

INDUSTRIE ALIMENTARI



LINEE DI MODELLAGGIO



MESCOLATORI ORIZZONTALI



dal 1988 al 2008 da 20 anni al Vostro servizio

TECNO 3

Progettazione e costruzione macchine ed impianti per l'industria alimentare

Via Mastri Cestai, 2 - 12040 Corneliano D'Alba - Tel. 0173 61 05 64 - Fax 0173 61 94 94

E-mail: tecno3@tecno-3.it internet: www.tecno-3.it

MARIA MARTUSCELLI* - GIOVANNI DI TEODORO

GIAMPIERO SACCHETTI - PAOLA PITTIA

Dipartimento di Scienze degli Alimenti - Università degli Studi di Teramo -

Via C.R. Lerici 1 - 64023 Mosciano S. Angelo - TE - Italia

*e-mail: mmartuscelli@unite.it

AMARETTI SENZA AMIDO E FARINA COME INGREDIENTI IN SISTEMI ALIMENTARI AD ALTA UMIDITÀ: idratazione e caratteristiche fisiche

Amaretti biscuit without starch and flour as ingredients in high moisture food systems: hydration and physical characteristics

Parole chiave: amaretti, formulazione, texture, idratazione, plasticizzazione

Key words: amaretti, formulation, texture, hydration, plasticization

INTRODUZIONE

Allo scopo di tutelare le ricette originarie e le caratteristiche qualitative di alcuni prodotti dolciari della tradizione alimentare italiana, recentemente è stato emanato in Italia il D.M. del 22 luglio 2005, "Disciplina della produzione e della vendita di taluni prodotti dolciari da forno", adottato congiuntamente dal Ministero delle Attività Produttive e dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. In accordo a tale normativa la denominazione "amaretto" è riservata solo al biscotto di pasticceria a pasta secca (umidità inferiore al 3%) caratterizzato da forma caratteristica tondeggiante, con struttura cristallina e alveolata, superficie superiore screpolata e gusto tipico di mandorla amara, con eventuale aggiunta di granello di zucchero. Per la sua preparazione possono essere utilizzati solamente zucchero (saccarosio), mandorle (singolarmente o in

combinazione con le armelline, in quantità tali da garantire non meno del 13%) e albume d'uovo di gallina. È permessa l'aggiunta di lievito chimico, latte, lattosio, proteine del latte, sale e, tra gli aromi, solo quello naturale di amaretto. I prodotti non conformi alle disposizioni del decreto non possono utilizzare la denominazione riservata e devono essere commercializzati con denominazioni diverse; ad esempio "biscotti alle mandorle".

Fino all'entrata in vigore del D.M. nel 2005, venivano utilizzati parimenti farine ed amidi nella formulazione degli amaretti, per le loro specifiche proprietà strutturali e leganti nell'impasto e nel prodotto finito.

L'accettabilità sensoriale degli amaretti, come quella di molti prodotti da forno, dipende dalle loro caratteristiche cinestetiche (tattili ed acustiche) percepite alla masticazione. In prodotti dolciari a bassa umidità ed a_w (biscotti, cracker, snack, ecc.), la struttura

SUMMARY

Two types of "amaretti" biscuits were produced with different formulations: one containing starch as a structuring agent (VR) and the other modified according to the current Italian legislation (NR) which does not permit the use of starch in the "amaretti" formulation. The "amaretti" formulated with the new recipe (NR) showed lower density and hardness than the VR amaretti but not a significantly different friability value.

Hydration experiments in sucrose solution (20°C) and on ice-cream (-15°C) were carried out and hydration kinetics and texture changes upon hydration were evaluated.

During hydration in sucrose solution, the NR product showed a higher moisture uptake than the VR one and lower hardness and friability values at different hydration levels. When hydration was carried out on ice-cream (at -15°C), the NR product showed a lower friability reduction than the VR one and a not different moisture uptake, but it still showed lower hardness values than the latter at each hydration level.

The replacement of starch in biscuits formulation affects the physical and mechanical properties of the products but could permit better performance in terms of friability retention at low moisture content.

SOMMARIO

Due tipologie di amaretti sono state ottenute utilizzando diverse formulazioni, una contenente amido come strutturante (VR) ed una preparata in accordo all'attuale normativa (NR) che non ammette la presenza di amido nella formulazione. Gli amaretti formulati con la nuova ricetta (NR) hanno mostrato valori di densità e durezza minori di quelli ottenuti con la vecchia ricetta ma una friabilità non significativamente differente.

Le cinetiche di idratazione e le caratteristiche meccaniche dei prodotti a diversi livelli di idratazione sono state studiate a seguito di immersione degli amaretti in soluzione di saccarosio a 20°C e di contatto su gelato a -15°C. In soluzione di saccarosio il prodotto NR ha mostrato una maggiore capacità di idratazione ed una minore durezza e friabilità a tutti i livelli di idratazione. Nell'idratazione a -15°C su gelato il prodotto NR ha mostrato un acquisto di umidità non differente rispetto a VR ed una minore riduzione della friabilità, pur presentando una consistenza minore di VR a tutti i livelli di idratazione.

La sostituzione dell'amido nella formulazione di biscotti modifica le proprietà fisiche e meccaniche del prodotto, ma può permettere migliori performance in termini di friabilità a bassi livelli di umidità.

amorfa, indotta dalla parziale disidratazione durante il processo di cottura, è determinante nel conferire proprietà meccaniche quali durezza, croccantezza e friabilità (Vickers, 1988; Suwonsichon e Peleg, 1998).

