice in questione. Studi più specifici riguardo i coni gelato sono riportati di seguito.

### **3.2 Studi relativi alle proprietà meccaniche di cialde wafer**

Stephen Beckett afferma che : “Every electron is identical, but every potato is different, while crisps are expected to remain the same”. In queste parole si può notare quanto le materie prime e di conseguenza i prodotti possono essere differenti tra loro, tuttavia il consumatore ricerca le stesse caratteristiche nel prodotto finito. Per un'azienda produttrice quindi vi è grande importanza riguardo le analisi che assicurano le caratteristiche ricercate nei prodotti. Di seguito si riportano alcuni tra i più importanti studi condotti a riguardo. Tra i principali autori si deve ricordare Idris Kevin Mohammed che ha pubblicato, a partire dal 2011, interessanti valutazioni riguardo le proprietà microscopiche della matrice in questione e le sue proprietà meccaniche. Questi ultimi studi sono poi applicabili e confrontabili anche con i coni gelato. Sono stati condotti diversi test meccanici come test di compressione e three-binding point. Particolare interesse rivestono le prove effettuate variando la disposizione della trama, in modo particolare i campioni sono stati ruotati di 45 gradi e si sono poi osservati i risultati, riportati in figura 24.

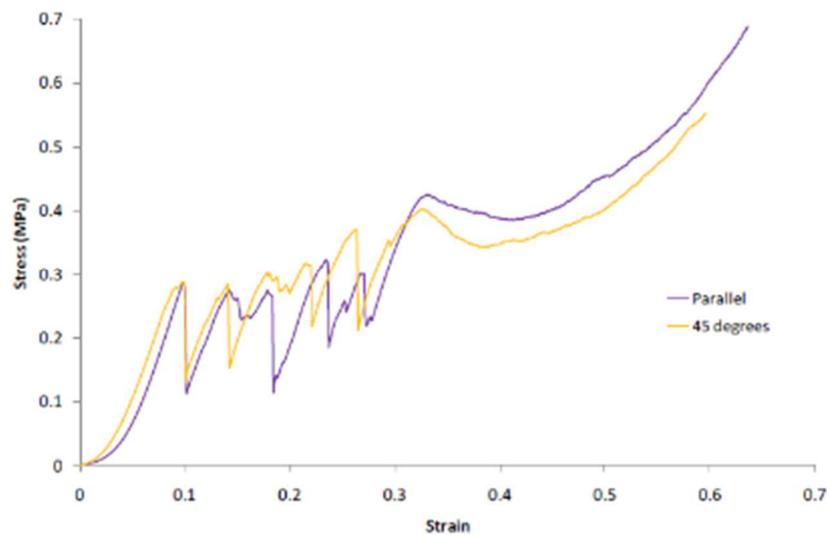


Figura 24: comportamento meccanico funzione del diverso orientamento della trama del wafer (Mohammed,2011)

Queste osservazioni sono poi state utilizzate nello studio in questione, visto che sono valide anche per campioni di coni gelato preventivamente sezionate in forma rettangolare e piana. Sono stati poi condotti studi riguardo lo spessore del campione, il modulo elastico cresce in proporzione allo spessore mentre lo stress di rottura presenta differenze significative. Carattere di notevole importanza, valevole anche per i test condotti su coni gelato, è quello relativo alla velocità di avanzamento del cursore, nei casi in cui la velocità è troppo alta si ha un'assenza di dati raccolti e quindi un'inutilità della prova, nel grafico sottostante si può notare che velocità di 1000 mm al minuto sono troppo elevate, nel caso di coni da gelato di parla di valori sotto 60 mm al minuto.

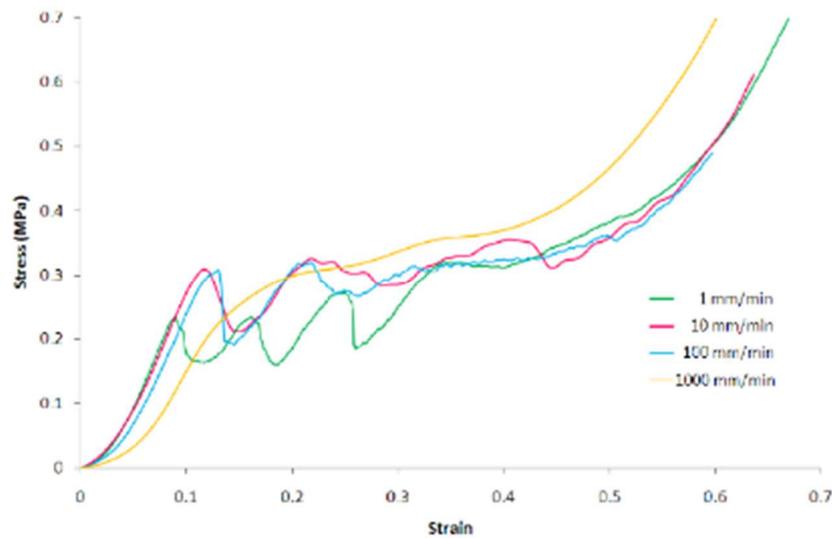


Figura 25: comportamento meccanico in funzione della velocità di avanzamento della sonda (Mohammed,2011)

Anche nel caso del Binding test la matrice è indipendente dalla velocità di avvicinamento del cursore, tuttavia se la velocità è troppo alta vi è il rischio di non acquisire dati utili. Sono stati poi eseguiti interessanti studi sulla propagazione della rottura dopo il taglio, che però non rientrano negli studi relativi ai cono gelato. Questi prodotti sono caratterizzati da una richiesta specifica da parte del consumatore, ci si aspetta infatti un prodotto con determinate caratteristiche meccaniche, che spesso in analisi sensoriale sono tradotte con il termine croccante (crispness) e resistente (Hardness). Barclay a partire dal 2006 ha introdotto vari test utili alle aziende produttrici per verificare in modo oggettivo queste sensazioni che il consumatore ricerca. Esistevano però già dal 1980 vari studi che cercavano di correlare l'analisi sensoriale, valutata da Kilcast tramite analisi micro-mio-grafa, con un test meccanico; questo fatto permette di capire quanto le caratteristiche fisiche sono importanti per la tipologia di prodotti in questione.



Figura 26: esempio di analisi sensoriale (A) e EMG (B) (Agroscope)

Gli studi più importanti e applicabili a livello industriale sono quelli condotti da Mohamed nel 1982 e successivamente da Barclay che hanno valutato la possibile correlazione tra i test acustici i test sensoriali negli stessi campioni. Si è potuto notare che la dipendenza era molto forte tra i risultati emessi da i due tipi di test, i campioni che nei test sonori presentavano i valori più alti di emissioni erano quelli che poi venivano valutati positivamente da un panel test. Lo stesso gruppo di ricerca ha poi notato che alti valori di emissione acustica sono correlati ad un'alta velocità di rottura del campione, questo perché l'alta velocità è presente quando la struttura non è stabile, quindi non si richiedono alti livelli di energia, che così viene dispersa sotto forma di emissione sonora. In figura 27 si riportano alcuni di questi test.



