

Matr. N. 11576

UNIVERSITÁ
CAMPUS BIO-MEDICO DI ROMA

FACOLTÁ DI MEDICINA E CHIRURGIA
CORSO DI LAUREA (MAGISTRALE) IN SCIENZE
DELL'ALIMENTAZIONE E
DELLA NUTRIZIONE UMANA

Essiccazione a pannelli solari: approccio
ecosostenibile per la riduzione delle perdite
alimentari e per la valorizzazione nutrizionale in
una zona rurale della Tanzania

Relatore

Laura De Gara

Correlatore

Tiziana Cattaneo

Laureando

Ilaria Pacifico

ANNO ACCADEMICO 2018/2019

INDICE

	Pag.
Introduzione	3
Capitolo 1	
1.1 <u>Sicurezza alimentare nei paesi in via di sviluppo</u>	6
1.2 <u>Contesto nutrizionale tanzaniano</u>	8
Capitolo 2	
2.1 <u>Lo spreco alimentare</u>	10
2.2 <u>Strategie di riduzione dello spreco alimentare</u>	13
Capitolo 3	
3.1 <u>Principi dell'essiccamento</u>	13
3.1.1 Periodo costante e periodo decrescente	16
3.2 <u>Essiccamento solare</u>	18
3.3 <u>La frutta disidratata</u>	19
3.4 <u>Effetti dell'essiccazione</u>	20
3.4.1 Texture	20
3.4.2 Sapore e Aroma	21
3.4.3 Colore	22
3.4.4 Valore Nutrizionale	23
3.4.4.1 Vitamina C	24
3.4.4.2 Carotenoidi	26
3.4.4.3 Fenoli totali e capacità antiossidante	27
Capitolo 4	
4.1 <u>Strutturazione del lavoro di ricerca</u>	28
4.1.1 Il complesso del Monastero Benedettino di Mvimwa (Rukwa)	18
4.2 <u>Materiali e metodi</u>	19
4.2.1 Cronoprogramma delle attività svolte	20
4.2.2 Essiccatore <i>Italo base</i> ⁺	21
4.2.2.1 Generalità	22
4.2.2.2 Funzionamento del dispositivo	23
4.2.2.3 Regolazione della temperatura e dei tempi di essiccazione	24
4.2.2.4 Pulizia e cura del dispositivo	25
4.2.3 Essiccatore Zefiro _{MAX}	26
4.2.4 Analisi quantitative non distruttive	27
4.2.4.1 Misura del valore di acqua libera (a_w)	28
4.2.4.1.1 Come funziona <i>AquaLab</i>	29
4.2.4.2 Analisi colorimetrica	30
4.2.4.2.1 Cos'è il colore, cos'è la colorimetria	31
4.2.4.2.2 Il sistema tristimolo e il sistema <i>Hunter Color Solid</i>	32
4.2.4.2.3 Interazione luce-campione	33
4.2.4.3 Analisi spettrofotometrica nel vicino infrarosso (NIR)	34
4.2.4.3.1 Strumentazione	35
4.2.4.4 Analisi rifrattometrica (grado °Brix)	36

4.2.5 Matrici alimentari impiegate	37
4.2.6 Protocollo operativo	38
4.2.7 Produzione di ingredienti a base di frutta essiccata per la prima infanzia	39
4.2.8 Produzione di porridge fortificato ai semi di papaia - contesto nutrizionale della Scuola Secondaria St. Maurus Chemchemi di Sumbawanga	40
4.2.8.1 I benefici dei semi di papaia: background scientifico	41
4.2.8.2 Ingredienti, preparazione e buone prassi di lavorazione	42
4.2.8.3 Analisi sensoriale	43
4.2.8.3.1 Risultati	44
4.2.9 Packaging ed etichettatura	45
4.2.10 Parametri di processo	46
Capitolo 5	
5.1 <i>Risultati e discussione</i>	75
5.1.1 Valori di acqua libera a fine processo e dopo conservazione (campioni CREA)	75
5.1.1.1 Valori di acqua libera (campioni africani)	78
5.1.2 Valori di colore (campioni CREA)	80
5.1.2.1 Parametri colore a fine processo	80
5.1.2.2 Spettri colore a fine processo	82
5.1.2.3 Parametri colore dopo conservazione	87
5.1.2.4 Spettri colore dopo conservazione	92
5.1.2.5 Valori di colore (campioni africani)	98
5.1.2.5.1 Parametri colore	99
5.1.2.5.2 Spettri colore	101
5.1.3 Valori del NIR (campioni CREA)	104
5.1.3.1 Valori del NIR (campioni africani)	111
5.1.4 Valori °Brix	114
5.1.5 Temperatura e umidità	116
5.1.5.1 Periodo Giugno-Luglio (Milano)	116
5.1.5.2 Periodo Luglio-Agosto (Tanzania)	118
5.2 <i>Conclusioni</i>	120
Bibliografia	122
Sitografia	125

Introduzione

Gli obiettivi del presente progetto di ricerca sono duplici; il primo è quello di analizzare e ottimizzare i parametri e i protocolli operativi di dispositivi di essiccazione innovativi alimentati ad energia solare, per la realizzazione di prodotti e ingredienti a base di frutta disidratata. Il secondo, e consequenziale, è quello di approfondire in che modo il miglioramento di questo tipo di tecnologia alimentare possa inserirsi in una prospettiva di più ampio respiro.

Tra i diciassette Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (*Sustainable Development Goals* – SDGs) redatti nel 2015 dai governi dei Paesi membri dell'ONU, il secondo «*Zero Hunger*» e il dodicesimo «*Responsible Consumption and Production*» si prefiggono di porre fine a tutte le forme di fame e malnutrizione e fornire l'accesso a cibo sicuro, nutriente e in quantità sufficiente per tutta la popolazione mondiale, così come di garantire modelli sostenibili di produzione e consumo al fine di ridurre, tra gli altri, i costi di tipo ambientale. L'adozione di impianti di essiccamento che sfruttano l'energia solare, come quelli utilizzati nel presente studio, risulta essere un approccio ecosostenibile nell'ottica di riduzione delle perdite alimentari, in special modo nei paesi in via di sviluppo, e abbraccia pertanto gli intenti esplicitamente esposti nella Agenda 2030. Pertanto, la possibilità di produrre alimenti e ingredienti essiccati conservabili per lunghi periodi di tempo è di cruciale importanza se si vogliono indirizzare problematiche legate alla nutrizione a livello globale.

Grazie ai significativi progressi nelle tecnologie alimentari, vi sono abbondanti risorse alimentari in molti paesi nel mondo. Molti alimenti sono però altamente deperibili, e la consapevolezza della loro durabilità (*shelf-life*) è di fondamentale importanza se se ne vuole assicurare la conservazione nel tempo e nello spazio, scongiurando perdite alimentari.

Mentre con il termine «spreco alimentare» (*food waste*) si designa la perdita alimentare che si verifica prettamente nella fase finale di consumo, la «perdita alimentare» (*food loss*) si riferisce alle perdite che intervengono nella prima fase della filiera agroalimentare, soprattutto durante le fasi di post-raccolto, stoccaggio e trasformazione. Dal momento che le statistiche e i report annuali riguardanti le perdite alimentari globali sono allarmanti, lo sviluppo di impianti di essiccazione

efficienti può significativamente ridurre queste perdite; la connessione tra questi due ambiti, ossia lo sviluppo di tecnologie alimentari e soluzioni alle perdite alimentari offre prospettive promettenti.

La produzione di frutta essiccata sta riscuotendo grande successo nei paesi ad economia avanzata, mentre si sta cominciando ad apprezzarne le potenzialità in termini di durabilità e miglioramento nutrizionale della popolazione locale in paesi in cui l'accesso ad alimenti validi nutrizionalmente scarseggia. In paesi in cui le tecnologie alimentari non consentono di conservare gli alimenti più deperibili per lunghi periodi di tempo e nei quali la dieta si basa sui cosiddetti *staple food* carenti di micronutrienti fondamentali per il buon mantenimento di uno stato di salute, l'introduzione di produzioni alimentari quali frutta e verdura disidratate può abbracciare queste due esigenze. Lo sviluppo di questi dispositivi può infatti apportare un significativo miglioramento alle condizioni nutrizionali della popolazione, con produzioni alimentari di semplice realizzazione che possano incontrare non solamente le esigenze nutrizionali della specifica popolazione del luogo, ma anche incentivare l'interesse nella ricerca di soluzioni innovative per ridurre la perdita alimentare di matrici deperibili nell'area geografica di interesse.

L'essiccamento è un processo termico atto a ridurre l'umidità degli alimenti al fine di evitarne la proliferazione microbiologica ed assicurare pertanto la qualità igienico-sanitaria dei prodotti così trattati. D'altro canto, è fondamentale che il colore, il sapore, la consistenza e il contenuto nutritivo restino il più possibile comparabili alle rispettive matrici alimentari fresche, al fine di ottenere prodotti di qualità, sicuri e graditi al consumatore. Per questi motivi è necessario che il processo di essiccazione venga non solo monitorato ma soprattutto ottimizzato per quanto riguarda tempi e temperature di applicazione. Sebbene la letteratura in merito all'essiccazione come operazione unitaria sia abbondantemente ricca, la pratica del processo di essiccazione presenta molteplici sfide soprattutto quando si intende ottenere una linea standardizzata di prodotti. Questa variabilità di processo è dovuta a molteplici fattori, ascrivibili alle diverse varietà colturali disponibili da paese a paese e da regione a regione; alle modalità di stoccaggio nel periodo di post-raccolto; ai diversi parametri operativi di temperatura e umidità utilizzati; alle differenti tipologie di pretrattamento applicabili (taglio, sbucciatura, *blanching*,

ecc.) e, come nel nostro caso, anche a fattori metereologici esterni. Tutte queste variabili rendono spesso difficoltoso il confronto fra dati sperimentali ottenuti a diverse latitudini e in diversi periodi dell'anno, e fanno sì che la standardizzazione del processo risulti per nulla intuitiva.

Il presente studio è stato condotto nell'arco di 4 mesi, a partire da Giugno 2019 a Settembre dello stesso anno, in sedi differenti. La prima parte del lavoro è stata condotta nei mesi di Giugno e Luglio durante un periodo di tirocinio formativo preliminare di essiccamento presso il *Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria* (CREA – sede in Via Giacomo Venezian 26 – 20133 Milano, Italia) e durante il quale sono state effettuate lavorazioni di essiccazione pilota, al fine di verificare la trasposizione di scala dell'intero processo, il buon andamento della trasformazione e la conservabilità nel tempo, tramite test di laboratorio. La seconda parte è stata condotta nei mesi di Luglio e Agosto nella Tanzania meridionale (regione di Rukwa), dove sono state effettuate lavorazioni di essiccazione su frutta reperita localmente, preparazioni di ingredienti a base di frutta essiccata così come di alimenti funzionali, con l'obiettivo di predisporre l'avviamento in una scuola secondaria di un laboratorio nutrizionale incentrato sullo studio e l'uso di impianti innovativi di essiccazione ad energia solare.

La struttura del presente lavoro di ricerca si articola pertanto in cinque sezioni; la prima comprendente un'introduzione sulla sicurezza alimentare, la malnutrizione nei paesi in via di sviluppo e il contesto nutrizionale tanzaniano. La seconda sezione si incentra sullo spreco alimentare, seguita dalla terza focalizzata sui principi del processo di essiccazione. La quarta, prettamente sperimentale, tratta i materiali e metodi, ed infine la quinta e ultima sezione vede protagonisti risultati e discussione del progetto di ricerca. Le analisi effettuate, incentrate prettamente sull'aspetto tecnologico della conservabilità, mostrano risultati promettenti per quanto riguarda la realizzazione di prodotti essiccati di frutta e verdura ed anche prodotti fortificati proposti a studenti tanzanesi.

CAPITOLO 1

1.1 Sicurezza alimentare nei paesi in via di sviluppo

Il concetto di sicurezza alimentare (*food security*) è quello che è stato delineato in occasione del *World Food Summit* del 1996 e ad oggi universalmente accettato secondo cui: “*La sicurezza alimentare esiste quando tutte le persone, in ogni momento, hanno accesso fisico, sociale ed economico ad alimenti sufficienti, sicuri e nutrienti che soddisfino le loro esigenze e preferenze alimentari per condurre una vita attiva e sana*”; definizione che rafforza la natura multidimensionale della sicurezza alimentare e che comprende i concetti di accesso, disponibilità, utilizzo e stabilità del cibo ¹. Le persone che vivono in una condizione di una moderata insicurezza alimentare si trovano nell’incapacità di poter disporre di cibo e sono costrette a ridurre, nel corso dell’anno, la qualità e/o la quantità di cibo che consumano a causa della mancanza di denaro o di altre risorse. Si riferisce quindi alla mancanza di un accesso regolare al cibo, che diminuisce la qualità alimentare, interrompe i normali modelli alimentari e può avere conseguenze negative per la nutrizione, la salute e il benessere. Coloro che vivono invece in una condizione di grave insicurezza alimentare non hanno accesso al cibo, subiscono la fame e, nei casi più estremi, trascorrono giorni senza mangiare, mettendo a grave rischio la loro salute e il loro benessere ².

È da tempo ben assodato che l’insicurezza alimentare, la povertà e la malnutrizione sono problemi strettamente interconnessi fra loro, e risultano pertanto legati da una radicata condizione di causa-effetto; per questo affrontare il problema della sicurezza alimentare implica necessariamente che venga inserito in un’ottica ampia, che ne abbracci le innumerevoli sfaccettature e implicazioni.

L’insicurezza alimentare contribuisce alla diffusione tanto del sovrappeso e dell’obesità, tanto della denutrizione, e tassi elevati di queste forme di malnutrizione coesistono in molti paesi. Si legge in un report del 2018, *The State of Food Security and Nutrition in the World* ³ che il costo più elevato di alimenti nutrienti, lo stress derivante dal vivere in una condizione di insicurezza alimentare e gli adattamenti fisiologici alla restrizione alimentare aiutano a spiegare perché le famiglie insicure dal punto di vista alimentare hanno un maggiore rischio di sovrappeso e obesità. La malnutrizione è un problema che colpisce tutti i paesi nel

mondo e un individuo su tre ⁴. Di conseguenza, porre fine a tutte le forme di malnutrizione e fornire l'accesso a cibo sicuro, nutriente in quantità sufficienti e per tutta la popolazione mondiale entro il 2030 è uno dei traguardi inseriti tra gli *Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development Goals – SDGs* ⁵) redatti dai Paesi Membri dell'ONU.

Secondo i dati disponibili, il numero di persone che soffrono la fame è cresciuto negli ultimi tre anni, tornando ai livelli di un decennio fa. Si stima che il numero di persone nel mondo denutrite o in fame assoluta è ora aumentato da circa 804 milioni nel 2016 a quasi 821 milioni nel 2017. E mentre la situazione sta in realtà migliorando in Asia, nel Sud America e nella maggior parte delle regioni dell'Africa il fenomeno sta continuando a peggiorare. Questa tendenza ci dà un chiaro segnale del fatto che se gli sforzi non verranno rafforzati, il secondo tra gli SDGs di eradicazione della fame non sarà raggiunto entro il 2030 (obiettivo 2: *Porre fine alla fame, raggiungere la sicurezza alimentare, migliorare la nutrizione e promuovere un'agricoltura sostenibile* ⁶).