Nel caso di inclusioni di prodotti dolciari a bassa a_w in formulazioni complesse possono verificarsi aumenti di umidità nel prodotto per contatto con altri componenti dell'alimento a maggiore potenziale chimico o a_w (ad esempio gelato, creme, ecc.) come pure per effetto di un confezionamento non adeguato durante la conservazione. Questo può portare a indesiderati ram-mollimenti e collassi strutturali (Nelson e Labuza, 1993; Slade e Levine, 1995; Mastrocola *et al.*, 2005) a cui si possono associare anche perdite di composti volatili odorosi.

In questo studio sono state valutate le caratteristiche fisiche e meccaniche di amaretti preparati con una formulazione rispondente alla normativa vigente e di biscotti ottenuti con una formulazione contenente amido utilizzata prima dell'entrata in vigore del D.M. del 2005. In relazione

all'impiego degli amaretti come componenti in formulati dolciari complessi, è stata studiata anche la cinetica di idratazione (in soluzione zuccherina e per contatto superficiale su gelato) e la variazione delle proprietà meccaniche di tali prodotti a diversi livelli di idratazione.

MATERIALI E METODI

Materiali

Due tipologie di amaretto sono state utilizzate:

- amaretti preparati con la ricetta convenzionalmente utilizzata prima dell'entrata in vigore del D.M. del 25 luglio 2005 nella cui formulazione era compreso l'impiego di amido e di farina (nel testo: VR);

- amaretti preparati con la formulazione modificata, priva di amido e farina (nel testo: NR);

La composizione dell'impasto iniziale, espressa in percentuale, è riportata in **tab. 1**.

Entrambi i prodotti (VR e NR) sono stati ottenuti mediante il medesimo processo di produzione in termini di modalità di impastamento, di formatura (diametro medio del biscotto: 15-20 mm) e di cottura.

Analisi chimiche, fisiche e chimico-fisiche

Umidità: determinata per via gravimetrica a seguito di essiccazione in stufa (12 ore a 102°C).

a_w : misurata su campione macinato con igrometro AquaLab CX2 (Decagon Devices, Pullman, WA, Usa).

Densità: la densità di ingombro apparente e la densità assoluta sono state valutate secondo le seguenti metodiche:

- densità di ingombro apparente, determinata riempiendo con il prodotto intero un cilindro tarato da 1 L; al fine di ottenere dati più riproducibili la base del cilindro è stata ripetutamente battuta con 30 colpi leggeri e la diminuzione del volume è stata ripristinata con il prodotto. L'operazione è stata ripetuta fino al raggiungimento di un volume costante. La densità apparente è stata calcolata dividendo il peso del prodotto per il volume del contenitore (Harper, 1981);

- densità assoluta, determinata su 30 g di prodotto, triturato in modo da passare attraverso le maglie di un setaccio N. 8 (2,36 mm) ma non attraverso quelle di un setaccio N. 14 (1,4 mm). Il prodotto è stato inserito in un cilindro graduato e sottoposto alla stessa procedura utilizzata per la densità di ingombro apparente. La densità è stata calcolata come rapporto tra massa del campione e volume finale del prodotto (Bhattacharya e Hanna, 1988).

Analisi meccaniche: operate mediante un dinamometro Instron mod. 5542-H5036 (Instron International Limited, High Wycombe, UK) dotato di una cella di carico di 500 N ed utilizzando una cella di misura taglio-estrazione Kramer. Ogni prova è stata effettuata inserendo 6 amaretti sul fondo della cella in posizione centrata. L'analisi è stata condotta a 20°C con una velocità di discesa della cella di 50 mm min⁻¹. Dal grafico forza-spostamento sono stati considerati i seguenti parametri:

Tabella 1
Ingredienti e concentrazioni (% p/p) delle ricette dei prodotti VR e NR.

Ingredienti	Concentrazione (% p/p)	
	VR	NR
Zucchero semolato	42	58,8
Amido di frumento	25	-
Acqua	14,5	-
Mandorle dolci	-	8,8
Armelline amare naturali	8	20,6
Farina di frumento "0"	8	-
Albumi d'uovo	2,4	11,7
Ammonio bicarbonato	0,05	0,07
Aroma amaretto	0,05	0,07

- la forza massima F_m (N), corrispondente al picco massimo registrato nel grafico forza-deformazione, indice della “durezza” (Bourne, 1987);

- l'energia totale E_t (J), corrispondente all'integrale complessivo del grafico forza-deformazione, indice del lavoro richiesto per taglio ed estrusione del prodotto;

- il reciproco del rapporto E_t/F_m (mm), indice del grado di “deformabilità” (Case *et al.*, 1992; Sacchetti *et al.*, 2003), è stato utilizzato come indice di “friabilità”.

Prove di idratazione

Idratazione di amaretti per immersione in soluzione di saccarosio.

Circa 20 g, esattamente pesati, di amaretti interi sono stati immessi in 700 mL di soluzione acquosa al 60% p/p di saccarosio, sotto costante agitazione, a temperatura ambiente (20°C). I tempi di idratazione considerati sono stati pari a 2, 5, 10 e 20 min. Dopo estrazione dalla soluzione, ogni campione è stato sgrondato per 10 min su una rete metallica.

Idratazione di amaretti per contatto su gelato.