Figura 27: esempi di vari test (Barclay,2006)

Attraverso questi test Barclay ha potuto validare la correlazione tra proprietà meccaniche ed acustiche presente al momento del calo della forza, ossia quando la matrice subisce la rottura definitiva. Valutando il grafico di seguito riportato (figura 28) si può notare che la proprietà acustica valutata non assume una variazione lineare, ma è caratterizzata da uno sviluppo irregolare (Barclay,2006), che può essere associata alla struttura bi-strato tipica dei wafer: esterno più denso e resistente ed interno a bassa densità e ricco di aria (Mohammed, 2011). La combinazione delle due analisi si avvicina al carattere ricercato dal consumatore, anche se poi attualmente viene poco utilizzata a livello industriale, ove si preferiscono i test meccanici classici e di più facile gestione. Mohammed (2013) ha condotto interessanti studi relativi alla modellizzazione matematica di queste matrici, con ampie utilizzazioni industriali. Attraverso il modello introdotto infatti si possono valutare nuovi prodotti o nuove metodologie produttive evitando così problematiche relative alla produzione e l'esecuzione di test su numerosi e differenti campioni.

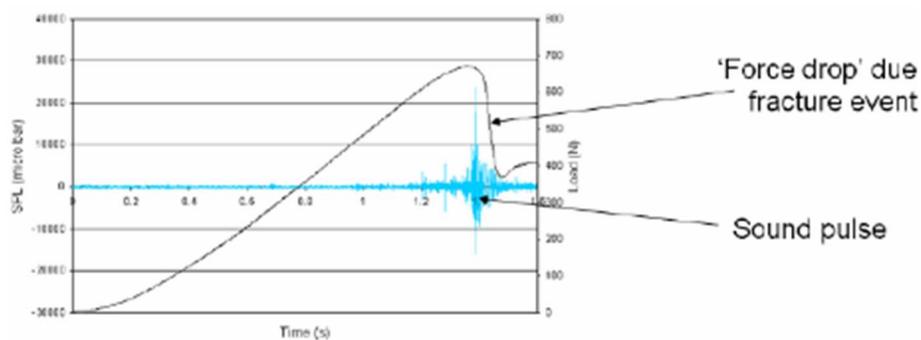


Figura 28: relazione tra test meccanici e sonori (Barclay,2006)

## Capitolo 4

### Materiali e metodi

#### 4.1 Organizzazione del lavoro

Lo studio effettuato in questa trattazione si basa sulla caratterizzazione meccanica di coni da gelato, con particolare attenzione alla valutazione dell'influenza della tipologia di trama impressa sul cono sul comportamento meccanico dello stesso. Sono stati presi in considerazione i seguenti indici meccanici: tensione equivalente e modulo elastico. In modo particolare sono state analizzate tre tipologie di coni con differente trama. Considerando la forma conica, i test sono stati effettuati su porzioni rettangoli di spessore costante. Le prove meccaniche su ogni campione sono state effettuate tramite *three bending test*.

#### 4.2 Campionamento

I coni presi in esame sono stati campionati dall'azienda collaboratrice nel periodo compreso tra Settembre 2018 e Dicembre 2018, partendo dalle confezioni presenti in magazzino e pronte alla vendita. In modo particolare sono state analizzate tre diverse tipologie di cono, le prime due differiscono solo per la forma infatti vengono prodotte a partire dalla stessa pastella. L'azienda nomina queste due produzioni: calice medio e coppa grande. Invece l'ultima tipologia, detta cialda croccante, si differenzia sia per la forma, ma soprattutto per gli ingredienti della pastella utilizzata per la produzione che prevede un valore più elevato di zuccheri che garantiscono il carattere croccante. Nella figura 31 sono riportate le tipologie di coni scelte per lo studio.

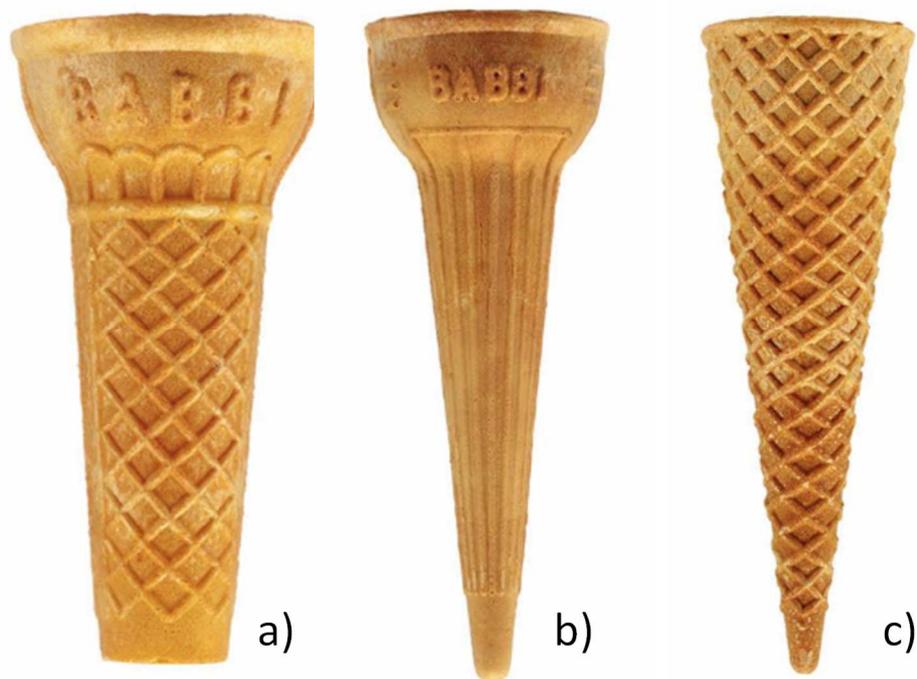


Figura 31 : tipologie di cono utilizzate: calice medio (a), coppa piccola (b) e cialda croccante (c) ( concessione Babbi S.r.l)

I test effettuati non sono stati attuati sull'intera porzione di campione, visto la sua tipica forma conica che difficilmente si poteva adattare in posizione normale al cursore ma dai campioni iniziali sono state ricavate porzioni parallelepipedo, in grado di soddisfare le richieste relative al posizionamento del campione ed il calcolo semplificato dei parametri meccanici utilizzati successivamente per caratterizzare il materiale (figura 32)



Figura 32: esempio grafico di provino per test

Lo spessore, indicato come  $h$  nelle formule, è stato misurato per ogni tipologia di cono su 30 campioni ed è stato poi calcolato un valore medio da utilizzare. Per quanto riguarda la larghezza di ogni provino ( $d$ ) sono stati misurati attraverso il calibro tre

valori, successivamente è stata calcolata la media aritmetica, per definire un valore univoco per ogni provino. In figura 33 viene riportato un esempio di foglio di calcolo riportante i valori dei parametri dimensionali dei provini.

Le porzioni ricavate non presentavano convessità vista la limitata larghezza e l'obiettivo dello studio che pone attenzione sull'influenza della trama impressa sul campione e quindi può essere soddisfatto tramite questo tipo di campioni. Per l'esecuzione dei test sono stati preparati provini con due differenti lunghezze, 6 cm e 4 cm, in modo da valutare se la variazione di questo parametro era in grado di mutare il valore degli indici ricercati.