Tra gli SDGs, l'obiettivo 1 è: *Porre fine ad ogni forma di povertà nel mondo* ⁷. Tra gli elementi chiave individuati in un report della FAO del 2018 (*Ending Extreme Poverty in Rural Areas* ⁸) per porre fine alla povertà estrema, vi è proprio il sostegno alle attività legate all'agricoltura, che possono contribuire a garantire la sicurezza alimentare e la nutrizione, generando reddito per le persone che abitano in zone rurali estremamente marginali, e fornendo loro l'accesso ad alimenti base della dieta ma anche nutrizionalmente validi. Porre fine alla povertà estrema e alla fame nelle zone rurali richiede pertanto la creazione di posti di lavoro dignitosi, sia nel settore agricolo che non agricolo. Mentre l'agricoltura è la principale fonte di cibo e reddito per le popolazioni delle aree rurali, promuovere al contempo la loro partecipazione ad attività extra-agricole, come la trasformazione alimentare e l'imballaggio, è fondamentale per diversificare i loro mezzi di sostentamento alimentare.

Fatte queste premesse, riteniamo che studi come il nostro, possano ben collocarsi all'interno di progetti di sviluppo alimentare sostenibile, che possano incrementare l'interesse della ricerca verso nuovi modelli produttivi, che incontrino

le esigenze nutrizionali delle popolazioni – in particolar modo quelle che abitano in zone rurali – e che siano sostenibili da un punto di vista ambientale.

1.2 Contesto nutrizionale tanzaniano

Una buona alimentazione è un prerequisito fondamentale per una vita sana e attiva, soprattutto per le famiglie che dipendono dall'agricoltura. Tuttavia, le diete nella maggior parte delle famiglie in Tanzania difettano in varietà di scelta alimentare, e l'assunzione di carne, pollame, pesce, frutta e verdura è bassa (Ochieng J. et al., 2017).

Secondo un report pubblicato dalla *World Food Programme* (WFP) nel maggio 2019 ⁹, la Tanzania è autosufficiente a livello nazionale dal punto di vista alimentare; tuttavia, l'approvvigionamento di materie alimentari risulta carente in zone rurali, a livello regionale, distrettuale e anche domestico. Ciò avviene principalmente a causa della dipendenza dell'agricoltura dall'acqua piovana, e dell'uso limitato delle moderne tecnologie agricole. Nonostante ben il 74% dei tanzaniani che abitano in zone rurali sia dedito al settore agricolo, l'agricoltura di per sé costituisce solo il 28,4% del PIL nazionale. Uno tanzaniano su dieci vive al di sotto della soglia di povertà alimentare, e un bambino su tre è cronicamente malnutrito (ben il 34,7% dei bambini di età compresa tra i 6 e i 59 mesi).

Interessanti i risultati emersi da un sondaggio effettuato a livello nazionale sugli stili alimentari condotta dal *National Institute for Medical Research* (NIMR) nel 2013 ¹⁰. Lo studio è stato condotto sull'intera popolazione della Tanzania, su uomini e donne di età compresa tra i 24 e i 65 anni che vivono sia nelle zone rurali che urbane, tramite interviste riguardo la frequenza di consumo di frutta e verdura e la quantità consumata. Nel complesso la popolazione presa in esame riporta di consumare frutta 2,5 giorni alla settimana in media (gli uomini 2,2 giorni, le donne 2,8 giorni), che è evidentemente un consumo non rispondente al fabbisogno giornaliero minimo. Tuttavia, i dati sul consumo di verdura sono risultati migliori: in media la popolazione consuma verdura circa 4,5 giorni alla settimana (gli uomini 4,3 giorni, le donne 4,7 giorni). Quindi, se da un lato, i risultati dell'indagine di cui sopra, evidenziano un'assunzione non ottimale di frutta nella popolazione tanzaniana, il consumo di verdura risulta quasi corrispondente al fabbisogno

settimanale ottimale. Questi dati si allineano con lo stile alimentare riscontrato nella scuola secondaria St. Maurus Chemchemi di Sumbawanga, una delle sedi del presente lavoro di ricerca (cfr. paragrafo 4.2.8).

Nello stesso studio è stato valutato anche il valore di BMI, parametro importante per una iniziale valutazione del rischio/presenza di obesità nell'individuo (e in generale di uno stato di malnutrizione). Il BMI medio della popolazione intervistata risulta essere di 22,9 (BMI medio fra gli uomini: 21,6; BMI medio fra le donne: 24,3). Circa il 13% della popolazione risulta essere sottopeso (BMI <18,5), il 17,3% in sovrappeso (BMI 25-29,9) e l'8,7% in stato di obesità (BMI 30). Risultano essere maggiormente in sovrappeso e in stato di obesità le donne rispetto agli uomini; di conseguenza, la popolazione in stato di sovrappeso od obesità ammonta al 26% dell'intera popolazione, con prevalenza maggiormente nelle donne (37,1%) rispetto agli uomini (15,1%).

Quindi, da questa indagine, si osserva che in nessun gruppo di età specifico, nè fra gli uomini né fra le donne, il consumo di frutta raggiunge la soglia raccomandata settimanalmente. Lo stesso discorso vale anche per il consumo settimanale di verdura, fatta eccezione solo per le donne di età compresa tra i 35 e i 44 anni. La produzione e il consumo di verdure gioca quindi un ruolo fondamentale nella diversificazione della dieta nelle donne tanzaniane. Tali risultati evidenziano la mancanza di adeguate conoscenze nella comunità in generale riguardo i benefici per la salute legati al consumo di frutta e verdura. D'altro canto, gli stessi ridotti tassi osservati in questo sondaggio di consumo raccomandato in frutta e verdura vengono segnalati anche in altre indagini condotte in altri paesi africani ¹¹.

Un'indagine recente condotta da Ochieng J. et al. nel 2017 nelle regioni tanzaniane di Dodoma e Mbeya (vicine alla regione di Rukwa, sede del presente lavoro di ricerca) conferma che la dieta condotta comunemente dalle famiglie intervistate comprende, nell'ordine: cereali, spezie, condimenti, bevande, verdure, oli e grassi, dolci, legumi, semi e infine frutta; i prodotti a base di carne (manzo, pollame e pesce), il latte, i prodotti lattiero-caseari e le uova sono invece consumati raramente. Anche l'indagine condotta da Msambichaka B. et al (2018) in una zona semi-urbana del Sud-Est della Tanzania conferma i dati di consumo pocanzi

riportati: nonostante siano globalmente raccomandate 5 porzioni giornaliere di frutta e verdura per la prevenzione di molte malattie e il mantenimento di un ottimale stato di salute, questo studio riporta che la maggior parte dei partecipanti (82%) non assume l'adeguata quantità di frutta e verdura giornaliera raccomandata. Anche in questo caso il consumo giornaliero di verdura (44,2%) risulta essere superiore rispetto a quello di frutta (15,5%). Si è osservato che in genere le verdure sono consumate con più frequenza ma in piccole porzioni, mentre la frutta è consumata principalmente in grandi porzioni ma più di rado.

Per questi motivi sono necessari maggiori sforzi per aumentare la frequenza di assunzione di frutta più che di verdura e per diffondere informazioni riguardo i benefici sulla salute che derivano da un cambiamento alimentare di questo tipo.

CAPITOLO 2

2.1 Lo spreco alimentare

Nel corso del '900 i progressi nell'agricoltura, nell'allevamento e nell'industria alimentare hanno consentito ai paesi più sviluppati di superare la condizione, fino a quel momento prevalente, di scarsa disponibilità di generi alimentari. Inoltre, l'aumento del reddito medio ha permesso a fasce sempre più ampie della popolazione di accedere a quantità e qualità maggiori di cibo. In questo modo, la crescente disponibilità e varietà di cibo, il prezzo tendenzialmente in calo e una percentuale sempre più bassa di reddito destinata ai generi alimentari hanno progressivamente favorito una maggiore tolleranza verso gli sprechi alimentari.

La questione dello spreco alimentare è di capitale importanza nella lotta all'eradicazione della fame nei paesi più poveri del mondo, dal momento che ne influenza la sicurezza alimentare, sviluppo economico e ambiente. Le cause esatte delle perdite alimentari variano da paese a paese e dipendono dalle specifiche situazioni locali. In termini generali, le perdite alimentari sono influenzate dalle scelte colturali e dai modelli di produzione, dalle infrastrutture, dai canali di distribuzione, dalle capacità di acquisto e dalle abitudini alimentari. Le perdite alimentari rappresentano uno spreco di risorse utilizzate nelle produzioni alimentari che comprendono terra, acqua, energia; produrre alimenti che non saranno consumati comporta emissioni di CO₂ inutili.

Secondo un report della FAO del 2011 (*Global Food Losses and Food Waste*)¹² le perdite alimentari economicamente evitabili hanno un impatto diretto e negativo sul reddito sia degli agricoltori che dei consumatori; soprattutto per coloro che vivono ai limiti dell'insicurezza alimentare, una riduzione delle perdite alimentari potrebbe avere un impatto immediato e significativo sul loro sostentamento. Le perdite alimentari avvengono in ogni fase della filiera alimentare: non fanno eccezione frutta e verdura per le quali possiamo individuare vari momenti quali la produzione agricola, la fase di post-raccolto e stoccaggio, la lavorazione, la distribuzione e il consumo (in quest'ultimo caso si parla di spreco alimentare e non più perdita, legato al comportamento di dettaglianti e consumatori) (Parfitt J. et al., 2010).

È necessario a questo proposito distinguere, per l'appunto, due definizioni, ben delineate dalla *Barilla Center for Food and Nutrition*¹³, che spesso vengono – erroneamente – utilizzate come sinonimi. Per *food losses* si intendono le perdite che si determinano a monte della filiera agroalimentare, principalmente in fase di semina, coltivazione, raccolta, trattamento, conservazione e prima trasformazione agricola; per *food waste* si intendono invece gli sprechi che avvengono durante la trasformazione industriale, distribuzione e consumo finale. Mentre nei paesi in via di sviluppo le perdite più significative si concentrano nella prima parte della filiera agroalimentare, soprattutto a causa dei limiti nelle tecniche di coltivazione, raccolta e conservazione, o per la mancanza di adeguate infrastrutture per il trasporto e l'immagazzinamento, nei paesi industrializzati la quota maggiore degli sprechi avviene nelle fasi finali della filiera agroalimentare (consumo domestico e ristorazione in particolare), quando il cibo è ancora perfettamente edibile. Va sottolineato che con “perdite alimentari” ci si riferisce solo ai prodotti destinati al consumo umano; ne vengono esclusi quindi mangimi e parti di prodotto non commestibili o destinati ad usi non alimentari (biomasse).

Volendosi soffermare sull'ampiezza del fenomeno, l'analisi condotta dalla FAO riporta che globalmente circa un terzo del cibo prodotto (destinato al consumo umano) viene perso o sprecato, un quantitativo pari a circa 1,3 miliardi di tonnellate all'anno. Una delle principali sfide per la ricerca, lo sviluppo e la politica agricola è come nutrire gli oltre 9,1 miliardi di persone che si prevede popoleranno il pianeta

nel 2050 (Parfitt J. et al., 2010). Per quanto molti esperti del settore alimentare suggeriscano che sia necessario aumentare significativamente la produzione alimentare per soddisfare la domanda globale futura (addirittura del 50-70%), ad oggi appare del tutto insufficiente l'attenzione che viene posta invece sulla riduzione della perdita di cibo già prodotto e già presente sul mercato, e parte del quale è destinato ad essere sprecato (Hodges R. J. et al., 2011).

Un recente rapporto della World Bank (2011) ¹⁴ ha rivelato che ogni anno si perdono volumi significativi di cibo in fase di post-raccolto nell'Africa subsahariana. La relazione dimostra che l'entità di questa perdita di cibo è di gran lunga superiore al valore dell'aiuto alimentare totale ricevuto da quest'area del pianeta nell'ultimo decennio e si stima che tali perdite siano pari al fabbisogno calorico annuo di 48 milioni di persone. Per questi motivi gli esperti concordano sul fatto che investire nella riduzione delle perdite post-raccolta sia un intervento d'impatto per migliorare la sicurezza alimentare. La riduzione delle perdite alimentari offre quindi un'importante via per rendere il cibo disponibile, alleviare la povertà e migliorare l'alimentazione. Inoltre, la riduzione delle perdite post-raccolto ha un impatto positivo sull'ambiente e sul clima, in quanto migliora la produttività a livello aziendale e riduce l'utilizzo di risorse produttive impiegate nella produzione di alimenti che andranno persi (Hodges R. J., et al., 2011). Un ostacolo importante negli sforzi per raggiungere la mitigazione delle perdite post-raccolto è la mancanza di una conoscenza chiara della reale entità delle perdite, il che rende impossibile misurare i progressi rispetto a qualsiasi obiettivo; le stime in letteratura variano ampiamente.

Una review redatta da Affognon H. et al., (2014) fornisce un quadro interessante sullo stato dell'arte riguardo le prove sulla natura, la grandezza e i costi delle attuali perdite post-raccolto di varie materie prime lungo la catena alimentare (cereali, legumi, frutta, radici e tuberi, verdure, prodotti di origine animale e colture oleaginose) in vari paesi dell'Africa subsahariana (Benin, Ghana, Kenya, Malawi, Mozambico e Tanzania). I risultati mostrano che le perdite più elevate si hanno per frutta e verdura, ma anche radici, tuberi e pesce a causa della natura deperibile di queste materie prime e degli scarsi metodi di lavorazione post-produzione. Per la frutta e la verdura le perdite ammontano rispettivamente al $55,9 \pm 25,4\%$ e al $43,5$

$\pm 16,6\%$, perdite che potrebbero essere ridotte del ben $24,8 \pm 15,6\%$ e del $10,7 \pm 13,8\%$ rispettivamente, con vari tipi di interventi in varie fasi di lavorazione.

2.1 Strategie di riduzione dello spreco alimentare

Nell'ottica di un incremento demografico globale sempre più incalzante, di una quantità ad oggi insostenibile di cibo che viene regolarmente perso e/o sprecato, si inserisce il concetto di “catena del secco” introdotta da Bradford K. J., et al. (2018) in contrapposizione alla comunemente nota “catena del freddo”. Nonostante il lavoro sopracitato si concentri in realtà sull'efficacia del mantenimento della “catena del secco” su derrate alimentari già non estremamente deperibili – come grano e semi – nel prevenire la comparsa di muffe e la possibile conseguente infezione da micotossine, crediamo che questo concetto possa essere esteso su qualsiasi tipo di alimento che necessiti di condizioni di bassa umidità al fine di consentirne una adeguata conservazione nel tempo e nello spazio.

È nell'abbracciare quest'ottica che si pone pertanto la progettazione e la realizzazione di nuove tecnologie di essiccamento alimentare che sfruttino energie alternative ecosostenibili per la riduzione di perdite alimentari in fase soprattutto di post-raccolta, come approccio complementare all'incremento di cibo disponibile e commestibile, specialmente nei paesi in via di sviluppo.

Lo studio dei dispositivi utilizzati nella presente ricerca e descritti ai paragrafi 4.2.2 e 4.2.3 si prefigge di inserirsi in questo discorso e di contribuire all'ampliamento delle conoscenze nell'ambito dell'essiccazione solare al fine di una migliore ottimizzazione delle risorse alimentari attualmente prodotte soprattutto nei paesi in via di sviluppo dei quali anche la Tanzania fa parte.

CAPITOLO 3

3.1 Principi dell'essiccamento

L'essiccamento è uno dei metodi più antichi di conservazione del cibo; è ancora ampiamente utilizzato per preservare gli alimenti per il consumo domestico e per la vendita ¹⁵. Carne, pesce, frutta, bacche, erbe aromatiche e altri alimenti vegetali sono stati essiccati per lo stoccaggio e il consumo durante le stagioni di magra da praticamente tutte le culture umane (Bradford K.J. et al., 2018).