Circa 5 g di campione esattamente pesati (10 amaretti), sono stati posti sulla superficie di uno strato (2 cm) di gelato “fior di latte” reperito in commercio (Raffaele Magrini, Teramo, Italia) collocando la parte inferiore piatta del biscotto a diretto contatto con il gelato all'interno di un contenitore (25x20 cm) a chiusura ermetica. I campioni sono stati conservati a -15°C e prelevati ai seguenti tempi: 4, 8, 24, 36, 48 ore.

Tabella 2
Umidità, a_w e densità di amaretti VR e NR.

	Amaretti	
	NR	VR
umidità (% p/p)	1,31 ± 0,34	2,67 ± 0,08
a_w	0,200 ± 0,002	0,244 ± 0,008
densità apparente (g/L)	236,72 ± 1,32	341,04 ± 5,60
densità reale (g/L)	291,53 ± 7,42	311,8 ± 5,93

In entrambe le prove i campioni prelevati ai tempi prefissati sono stati sottoposti a pesata e, dopo 2 ore di stoccaggio in un contenitore di vetro a chiusura ermetica per permettere un'omogenea redistribuzione dell'umidità nel prodotto, sono stati sottoposti alla determinazione dell'umidità, della a_w e delle proprietà meccaniche.

Trattamento statistico dei dati

I dati analitici sono stati ottenuti da almeno tre analisi condotte su campioni indipendenti e sono riportati come medie e deviazioni standard. I dati sono stati elaborati con l'ausilio dei software Excel per Windows e Statistica 6.0 (StatSoft, Tulsa, OK, Usa) per Windows.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Caratteristiche fisiche e meccaniche dei prodotti

La sostituzione dell'amido e della farina nella formulazione degli amaretti con albume d'uovo, amaretti e saccarosio (ingredienti ammessi) ha determinato una diminuzione di umidità, a_w e densità del prodotto (tab. 2). L'amido infatti, una volta gelatinizzato in cottura, svolge funzione di idrocolloide, permettendo la strutturazione dell'impasto e la ritenzione di acqua. La sostituzione dell'amido con altri idrocolloidi (proteine dell'albume) e agenti igroscopici (zucchero) non permette un'analogia ritenzione di acqua e determina una riduzione della densità del prodotto. Tale

Tabella 3
Caratteristiche meccaniche degli amaretti NR e VR.

	NR		VR		p*
	Media	± d.s.	Media	± d.s.	
F_m (N)	137,32	16,69	382,47	34,44	**
E_t (J)	0,61	0,04	1,83	0,10	***
F_m/E_t (mm ⁻¹)	0,225	0,021	0,209	0,015	n.s.

F_m (N), Forza al picco massimo di rottura; E_t (J), Energia totale nella compressione-estrusione. *Differenze significative determinate con il t-test: **, p<0,01; ***, p<0,001; n.s., differenza non significativa.

riduzione di densità è favorita dal potere schiumogeno delle proteine dell'albumina e dalla scarsa capacità viscosante del saccarosio rispetto all'amido; questi fattori permettono l'inglobamento e lo sviluppo di gas durante l'impasto ed in cottura.

In base ai risultati dell'analisi meccanica (tab. 3) il prodotto NR ha mostrato una durezza ed energia necessaria al "taglio-estru-

sione" minori rispetto al prodotto VR. In prodotti da forno secchi la durezza del prodotto è generalmente proporzionale alla densità (Case *et al.*, 1992; Sacchetti *et al.*, 2005) ed anche in questo caso il prodotto meno denso (NR) è anche meno duro.

L'analisi dinamometrica non ha comunque permesso di evidenziare differenze significative di friabilità tra i due campioni. In

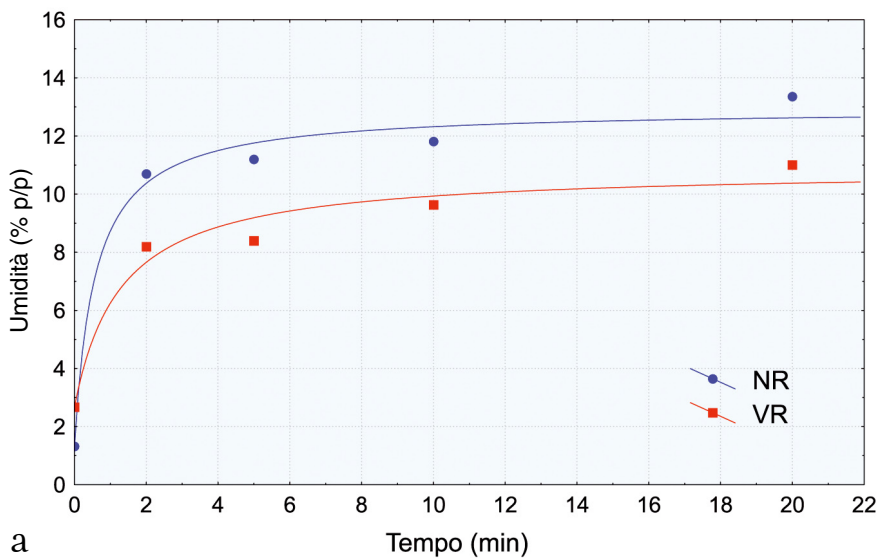
questo lavoro il rapporto tra sforzo massimo ed energia totale, reciproco dell'indice di deformabilità utilizzato in altri studi (Case *et al.*, 1992; Sacchetti *et al.*, 2003), è stato utilizzato come indice di friabilità.