	F (N)	Area (Nmm)	postamento (m)	larghezza (m) d	lunghezza (m) l	altezza (m) H
CGL000	0.9706	0.0006	0.0010	0.0084	0.0550	0.0026
CGL001	0.8337	0.0006	0.0014	0.0069	0.0550	0.0026
CGL002	0.9117	0.0006	0.0012	0.0076	0.0550	0.0026
CGL003	0.8971	0.0004	0.0007	0.0069	0.0550	0.0026
CGL004	0.7487	0.0007	0.0015	0.0077	0.0550	0.0026
CGL005	1.2906	0.0011	0.0015	0.0083	0.0550	0.0026
CGL006	0.9326	0.0009	0.0017	0.0072	0.0550	0.0026
CGL007	1.5264	0.0010	0.0011	0.0086	0.0550	0.0026
CGL008	1.0856	0.0007	0.0012	0.0089	0.0550	0.0026
CGL009	1.3785	0.0009	0.0012	0.0078	0.0550	0.0026
CGL010	1.3289	0.0009	0.0012	0.0074	0.0550	0.0026
CGL011	0.7524	0.0004	0.0009	0.0074	0.0550	0.0026
CGL012	0.8348	0.0005	0.0010	0.0074	0.0550	0.0026
CGL013	1.5688	0.0009	0.0009	0.0083	0.0550	0.0026
CGL014	1.5858	0.0009	0.0010	0.0086	0.0550	0.0026
CGL015	0.9856	0.0007	0.0013	0.0079	0.0550	0.0026
CGL016	0.8826	0.0007	0.0013	0.0064	0.0550	0.0026
CGL017	0.9976	0.0009	0.0014	0.0065	0.0550	0.0026
CGL018	1.1389	0.0009	0.0013	0.0081	0.0550	0.0026
CGL019	1.3214	0.0008	0.0010	0.0082	0.0550	0.0026
CGL020	0.8225	0.0007	0.0013	0.0063	0.0550	0.0026
CGL021	1.4163	0.0013	0.0016	0.0069	0.0550	0.0026
CGL022	1.3282	0.0009	0.0012	0.0066	0.0550	0.0026
CGL023	0.4804	0.0002	0.0009	0.0066	0.0550	0.0026
CGL024	0.6660	0.0006	0.0017	0.0071	0.0550	0.0026
CGL025	0.7351	0.0006	0.0015	0.0057	0.0550	0.0026
CGL026	0.8715	0.0008	0.0016	0.0059	0.0550	0.0026
CGL027	0.4430	0.0004	0.0014	0.0061	0.0550	0.0026
CGL028	0.7059	0.0005	0.0013	0.0079	0.0550	0.0026
CGL029	1.4190	0.0013	0.0015	0.0067	0.0550	0.0026
CGL030	0.1545	0.0001	0.0005	0.0078	0.0550	0.0026

Figura 33: Esempio dei parametri misurati su di ogni provino

Di ogni tipologia sono stati analizzati 60 campioni, 30 relativi alla superficie che presentava la trama e 30 relativi alla superficie interna che non presentava nessuna trama. Nel caso del calice medio sono stati preparati 90 campioni visto che la trama della parte esterna non era uniforme ma presentava due superfici differenti tra loro. Per l'esecuzione delle prove non sono state svolte condizionamenti dei campioni, visto che ci si voleva avvicinare il più possibile alle condizioni di consumo, durante lo svolgimento delle prove i campioni non utilizzati sono stati mantenuti in un ambiente controllato fresco e asciutto all'interno delle confezioni fornite dall'azienda. In figura 34 è riportato un esempio relativo allo schema operativo.

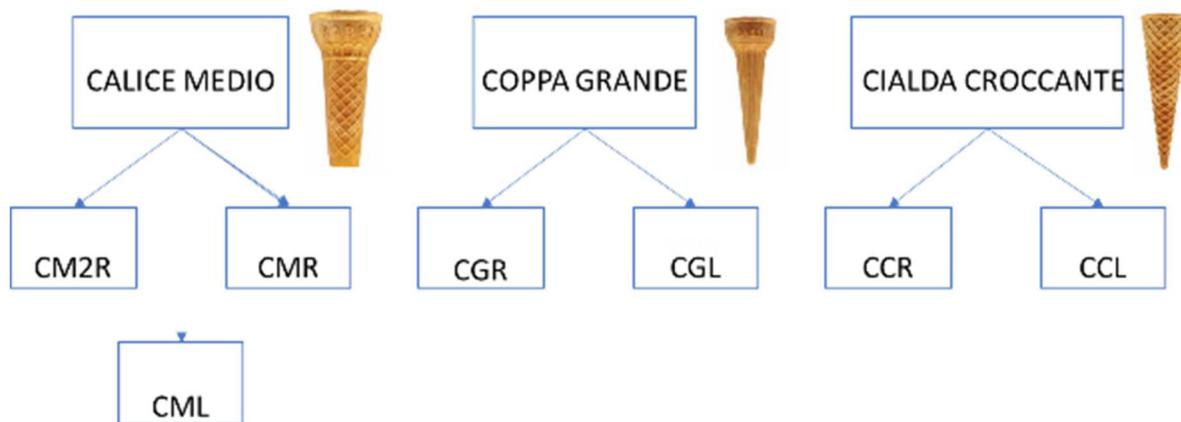


Figura 34: schema di operativo seguito durante le prove sperimentali

### 4.3 Prove meccaniche

Le prove meccaniche su di ogni campione sono state effettuate tramite Texture Analyzer TA-HDi 500 stable Micro Systems. Si è svolto un test a flessione tramite *three bending test*. La cella di carico utilizzata per lo studio in questione era da 5 kg. Come riportato nella parte generale dello studio la forza può essere applicata su uno o due punti del campione, nel caso in esame la forza è stata applicata in direzione normale al campione e solo in un punto di esso (figura 35).

Al fine di valutare l'influenza della lunghezza del campione rettangolare sulle proprietà meccaniche, il *three point bending test* è stato effettuato a due differenti distanze tra gli appoggi. (4 e 6 cm). I campioni totali presi in considerazione tramite questo test sono stati 480 sommando i campioni delle tre tipologie di coni di partenza. Per quanto riguarda la velocità di discesa è stato impostato un valore pari a 0.5 mm/s, in accordo con quanto riportato in altri lavori su cialde wafer.