L'essiccazione consiste nell'applicazione di calore in condizioni controllate al fine di rimuovere per evaporazione la maggior parte dell'acqua normalmente presente nell'alimento. Lo scopo principale della disidratazione è quello di estendere la *shelf-life* dei prodotti alimentari mediante la riduzione dell'attività dell'acqua (a_w) (cfr. paragrafo 4.2.4.1): ciò inibisce la crescita microbica e l'attività enzimatica, ma la temperatura di processo è di solito insufficiente per determinarne l'inattivazione. Pertanto, qualsiasi aumento del contenuto di umidità durante lo stoccaggio può provocare un rapido deterioramento. Analogamente, le spore patogene nel cibo non vengono distrutte da questo tipo di lavorazione e possono costituire un pericolo per la salute. Inoltre, va sottolineato che l'essiccazione provoca anche il deterioramento della qualità e del valore nutrizionale dell'alimento; per questo la progettazione delle apparecchiature di disidratazione mirano a minimizzare questi cambiamenti tramite la selezione di condizioni di essiccazione appropriate per i singoli alimenti.

La riduzione del peso e della massa dei cibi essiccati riduce i costi di trasporto e stoccaggio. La disidratazione fornisce al consumatore dei prodotti convenienti dal punto di vista della durata di conservazione a temperatura ambiente, ed anche ingredienti alimentari che sono più facilmente gestibili dagli operatori del settore alimentare. (Fellows P. J., 2016).

L'essiccamento comporta simultaneamente l'applicazione di calore e la rimozione di umidità per evaporazione dagli alimenti; il tutto avviene o tramite l'uso di aria calda o di superfici riscaldate. Ci sono un gran numero di fattori che controllano la velocità a cui gli alimenti si essicano, come le condizioni di lavorazione, la natura dell'alimento e la progettazione dell'impianto di essiccazione. I fattori che determinano la capacità dell'aria di rimuovere l'umidità da un alimento sono:

- ❖ la quantità di vapore acqueo portato dall'aria;
- ❖ la temperatura dell'aria (*dry bulb*);
- ❖ la quantità di aria che passa sul cibo.

La quantità di vapore acqueo nell'aria è espressa come umidità assoluta (W), definita come "contenuto di umidità", che equivale al rapporto tra la massa del vapore acqueo e la massa dell'aria. Invece, l'umidità relativa (RH) è definita come

il rapporto tra la pressione parziale del vapore acqueo nell'aria e la pressione di vapore acqueo saturo alla stessa temperatura, moltiplicato per 100:

$$RH = (\rho_w / \rho_{ws}) \times 100$$

La quantità di calore necessaria per aumentare la temperatura di una miscela di vapore acqueo e aria è detta “calore umido” e corrisponde al calore sensibile utilizzato per riscaldare solidi o liquidi.

Il calore assorbito dall'aria da parte del cibo fa innalzare la temperatura del cibo e fornisce il calore latente necessario a far evaporare l'umidità dalla superficie dello stesso (*wet bulb*). Il calore viene poi perso a causa dell'evaporazione, e la temperatura scende (fenomeno conosciuto come “raffreddamento per evaporazione”). Si raggiunge uno stato statico quando il flusso di calore dall'aria al cibo è uguale al calore latente di vaporizzazione richiesto per far evaporare l'umidità. Un aumento della temperatura dell'aria, con una riduzione di RH, provoca una più rapida evaporazione dell'acqua da una superficie umida e quindi produce un maggiore effetto di essiccazione. Il *dew point* (“punto di rugiada”) è la temperatura alla quale l'aria diventa satura di umidità (100% RH) e qualsiasi ulteriore raffreddamento da questo punto provoca la condensazione dell'umidità dell'aria.

Il terzo fattore che determina il tasso di essiccazione, oltre alla temperatura dell'aria e l'umidità, è la velocità dell'aria. Quando l'aria calda viene soffiata su un alimento umido, il vapore acqueo diffonde attraverso un film d'aria che circonda l'alimento e viene portato via dal movimento dell'aria. Si stabilisce così un gradiente di pressione di vapore acqueo dall'interno umido del cibo fino all'aria secca. Questo gradiente fornisce la forza traino necessaria alla rimozione dell'acqua dal cibo. La pellicola di contorno funge da barriera sia per il trasferimento di calore sia per la rimozione del vapore acqueo. Lo spessore della pellicola è determinato principalmente dalla velocità dell'aria; aria a bassa velocità produce film più spessi, che riducono il coefficiente di trasferimento di calore e rallentano la rimozione di umidità. Quando il vapore acqueo lascia la superficie dell'alimento, esso aumenta l'umidità dell'aria della pellicola di contorno. Ciò riduce il gradiente di pressione di vapore acqueo e quindi rallenta il tasso di essiccazione. Al contrario, l'aria in rapido movimento rimuove l'aria umida più rapidamente, riduce lo spessore della pellicola

e aumenta il gradiente di pressione di vapore, aumentando così il tasso di essiccazione. In sintesi, le tre caratteristiche dell'aria necessarie all'essiccazione quando il cibo è umido sono:

- ❖ temperatura ambiente moderatamente elevata;
- ❖ bassa RH;
- ❖ velocità dell'aria elevata.

3.1.1 Periodo costante e periodo decrescente

Quando un alimento viene inserito in un essiccatore, vi è un breve periodo iniziale di assestamento in quanto la superficie si riscalda fino alla temperatura di evaporazione dell'acqua. Una volta cominciata l'essiccazione, a patto che l'acqua si muova dall'interno del cibo alla stessa velocità con cui evapora dalla superficie, la superficie rimane bagnata. Questo è noto come il periodo costante e continua fino a quando viene raggiunto un certo contenuto critico di umidità. La temperatura sulla superficiale dell'alimento rimane vicina alla temperatura di *wet bulb* fino alla fine del periodo costante a causa dell'effetto di raffreddamento dell'evaporazione dell'acqua. In pratica, complessivamente, il tasso di essiccazione diminuisce gradualmente quando ci si avvicina alla fine del periodo costante.

Quando poi il contenuto di umidità dell'alimento scende al di sotto di un valore critico, il tasso di essiccazione diminuisce lentamente fino a quando non si avvicina a zero (ossia l'alimento si trova in equilibrio con l'aria di essiccazione). Questo è noto come il periodo decrescente. Nel primo periodo, il piano di evaporazione si sposta dalla superficie all'interno del cibo, e l'acqua diffonde attraverso il solido fino all'aria di essiccazione. Il secondo periodo si verifica quando la pressione parziale di vapore acqueo è inferiore alla pressione di vapore saturo, e l'essiccazione è per desorbimento.

Durante il periodo decrescente, il tasso di movimento dell'acqua dall'interno verso la superficie scende al di sotto del tasso al quale l'acqua evapora verso l'aria circostante, e quindi la superficie si asciuga (supponendo che la temperatura, l'umidità e la velocità dell'aria siano costanti). La temperatura superficiale aumenta fino a raggiungere la temperatura dell'aria di essiccazione. La maggior parte dei danni causati al cibo può quindi verificarsi in questo periodo. Per minimizzare il

fenomeno, la temperatura dell'aria viene controllata per abbinarla alla velocità di movimento dell'umidità e ridurre l'entità del riscaldamento superficiale. Il periodo decrescente è solitamente la parte più lunga di un'operazione di essiccazione e i fattori che ne controllano il tasso di essiccazione cambiano. Inizialmente i fattori importanti sono simili a quelli del periodo costante, e la diffusione dell'acqua dall'interno alla superficie esterna è il meccanismo principale. Nelle fasi successive invece, la diffusione del vapore può essere più importante. Sintetizzando, l'acqua si muove dall'interno verso la superficie tramite i seguenti meccanismi:

- ❖ movimento dei liquidi dato da forze capillari, in particolare nei cibi porosi;
- ❖ diffusione di liquidi, causata da differenze di concentrazione di soluti sulla superficie e all'interno del cibo;
- ❖ diffusione di vapore acqueo negli spazi d'aria all'interno dell'alimento causata da gradienti di pressione di vapore.

I meccanismi che operano nel periodo decrescente dipendono principalmente dalla temperatura dell'aria e dalle dimensioni del cibo. Non sono influenzati né dall'RH, dell'aria, né dalla velocità dell'aria. Nelle fasi successive a questo periodo, la temperatura dell'aria determina il tasso di trasferimento di calore alla superficie di evaporazione all'interno del cibo. Il calore viene trasferito per conduzione attraverso il cibo e il tasso è limitato dalla conducibilità termica del cibo. La quantità di calore che raggiunge il liquido all'interno dell'alimento controlla la quantità di evaporazione che avviene e quindi la pressione di vapore sopra questa superficie liquida.

La dimensione dell'alimento esercita un effetto importante sul tasso di essiccazione, sia nel periodo costante che nel successivo decrescente. Nel primo periodo, i pezzi più piccoli hanno una superficie disponibile all'evaporazione più ampia, mentre nel secondo periodo, il calore e l'umidità devono percorrere un breve tragitto attraverso il cibo. Altri fattori che influenzano il tasso di essiccazione includono:

- ❖ la composizione e la struttura del cibo, che influenzano il meccanismo di rimozione dell'umidità (l'orientamento delle fibre nelle verdure e nei filamenti proteici nella carne permette un movimento di umidità più rapido lungo la loro lunghezza che attraverso la loro struttura);

- ❖ la presenza di spazi intercellulari, dai quali l'umidità è rimossa più facilmente rispetto all'interno delle cellule;
- ❖ la rottura delle cellule mediante *blanching*¹, che aumenta la velocità di essiccazione;
- ❖ l'aumento della concentrazione di soluti come zuccheri, sali, gomme, amidi durante il processo; aumentando la viscosità del liquido all'interno dell'alimento diminuisce il tasso di movimento di umidità;
- ❖ la quantità di cibo immesso nell'essiccatore in relazione alla sua capienza.

Per questi motivi il tasso al quale gli alimenti si essiccano può differire nella pratica dalle curve di essiccazione teoriche. Il calcolo dei tassi di trasferimento di calore nei sistemi di essiccazione è molto complesso e il calcolo dei tassi di essiccazione è ulteriormente complicato se gli alimenti si restringono durante il periodo decrescente.

3.2 Essiccamento solare

L'essiccamento al sole, in assenza attrezzature specifiche, è l'operazione di processamento alimentare più ampiamente praticata nel mondo, e più di 250.000.000 di tonnellate di frutta e cereali vengono essiccati ogni anno tramite l'energia solare. In alcuni paesi, gli alimenti vengono semplicemente disposti sul campo, tetti o altre superfici piane e rigirati regolarmente fino a completa essiccazione. Metodi più sofisticati utilizzano attrezzature per "raccolgere" l'energia solare e riscaldare l'aria che verrà utilizzata nel processo. L'essiccamento ad energia solare è una tecnologia semplice ed economica, sia in termini di capitale iniziale che di gestione. Non è necessaria manodopera qualificata, e grandi quantità di raccolto possono essere essiccate a basso costo.

I principali svantaggi sono gli scarsi controlli sulle condizioni di lavoro e i tassi di essiccazione inferiori a quelli che si possono ottenere in essiccatoi a combustibile, il che può risultare in prodotti di qualità inferiore e con maggiore variabilità. Inoltre, l'essiccazione dipende dall'ora del giorno e dalle condizioni

¹ Il blanching, o "sbollentamento" è un processo termico intermedio atto a migliorare la conservazione e la qualità degli alimenti inattivando enzimi che possono causare la perdita di sapore e colore. Solitamente la materia prima viene immersa in acqua a 88-99 °C o esposta a vapore per un periodo specifico (<https://www.sciencedirect.com/topics/food-science/blanching>).

metereologiche: in lunghi periodi di inoperatività, quando l'essiccazione non si verifica, può esserci il rischio di crescita microbica. Ciononostante, lo sfruttamento dell'energia solare e lo studio dei parametri di controllo di un processo di essiccazione solare possono rendere questa tecnologia estremamente accattivante soprattutto nell'ottica della ecosostenibilità.

3.3 La frutta disidratata

La frutta e la verdura fresche, in quanto aventi un contenuto di umidità di circa l'80%, sono classificati come prodotti altamente deperibili (Sagar V. R. e Kumar P, 2010). Ciò, ha dato luogo ad un'espansione della produzione e quindi del consumo di alimenti trasformati con valori di umidità ridotti. Tra questi, la frutta e gli ortaggi disidratati hanno ricevuto molta attenzione in quanto possono essere facilmente prodotti, imballati e trasportati a costi relativamente bassi, e il loro minimo contenuto di acqua evita lo sviluppo di alcuni microrganismi responsabili del deterioramento del prodotto fresco (Santos P. H. S e Silva M. A., 2008).

La frutta disidratata è uno dei prodotti più popolari realizzati in piccola scala (cfr. nota sitografica n. 15). L'essiccazione rimuove l'acqua alla matrice alimentare in modo tale che la crescita microbica sia inibita; riduce inoltre il peso degli alimenti, il che diminuisce i costi di trasporto e di stoccaggio. Si possono realizzare due tipi di frutta con questo processo: la frutta essiccata e la frutta disidratata (o "semi-umida"). I frutti semi-umidi, come ad esempio l'uva, contengono livelli naturalmente elevati di zucchero, il che significa che possono essere conservati anche con un più alto contenuto di umidità rispetto alla maggior parte degli altri frutti essiccati (anche maggiore del 25%). Fellows P. J. si riferisce a questi alimenti come "alimenti ad umidità intermedia", i quali presentano valori di attività dell'acqua compresi tra 0,6 e 0,84 (cfr. paragrafo 4.2.4.1). Questi ultimi vengono prodotti in vari metodi, tra i quali i principali sono la disidratazione parziale (per albicocche, uva sultanina, prugne) e la disidratazione osmotica, che avviene per ammollo in soluzioni concentrate di zucchero o sale, in cui la pressione osmotica determina la diffusione dell'acqua dall'alimento alla soluzione e la sua sostituzione con gli zuccheri/sali della soluzione (tipico esempio ne è la frutta candita).

3.4 Effetti dell'essiccazione

Tutti i prodotti alimentari subiscono cambiamenti durante l'essiccazione e lo stoccaggio, il che ne riduce inevitabilmente la qualità se comparati ai corrispondenti alimenti freschi; l'obiettivo della ricerca nel settore dell'essiccazione è di minimizzare questi cambiamenti, massimizzando contemporaneamente l'efficienza del processo. Peter Fellows et al. (2016) disegna un'interessante sintesi dei principali cambiamenti che intervengono sulla qualità dei cibi essiccati, e che riguardano la consistenza (texture), il sapore/aroma (flavour), il colore e il valore nutrizionale.

3.4.1 Texture

Le modifiche alla consistenza dei cibi solidi sono una causa importante di deterioramento della qualità durante l'essiccazione. Quando un alimento si disidrata diventa più viscoso e può passare attraverso una serie di stati di gommosità fino al raggiungimento di uno stato reversibile amorfo, non-cristallino e di aspetto "vetroso" quando la maggior parte dell'acqua è stata rimossa. Ad alti valori di viscosità, gli alimenti possono diventare appiccicosi e questo ha implicazioni importanti per la progettazione e la selezione delle condizioni di lavorazione.