Idratazione degli amaretti in soluzione zuccherina

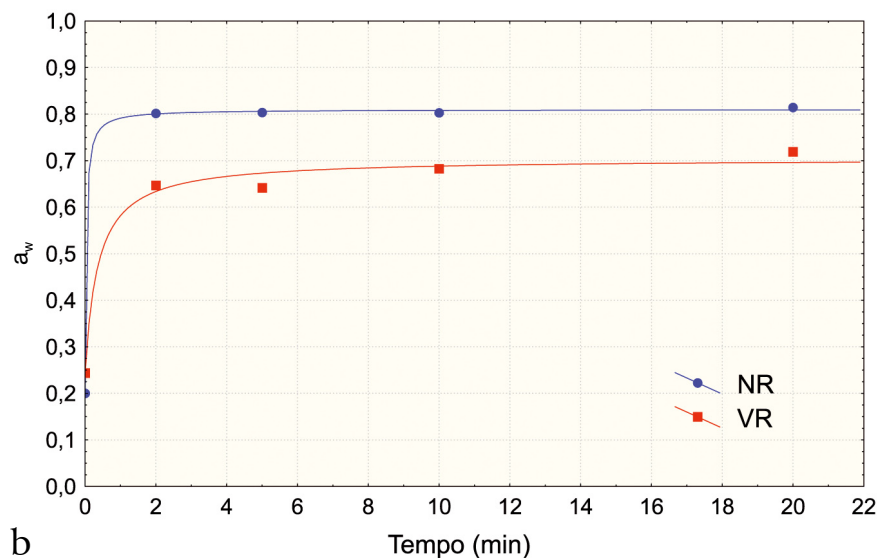
Gli amaretti sono spesso utilizzati come ingredienti in formulazioni complesse; in questi casi l'aumento di umidità che si può verificare nel prodotto per contatto con altri componenti alimentari a maggiore potenziale chimico o a_w (es. gelato, creme, ecc.) può portare a indesiderati rammollimenti e collassi strutturali. Prove di idratazione dei campioni sono state condotte al fine di studiare l'attitudine degli amaretti di diversa ricetta all'inclusione in formulazioni complesse ad alta a_w .

Le cinetiche di idratazione degli amaretti in soluzione di saccarosio a temperatura ambiente sono riportate in fig. 1a. Gli amaretti NR hanno mostrato una maggiore capacità di idratazione rispetto ai campioni VR; ciò può essere imputabile sia alla formulazione più ricca in saccarosio che alla minore densità del prodotto, che facilita l'entrata dell'acqua (Marabi e Saguy, 2004; Sacchetti *et al.*, 2005). La variazione di a_w in idratazione mostra lo stesso andamento rispetto all'umidità (fig. 1b).

L'idratazione in soluzione zuccherina ha causato una perdita di durezza in entrambi i prodotti (fig. 2a). L'acqua infatti influenza le proprietà meccaniche degli alimenti svolgendo un effetto plasticizzante sulla matrice ami-



a



b

Fig. 1a,b - Umidità (a) e attività dell'acqua (b) di amaretti durante idratazione in soluzione zuccherina (60% p/p) a 20°C in funzione del tempo di idratazione.