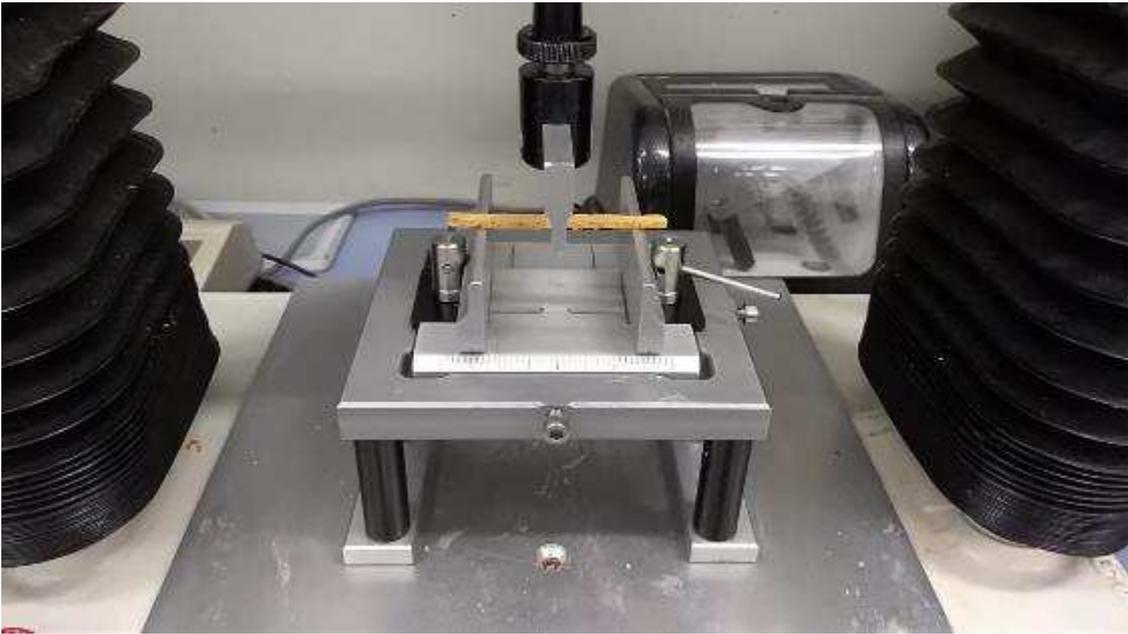


Figura 35: esempio di test condotto

#### 4.4 Analisi dei dati

Le curve forza-spostamento (figura 36) sono state utilizzate per ricavare i parametri utili al calcolo degli indici meccanici. In modo particolare è stato valutato il modulo elastico e la tensione equivalente, grazie all'extrapolazione dei dati ottenuti a partire dai test e il loro calcolo attraverso le formule seguenti.

### **Modulo elastico**

$$E = \frac{Fl^3}{48sI} \text{ [Mpa]}$$

dove:

$F$ =forza di rottura [N]

$l$ =lunghezza del provino [m]

$s$ =spostamento alla rottura [m]

$I = \frac{dh^3}{12}$  : momento d'inerzia [mm<sup>4</sup>]

$h$ =spessore del provino [m]

$d$ =larghezza del provino [m]

### **Tensione equivalente di Von Mises**

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \text{ [MPa]}$$

dove:

$\sigma = \frac{M}{I} \cdot \frac{h}{2}$  : tensione a flessione [MPa]

$M = \frac{Fl}{4}$  : momento flettente [N mm]

$\tau = \frac{F}{2} \cdot \frac{1}{dh}$  : tensione di taglio [MPa]

In figura 37 si riporta un esempio del foglio di calcolo per una tipologia di campione.

I	E	δ	M	T	δ <sub>e</sub>
$I = dH^2/12$	$E = F/2 \cdot 48Si$	$\delta = M/H^2$	$M = F/4$	$T = F/2 \cdot 1/dh$	$\delta_e = \sqrt{\delta^2 + 3T^2}$
1.2E-11	2.7E+08	1415230.826	0.013346293	22214.83539	1.42E+06
1E-11	2.1E+08	1483753.545	0.011462731	23290.43443	1.48E+06
1.1E-11	2.4E+08	1467626.416	0.012535947	23037.28738	1.47E+06
9.9E-12	4.3E+08	1608265.548	0.012334744	25244.89557	1.61E+06
1.1E-11	1.6E+08	1190380.779	0.010294245	18685.37102	1.19E+06
1.2E-11	2.5E+08	1915852.426	0.017746097	30073.07747	1.92E+06
1E-11	1.8E+08	1587520.309	0.012823466	24919.25819	1.59E+06
1.2E-11	3.8E+08	2191759.472	0.020987878	34403.98201	2.19E+06
1.3E-11	2.5E+08	1498448.884	0.014926841	23521.10672	1.50E+06
1.1E-11	3.7E+08	2165212.437	0.018954422	33987.27402	2.17E+06
1.1E-11	3.7E+08	2211659.618	0.018273048	34716.35401	2.21E+06
1.1E-11	2.6E+08	1248771.442	0.010345451	19601.92749	1.25E+06
1.1E-11	2.6E+08	1391088.809	0.011477822	21835.87887	1.39E+06
1.2E-11	4.8E+08	2313467.138	0.021571367	36314.42357	2.31E+06
1.2E-11	4.5E+08	2281082.42	0.021804964	35806.08162	2.28E+06
1.1E-11	2.3E+08	1531423.254	0.01355172	24038.70442	1.53E+06
9.3E-12	2.5E+08	1685459.246	0.012135353	26456.60271	1.69E+06
9.5E-12	2.6E+08	1875988.573	0.013716908	29447.33578	1.88E+06
1.2E-11	2.7E+08	1739951.522	0.015659623	27311.96631	1.74E+06
1.2E-11	3.8E+08	1984220.034	0.018168623	31146.24175	1.98E+06
9.1E-12	2.4E+08	1605665.789	0.011309515	25204.08724	1.61E+06
1E-11	3.1E+08	2518912.525	0.019473927	39539.29357	2.52E+06
9.5E-12	3.9E+08	2484353.558	0.018262383	38996.82252	2.49E+06
9.6E-12	2E+08	893236.9607	0.006606095	14021.1135	8.94E+05
1E-11	1.3E+08	1150342.402	0.009157046	18056.88982	1.15E+06
8.3E-12	2E+08	1581889.488	0.010107428	24830.87135	1.58E+06
8.6E-12	2.2E+08	1802804.746	0.011982538	28298.57147	1.80E+06
8.8E-12	1.3E+08	893167.9308	0.006091317	14020.02994	8.93E+05
1.1E-11	1.7E+08	1098863.316	0.009705525	17248.82417	1.10E+06
9.8E-12	3.4E+08	2589334.328	0.019511754	40644.70249	2.59E+06
1.1E-11	9.2E+07	243274.19	0.0021242	3818.667589	2.43E+05
	2.7E+08	1.67E+06	1.38E-02	2.62E+04	1.67E+06

Figura 37: esempio di foglio di calcolo

#### 4.5 Analisi statistica

Differenze significative tra le medie dei valori dei parametri meccanici sono state individuate in funzione della tipologia di trama, della lunghezza del provino e della tipologia di cono (a parità di formulazione della pastella). In modo particolare è stata applicata l'analisi della varianza (ANOVA) con post doc Tukey's HSD (p-level < 0.05). In caso di non omogeneità della varianza investigata tramite test di Levene, è stato applicato il test non parametrico Kruskal-Wallis sui valori mediano.



## Capitolo 5

### RISULTATI

#### 5.1 Tabella di lettura

I tre campioni di coni analizzati nelle due diverse lunghezze hanno fornito numerosi campioni, trenta per ogni tipologia di provino preparato. Di seguito si riporta una la nomenclatura dei campioni con l'obiettivo di semplificare la comprensione e l'interpretazione dei risultati ottenuti al termine dello studio

##### Coppa grande

CGR4	Coppa grande lato con trama $l= 4$ cm
CGL4	Coppa grande lato senza trama $l= 4$ cm
CGR6	Coppa grande lato con trama $l= 6$ cm
CGL6	Coppa grande lato senza trama $l= 6$ cm

##### Cialda croccante

CCR4	Cialda croccante lato con trama $l= 4$ cm
CCL4	Cialda croccante lato senza trama $l= 4$ cm
CCR6	Cialda croccante lato con trama $l= 6$ cm
CCL6	Cialda croccante lato senza trama $l= 6$ cm

##### Calice medio

CM2R4	Calice medio lato due righe $l= 4$ cm
CMR4	Calice medio lato con trama $l= 4$ cm
CML4	Calice medio lato senza trama $l= 4$ cm
CM2R6	Calice medio lato due righe $l= 6$ cm

CMR6	Calice medio lato con trama $l= 6$ cm
CML6	Calice medio lato senza trama $l= 6$ cm

## 5.2 Analisi dei risultati

In figura 38 sono riportate le curve forza (N) vs spostamento (mm) delle tre tipologie di cono a parità di trama (lato liscio) e distanza tra gli appoggi pari a 4cm. Si può osservare che il valore più elevato di forza massima (punto di rottura) è stato raggiunto dal campione CC, mentre i campioni CM e CG riportano valori di F massima pressoché simili. Quest'ultimi sono caratterizzati anche da una deformazione maggiore. Tale risultato può essere attribuito al fatto che i campioni CM e CG presentavano la stessa tipologia di formulazione della pastella. Valori più elevati di F max alla rottura, associati ad una minore deformazione (pendenza più accentuata), sono invece dipendenti dal fatto che la pastella era caratterizzata da un maggiore quantitativo di zucchero che è noto essere un ingrediente in grado di conferire resistenza meccanica al prodotto, come riportato nella parte generale del lavoro.