La natura e l'entità dei pretrattamenti in frutta e verdura (la sbucciatura, il taglio, ecc.) influenzano senz'altro la consistenza, la cui perdita in questi prodotti è causata dai cambiamenti di composti polimerici strutturali. Variazioni localizzate nel contenuto di umidità durante l'essiccazione determinano stress interni che rompono, comprimono e distorcono permanentemente le cellule, conferendo all'alimento un aspetto raggrinzito. Nella reidratazione, il prodotto assorbe più lentamente l'acqua e non riconquista la consistenza salda del materiale fresco. Quando l'acqua viene rimossa durante l'essiccazione, i soluti si spostano dall'interno verso la superficie. Il meccanismo e il tasso di movimento sono specifici per ogni soluto e dipendono dal tipo di cibo e dalle condizioni di essiccazione utilizzate. L'evaporazione dell'acqua provoca la concentrazione di soluti in superficie. Le alte temperature dell'aria provocano cambiamenti chimici e fisici complessi ai soluti in superficie determinando la formazione di una buccia dura e impermeabile. Questo indurimento riduce il tasso di essiccamento e produce un alimento con una

superficie rinsecchita e un interno umido. La successiva migrazione di umidità verso la superficie durante lo stoccaggio può quindi promuovere la crescita di muffe. Ciò è minimizzabile controllando le condizioni di essiccazione per evitare gradienti di umidità eccessivamente elevate tra l'interno e la superficie del cibo.

3.4.2 Sapore e aroma

L'ossidazione lipidica durante lo stoccaggio provoca rancidità, lo sviluppo di *off flavours*, e la perdita di vitamine liposolubili e pigmenti in alcuni alimenti. I fattori che influiscono sul tasso di ossidazione comprendono il contenuto di umidità del prodotto, i tipi di acidi grassi presenti, il contenuto di ossigeno (relativo alla porosità del prodotto), la presenza di antiossidanti naturali e l'attività delle lipasi, nonché temperatura di stoccaggio ed esposizione alla luce ultravioletta.

Il calore non solo vaporizza l'acqua durante l'essiccazione, ma provoca anche la perdita di componenti volatili dal cibo, e di conseguenza la maggior parte degli alimenti secchi hanno meno sapore rispetto al materiale originale. L'entità della perdita volatile dipende dalla temperatura, dal contenuto di umidità dell'alimento e dalla pressione di vapore delle sostanze volatili. I sapori che hanno una elevata pressione di vapore relativa ed elevata diffusività sono persi nella fase iniziale di essiccamento; pertanto i cibi ad alto valore economico a causa dei loro sapori caratteristici (erbe aromatiche e spezie) sono essiccati a temperature più basse. Il tasso di perdita di sapore durante lo stoccaggio è determinato dalla temperatura di stoccaggio, dalla presenza di ossigeno e dall'attività dell'acqua del cibo. La maggior parte di frutta e verdura contiene solo piccole quantità di lipidi, ma l'ossidazione di acidi grassi insaturi che produce idroperossidi, che reagiscono ulteriormente per formare aldeidi, chetoni e acidi organici, provoca odori di rancido indesiderati. Queste modifiche vengono ridotte tramite:

- ❖ imballaggi sottovuoto;
- ❖ temperature di stoccaggio ridotte;
- ❖ evitamento della luce ultravioletta o visibile;
- ❖ mantenimento di bassi valori di umidità;
- ❖ aggiunta di antiossidanti sintetici;
- ❖ preservazione degli antiossidanti naturali.

I cambiamenti di sapore causati da enzimi ossidativi o idrolitici vengono evitati nella frutta essiccata mediante l'uso di anidride solforosa, acido ascorbico o acido citrico, tramite *blanching* o per pastorizzazione di latte e succhi di frutta.

3.4.3 Colore

L'essiccazione determina una variazione delle caratteristiche superficiali di un alimento e quindi ne altera riflessione e colore. Nella frutta e negli ortaggi, i cambiamenti chimici nei pigmenti carotenoidi e clorofilla sono causati dal calore e dall'ossidazione durante l'essiccazione, ma la maggior parte della distruzione del carotene è causata da ossidazione e attività enzimatica residua durante lo stoccaggio. La perdita del colore verde nelle verdure durante la fase iniziale di essiccazione è dovuta alla conversione della clorofilla in feofitina per perdita di ioni magnesio. Tempi di essiccazione più brevi e temperature di essiccamento inferiori, così come il *blanching* o il trattamento della frutta con acido ascorbico o anidride solforosa, riduce le perdite di pigmento (Krokida M., K. et al., 2001).

Reazioni enzimatiche ad opera di fenolasi (polifenolossidasi, cresolasi, catecolasi, tirosinasi) causano l'imbrunimento di alcuni frutti e ortaggi (banana, mela e patata) in seguito ad esposizione all'aria di composti fenolici, come gli idrossibenzeni, che vengono ossidati a melanine. Questo è un problema non indifferente quando i frutti vengono sbucciati e affettati, o quando la buccia viene intaccata durante la manipolazione (Krokida M., K. et al., 2000). Ciò può essere inibito da solfiti, metabisolfiti o bisolfiti, che mantengono un colore chiaro e naturale durante lo stoccaggio e inibiscono anche la crescita microbica.

Anche l'uso di imballaggi sottovuoto o di sacchetti *scavenger* di ossigeno, riduce gli imbrunimenti e le variazioni di sapore. L'innesco e il progredire delle reazioni di Maillard dipendono dall'attività dell'acqua del cibo e dalla temperatura di stoccaggio (reazioni favorite da più alte temperature e più lunghi tempi di essiccamento). La reazione, oltre a determinare imbrunimento, rende bio-indisponibili gli amminoacidi che vi partecipano, riducendo il valore nutrizionale.

3.4.4. Valore nutrizionale

Il rilascio di umidità aumenta la concentrazione di nutrienti per unità di peso negli alimenti essiccati rispetto ai loro equivalenti freschi. Le grandi differenze riportate in letteratura sul valore nutrizionale degli alimenti essiccati sono dovute a variazioni del contenuto di umidità, alla composizione della materia prima, alle differenti procedure di preparazione, ai diversi tempi e temperature di processo e alle condizioni di stoccaggio. Nelle frutta e negli ortaggi, le perdite di vitamine causate dalle procedure di preparazione superano solitamente quelle causate dall'essiccazione vera e propria. Ad esempio, Escher e Neukom (1970) hanno dimostrato che le perdite di vitamina C durante la preparazione di mele sono dovute per l'8% all'affettatura, per il 62% al *blanching* e solo per il 5% dall'essiccazione. Le vitamine hanno diversa solubilità in acqua e man mano che l'essiccazione procede, alcune, come la riboflavina, diventano supersature e precipitano dalla soluzione, per cui le perdite sono di lieve entità. Altre, come l'acido ascorbico, sono solubili fino a quando il contenuto di umidità dell'alimento non scende al di sotto di livelli molto bassi, e allora reagiscono con i soluti a tassi più elevati man mano che l'essiccazione procede. La vitamina C è inoltre sensibile al calore e all'ossidazione, per cui tempi di essiccazione brevi, temperature basse, bassi livelli di umidità e di ossigeno durante lo stoccaggio sono indispensabili per evitarne perdite ingenti (cfr. paragrafo 3.4.4.1 per approfondimenti). La tiamina è anch'essa termosensibile, e le sue perdite si aggirano intorno al 15% se la matrice alimentare ha subito *blanching*, ma possono arrivare a toccare il 75% in alimenti non trattati. Altre vitamine idrosolubili sono più stabili al calore e all'ossidazione, e le loro perdite durante l'essiccazione raramente superano il 5-10%, escluse però quelle che avvengono in fase di pre-trattamento o per *blanching*.

I nutrienti liposolubili (acidi grassi essenziali e le vitamine A, D, E e K) sono per lo più contenuti nella materia secca del cibo e non vengono concentrati durante l'essiccazione. Tuttavia, l'acqua è un solvente per i catalizzatori metallici che promuovono l'ossidazione dei nutrienti insaturi. Quando l'acqua viene rimossa, i catalizzatori diventano più reattivi e il tasso di ossidazione accelera. Anche le vitamine liposolubili vengono perse in seguito a interazione con i perossidi prodotti dall'ossidazione degli acidi grassi. Le perdite in fase di stoccaggio possono essere

ridotte agendo sulla concentrazione di ossigeno, sulla temperatura di stoccaggio, e sull'esclusione della luce. La luce ultravioletta provoca una riduzione del contenuto di carotene e riboflavina, ed aumenta inoltre il tasso di imbrunimento. Il valore biologico e la digeribilità delle proteine nella maggior parte degli alimenti non variano in maniera sostanziale in seguito all'essiccazione (Fellows P. J., 2016).

3.4.4.1 Vitamina C

Frutta e verdura sono fonti ricche di sostanze antiossidanti come l'acido ascorbico, carotenoidi, flavonoidi e acidi fenolici, i quali esercitano un impatto positivo sulla promozione della salute umana. (Kamiloglu S. et al., 2015). La vitamina C è un nutriente idrosolubile essenziale presente principalmente in frutta e verdura, che non solo previene malattie come lo scorbuto, ma svolge anche il ruolo di antiossidante biologico. Come riportato in una review condotta da Santos P. H. S. e Silva M. A. (2008), essa presenta quattro isomeri, ma solo l'L-ascorbico ha l'attività fisiologica della vitamina C. Sebbene l'acido ascorbico in forma cristallina pura sia stabile se esposto ad aria, luce e temperatura ambientale anche per lungo periodo, in soluzioni acquose o in alimenti, tuttavia, la sua stabilità risulta influenzata dalle condizioni di stoccaggio e dalla composizione della matrice; viene facilmente degradata a seconda di molte variabili come pH, temperatura, luce, presenza di enzimi, ossigeno e catalizzatori metallici. Per questo motivo la vitamina C viene spesso considerata un indicatore di qualità di processo.

Tra i parametri che influenzano la degradazione dell'acido ascorbico vi sono l'attività dell'acqua e la temperatura. Lee S.H. e Labuza T.P. (1975) hanno studiato la degradazione dell'acido ascorbico in funzione dell'attività dell'acqua, in un range $0,32 < a_w < 0,84$, e hanno riscontrato che la perdita più ingente di vitamina C si registra a valori di acqua libera di 0,84. Gli autori suggeriscono che ad alti valori di a_w l'acqua diluisce la concentrazione di acido ascorbico, inducendo un basso tasso di degradazione; tuttavia, aumentando il contenuto di acqua, la fase acquosa diventa meno viscosa, aumentandone la diffusione nel mezzo. Ciò facilita la reazione di ossidazione e conseguentemente il degrado di acido ascorbico. Altri autori (Khraisheh M.A.M et al., 2004) riportano una degradazione più veloce non appena il contenuto di umidità diminuisce. L'aumento della degradazione dell'acido

ascorbico a bassi contenuti di umidità è stato attribuito alla concentrazione di acido ascorbico, che aumenta man mano che il processo procede, con conseguente aumento del tasso di reazione. Il basso tasso di degradazione iniziale è stato attribuito all'integrità della struttura del campione, che fornisce un effetto protettivo dai componenti ossidativi cellulari.

Altro fattore, oltre all'umidità, che influenza la ritenzione e la cinetica di degradazione dell'acido ascorbico durante l'essiccazione è la temperatura. Elevati tassi di reazione sono stati osservati in concomitanza all'aumento della temperatura. Ad esempio, Orikasa T. et al. (2008) hanno osservato che a 70°C il tasso di reazione triplica rispetto a quello osservato a 40°C.

Ovviamente non sono soltanto le condizioni d'essiccazione ad influenzare la cinetica di degradazione dell'acido ascorbico in frutta e verdura, ma tutta una serie di variabili che rendono il fenomeno estremamente complesso. Vari autori hanno osservato come l'esposizione diretta o indiretta alla luce solare possa aumentare o diminuire la ritenzione di vitamina C a seconda della matrice alimentare, e ciò giustifica i risultati contrastanti che si possono trovare in letteratura. Per cercare di migliorare i parametri nutrizionali dei prodotti essiccati, vari autori hanno applicato diversi pretrattamenti; Kadam D. M. et al. (2005) hanno osservato il più alto contenuto di acido ascorbico in campioni di cavolfiore mantenuti in acqua calda per 3 minuti; l'aumento del tempo di *blanching* aumentava la perdita del nutriente. Per quanto riguarda lo stoccaggio, è interessante notare che quando il prodotto essiccato viene analizzato subito dopo l'essiccazione (senza periodo di stoccaggio), spesso il miglior tempo di *blanching* è quello più corto; tuttavia, la ritenzione più alta dopo svariati mesi di conservazione viene osservata nei campioni che hanno subito il *blanching* più lungo. È possibile quindi, che la degradazione enzimatica di acido ascorbico si verifichi principalmente durante il periodo di stoccaggio.

Infine, El-beltagy A. et al. (2007) hanno osservato l'influenza dell'area superficiale esposta al processo in campioni di fragola: l'aumento dell'area superficiale aumenta la perdita di vitamina durante l'essiccazione, probabilmente dovuto alla sensibilità della vitamina C alla luce.

3.4.4.2. Caroteni

Come riportato da Kamiloglu S. et al. (2015) i carotenoidi sono i pigmenti vegetali responsabili del colore rosso, giallo e arancio, e hanno effetti benefici sulla salute. α -carotene, β -carotene, β -criptoxantina, luteina e licopene sono i principali composti facenti parte dei carotenoidi presenti in frutta e verdura (Leong S.Y. e Oey I., 2012).

Dell' α -carotene sono apprezzati il potenziale antiossidante, insieme alle sue proprietà anti-cancerogene (Kemp M. et al., 2013). Nella letteratura recente sono pochi gli studi che hanno indagato l'effetto dell'essiccazione sul contenuto di α -carotene in frutta e verdura, e i dati ottenuti si discostano molto l'uno dall'altro in base principalmente alla diversa modalità di essiccazione adoperata: per cui sono stati ritrovati sia livelli molto diminuiti di α -carotene (dal 6 al 100% in meno), sia livelli del tutto inalterati se comparati ai corrispettivi prodotti freschi. Non mancano studi che riportano addirittura livelli aumentati di α -carotene in seguito ad essiccazione (Kamiloglu S. et al., 2015).

Il β -carotene presenta elevato potenziale antiossidante con azione di *scavenging* di radicali liberi che si formano per reazioni di ossidazione (Hiranvarachat B. et al., 2008). Tuttavia, in seguito a lavorazioni come l'essiccazione, ne viene riscontrata la degradazione. In molte matrici alimentari i livelli di β -carotene diminuiscono dal 3 al 100% rispetto alla controparte fresca; d'altro canto però, analogamente all' α -carotene, in alcune matrici alimentari i livelli di β -carotene sono rimasti inalterati se non, in alcuni casi, addirittura aumentati fino a 9 volte dopo il processo. Risultati similmente controversi sono stati riscontrati nell'analisi di anche luteina, β -criptoxantina e licopene. Quest'ultimo non è solo il più abbondante ma anche il *quencher* di ossigeno singoletto più efficiente con una capacità due volte maggiore di quella del β -carotene (Capanoglu E. et al., 2010). Alte temperature, luce e ossigeno favoriscono la degradazione del licopene. Anche in questo caso non mancano risultati contrastanti: il licopene è stato ritrovato diminuito dall'11 al 85%, ma anche aumentato fino a 10 volte in seguito a varie modalità di essiccazione in svariate matrici alimentari, in seguito a confronto con i corrispettivi prodotti freschi.

Analogamente ai trend osservati per i singoli carotenoidi, il contenuto di carotenoidi totale di frutta e verdura tende per lo più a diminuire dopo vari trattamenti di essiccazione dal 2 al 92%, fenomeno attribuito alla loro grande sensibilità all'ossidazione (Kamiloglu S. et al., 2015).