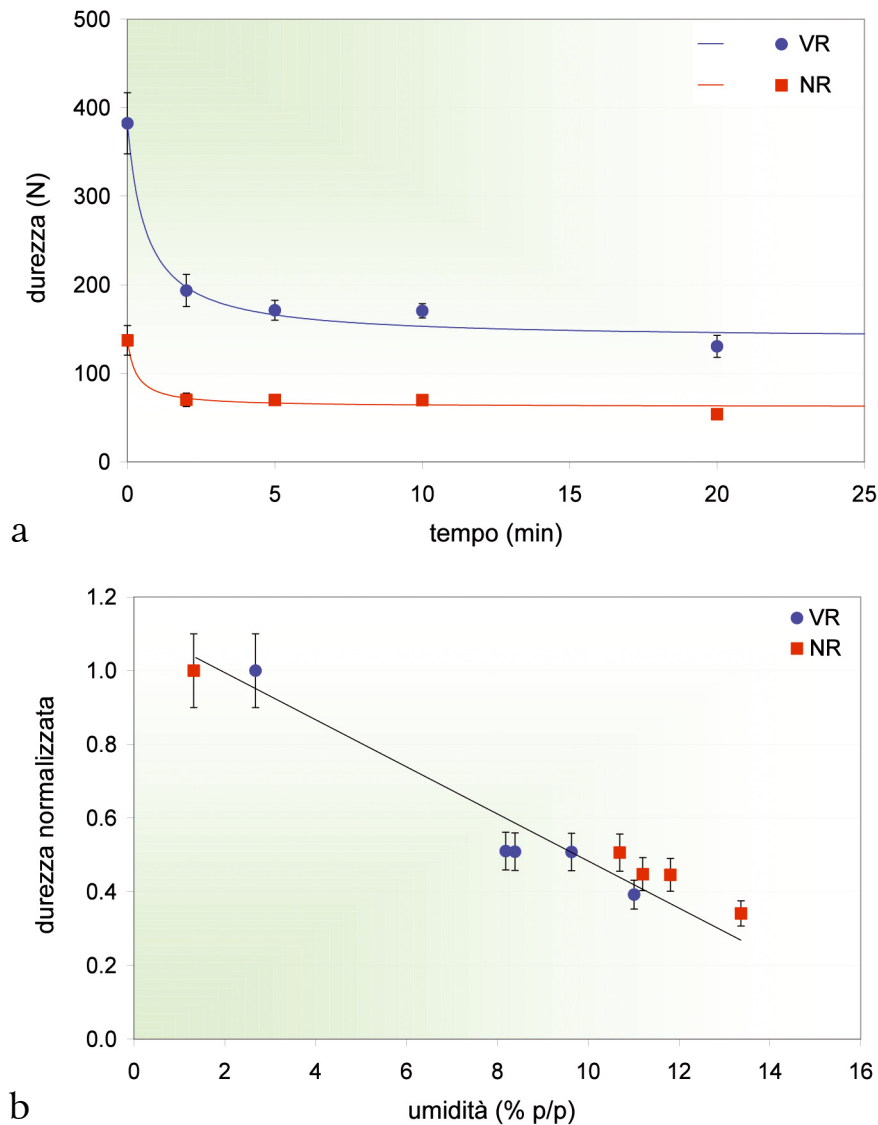


Fig. 2a,b - Variazione della durezza di amaretti durante idratazione in soluzione zuccherina (60% p/p) a 20°C in funzione del tempo di idratazione (a) e dell'umidità del prodotto (b).

dacea e/o proteica che assume un comportamento plastico e si internerisce. La durezza del campione NR (già più tenero in partenza) è risultata sempre inferiore rispetto a quella del campione VR a tutti i valori di idratazione, ma la perdita di durezza normalizzata (rispetto al valor iniziale) è risultata dipendere esclusivamente dal contenuto in umidità e non dalla formulazione del campione (fig. 2b).

L'effetto plasticizzante indotto dall'acqua ha determinato non solo una diminuzione di durezza ma anche un aumento di deformabilità del prodotto come osservato in precedenti studi (Sacchetti *et al.*, 2003). A parità di idratazione la friabilità dei campioni è risultata dipendere esclusivamente dal contenuto in umidità e non dalla formulazione (fig. 3).

I risultati osservati suggeriscono

come la formulazione giochi un ruolo ben più importante nella determinazione delle proprietà fisiche del prodotto che nel mantenimento delle proprietà meccaniche in idratazione.

L'idratazione in soluzione acquosa comporta non solo la diffusione di umidità nel prodotto ma anche una penetrazione del liquido d'idratazione nella matrice attraverso fenomeni di imbibizione e di capillarità (Peppas e Brannon-Peppas, 1994; Marabi *et al.*, 2003) con conseguente aumento della mobilità delle strutture macromolecolari e rigonfiamento della matrice. Questo meccanismo, dominato da fenomeni di rilassamento indotti dall'abbassamento della temperatura di transizione vetrosa, può determinare una deviazione delle cinetiche di idratazione dal modello Fickiano risultante in un aumento della capacità di idratazione (Peppas e Brannon-Peppas, 1994).

Idratazione di amaretti su gelato

Considerato l'utilizzo di amaretti come ingredienti per gelati o creme gelato è stato condotto anche un esperimento di idratazione su gelato a -15°C; in queste condizioni il mezzo umettante si trova in stato solido ed il trasferimento dell'umidità nel prodotto avviene principalmente per diffusione, sebbene un riarrangiamento della struttura a seguito di fenomeni di transizione vetrosa non possa essere escluso.

Le cinetiche di idratazione degli amaretti su gelato a -15°C sono riportate in fig. 4a. La capacità di idratazione a basse temperature è risultata minore. La tem-

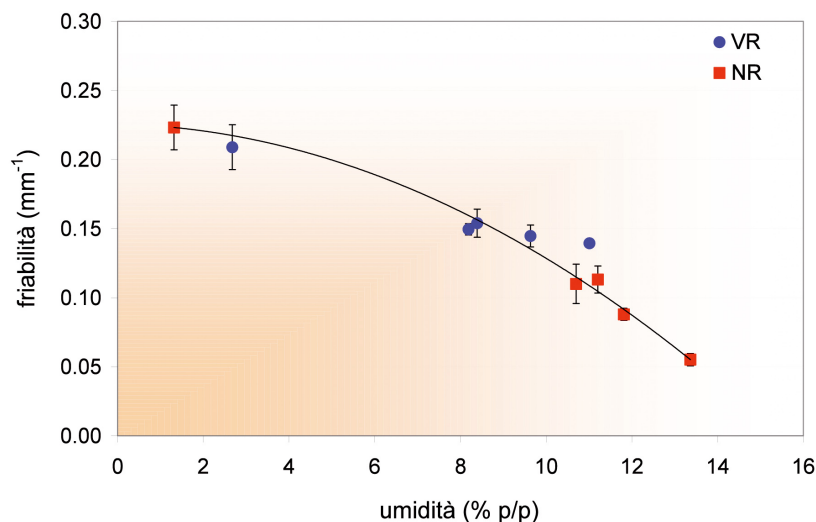
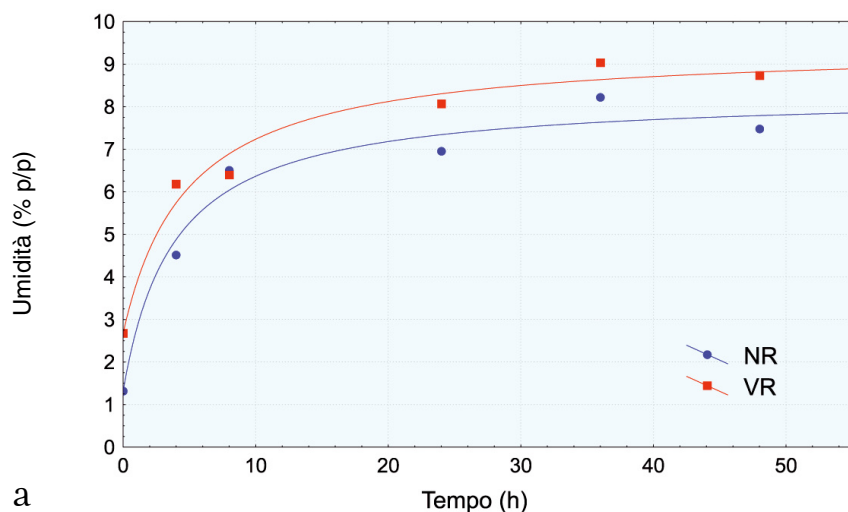
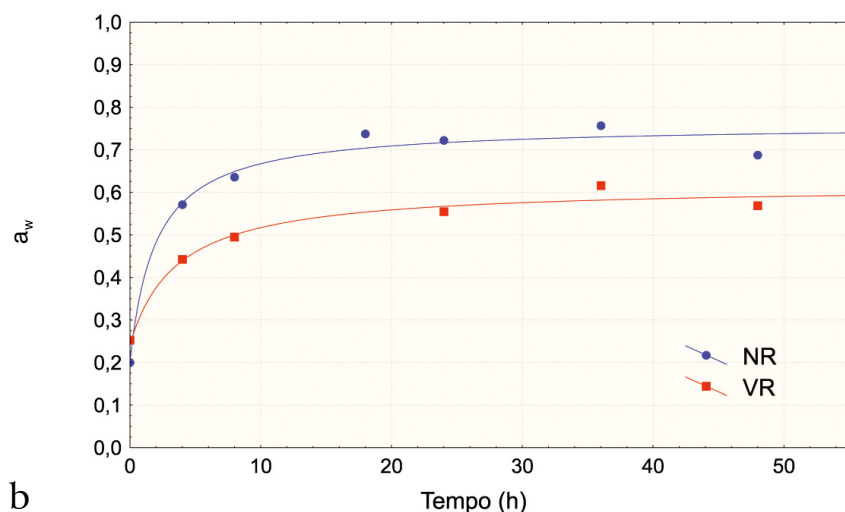