Per tutte e tre le tipologie di campioni, si manifesta la presenza di 2/3 picchi di rottura associabili alla struttura interna del prodotto, come descritto nel capitolo 3.

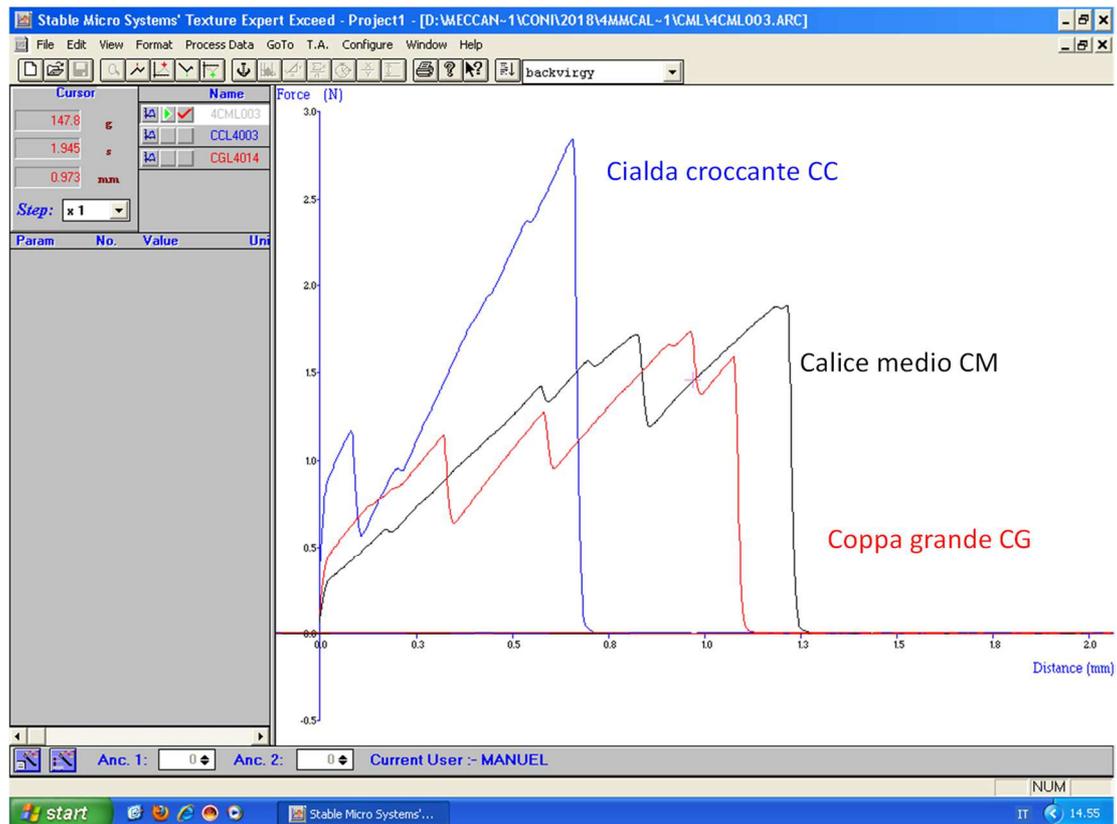


Figura 38: Curve forza vs spostamento delle tre tipologie di cono (lato liscio, 4 mm)

I risultati (valori medi e deviazioni standard) ottenuti dai provini provenienti da ogni singola tipologia di cono sono stati riportati in un istogramma, in cui si andranno poi a valutare e comprendere le eventuali differenze significative. Ogni tipologia di campione presenterà due diversi grafici visto che sono stati calcolati due diversi indici: tensione equivalente e modulo elastico

### 5.2.1 Tensione equivalente

In figura 39 sono riportati i risultati relativi al campione coppa grande (CG) in funzione della tipologia di trama superficiale e della distanza tra gli appoggi. I valori di tensione variano da 1.03MPa a 1.57MPa (variazione del 34%). Le deviazioni interne ad ogni combinazione di trama e distanza degli appoggi, risultano essere piuttosto elevate e in alcuni casi superiori alla variabilità intra-campionaria. Tale risultato è del tutto riconducibile alla difficoltà nella preparazione dei campioni rettangolari causata dalla fragilità del materiale.

L'analisi della varianza ha riportato differenze significative tra il campione R6 (lato rugoso, distanza tra gli appoggi pari a 6 mm) ed i restanti campioni che tuttavia risultano non riportare differenze significative tra loro. Tale risultato è probabilmente riconducibile ad un errore sperimentale e non alla struttura del materiale, in quanto il campione R4 (sempre lato rugoso) non riporta differenze significative.

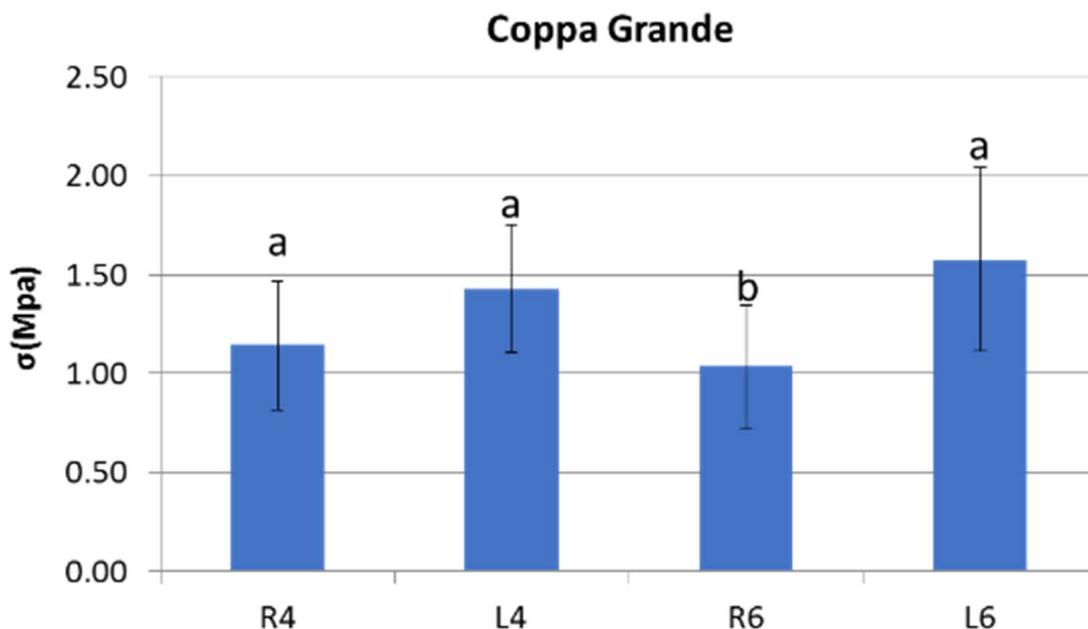


Figura 39 : Tensione equivalente coppa grande

In figura 40 sono riportati i risultati relativi al campione calice medio (CM) in funzione della tipologia di trama superficiale e della distanza tra gli appoggi. I valori di tensione variano da 1.02MPa a 1.24MPa (variazione del 18%). Anche in questo caso le deviazioni interne ad ogni combinazione di trama e distanza degli appoggi, sono risultate essere piuttosto elevate. Il motivo è il medesimo del caso precedente.