3.4.4.3 Fenoli totali e capacità antiossidante

Il contenuto fenolico totale (sia *in vivo* che *in vitro*) di frutta e verdura in seguito a processo di essiccazione tende in genere a diminuire, a causa dell'attivazione di enzimi ossidativi come la polifenolossidasi e la perossidasi. Inoltre, il legame dei composti fenolici alle proteine, i cambiamenti nelle strutture chimiche o le basse efficienze di estrazione sono altri fattori legati alla perdita del contenuto fenolico totale. D'altro canto, come già visto pocanzi, diversi metodi di essiccazione hanno portato a un aumento del contenuto fenolico totale di ben 10 volte, in svariate matrici alimentari. Questi aumenti possono essere spiegati dal rilascio di composti fenolici legati alla parete delle cellule vegetali. (Gumusay O. A. et al., 2015). Le varie diminuzioni dell'attività antiossidante riportate in letteratura a seguito del processo di essiccazione sono da attribuirsi alla degradazione di composti biologicamente attivi causata da decomposizione chimica, enzimatica o termica. Per gli alimenti nei quali si è verificato, invece, un aumento dell'attività antiossidante (addirittura fino a 20 volte superiore), la spiegazione risiederebbe nel fatto che polifenoli parzialmente ossidati posseggono maggiore attività antiossidante rispetto ai polifenoli non ossidati (Nora C. D. et al., 2014). Sebbene sia improbabile che antiossidanti compaiano *de novo* durante i processi di essiccazione, questo fenomeno potrebbe spiegarsi nella loro migliore estraibilità dal materiale essiccato, portando quindi ad un migliore rilevamento dei residui antiossidanti.

Tuttavia, i risultati disponibili ad oggi sono ancora incoerenti, e ciò è attribuibile alle differenze nella varietà e nello stato di maturazione delle materie prime, nei trattamenti agricoli, nei fattori esterni ignoti come il tempo, la temperatura, la presenza di ossigeno, di luce, e ovviamente il metodo di essiccazione, o potrebbe essere semplicemente conseguenza di scarsa resa di estrazione degli antiossidanti da analizzare. Inoltre, la capacità di preservare

l'attività antiossidante dipende dalle proprietà fisiche (texture, buccia, spessore, ecc.) di frutta e verdura. Un altro motivo potrebbe essere l'applicazione di pretrattamenti diversi nei vari studi, che possono influenzare molto il recupero dei composti bioattivi. Inoltre, nell'osservare i differenti risultati dei dati in letteratura va preso in considerazione il fatto che in alcuni studi le materie prime sono state reperite da mercati locali, il che ha fatto perdere traccia della loro "storia".

CAPITOLO 4

4.1 *Strutturazione del lavoro di ricerca*

Il presente studio è stato condotto nell'arco di 4 mesi, a partire da Giugno 2019 a Settembre dello stesso anno, in sedi differenti. La prima parte del lavoro è stata condotta nei mesi di Giugno e Luglio durante un periodo di tirocinio formativo preliminare di essiccamento presso il *Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria* (CREA – sede in Via Giacomo Venezian 26 – 20133 Milano, Italia) con l'obiettivo di: approfondire le conoscenze tecniche, scientifiche e tecnologiche per l'uso di impianti di piccole dimensioni basati sull'impiego di energie alternative (energia solare); acquisire una formazione teorico/pratica per l'utilizzo di specifici impianti di essiccamento; effettuare test essenziali di laboratorio per il controllo di processo e di prodotto per la verifica del buon andamento della trasformazione; predisporre registri e quaderni di lavorazione.

La seconda parte del presente studio è stata condotta nei mesi di Luglio e Agosto nella Tanzania meridionale (regione di Rukwa) presso due differenti complessi, i cui contesti verranno descritti più avanti (cfr. paragrafo 4.1.1). In quelle sedi state effettuate lavorazioni di essiccazione su frutta reperita localmente, preparazioni di ingredienti a base di frutta essiccata e di alimenti funzionali, con l'obiettivo di predisporre l'avviamento di un laboratorio nutrizionale incentrato sullo studio e l'uso di impianti innovativi di essiccazione ad energia solare. Lo sviluppo di questi dispositivi può infatti apportare un significativo miglioramento alle condizioni nutrizionali della popolazione del luogo, con produzioni alimentari di semplice realizzazione che possano incontrare non solamente le esigenze nutrizionali della specifica popolazione del luogo, ma anche di incentivare

l'interesse nella ricerca di soluzioni innovative per ridurre lo spreco alimentare di matrici deperibili nell'area geografica di interesse.

Le produzioni alimentari effettuate durante tutto il periodo di ricerca e nelle varie sedi sono state in seguito sottoposte ad analisi di laboratorio legate all'aspetto tecnologico che più ci interessava indagare, vale a dire l'aspetto della conservabilità. A questo proposito, l'attenzione è stata posta soprattutto sui test di laboratorio incentrati sul colore e sul contenuto in umidità, aspetti di fondamentale importanza qualora si voglia verificare non solo il buon andamento del trattamento di essiccazione in sé, ma anche e soprattutto il buon andamento della conservazione degli alimenti realizzati.

4.1.1 Il complesso del Monastero benedettino di Mvimwa (Rukwa)

Il Monastero Benedettino di Mvimwa appartiene alla Congregazione di St. Ottilien insieme ad altri 53 monasteri nel mondo. È situato nella provincia di Sumbawanga, nella regione di Rukwa, la più povera della Tanzania, costellata di abitazioni rurali nelle quali mancano elettricità ed acqua potabile. Il complesso è situato a 1800 metri di altitudine e comprende oltre alle strutture spirituali, anche 3000 ettari di terreno per le produzioni agricole e gli allevamenti di bestiame. Intorno al Monastero vivono oltre 20.000 persone distribuite in 10 piccoli villaggi del circondario che usufruiscono dei servizi offerti e che costituiscono la Comunità di Mvimwa. Fanno parte del complesso del monastero anche una scuola primaria (St. Placidus Mvimwa Primary School - Mvimwa), una scuola secondaria (St. Maurus Chemchemi Secondary School - Sumbawanga), varie scuole professionali, un collegio per futuri insegnanti e un dispensario medico, il tutto supportato dalla Golfini Rossi Onlus ¹⁶.

Risulta chiaro quanto l'implementazione di progetti di carattere non soltanto nutrizionale, ma anche di assistenza sociale e socio-sanitaria, impatti notevolmente sulla qualità di vita della popolazione e dei piccoli centri abitati che gravitano intorno al Monastero. Quest'ultimo risulta quindi essere non soltanto un polo di aggregazione spirituale ma offre servizi a beneficio delle comunità limitrofe di varie tipologie; dalle prestazioni di tipo sanitario all'apertura di scuole professionali. In un contesto di questo genere bene si inserisce il presente progetto di ricerca, che si

propone quindi di indirizzare conoscenze tecnico-scientifiche nell'ambito della trasformazione agro-alimentare alle strutture/enti/persone più ricettive, al fine di raggiungere obiettivi quali il miglioramento nutrizionale delle popolazioni locali, assicurare una più duratura sicurezza alimentare, incentivare l'interesse alla ricerca nel campo della nutrizione.

La ricerca è stata svolta sia nella sede centrale del Monastero, sia presso la dislocata Scuola Secondaria Chemchemi situata a Sumbawanga, centro abitato di modeste dimensioni. In quest'ultima sede è stato recentemente avviato un laboratorio di nutrizione (*Nutritional Lab*) al quale è essenzialmente affidato lo studio degli aspetti alimentari degli studenti e delle studentesse della medesima scuola. È a questa struttura in particolare che si rivolgono gli intenti del presente lavoro di ricerca, affinché la collaborazione instaurata e le conoscenze condivise possano nel tempo vivacizzare lo scenario alimentare locale.

Una differenza sostanziale tra i due luoghi riguarda l'approvvigionamento alimentare, che incide sia nella vita quotidiana, sia nella progettazione e realizzazione di un lavoro di ricerca come il presente. Essendo situato in un punto isolato nella già isolata regione di Rukwa, il Monastero ha dovuto rendersi quasi totalmente autosufficiente per quanto riguarda le produzioni agricole e di bestiame. Fatta eccezione per riso e farina di mais, tutti gli altri alimenti che costituiscono la dieta base della cucina tanzaniana sono auto-prodotti all'interno del Monastero stesso. Tra questi prodotti alimentari annoveriamo: cavolo, patate, pomodori, cipolle, banane, papaie, avocado, mango, pollo, uova, bovini, maiale. Per quanto riguarda la disponibilità di frutta, questa dipende strettamente dalla stagionalità della stessa, motivo per il quale, nonostante il Monastero ne disponga, la papaia e le banane utilizzate nel presente studio (sia nel Monastero di Mvimwa che presso la Scuola Secondaria) è stata reperita presso il mercato locale di Sumbawanga, principale centro di commercio della zona.

4.2 Materiali e metodi

Nei paragrafi che seguono si riportano le metodologie e i materiali utilizzati in questo studio per il raggiungimento degli obiettivi precedentemente esposti. Specifichiamo che le lavorazioni nella prima fase di studio (in Italia) sono state

effettuate con l'essiccatore solare *Italo base*⁺, sviluppato dalla G-teK s.r.l.^{17 18 19}, in corrente continua. Nella seconda parte della ricerca è stata invece utilizzata interamente energia solare, sia per l'essiccatore solare *Italo base*⁺ (presso il Monastero di Mvimwa) sia per il dispositivo Zefiro_{MAX}, prodotto dalla *Termotend s.a.s. di Claudio Menegatti & C.*^{20 21} e situato presso il *Nutritional Lab* della Scuola Secondaria Chemchemi di Sumbawanga. Questa scelta è stata dettata dalla volontà di comparazione dei tempi di esecuzione del processo di essiccamento, per poter valutare quanto l'interruzione del processo durante le ore notturne influenzi la tempistica della lavorazione.

La strumentazione utilizzata per l'analisi dei campioni realizzati sia nella prima che nella seconda parte del progetto di ricerca sono stati gentilmente messi a disposizione dal laboratorio di analisi presso la sede di Milano del CREA, e verranno anch'essi descritti di seguito.

4.2.1 Cronoprogramma delle attività svolte

Vengono di seguito riportate le tabelle riassuntive delle attività svolte sia durante la prima fase del presente progetto di ricerca nei laboratori del CREA (Milano) sia durante il lavoro sul campo in Tanzania.

Luogo di lavorazione	CREA - Milano					
Date	18/06/2019	19/06/2019	20/06/2019	21/06/2019	24/06/2019	25/06/2019
Attività svolte	Acquisto delle matrici alimentari	Inizio processo di essiccamento banana	Controllo parametri di processo	Produzione di farine di frutta disidratata	Acquisto degli ingredienti per il porridge	Inizio processo di essiccamento papaia
	Inizio processo di essiccamento zucchine	Controllo parametri di processo	Fine processo di essiccamento del 19/06/19	Packaging ed etichettatura (zucchine, mango, banane)	Produzione porridge fortificato	Inizio processo di essiccamento mele
	Inizio processo di essiccamento mango	Fine processo di essiccamento del 18/06/19	Analisi aw (zucchine, banane, mango)		Acquisto delle matrici alimentari	Controllo parametri di processo
	Controllo parametri di processo		Analisi colorimetrica (zucchine, mango)			Analisi sensoriale porridge fortificato
			Analisi NIR (zucchine, mango, banane)			

Luogo di lavorazione	CREA - Milano						
Date	26/06/2019	27/06/2019	01/07/2019	03/07/2019	04/07/2019	05/07/2019	08/07/2019
Attività svolte	Controllo parametri di processo	Controllo parametri di processo	Analisi aw (papaia, mela)	Inizio processo di essiccamento ananas	Controllo parametri di processo	Controllo parametri di processo	Analisi aw (tutte le matrici)
	Fine processo di essiccamento del 25/06/19 (papaia)	Fine processo di essiccamento del 25/06/19 (mele)	Produzione di farine di frutta disidratata	Controllo parametri di processo		Fine processo di essiccamento del 03/07/19	
			Acquisto delle matrici alimentari	Analisi aw (ananas fresco)		Analisi aw (ananas)	
			Packaging ed etichettatura (papaia, mele)	Analisi colorimetrica (ananas fresco)		Packaging ed etichettatura (ananas)	
				Analisi NIR (ananas fresco)			

Luogo di lavorazione	Monastero di Mvimwa (Rukwa – Tanzania)						
Date	22/07/2019	23/07/2019	24/07/2019	25/07/2019	26/07/2019	27/07/2019	
Attività svolte	Acquisto matrici alimentari presso il mercato di Sumbawanga	Inizio processo essiccamento papaia	Inizio processo essiccamento papaia	Controllo parametri di processo	Controllo parametri di processo	Packaging ed etichettatura	
	Pulizia essiccatore	Controllo parametri di processo	Controllo parametri di processo		Fine processo essiccamento del 22/07/19 e del 23/07/19		

Luglio di lavorazione	Scuola Secondaria St. Maurus Chemchemi di Sumbawanga (Rukwa – Tanzania)								
Date	30/07/2019	31/07/2019	01/08/2019	02/08/2019	05/08/2019	06/08/2019	07/08/2019	08/08/2019	09/08/2019
Attività svolte	Acquisto delle matrici alimentari presso il mercato di Sumbawanga	Inizio processo di essiccamento papaia	Controllo parametri di processo	Controllo parametri di processo	Acquisto delle matrici alimentari presso il mercato di Sumbawanga	Inizio processo di essiccamento papaia	Controllo parametri di processo	Controllo parametri di processo	Controllo parametri di processo
	Inizio processo di essiccamento papaia	Controllo parametri di processo	Fine processo di essiccamento del 30/07/19	Fine processo di essiccamento del 31/07/19	Inizio processo di essiccamento banane	Controllo parametri di processo	Fine processo di essiccamento del 05/08/19		Fine processo di essiccamento del 06/08/19
	Controllo parametri di processo	Acquisto degli ingredienti per il porridge presso minimarket di Sumbawanga		Packaging ed etichettatura	Controllo parametri di processo		Produzione di farina di banana disidratata		Fine processo di essiccamento del 30/07/19 (semi)
		Produzione porridge fortificato			Produzione di farina di papaia disidratata		Packaging ed etichettatura		Produzione di farina di papaia disidratata
		Analisi sensoriale porridge fortificato			Produzione di farina si semi di papaia del 30/07/19				Packaging ed etichettatura
					Packaging ed etichettatura				

4.2.2 Essiccatore *Italo base*⁺

4.2.2.1 Generalità

Il processo di essiccazione è un processo di conservazione che permette l'eliminazione della maggior parte del contenuto di acqua presente negli alimenti, riducendone quindi il tenore di umidità e ostacolando la formazione di microbi e batteri; in questo modo i prodotti trattati sono protetti dal deterioramento. Tradizionalmente, questa operazione viene effettuata disponendo i prodotti in terra ed esponendoli a diretto contatto con la luce solare, che fornisce loro calore, ma il progresso nel settore ci permette di migliorare questo processo rendendolo più efficiente e sicuro, sia in termini qualitativi che sanitari. I vantaggi di un sistema di essiccamento a pannelli solari sono evidenti; in primis il fatto che la sola parte dispendiosa consiste nella manodopera, l'unica che può assumere dimensioni anche onerose; rispetto al metodo tradizionale, il prodotto viene inserito in un ambiente chiuso e non esposto a pulviscolo, insetti, animali ed altri agenti inquinanti o comunque dannosi.

Una buona pratica di essiccazione deve avvenire in corrente d'aria, a una temperatura che non superi i 50°C e al riparo dalla luce diretta del sole; lo spettro della radiazione solare, infatti, contiene raggi UV che contribuiscono a degradare velocemente le caratteristiche organolettiche peculiari dei prodotti se non opportunamente schermati. La componente deputata all'espulsione dell'umidità è la corrente d'aria, la quale preleva l'umidità dal prodotto per effetto osmotico, e la disperde nell'ambiente esterno. La capacità dell'aria di asportare la parte umida del prodotto dipende dalla propria umidità relativa, quindi più secca è l'aria più efficace e veloce sarà il processo di essiccazione.