Fig. 3 - Friabilità di amaretti idratati in soluzione zuccherina (60% p/p) a 20°C in funzione dell'umidità del prodotto.



a



b

Fig. 4a,b - Umidità (a) e attività dell'acqua (b) di amaretti durante idratazione su gelato a -15°C in funzione del tempo di idratazione.

peratura influenza significativamente la velocità di idratazione, secondo la legge di Arrhenius, ma solo marginalmente la capacità di idratazione (Oliveira e Illicanu, 1999). Gli amaretti idratati a -15°C hanno mostrato invece una capacità di idratazione molto inferiore rispetto a quelli idratati a 20°C e ciò è imputabile sia al diverso meccanismo che regola la penetrazione dell'acqua nell'alimento che al diverso stato fisico della matrice a queste due temperature.

A temperatura di -15°C gli amaretti NR non hanno mostrato una capacità di idratazione maggiore rispetto ai campioni VR, in quanto, la maggiore porosità del prodotto che accelera l'idratazione grazie a fenomeni di imbibizione e capillarità (Marabi e Saguy 2004; Sacchetti *et al.*, 2005; Mastrocola *et al.*, 2005) gioca un ruolo marginale quando l'idratazione avviene principalmente attraverso la diffusione.

La variazione di a_w in idratazione ha mostrato un andamento diverso rispetto all'umidità (fig. 4b). L'amaretto di nuova formulazione, a parità di tempo di idratazione, ha mostrato valori di a_w maggiori rispetto al prodotto VR. Tale risultato può essere riconducibile alla diversa composizione dei due prodotti; infatti l'amaretto NR contiene saccarosio in maggiore quantità e questo zucchero durante la fase di idratazione può passare dallo stato amorfo a quello cristallino, anche favorito dalle basse temperature sperimentali. In questo tipo di stato fisico l'acqua adsorbita non viene legata e rimane solo intrappolata fisicamente nella matrice, quindi rilevanti variazioni di a_w possono corrispondere a minime

variazioni di umidità (Fennema, 1996).

L'idratazione su gelato ha causato una perdita di durezza in entrambi i prodotti (fig. 5a). Anche in questo caso la durezza del campione NR (più tenero in partenza) è risultata sempre inferiore rispetto a quella del campione VR a tutti i valori di idratazione. Osservando le cinetiche di variazione della durezza si può osservare come il prodotto VR mostri un leggero aumento di durezza a bassi valori di idratazione. Questo risultato, visibile anche in fig. 5b, può essere dovuto all'effetto "antiplasticizzante" dell'acqua che generalmente si osserva a valori di a_w superiori rispetto al monostrato e che è imputabile sia ad interazioni acquamatrice che ad una riduzione del volume libero (Pittia e Sacchetti, 2008). Tale effetto si osserva solo nel campione contenente amido (VR) e non in quello ricco di zuccheri e proteine (NR); ciò in quanto queste due tipologie di molecole limitano l'effetto antiplasticizzante dell'acqua (Pittia e Sacchetti, 2008).

A parte a bassi valori di umidità, ai quali è stato osservato un effetto antiplasticizzante dell'acqua, la durezza normalizzata (rispetto al valore iniziale) è risultata dipendere esclusivamente dal contenuto in umidità e non dalla formulazione del campione anche in questo caso.