L'analisi della varianza non ha riportato differenze significative tra le diverse tipologie di campioni, dimostrando che la trama e lunghezza del provino non influenzano la tensione equivalente di questa tipologia di coni.

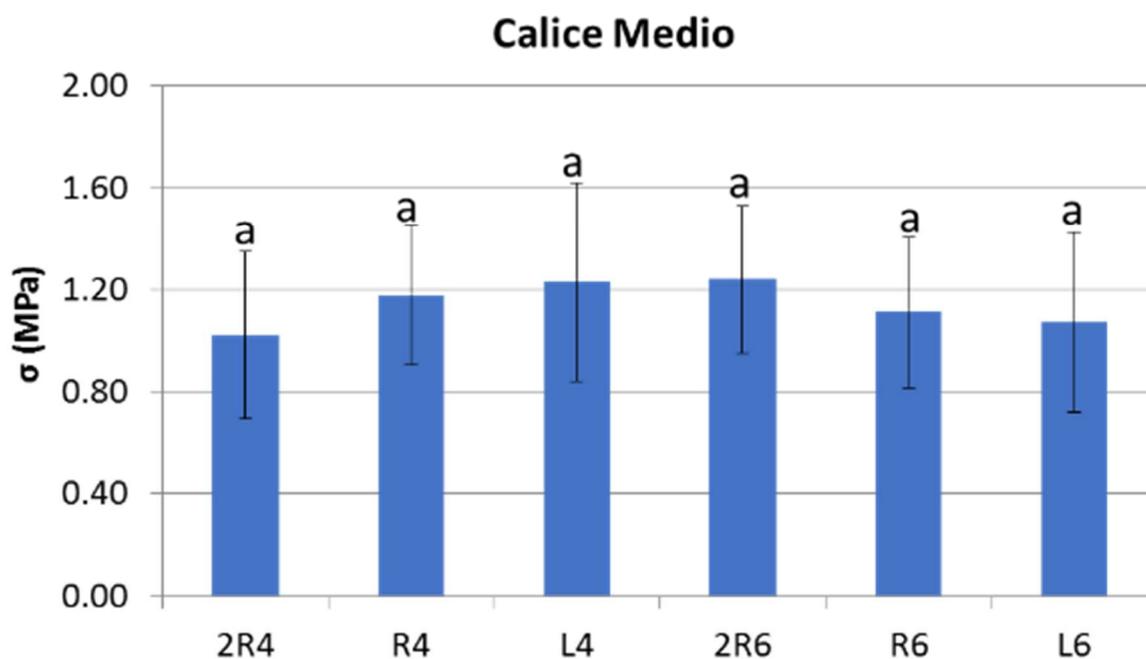


Figura 40: Tensione equivalente calice medio

In figura 41 sono riportati i risultati relativi al campione cialda croccante (CC) in funzione della tipologia di trama superficiale e della distanza tra gli appoggi. I valori di tensione variano da 0.92MPa a 1.25MPa (variazione del 26%). In questo caso le deviazioni standard sono risultate inferiori rispetto alle due tipologie di coni a causa, probabilmente, della maggiore resistenza della struttura conferita dallo zucchero, come spiegato in precedenza. Ciò ha permesso di avere minore difficoltà durante il taglio associato con la preparazione dei campioni.

L'analisi della varianza non parametrica (test Kruskal-Wallis sui valori medi) ha riportato differenze significative tra il campione R6 (lato rugoso, distanza tra gli appoggi pari a 6 mm) ed i restanti campioni che tuttavia risultano non riportare differenze significative tra loro. Tale risultato è probabilmente riconducibile ad un errore sperimentale e non alla struttura del materiale, in quanto il campione R4 (sempre lato rugoso) non riporta differenze significative

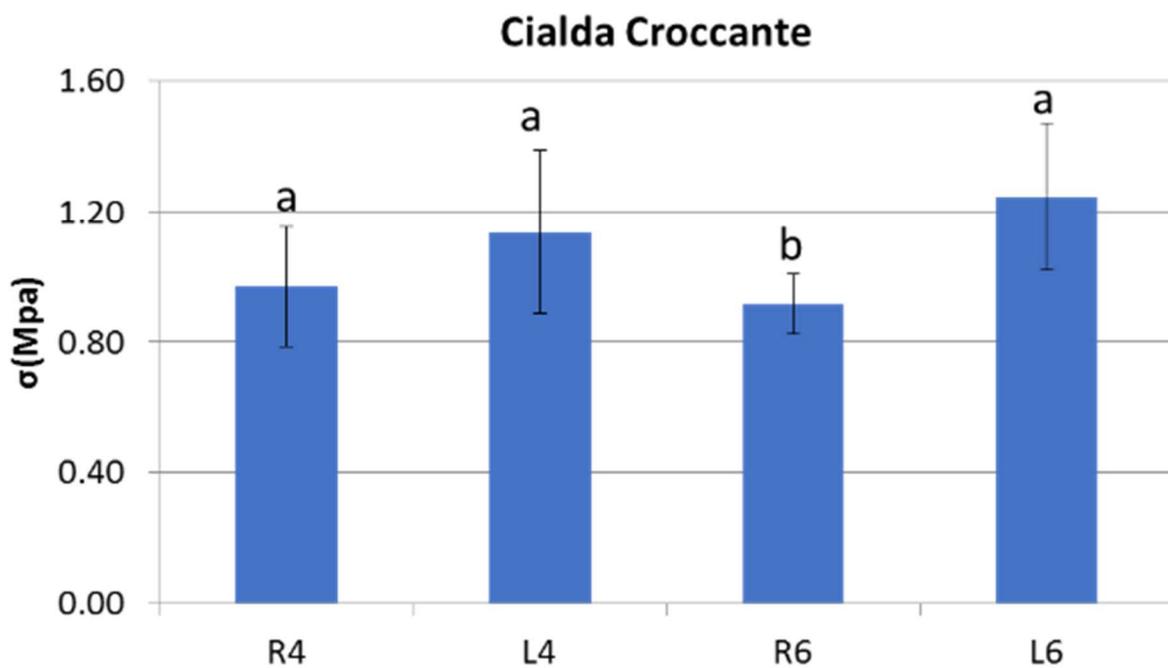


Figura 41: Tensione equivalente cialda croccante

Considerando che i campioni CG e CM sono caratterizzati dalla stessa formulazione della pastella, si è decisi di confrontando i valori medi di questi due tipologie di coni, a parità di tipologia di superficie (R o L) e lunghezza del provino (4 o 6 cm). In tale ottica non sono risultate esserci differenze significative tra i valori medi di tensione equivalente.