Esistono due sistemi per diminuire l'umidità relativa dell'aria; uno consiste nell'impiego di deumidificatori, ossia frigoriferi che raffreddano l'aria facendole raggiungere la temperatura di rugiada, in cui l'umidità condensa e viene espulsa sottoforma di acqua. L'altro consiste nel riscaldare l'aria, in tal modo l'umidità relativa diminuisce in seguito all'aumento del volume dell'aria. L'aria, così condizionata, viene poi inviata a contatto con i prodotti da essiccare. Risulta evidente l'enorme quantità di energia necessaria per l'operazione; nel primo caso dovremmo alimentare il compressore del frigorifero, nel secondo caso dovremmo fornire calore, bruciando fonti fossili o consumando energia elettrica. In ambedue i casi si deve comunque spendere energia e questa risulta essere la parte energetica predominante di tutto il processo.

4.2.2.2. Funzionamento del dispositivo



Figura 1: essiccatore Italo base+ (Monastero di Mvimwa)

Italo base⁺ è un essiccatore solare di tipo alimentare per erbe, verdure, frutta, pesce, carne e qualsiasi materia organica in generale (Fig. 1). In quanto essiccatore solare, sia la parte energetica termica predominante che la minore parte energetica elettrica assorbita da un sistema di ventilazione e controllo, viene prelevata dal sole. Il grande vantaggio di questo sistema è quindi che tutta l'energia necessaria al conseguimento del processo proviene – gratuitamente – dal sole, risultando quindi evidente la sua totale sostenibilità dal punto di vista ambientale. Generalmente le operazioni di essiccazione vengono eseguite in periodi concomitanti con la maturazione dei prodotti, che coincidono quasi sempre con periodi stagionali molto assolati, quindi risulta logico e sensato utilizzare il sole per fornire l'energia necessaria a questa semplice operazione.

Questo dispositivo realizza un ciclo di essiccazione DEN[®] (Disidratazione ad Effetto Naturale) sfruttando i principi della meccanica dei fluidi per diminuire l'umidità relativa dell'aria ed estendere l'efficacia del sistema anche in periodi di scarsa insolazione: consente cioè di eliminare in modo naturale gran parte dell'acqua presente nei prodotti, ostacolando la formazione di muffe, microbi e batteri che deteriorano velocemente il prodotto e mantenendo elevati standard qualitativi del prodotto. Tant'è che i prodotti ottenuti con suddetto dispositivo possono fregiarsi della dicitura “prodotto ottenuto mediante processo DEN[®]”, potendo così mettere in evidenza l'elevata qualità del prodotto ed aumentando il valore commerciale dello stesso. Altro vantaggio da annoverare è la dimensione ergonomica, che consente l'installazione in zone marginali, vicino se non all'interno della zona di produzione, e permettendo quindi di intraprendere il processo di essiccamento subito dopo la fase di raccolta: ciò influisce certamente sulla qualità dei prodotti ottenuti.

La sicurezza alimentare dei prodotti è garantita da un ambiente di essiccazione riparato da agenti atmosferici e dalla luce diretta del sole: il prodotto viene inserito nell'essiccatore fresco e viene recuperato quando completamente essiccato, eliminando quindi la necessità di coprirlo o recuperarlo durante la notte, con evidenti risparmi di manodopera e prevenendo il danneggiamento del prodotto causato da continue movimentazioni. La semplicità di utilizzo fa sì che l'impianto possa essere gestito da un solo operatore.

All'interno della camera di essiccazione sono presenti i vassoi in rete in plastica lavabile e idonea al contatto con alimenti, e una serie di paratie necessarie al convogliamento del flusso dell'aria. L'aria viene prelevata dall'esterno tramite la griglia sul lato Sud esposta al sole, viene riscaldata dal collettore e convogliata nella camera di essiccazione per poi essere espulsa dall'unità di ventilazione posta alla base dell'essiccatore, realizzando un processo di Disidratazione ad Effetto Naturale. Il flusso dell'aria investe i prodotti trasversalmente, riducendo la necessità di rivoltare più volte i prodotti, ed ottenendo in tal modo un'essiccazione uniforme.

Il dispositivo va installato in piano, in una posizione ben esposta al sole, premurandosi che strutture o alberi circostanti non creino ombreggiamenti durante l'intero arco della giornata (in tal caso valutare una posizione che consenta una insolazione di almeno 8-10 ore giornaliere); lo sportello di accesso ai vassoi dalla parte della ventola va rivolto verso Nord, cosicchè le altre tre pareti siano esposte al normale percorso del sole durante la giornata. Possono inoltre essere affiancate più unità purchè ad una distanza minima di 2 metri l'una dall'altra, per evitare ombreggiamenti tra i dispositivi.

4.2.2.3. Regolazione della temperatura e dei tempi di essiccazione

Per capire come gestire la temperatura bisogna conoscere la tipologia di prodotti da trattare, i fattori climatici e la loro influenza sull'andamento dell'intero processo. L'essiccatore funziona con il sole, ma il dispositivo è progettato per funzionare anche in assenza di sole; ovviamente le sue capacità operative si riducono notevolmente, conseguentemente una eccessiva durata di condizioni di buio può influenzare negativamente il processo; ciò deve essere preso in considerazione nel momento in cui viene pianificato il trattamento. Nonostante l'assenza di sole modifichi le caratteristiche di funzionamento, questo fattore può essere utile se non addirittura desiderato, per esempio nel trattamento di prodotti che richiedono una essiccazione lenta e a bassa temperatura, dosando opportunamente il flusso dell'aria. La regolazione della temperatura dipende principalmente dalla temperatura esterna e dall'insolazione disponibile. Una temperatura esterna di 25°C determina una buona regolazione interna compresa tra i 35 e i 50°C.

Anche la modalità di carico della camera di essiccazione e la disposizione dei prodotti sui vassoi influenzano il processo: se i vassoi vengono riempiti completamente con strati di oltre 10 cm di materiale compatto che non lasciano traspirare l'aria, si avrà una pessima essiccazione dovuta alla cattiva circolazione d'aria tra il prodotto da trattare; una cattiva aerazione causa formazioni micotiche e fermentazioni. Inoltre, all'interno della camera di essiccazione, la temperatura varia in corrispondenza di ogni vassoio, poiché i prodotti emettono umidità che assorbe calore e tende a raffreddare l'aria. È normale osservare una più rapida essiccazione dei prodotti posti nel vassoio più alto, vicino all'ingresso dell'aria calda, mentre i vassoi più in basso conterranno prodotti sempre più umidi, in quanto arriva loro aria più umida e meno calda; per questo è consigliabile effettuare una rotazione periodica dei vassoi, al fine di ottenere una essiccazione uniforme per tutto il prodotto inserito. Per alcune tipologie di prodotti, come pomodori, frutta e verdure contenenti molta acqua, quindi soggetti a notevole calo di peso e volume, potrà essere utile raggruppare il prodotto di più vassoi in un vassoio unico e nella posizione più alta; questa operazione consente di avere una migliore essiccazione e permette di liberare spazio per inserire altro prodotto da essiccare, creando una rotazione continua.

Per quanto riguarda le tempistiche, stabilire tempi di essiccazione precisi è un'operazione molto complessa; entrano in gioco molti fattori, quali la tipologia del prodotto trattato, la sua preparazione, le condizioni atmosferiche locali di temperatura e umidità, condizioni di carico. Generalmente vale la regola del 50% di tempo in relazione ad una normale essiccazione in pieno sole. Non è una regola ferrea, l'essiccazione in questo dispositivo scherma molte radiazioni nocive emesse dal sole, che possono velocizzare il processo ma contemporaneamente distruggere gli elementi peculiari del prodotto; quindi si possono avere tempi più lunghi, ma la qualità del prodotto ottenuto sarà decisamente migliore in termini di proprietà organolettiche.

4.2.2.4 Pulizia e cura del dispositivo

È necessario verificare periodicamente la pulizia delle pareti (sia interne che esterne) e del tettuccio, lavandoli con acqua e sapone liquido per piatti; non

utilizzare solventi di alcun tipo. Per la pulizia dei vassoi viene consigliato l'uso di acqua e ipoclorito di sodio. È inoltre necessario rimuovere i residui delle operazioni precedenti, come pulviscoli e tracce di prodotto trattato (durante il lavaggio della camera interna è necessario proteggere accuratamente le parti elettriche) ma è sconsigliato l'utilizzo di idropultrici ad alta pressione perché potrebbero danneggiare il dispositivo. A seguito di questo tipo di operazioni bisogna far funzionare a vuoto l'essiccatore per qualche ora.

4.2.3 Essiccatore Zefiro_{MAX}

Zefiro_{MAX} è un dispositivo per l'essiccazione di ortaggi, frutta, verdura, carni e pesce, sviluppato dalla *Termotend s.a.s. di Claudio Menegatti & C.* (cfr. note sitografiche n. 20 e 21). Anch'esso permette di allestire istantaneamente un ambiente di trattamento di prodotti alimentari sicuro, di semplice gestione, utilizzo e pulizia. Le generalità di utilizzo e di funzionamento sono assolutamente analoghe a quelle già fornite per l'essiccatore *Italo base+* (cfr. paragrafo 4.2.2) pertanto la descrizione di questo dispositivo sarà più breve. Differenza sostanziale è senz'altro la capacità di carico notevolmente maggiore (800 kg di frutta fresca). Anche questo essiccatore può essere installato facilmente in zone rurali limitrofe alla zona di coltivazione dei prodotti. Il dispositivo non necessita, inoltre, di essere alloggiato in strutture protette ma può essere installato in pieno campo, in modo da essere utilizzato immediatamente dopo la raccolta e preparazione del prodotto da trattare. Questo fattore aumenta la qualità dei prodotti ottenuti, che non sono esposti, in tal modo, a processi fermentativi o micotici causati da uno stoccaggio prolungato prima del trattamento. Non necessita di allestimenti operativi e predisposizioni particolari e i consumi energetici sono ridotti e può essere alimentato da un sistema fotovoltaico che lo rende completamente autonomo ed installabile ovunque.

Il processo di essiccazione avviene in corrente di aria calda al riparo dalla radiazione solare, responsabile del degrado di molte caratteristiche organolettiche peculiari dei prodotti trattati. L'aria necessaria al processo di essiccazione viene riscaldata tramite l'energia solare, quindi lo strumento richiede una buona esposizione al sole (ma può tuttavia funzionare piuttosto efficacemente anche con ridotte esposizioni al sole, quindi il processo di essiccazione continua anche durante

la notte). La presenza di ventilatori ad alta portata consente il mantenimento del ricambio dell'aria, consentendone una buona distribuzione fra i prodotti.

4.2.4 Analisi quantitative non distruttive

Sono state effettuate diverse analisi quantitative non distruttive sui campioni realizzati in entrambe le fasi del progetto di ricerca che, come la definizione stessa suggerisce, consentono di effettuare misurazioni che non perturbano in maniera irreversibile i campioni, al fine di ottenerne una caratterizzazione. Sono state a tal riguardo effettuate le seguenti analisi, di indagine prettamente tecnologica più che nutrizionale: misurazione del valore dell'acqua libera (a_w); analisi colorimetrica; analisi spettrofotometrica nel vicino infrarosso (NIR); analisi rifrattometrica (°Brix). Ne vengono descritte in seguito la teoria di ognuna e le diverse applicazioni.

4.2.4.1 Misurazione del valore di acqua libera (a_w)

Una delle procedure analitiche più importanti che possono essere eseguite su un prodotto alimentare è la misurazione della quantità di umidità. La materia secca che rimane dopo la rimozione di umidità è comunemente indicata come solidi totali (S. Suzanne Nielsen, 2010). L'acqua contenuta negli alimenti si trova essenzialmente sotto le seguenti forme: acqua libera e acqua legata. L'acqua libera, denominata anche acqua di imbibizione, è quella contenuta negli spazi intergranulari e all'interno dei macrocapillari dell'alimento; mantiene le usuali caratteristiche fisiche funzionando come agente disperdente per le sostanze colloidali, emulsionante per le sostanze grasse e solvente per quelle cristalline.

Il contenuto di acqua negli alimenti è estremamente vario; in alcuni alimenti rappresenta il maggior componente mentre in altri è contenuta in modeste quantità allo stato di umidità. I tessuti cellulari di piante ed animali ne contengono in abbondanza: in molti ortaggi e in alcuni frutti la percentuale può superare il 90%. L'acqua libera contenuta in una sostanza alimentare, che rappresenta quella parte di molecole di acqua non legate, è prontamente utilizzata dai microrganismi per la loro riproduzione, inoltre consente l'interazione per contatto dei reagenti che possono essere implicati in reazioni chimiche desiderabili o indesiderabili

(imbrunimento non enzimatico di Maillard). Questo parametro è appunto definito “attività dell’acqua”. Per la vita di ogni microrganismo esiste un limite di attività dell’acqua al di sotto del quale esso è incapace di moltiplicarsi poiché le molecole di acqua legate dai costituenti alimentari non sono disponibili. È intuitivo, pertanto, che intervenendo sull’attività dell’acqua a livello produttivo è possibile preparare alimenti conservabili più a lungo senza modificarne sostanzialmente le caratteristiche organolettiche (Cabras P. e Martelli A., 2004).

Per attività dell’acqua (a_w) si intende la misura dello stato energetico dell’acqua in un sistema, ossia indica come l’acqua sia legata strutturalmente o chimicamente alla sostanza. L’ a_w è l’umidità relativa dell’aria in equilibrio con il campione, misurata in una camera sigillata. Il concetto di a_w è molto importante per la determinazione della qualità e della sicurezza del prodotto alimentare; infatti influenza colore, odore, flavour, aspetto, sapore, texture e *shelf-life* di molti prodotti. Il suo valore predice la sicurezza igienica e la stabilità del prodotto rispetto alla crescita microbica, la possibilità di reazioni chimiche e biochimiche ed anche le proprietà fisiche.

La sola determinazione della quantità totale dell’acqua presente in un campione (“contenuto di umidità”), infatti, non è un indicatore affidabile nel predire fenomeni microbici e reazioni chimiche nelle matrici alimentari, poiché non legato al modo in cui l’acqua si associa con altri componenti presenti. La misura dell’ a_w è invece un ottimo indicatore della deperibilità di un prodotto, e viene misurata portando in equilibrio la fase liquida acquosa del campione con l’acqua allo stato di vapore presente nello spazio di testa, e misurando l’umidità relativa di quest’ultimo. Anche l’equilibrio che si instaura all’interno del campione è importante; un esempio è un prodotto da forno o un alimento multi-ingrediente. Appena sfornato il prodotto non ha un equilibrio interno, poiché la superficie esterna presenta una minore attività dell’acqua rispetto al centro del prodotto.

L’ a_w è strettamente legata a una proprietà termodinamica detta potenziale chimico dell’acqua, ossia il cambiamento dell’energia libera di Gibbs (ΔG) quando varia la concentrazione d’acqua. Si ha una situazione di equilibrio in un sistema quando il potenziale chimico dell’acqua è lo stesso ovunque all’interno del sistema. L’equilibrio tra la fase liquida e la fase di vapore implica che il potenziale chimico

dell'acqua sia lo stesso in ambo le fasi. È questo principio che ci permette di misurare il potenziale chimico dell'acqua della fase di vapore e di usarlo per la determinazione del potenziale chimico dell'acqua in fase liquida. Sono i gradienti del potenziale chimico dell'acqua le forze responsabili dei movimenti dell'umidità. Per cui, in un sistema isotermico, l'acqua tende a spostarsi da regioni ad alto potenziale chimico (alto a_w) a regioni a basso potenziale chimico (basso a_w). Il semplice contenuto di acqua non è la forza determinante il movimento dell'acqua e per questo non può essere utilizzato per predire la direzione dell'acqua, fatta eccezione per i materiali omogenei.