L'idratazione dei campioni ha determinato una diminuzione della friabilità (fig. 6). Ciò evidenzia un aumento della deformabilità del prodotto nell'intervallo di umidità a cui è stato osservato l'effetto antiplasticizzante. Questo risultato conferma l'ipotesi che il cosiddetto effetto antipla-

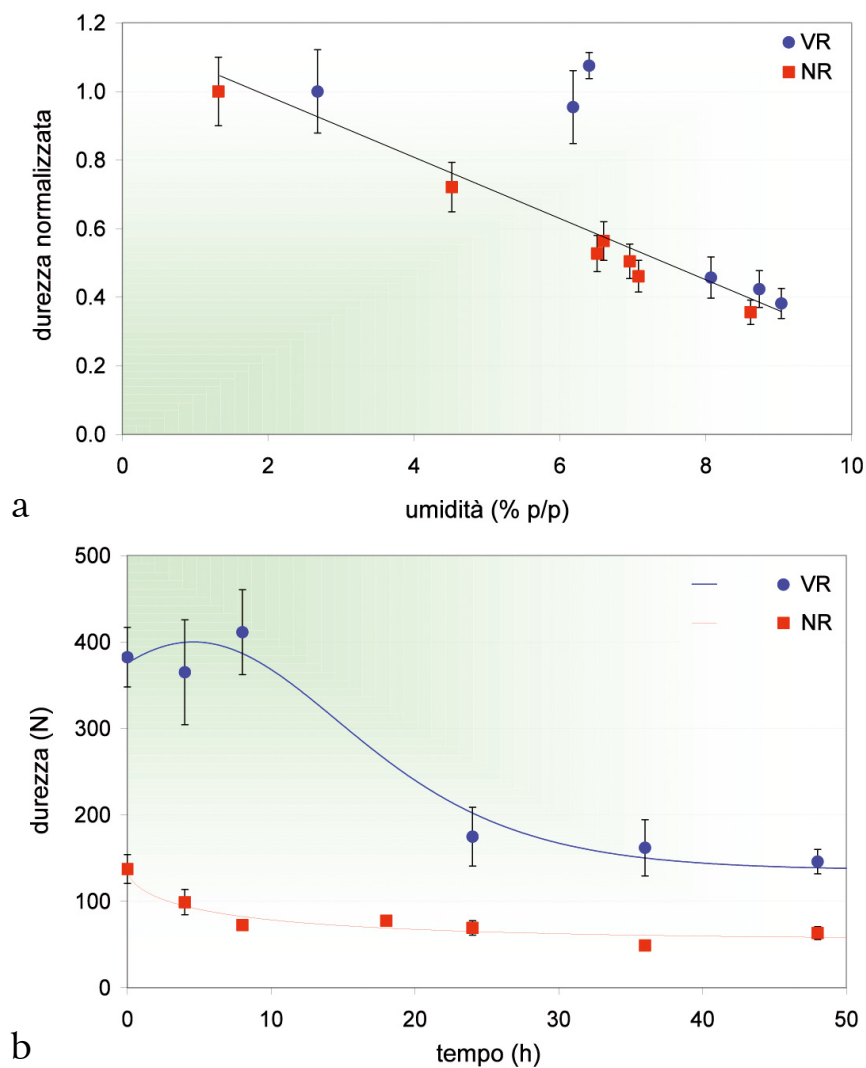


Fig. 5a,b - Variazione della durezza di amaretti durante idratazione su gelato a -15°C in funzione dell'umidità del prodotto (a) e del tempo di idratazione (b).

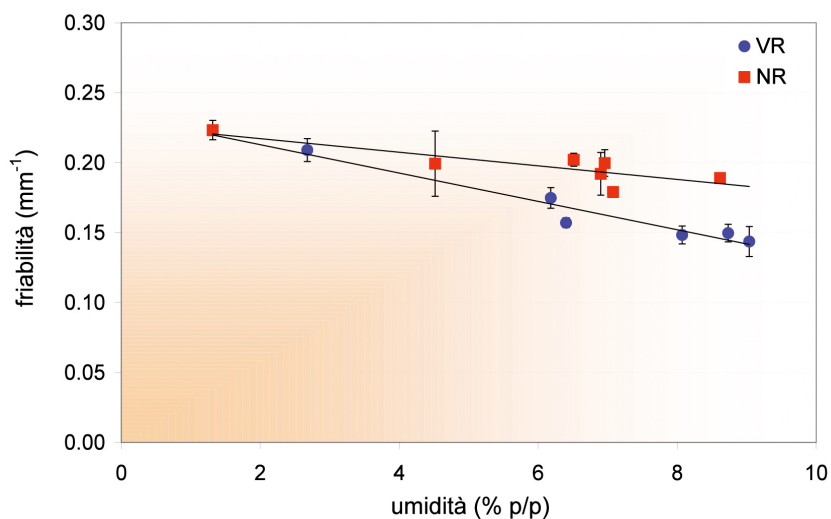


Fig. 6 - Friabilità di amaretti idratati su gelato a -15°C in funzione dell'umidità del prodotto.