## 5.2.2 Modulo elastico

In figura 42 sono riportati i risultati del modulo elastico relativi al campione coppa grande (CG) in funzione della tipologia di trama superficiale e della distanza tra gli appoggi. I valori variano da 171MPa a 275MPa (variazione del 38%). Le deviazioni interne ad ogni combinazione di trama e distanza degli appoggi, risultano essere piuttosto elevate e in alcuni casi superiori alla variabilità intra-campionaria. Tale risultato è del tutto riconducibile alla difficoltà nella preparazione dei campioni rettangolari causata dalla fragilità del materiale.

L'analisi della varianza non parametrica (test Kruskal-Wallis sui valori mediani) ha riportato differenze significative tra il campione L4 (lato liscio, distanza tra gli appoggi pari a 4 mm) ed i restanti campioni che tuttavia risultano non riportare differenze significative tra loro. Tale risultato è probabilmente riconducibile ad un errore sperimentale e non alla struttura del materiale, in quanto il campione L6 (sempre lato liscio) non riporta differenze significative.

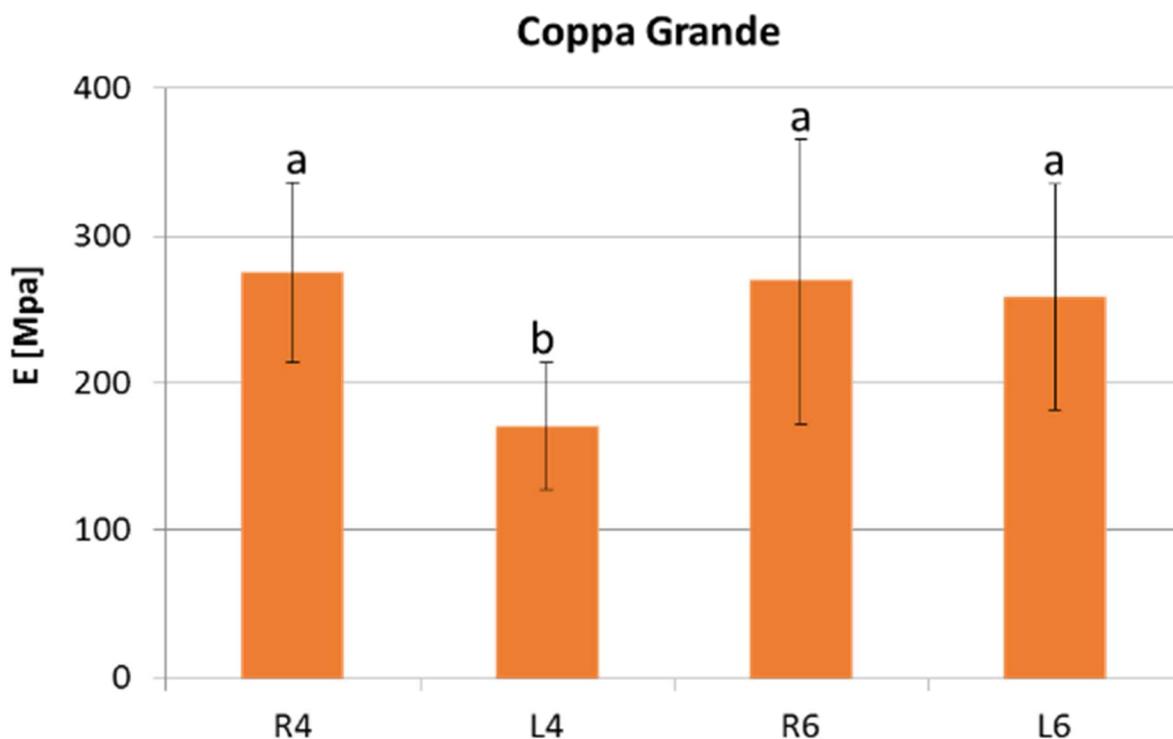


Figura 42: Modulo elastico coppa grande

In figura 43 sono riportati i risultati del modulo elastico relativi al campione calice medio (CM) in funzione della tipologia di trama superficiale e della distanza tra gli appoggi. I valori variano da 93.6MPa a 111MPa (variazione del 16%), mentre le deviazioni riportano un comportamento simile a quanto descritto in precedenza.

L'analisi della varianza non ha riportato differenze significative tra le diverse tipologie di campioni, dimostrando che la trama e lunghezza del provino non influenzano il modulo elastico di questa tipologia di coni.

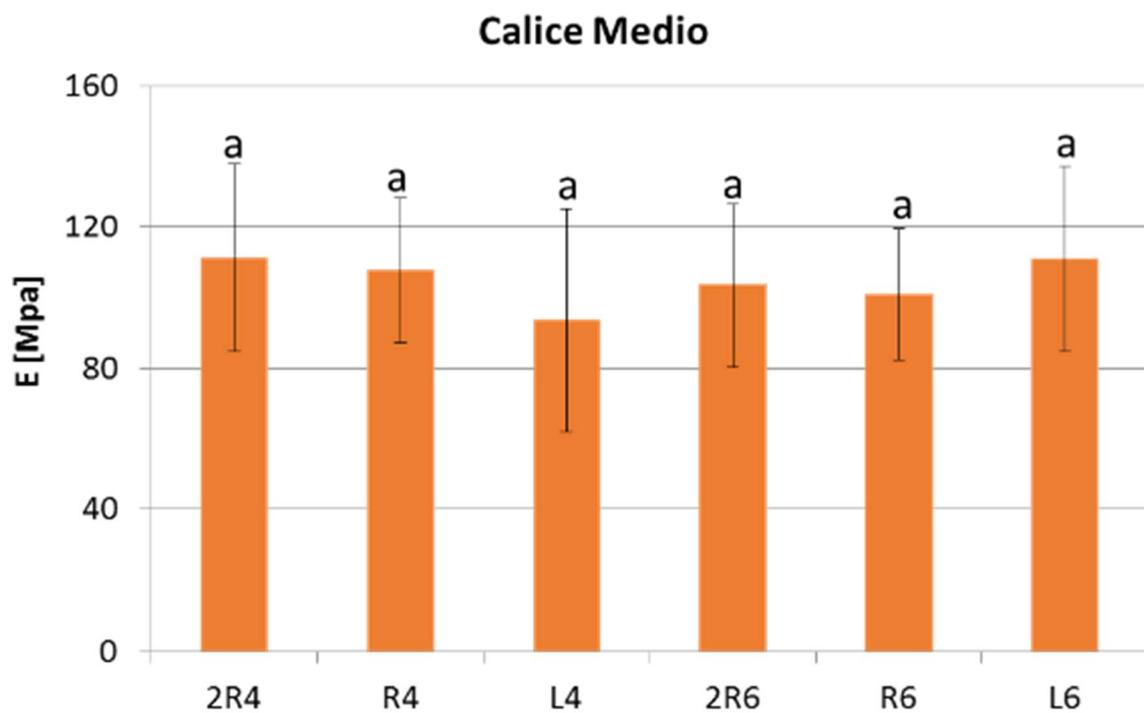


Figura 43: Modulo elastico cialda croccante

In figura 44 sono riportati i risultati del modulo elastico relativi al campione cialda croccante medio (CC) in funzione della tipologia di trama superficiale e della distanza tra gli appoggi. I valori variano da 172 MPa a 188MPa (variazione del 8%).