I fattori che influenzano i legami dell'acqua di un sistema sono l'effetto osmotico, l'effetto matrice e l'effetto pressione, ma poiché solitamente l' a_w è misurata a pressione atmosferica, solo i primi due risultano importanti. Nell'effetto osmotico, in un sistema costituito da acqua e un soluto, separato da acqua pura tramite una membrana semipermeabile, osserviamo che l'acqua pura tende a spostarsi verso il lato dell'acqua diluita. Se viene applicata della pressione all'acqua-soluto per bloccare il flusso, questa pressione altro non è che la misura del potenziale osmotico della soluzione. L'aggiunta di una mole di soluto fa diminuire l' a_w . Per cui l'aumento del contenuto di acqua di un sistema determina la diluizione del soluto, il che comporta una diminuzione della pressione osmotica, con conseguente aumento dell' a_w . Dal momento che le cellule microbiche presentano un'alta concentrazione di soluti e sono circondate da una membrana semipermeabile, l'effetto osmotico sull'energia libera dell'acqua è importante per la determinazione della relazione popolazione microbica-acqua.

Per quanto riguarda l'effetto matrice, il campione alimentare lega fisicamente l'acqua all'interno della sua struttura attraverso forze adesive e coesive, trattenendo l'acqua internamente ma anche in superficie. Se cellulosa o proteine vengono aggiunte all'acqua, lo stato energetico dell'acqua si riduce, riduzione che non è data dall'effetto osmotico bensì dal legame fisico dell'acqua alla cellulosa o alle proteine, tramite legami idrogeno o forze di Van der Waals²².

4.2.4.1.1 Come funziona *AquaLab*



Figura 2: *AquaLab*



Figura 3: *Portacampione*

Per le analisi effettuate nel presente studio è stato utilizzato il dispositivo *AquaLab* (cfr. nota sitografica n. 22), mostrato in Fig. 2, che utilizza la tecnica *chilled-mirror dew point*. Il campione viene messo in equilibrio con lo spazio di testa di una camera sigillata che contiene uno specchio e uno strumento che rileva la condensazione dello specchio. All'equilibrio, l'umidità relativa dell'aria della camera è la stessa dell'attività dell'acqua del campione. La rilevazione del punto esatto al quale avviene il primissimo fenomeno di condensazione viene osservata da una cella fotoelettrica. Un raggio di luce viene indirizzato allo specchio e riflesso al detector della cella fotoelettrica; quest'ultimo si accorge del cambiamento in riflettanza quando avviene la condensazione sullo specchio. Infine, una termocoppia associata allo specchio registra la temperatura alla quale è avvenuta la condensazione.

Nel dispositivo *AquaLab* da noi utilizzato il campione viene posto all'interno di una celletta in plastica (Fig. 3) e inserito nella camera di misurazione. A partire dai valori di temperatura dell'aria della camera e del campione, l'umidità relativa dello spazio di testa viene calcolata come il rapporto tra la pressione di vapore saturo alla temperatura della camera e la pressione di vapore saturo alla temperatura del campione. Al fine di ottenere valori accurati, l'analisi è stata condotta in modalità personalizzata *custom*, che permette letture multiple del campione fino al raggiungimento del livello desiderato di stabilità: sono state quindi impostate 3 letture consecutive per ogni aliquota di campione da effettuare in un range di stabilità di $\pm 0,005 a_w$. Così settato, lo strumento continua a effettuare

letture fin quando non registra 3 letture consecutive all'interno del sopracitato range. Il valore in uscita rappresenta la media dei valori delle 3 letture eseguite.

Dal momento che un'appropriata preparazione e un appropriato caricamento dei campioni sono step fondamentali per l'ottenimento di risultati ripetibili e per evitare analisi troppo lunghe, i campioni sono stati resi il più possibile omogenei tramite sminuzzamento: questa pratica, infatti, comporta un aumento dell'area superficiale del prodotto, determinando una diminuzione del tempo di lettura.

Nel presente studio, l'analisi dell'acqua libera è stata condotta su tutti i campioni secchi realizzati sia in Tanzania che in Italia; per questi ultimi, l'analisi è stata condotta in due momenti: a fine processo di essiccamento, e dopo tot. giorni di conservazione (calcolati a partire dal giorno della prima misurazione dell'acqua libera). Questa seconda misurazione ha come obiettivo la valutazione dell'effetto che la *shelf-life* può esercitare sui prodotti essiccati, verificando quindi che la quantità di acqua libera nel prodotto rimanga sotto la soglia di sicurezza microbiologica, posta per lo più al di sotto dello 0,65, come mostrato nella tabella sottostante ²³ (secondo altri autori, sotto lo 0,60). Inoltre, l'analisi è stata effettuata in triplicato su ogni campione, utilizzando aliquote diverse; i valori riportati nella sezione Risultati e discussione (cfr. paragrafi 5.1.1 e 5.1.1.1) sono il risultato della media delle 3 misurazioni effettuate.

Attività dell'acqua	Organismi
aw = 0,91...0,95	Molti batteri
aw = 0,88	Molti lieviti
aw = 0,80	Molte muffe
aw = 0,75	Batteri alofili
aw = 0,70	Lieviti osmofili
aw = 0,65	Muffe xerofile

Figura 4: relazione aw – microrganismi (Rotronic)

4.2.4.2 Analisi colorimetrica

4.2.4.2.1 Cos'è il colore, cos'è la colorimetria

Colore, sapore e consistenza sono i tre attributi di qualità principali che determinano l'accettazione del cibo, e il colore ha un'influenza molto maggiore sul nostro giudizio di quanto noi stessi crediamo. Usiamo il colore per determinare se un frutto è al nostro livello di maturazione preferito, oppure della carne scolorita

può suggerirci che il prodotto si è guastato. Il colore può essere definito come la sensazione esperita da un individuo quando l'energia radiante all'interno dello spettro visibile (380-770 nm) colpisce la retina dell'occhio (Berns R. S., 2000). Affinché il “fenomeno del colore” si verifichi, devono essere presenti un oggetto colorato, luce nella regione visibile dello spettro e un osservatore. Tutti e tre questi fattori devono essere presi in considerazione nel valutare e misurare il colore. Quando la luce bianca colpisce un oggetto, essa può essere assorbita, riflessa, dispersa. L'assorbimento selettivo di alcune lunghezze d'onda di luce è alla base del colore proprio di un oggetto. Il colore, così come visto dall'occhio, è un'interpretazione dal cervello del carattere della luce proveniente da un oggetto. Gli esseri umani possiedono una percezione del colore eccellente, possono rilevare fino a 10.000.000 colori diversi (Francis FJ., 1999). Possiedono tuttavia una memoria del colore debole e non possono ricordare accuratamente i colori degli oggetti precedentemente osservati (Hutchings J. B., 1999). Da qui la necessità di misura oggettiva del colore. Anche se la percezione del colore varia tra gli esseri umani, è molto meno variabile rispetto ai sensi di gusto e di odore. La percezione del colore è piuttosto uniforme tra individui aventi una normale visione del colore; tuttavia, l'8% dei maschi e lo 0,5% delle femmine hanno difetti fisiologici e percepiscono i colori in modo marcatamente diverso (Berns R. S., 2000).

La colorimetria è la scienza della misurazione del colore. È possibile definire il colore in unità matematiche, tuttavia, tali numeri non si riferiscono facilmente al colore osservato. Sono stati invece sviluppati diversi sistemi di ordinazione dei colori che meglio concordano con la valutazione visiva. Nella ricerca alimentare e nel controllo della qualità, sono necessari strumenti che forniscano dati ripetibili che corrispondono a come l'occhio vede il colore. Sono disponibili metodi verbali, visivi e strumentali per la descrizione e la specifica del colore.

Il colore è tridimensionale, e qualsiasi sistema di ordinazione dei colori necessita di conoscere e differenziare i seguenti termini: “tonalità” o “tinta”, ossia ciò che istintivamente pensiamo come colore (ad esempio, rosso, blu, verde); “valore”, che rappresenta quanto un colore sia chiaro o scuro, quindi specifica la luminosità di un colore (un esempio intuitivo può essere il confronto tra il giallo

limone e il giallo pompelmo, quest'ultimo meno luminoso del primo); "croma" o "saturazione", che indica l'intensità di colorazione, o, di contro, quanto un colore sia spento. Quando si descrive verbalmente un colore, si deve tentare di utilizzare queste tre qualità tra loro indipendenti nella formulazione della descrizione del colore. (S. Suzanne Nielsen, 2010). Per cui riassumendo, il colore è la tinta; la luminosità è il valore, la saturazione è detta croma. Queste tre grandezze rappresentano le tre caratteristiche del colore.

4.2.4.2.2 Il sistema tristimolo e il sistema *Hunter Color Solid*

Con l'adozione di osservatori e illuminanti standard, è stato possibile convertire la trasmissione spettrale o la curva di riflettanza di qualsiasi oggetto a tre valori numerici. Questi numeri sono noti come i valori tristimolo CIE, X, Y e Z, ossia le quantità di rosso, verde e blu necessarie per avere una corrispondenza di colore. I valori dell'illuminante e dell'osservatore standard sono moltiplicati per la percentuale di riflettanza o per i valori percentuali di trasmissione dell'oggetto alle lunghezze d'onda selezionate. La somma dei prodotti per le lunghezze d'onda nello spettro del visibile (essenzialmente integrando le aree sotto le tre curve) dà i valori X, Y e Z tristimolo. I moderni spettrofotometri colorimetrici misurano la luce riflessa o trasmessa da un oggetto, e i dati vengono inviati a un processore dove vengono moltiplicati per l'illuminante standard e le funzioni dell'osservatore standard, per restituire i valori tristimolo XYZ. Il problema è che le stesse differenze numeriche tra i colori non equivarranno alla stessa differenza visiva per tutti i colori, e questa costituisce una limitazione nella misurazione del colore dei prodotti alimentari, nei quali è di più grande interesse vedere come il colore del prodotto si discosti da uno standard o si modifichi durante lavorazione e stoccaggio. (S. Suzanne Nielsen, 2010).

Nel tentativo di esprimere in modo numericamente preciso il colore percepito dall'occhio, è stato sviluppato un sistema definito *Hunter Color Solid*, pubblicato per la prima volta nel 1942, dove:

- L^* indica la luminosità (da 0 a 100), dove 0 significa nero e 100 significa bianco;

- a^* indica la coordinata rossa (+) o verde (-), dove il limite è approssimativamente ± 80 ;
- b^* indica la coordinata gialla (+) o blu (-), dove il limite è approssimativamente ± 80 .

Il sistema Lab è stato ampiamente adottato dall'industria alimentare, poiché è molto efficace per misurare differenze di colore: trasformando i colori in numeri diventa possibile esprimere minuscole differenze in ciò che è sostanzialmente lo stesso colore.

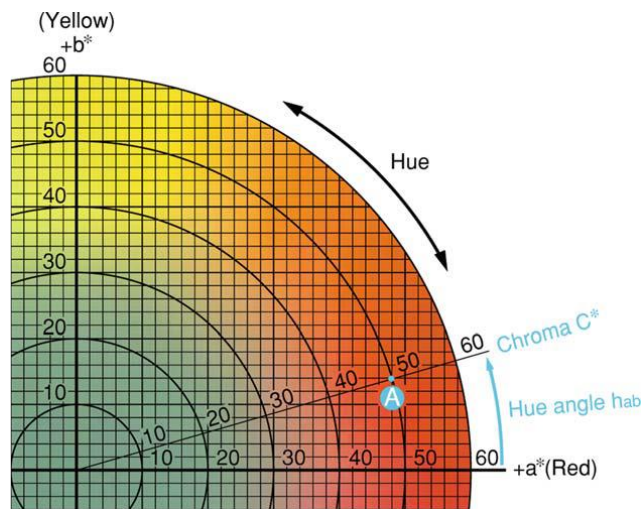


Figura 5: Courtesy of Konica Minolta Sensing Americas, Inc., Ramsey NJ (S. Suzanne Nielsen, 2010)

La figura 5 mostra una porzione del diagramma cromatico di a^* e b^* in cui essi sono entrambi positivi, rappresentando un range di colori dal rosso al giallo. Il punto A è il punto di colore di a^* e b^* di una mela rossa. L'angolo che va dall'asse $+a^*$ al punto A è detto angolo di tonalità (h o H^* , e va da 0 a 360°). La distanza dal punto A

al centro è il croma (C^*). Un errore comune nell'interpretazione delle misurazioni del colore consiste nell'utilizzare solo la coordinata a^* come misura di "rosso". Monitorare il cambiamento di colore è più comprensibile se si misura la luminosità, l'angolo di tonalità e il croma. Quest'ultimo aumenta con l'aumento della concentrazione di pigmento, e diminuisce appena il campione diventa più scuro. Quindi, è possibile che due campioni chiari e scuri abbiano lo stesso angolo di tonalità e lo stesso croma, ma saranno facilmente distinguibili, a causa dei diversi valori di luminosità. Tra i colorimetri ad oggi disponibili sul mercato sono presenti quelli portatili per l'uso in campo, strumenti on-line per il controllo del processo, e colorimetri specializzati per materie prime specifiche. La maggior parte dei colorimetri utilizzati nella ricerca sono spettrofotometri con reticolo a diffrazione per la scansione dello spettro del visibile, e nei quali i dati di riflessione o trasmissione vengono inviati a un microprocessore per la conversione in numeri

tristimolo. È evidente che usando illuminanti differenti si ottengono numeri e scale di colore differenti (S. Suzanne Nielsen, 2010).



Figura 6: colorimetro KONICA MINOLTA CM-2500d

Nel presente studio è stato utilizzato il colorimetro portatile KONICA MINOLTA CM-2500d²⁴, mostrato in Fig. 6; illuminante: D₆₅. Prima dell'analisi è stata effettuata la calibrazione dello strumento per il nero in aria, e per il bianco su piastrella in dotazione. Sono state effettuate 3 misurazioni in 3 punti diversi su ogni campione analizzato, al fine di indagare le eventuali variazioni di colore che subentrano in seguito a conservazione.

4.2.4.2.3 Interazione luce-campione

Quando un campione viene illuminato possono verificarsi vari fenomeni; la luce per la quale l'angolo di riflessione è uguale all'angolo di incidenza è detta luce speculare. Superfici levigate appariranno lucide a causa dell'alto grado di riflessione speculare, mentre superfici ruvide avranno una grande riflessione diffusa e avranno un aspetto opaco. L'assorbimento selettivo della luce risulterà proprio nel colore. I campioni opachi riflettono la luce; i campioni trasparenti trasmettono la luce, mentre i campioni traslucidi sia riflettono che trasmettono la luce. Per una corretta misurazione del colore, è preferibile che i campioni siano piatti, lisci, uniformi, opachi. Quando si effettuano misurazioni colorimetriche in condizioni controllate, si possono ottenere dati con un grado elevato di precisione. Sia nelle applicazioni industriali che di ricerca, l'interesse risiede principalmente nel modo in cui le dimensioni del colore differiscono da uno standard, o come cambiano nel tempo, per esempio durante la lavorazione e/o lo stoccaggio.