sticizzante consista in un indurimento del prodotto dovuto alla riduzione del volume libero piuttosto che un irrigidimento di una matrice elastica che mantiene le proprie caratteristiche meccaniche (Pittia e Sacchetti, 2008). Contrariamente a quanto osservato durante l'idratazione a temperatura ambiente, a parità di idratazione la friabilità del campione VR è risultata inferiore rispetto al campione NR nella prova su gelato (fig. 6). In una struttura porosa sottoposta ad immersione in un liquido idratante i fenomeni di imbibizione e capillarità giocano un ruolo nei primi stadi di idratazione e le strutture porose subiscono una perdita di friabilità maggiore di quelle meno porose (Sacchetti *et al.*, 2003). A -15°C, in assenza di una penetrazione diretta del liquido nella matrice polimerica, si può assumere che il trasporto di umidità sia regolato principalmente da fenomeni diffusivi e che quindi la perdita di friabilità sia maggiormente dipendente dall'affinità dei componenti della matrice per l'acqua. In questo caso il prodotto NR più ricco in mandorle e contenente zucchero parzialmente cristallizzato mostra una minore perdita di friabilità rispetto al campione VR contenente amido e farina gelatinizzati che sono in grado di transitare dallo stato amorfo (friabile) a quello gel (deformabile) a seguito di idratazione.

CONCLUSIONI

La rimozione dell'amido dalla formulazione degli amaretti, imposta per legge, influenza marcatamente le proprietà mec-

caniche (durezza e friabilità) degli stessi sia come prodotti finiti, a bassa umidità, che inclusi come ingredienti in alimenti complessi ad alta a_w . Il mancato utilizzo dell'amido può portare in particolare ad un prodotto caratterizzato da una struttura maggiormente porosa, e quindi meno dura e consistente, rispetto al prodotto preparato con tale ingrediente.

Il contatto degli amaretti con un mezzo idratante ad alta a_w ne modifica le caratteristiche meccaniche. L'idoneità degli amaretti a mantenere le caratteristiche proprietà meccaniche che ne determinano l'apprezzamento (durezza e friabilità) sono risultate variare sia in funzione della modalità di idratazione (soluzione zuccherina o gelato) che della formulazione, evidenziando l'importanza degli ingredienti con capacità legante e strutturante nel determinare alcune caratteristiche qualitative e tecnologiche.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la ditta Dolciaria D'Orsogna (Treglio, Chieti, Italia) per aver realizzato la produzione dei campioni oggetto della presente sperimentazione.

BIBLIOGRAFIA

Bhattacharya M., Hanna M.A. (1988). Effect of lipids on the properties of extruded products. *J. Food Sci.*, 53, 1230-1231.
 Bourne M. (1987). *Texture Profile Analysis*. Food Technol., 7, 62-66.
 Case S.E., Hamann D., Schwartz S.J. (1992). Effect on starch gelatinization on physical properties of extruded wheat corn-based products. *Cereal Chem.*, 69 (4), 401-404.
 Fennema O.R. (1996). *Food Chemistry*. Marcel Dekker Inc., New York.
 Harper J.M. (1981). *Extrusion of Food*, Vol. 2 Boca Raton: CRC Press.
 Marabi A., Saguy I.S. (2004). Effect of po-

rosity on rehydration of dry food particulates. *J. Sci. Food Agric.*, 84, 1105-1110.
 Marabi A., Livings S., Jacobson M., Saguy I.S. (2003). Normalized Weibull distribution for modeling rehydration of food particulates. *Eur. Food Res. Technol.*, 217, 311-318.
 Mastrocola D., Sacchetti G., Pittia P., Di Mattia C., Dalla Rosa M. (2005). Rehydration of dried fruit pieces in aqueous sugar solutions: a review on mass transfer and final product characteristics. *Ital. J. Food Sci.*, 17 (3), 243-254.
 Nelson K.A., Labuza T.P. (1993). Glass transition theory and the texture of cereal foods. In: *The Glassy State in Foods*. Blanshard J.M.V., Lillford J. (Eds). Loughborough: Nottingham University Press, 513-517.
 Oliveira F., Illicanu L. (1999). Rehydration of dried plant tissues: basic concepts and mathematical modelling. In: *Processing Foods - Quality Optimization and Process Assessment*. Oliveira F.A.R., Oliveira J. (Eds). Boca Raton: CRC Press, p. 218.
 Peppas N.A., Brannon-Peppas L. (1994). Water diffusion and sorption in amorphous macromolecular systems and foods. *J. Food Eng.*, 22, 189-210.
 Pittia P., Sacchetti G. (2008). Antiplasticization effect of water in amorphous foods. A review. *Food Chem.*, 106 (4), 1417-1427.
 Repubblica Italiana (2005). Decreto Ministeriale 22-7-2005. Disciplina della produzione e della vendita di taluni prodotti dolciari da forno. G.U. n.177, 1-8-2005.
 Sacchetti G., Pittia P., Biserni M., Pinnavaia G.G., Dalla Rosa M. (2003). Kinetic modelling of textural changes in ready-to-eat breakfast cereals during soaking in semi-skimmed milk. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 38, 135-143.
 Sacchetti G., Pittia P., Pinnavaia G.G. (2005). The effect of extrusion temperature and drying-tempering on both the kinetics of hydration and the textural changes in extruded ready-to-eat breakfast cereals during soaking in semi-skimmed milk. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 40 (6), 655-663.
 Slade L., Levine H. (1995). Glass transitions and water-food structure interactions. *Adv. Food Nutr. Res.*, 38, 103-269.
 Suwonsichon T., Peleg M. (1998). Instrumental and sensory detection of simultaneous brittleness loss and moisture toughening in three puffed cereals. *J. Texture Stud.*, 29 (3), 255-274.
 Vickers Z.M. (1988). Instrumental measurements of crispness and their correlation with sensory assessment. *J. Texture Stud.*, 19, 1-14.