L'analisi della varianza non ha riportato differenze significative tra le diverse tipologie di campioni, dimostrando che la trama e lunghezza del provino non influenzano il modulo elastico di questa tipologia di coni.

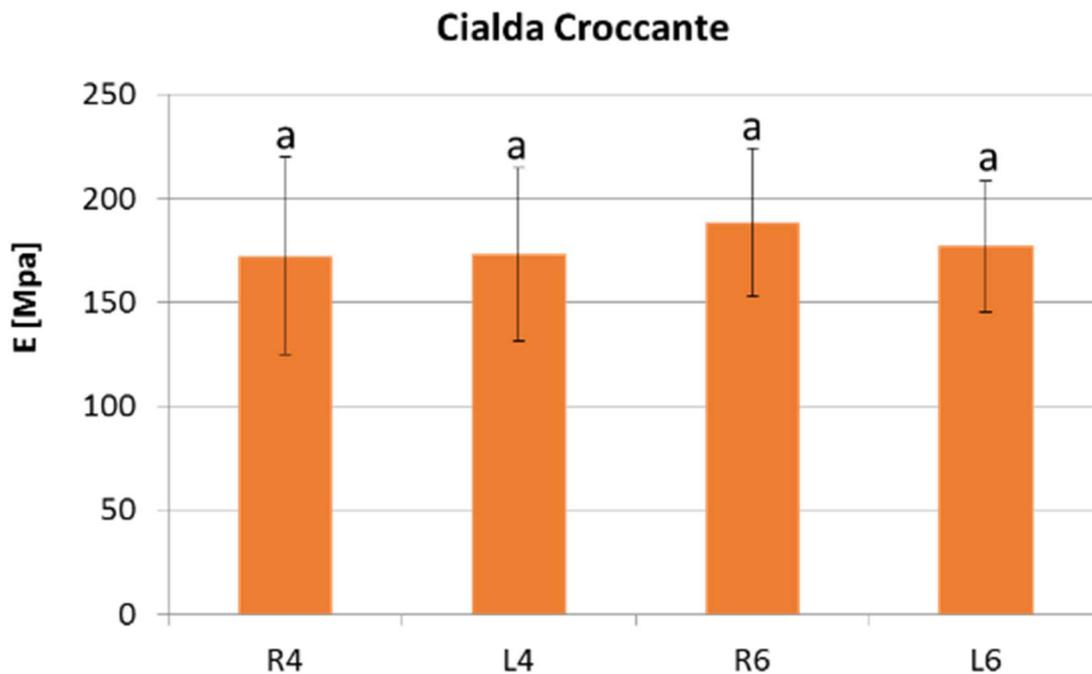


Figura 44: analisi modulo elastico calice medio

Anche in caso del modulo elastico sono stati confrontati i campioni CG e CM. Tuttavia, sono state riscontrate differenze significative per tutte le combinazioni di R e L a causa probabilmente della diversa altezza dei campioni associata, a sua volta, ad una differente distribuzione dei due strati (strato denso più esterno e strato poroso) della struttura interna che apportano variazione nel comportamento elastico del materiale.

## CONCLUSIONI

I risultati ottenuti e analizzati nei grafici precedenti permettono di affermare che la trama della superficie dei coni non influenza le caratteristiche di resistenza meccanica del materiale analizzato. I provini analizzati, appartenenti alle tre tipologie di coni studiate, infatti presentano limitate differenze significative in termini di tensione equivalente e modulo elastico. In modo particolare il calice medio, pur avendo due diverse tipologie di trama esterna, non ha presentato differenze tra i provini analizzati, sia per il modulo elastico che per la tensione equivalente.

A livello aziendale, i risultati dimostrano che l'utilizzo di trame diverse consente di differenziare i prodotti senza alterare le proprietà meccaniche. Ad esempio, attraverso la trama, si può imprimere nel prodotto una specifica particolarità, nel caso dell'azienda collaboratrice per esempio apportando il nome dell'azienda ed il luogo di produzione, non si alterano le proprietà meccaniche del prodotto finale. Questa scelta permette di creare un legame forte con il territorio, che viene apprezzato al momento della scelta sia dal consumatore italiano sia da quello estero. Oltre la possibilità di introdurre questo legame si ricordano varie possibilità di differenziazione della trama che, presentando diversi motivi, possono soddisfare specifiche esigenze di mercato (trame floreali o specifiche per attirare ad esempio l'attenzione del consumatore di diversa categoria di età)

Attraverso i dati raccolti ed analizzati lo studio in questione mette in luce come l'innovazione di prodotto collegata con una differente tipologia di trama superficiale non andrebbe ad intaccare le proprietà strutturali del prodotto finale, quindi non sarebbe necessario modificare, ad esempio la formulazione o le fasi collegate con la cottura. L'unica modifica si collocherebbe a livello dello stampo, generalmente intercambiabile all'interno del forno, quindi avendo basso impatto per l'azienda a livello economico.

L'introduzione della nuova trama non andrebbe neanche ad incrementare o i casi di rottura dovuta a proprietà meccaniche modificate, che rivestono attualmente notevole importanza per le aziende produttrici.

Il fatto che la trama non influenzi le proprietà meccaniche, è sicuramente importante anche nell'ottica dello sviluppo di un modello numerico in grado di descrivere il comportamento meccanico dell'intero cono al variare ad esempio delle dimensioni e della forma.

Un modello numerico potrebbe essere utile per studiare in modo sostenibile possibili modifiche da effettuare al prodotto senza richiedere un investimento eccessivo in test sperimentali e prototipi di impianti associati con modifiche nel dimensionamento degli stampi.

## **BIBLIOGRAFIA**

Tiefenbacher F Karl, 2018, The Technology of Wafers and Waffles I-II, Elsevier Science Publishing Co Inc. p.558-568; 488-512

Tiefenbacher F Karl, 2018, The Technology of Wafers and Waffles I, Elsevier Science Publishing Co Inc.

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

Dogan, I.S., 2006. Factors affecting wafer sheet quality. International journal of food science & technology, 41(5), pp.569-576.

Mohammed, I.K., Charalambides, M.N., Williams, J.G. and Rasburn, J., 2014. Modelling the microstructural evolution and fracture of a brittle confectionery wafer in compression. Innovative food science & emerging technologies, 24, pp.48-60.

Beckett, S., Livings, S. and Schroeder, P., 1994. Edible wafers need physics. Physics World, 7(9), p.49-53.

Attenburrow G., Davies A.P (1993). The mechanical properties of cereal based foods in and around the glassy state foods, ed J.M.V Blanshard and P.J. lillford, Nottingham University press, Loughborough, 317-331.

Barclay J.,2006 engineering analysis of crispy foods. ACGI AMIMechE, rolls royce.

Navarette N.M., Moraga G., Talens P., Chiralt A. (2004). Water sorption and plasticization effect in wafers. International Journal of food Science and Technology.

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.

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

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

## **SITI INTERNET CONSULTATI**

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

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

<http://www.ideafinder.com/history/inventions/icecreamcone.htm>

<https://www.opessi.it/produzione-wafer-e-prodotti-da-forno-la-filosofia-haas-meincke>