Affinché i dati del colore siano effettivamente utili, i numeri devono essere coerenti e ripetibili. È necessario eseguire il campionamento del prodotto in modo che sia rappresentativo del prodotto e preparato in modo che rappresenti le caratteristiche del colore del prodotto. Molti campioni alimentari sono ben lontani dall'essere ideali alla misurazione in quanto non omogenei, per cui possono sia in parte trasmettere che riflettere. Il numero di letture da effettuare per ottenere una ripetibilità accettabile dipende dalla natura stessa del campione. I cibi solidi variano in relazione alle dimensioni, alla geometria e all'uniformità. Con alcuni colorimetri, le misurazioni della riflettanza possono essere prese direttamente sul campione. Idealmente, la superficie dovrebbe essere piatta; per le polveri sono sufficienti due letture, con l'accortezza di sostituire la polvere tra le due letture, mentre per fiocchi e pezzi di maggiori dimensioni (campo visivo di almeno 40 mm) sono raccomandate dalle 3 alle 6 letture, anche qui preferibilmente con sostituzione delle aliquote. (S. Suzanne Nielsen, 2010).

4.2.4.3. Analisi spettrofotometrica nel vicino infrarosso (NIR)

Con la spettroscopia a infrarossi (IR) ci si riferisce alla misurazione dell'assorbimento delle diverse frequenze di radiazione IR da parte di alimenti o altri solidi, liquidi o gas. Oggi, la spettroscopia IR è ampiamente utilizzata nell'industria alimentare nel monitoraggio della composizione di una vasta gamma di prodotti alimentari prima, durante e dopo la lavorazione. La radiazione infrarossa è energia elettromagnetica con lunghezze d'onda (λ) maggiori rispetto alla luce visibile, ma minori delle microonde (S. Suzanne Nielsen, 2010).

La spettroscopia a raggi infrarossi è convenzionalmente divisa in tre regioni di lunghezza d'onda: il vicino infrarosso (NIR: 750–2500 nm), il medio infrarosso (MIR: 2500–25000 nm) e il lontano infrarosso (25–1000 μm) (Da-Wen Sun, 2009). Una molecola può assorbire la radiazione IR se vibra in modo tale che la sua distribuzione di carica, e quindi il suo momento di dipolo elettrico, cambia durante la vibrazione. Anche se ci sono molte vibrazioni possibili in una molecola poliatomiche, le vibrazioni più importanti che producono un cambiamento nel momento dipolare sono *stretching* e *bending* (*scissoring*, *rocking*, *twisting*, *wagging*). I tratti asimmetrici hanno più probabilità di provocare un cambiamento

nel momento dipolare, conseguente all'assorbimento della radiazione IR, rispetto ai tratti simmetrici. Si noti che l'energia vibrazionale, e quindi la frequenza di vibrazione, è direttamente proporzionale alla forza del legame e inversamente proporzionale alla massa della molecola. Quindi, gruppi funzionali diversi vibreranno a frequenze diverse. Un gruppo funzionale può assorbire l'energia radiante e passare dallo stato vibrazionale più basso al primo stato eccitato, e la frequenza di radiazione che rende ciò possibile è identica alla frequenza iniziale di vibrazione del legame; questa frequenza è detta assorbimento fondamentale. Le molecole possono anche assorbire radiazioni e passare a stati eccitati più alti, tali che la frequenza della radiazione assorbita è due o tre volte quella della frequenza fondamentale. Questi assorbimenti sono detti *overtones*, e le loro intensità sono molto più basse rispetto ai fondamentali in quanto queste transizioni sono meno favorite. Possono verificarsi anche bande di combinazione se più vibrazioni diverse interagiscono per dare bande che sono le somme delle loro frequenze fondamentali. Il risultato complessivo è che ogni gruppo funzionale all'interno della molecola assorbe la radiazione IR in bande di lunghezza d'onda distinte piuttosto che in continuo.

Le misure nel vicino IR (NIR) (700–2500 nm) sono ampiamente utilizzate per l'analisi quantitativa degli alimenti, e sono disponibili in commercio diversi strumenti per l'analisi compositiva degli alimenti. Il grande vantaggio della spettroscopia NIR è la sua capacità di misurare direttamente la composizione dei prodotti alimentari solidi con l'uso di tecniche di riflessione diffusa. Quando la radiazione colpisce un materiale solido in forma di granuli, parte della radiazione viene riflessa dalla superficie del campione. Questa riflessione è detta speculare e fornisce informazioni utili sul campione. La maggior parte delle radiazioni così riflesse viene diretta indietro verso la sorgente di energia; un'altra parte della radiazione penetra attraverso la superficie del campione e viene riflessa dalle varie particelle del campione prima di fuoriuscire da esso. Questo fenomeno è detto riflessione diffusa. Ogni volta che la radiazione interagisce con una particella di campione, i componenti chimici del campione possono assorbire una parte della radiazione. Pertanto, la radiazione di riflessione diffusa contiene informazioni sulla composizione chimica del campione, come indicato dalla quantità di energia

assorbita a lunghezza d'onda specifiche. La quantità di radiazione che penetra nel campione è influenzata dalla dimensione e dalla forma delle particelle al suo interno. L'energia alla quale compare ogni picco nello spettro di assorbimento corrisponde alla frequenza di una vibrazione di una parte della molecola di campione (Stuart B., 1997). Le bande di assorbimento osservate nella regione del NIR tendono ad essere deboli di intensità; tuttavia questo è un vantaggio, dal momento che le bande di assorbimento che invece hanno sufficiente intensità da essere osservate derivano principalmente da gruppi funzionali che possiedono un atomo di idrogeno legato a un carbonio, azoto, od ossigeno, gruppi comuni nei principali costituenti di cibo come l'acqua, proteine, lipidi e carboidrati. (S. Suzanne Nielsen, 2010).

La misurazione del contenuto di umidità in un prodotto alimentare viene effettuata indirizzando la luce NIR sul campione e determinando la quantità di luce che viene da esso assorbita. Poiché le proprietà della luce riflessa dipendono dalle caratteristiche della composizione del campione, il contenuto di umidità viene determinato misurando l'attenuazione della luce NIR causata dal campione. Ad esempio, un campione alimentare con un contenuto di umidità del 10% assorbe e riflette la luce NIR in modo diverso da un campione con un contenuto di umidità del 15% (Da-Wen Sun, 2009). Per le molecole d'acqua, le bande nel vicino infrarosso (1400-1450; 1920-1950 nm) sono caratteristiche dello *stretch* del gruppo -OH, e possono essere utilizzate per determinare il contenuto di umidità di un alimento (S. Suzanne Nielsen, 2010).

4.2.4.3.1 Strumentazione

Un tipico strumento NIR è costituito da una sorgente di radiazione, un selezionatore di lunghezza d'onda (monocromatore), un portacampione, un rilevatore fotoelettrico che misura l'intensità della luce rilevata e la converte in segnali elettrici, e un sistema informatico che acquisisce ed elabora dati spettrali. (Da-Wen Sun, 2009). Possono essere effettuate sia misure in riflessione che in trasmissione con la spettroscopia NIR, a seconda del tipo di campione. Misure di riflettanza, come nel nostro studio, vengono utilizzate principalmente per campioni solidi o granulari, mentre le misure in trasmittanza vengono effettuate solitamente

su campioni liquidi. Ad ogni lunghezza d'onda, l'intensità della luce riflessa dal campione viene confrontata con l'intensità riflessa da un riferimento non assorbente, come un materiale in ceramica. La riflettanza è espressa come:

$$R = I/I_0$$

dove:

I = intensità della radiazione riflessa dal campione a una determinata lunghezza d'onda; I_0 = intensità della radiazione riflessa dal riferimento alla stessa lunghezza d'onda (S. Suzanne Nielsen, 2010).

Per l'analisi nel vicino infrarosso è stato utilizzato lo spettrometro MicroNIR™ (VIAVI) ^{25 26}, che copre la regione spettrale compresa tra 950 e 1650 nm. Il software utilizzato è il MicroNIR Pro ES 1700. Prima dell'analisi è stata effettuata la calibrazione dello strumento per il nero in aria, e per il bianco su piastrella in dotazione. Sono state effettuate 3 misurazioni in 3 punti diversi su ogni campione.

4.2.4.4 Analisi rifrattometrica (grado °Brix)

La frutta, così come le confetture, i succhi di frutta, le marmellate e molti altri prodotti alimentari, presentano come principale solido solubile lo zucchero. Per questi prodotti, il tenore in zucchero può essere misurato direttamente con un rifrattometro. Anche se questa apparecchiatura è relativamente costosa per un produttore di piccola scala, essa dà una misura precisa della concentrazione dello zucchero, che è un punto di controllo vitale per molti prodotti.

L'indice di rifrazione (RI) di sciroppi o altri liquidi è una costante adimensionale che può essere usata per descrivere la natura del cibo. Quando un raggio di luce attraversa due mezzi aventi densità differenti, il raggio viene riflesso o rifratto. La riflessione della luce è funzione dei due mezzi e dei seni degli angoli di incidenza e rifrazione ad ogni dato valore di temperatura e pressione, ed è quindi una costante. L'RI (η) è il rapporto tra i seni degli angoli:

$$\eta = \frac{\text{seno dell'angolo del raggio incidente}}{\text{seno dell'angolo del raggio rifratto}}$$

Tutti i composti chimici hanno un indice di rifrazione; pertanto, questa misurazione può essere utilizzata per l'identificazione qualitativa di un composto ignoto confrontando l'RI con i valori presenti in letteratura. L'RI varia con la

concentrazione del composto, la temperatura e la lunghezza d'onda della luce. Il fatto che l'RI di una soluzione aumenti con la concentrazione è stato sfruttato nell'analisi dei solidi solubili totali di alimenti a base di carboidrati come sciroppi, prodotti a base di frutta e prodotti a base di pomodoro. A causa di questo uso, questi rifrattometri sono calibrati in °Brix (g di saccarosio/100 g di campione). Misure di indice di rifrazione sono ampiamente utilizzate per approssimare concentrazioni di zucchero negli alimenti, anche se i valori sono precisi solo per le soluzioni di puro saccarosio.

Sono disponibili due tipi di rifrattometri: quello da banco e quello portatile (possono anche essere installati all'interno di una linea di produzione per monitorare il grado °Brix di prodotti liquidi come bibite gassate, i solidi disciolti in succhi d'arancia o nel latte) (S. Suzanne Nielsen, 2010). Al fine di eseguire controlli di qualità, lo strumento portatile è più economico e sufficientemente preciso; per questo studio è stato utilizzato un rifrattometro portatile. Il metodo prevede il prelievo di una piccola aliquota di campione (allo stato liquido) da depositare sul prisma dello strumento. Il prisma viene coperto e si osserva attraverso lo strumento puntandolo in direzione di una sorgente luminosa. È bene attendere qualche secondo fino a quando lo strumento si stabilizza e la scala può essere letta tramite una divisione chiaramente definita tra due colori. La lettura è registrata come gradi °Brix che corrispondono alla % di saccarosio. (Marwaha K., 2010).

4.2.5 Matrici alimentari impiegate

Per la realizzazione di questo studio sono state utilizzate diverse matrici alimentari, al fine di indagare le migliori prassi operative (taglio e pulitura) da mettere in pratica, al fine sia di minimizzare gli scarti che di ottenere prodotti finiti omogenei, sicuri e il più possibile standardizzati. La frutta e la verdura utilizzate nella prima fase di ricerca in Italia (zucchine, mango, banane, mele, papaia, ananas) sono stati reperiti presso un supermercato situato nelle immediate vicinanze della sede di ricerca CREA, acquistati il giorno stesso della lavorazione o, nel caso in cui questo non fosse stato possibile, il giorno prima, e conservati a temperatura di refrigerazione (4°C) fino al momento di utilizzo (Fig. 7).



Figura 7: matrici alimentari

La scelta di queste derrate è stata guidata dalla volontà di manipolare diverse tipologie di alimenti per studiarne l'ottimizzazione della resa finale, e indagarne quindi le metodiche di taglio e pulitura più idonee, al fine di diminuire la quantità di scarto totale.

Per quanto riguarda invece la seconda parte dello studio in Tanzania, le matrici alimentari impiegate sono state scelte in base alla disponibilità sul mercato delle stesse (presso il centro abitato di Sumbawanga). Se già di norma, durante tutto il corso dell'anno, la regione non vanta un'ampia scelta di frutta disponibile, la varietà di frutta reperibile diminuisce ancor di più durante alcuni periodi dell'anno. Il nostro studio è stato svolto durante la stagione secca, tra Luglio e Agosto, motivo per il quale gli unici frutti ampiamente reperibili senza troppa difficoltà presso i mercati locali sono la papaia e la banana.

È importante sottolineare che trattandosi di mercati locali, e non di supermercati, acquistare prodotti tra loro omogenei risulta spesso arduo. La merce viene accatastata senza troppo riguardo in terra o su banchi in legno, a diretto contatto con la luce solare e senza alcun dispositivo di refrigerazione a proteggerli da rapidi deterioramenti. Questo a spiegazione dei diversi sapori, colori e consistenze dei frutti in cui ci si può imbattere, soprattutto se confrontati con le caratteristiche standardizzate dei prodotti acquistabili alle nostre latitudini tramite la Grande Distribuzione Organizzata.

4.2.6 Protocollo operativo



Un documento della FAO (cfr. nota sitografica n. 15) riporta le buone prassi operative da seguire per ottenere prodotti essiccati di qualità, contemporaneamente alla massima resa. Per perseguire ciò, tutti i frutti devono essere maturi e privi di ammaccature (vanno esclusi frutti marci e ammaccati). Inoltre, l'essiccatore

dovrebbe essere caricato fino alla sua massima capienza, quindi è consigliabile acquistare più frutta di quanto sia necessario. È importante non rovinare la buccia dei frutti in quanto questo contaminerebbe la polpa. Gli operatori devono indossare guanti e grembiuli per proteggere le mani e i vestiti. La frutta che non viene sbucciata deve essere lavata in una soluzione disinfettante (10 l di acqua trattata ogni 20 kg di frutta). I frutti vanno tagliati in fette di spessore variabile a seconda del tipo di frutta e dell'essiccatore; bisogna tener presente che i pezzi troppo spessi impiegano più tempo ad essiccarsi, soprattutto nella zona centrale, ma d'altro canto i pezzi molto sottili tenderanno ad attaccarsi ai vassoi e ne sarà difficoltosa la successiva rimozione. Inoltre, confezioni contenenti pezzi misti (sia spessi che sottili) possono risultare non attraenti.

I pezzi di frutta vanno caricati sui vassoi appena tagliati, evitando che si tocchino o si sovrappongano. La temperatura di essiccazione va controllata per evitare il surriscaldamento e il deterioramento della frutta. I frutti vengono essiccati fino al raggiungimento del livello contenuto finale desiderato di umidità (15% per i frutti essiccati convenzionalmente; 20-25% per quelli trattati con zucchero). I frutti essiccati devono essere confezionati immediatamente dopo il processo per evitare che assorbano l'umidità dall'aria circostante.

Viene di seguito riportato il protocollo operativo da noi utilizzato in ogni lavorazione di frutta effettuata, al quale sono state apportate le dovute e logiche modifiche di iter in base alle differenze anatomiche/botaniche delle matrici alimentari. In questo modo si mira ad attuare delle procedure standardizzate che assicurino l'ottenimento di prodotti alimentari non solo omogenei ma anche igienicamente sicuri. Sottolineiamo che per i campioni di banana è stato realizzato, oltre al classico ciclo di essiccazione, un ulteriore ciclo previo trattamento del campione in soluzione acidula (300 ml di succo di limone per 1200 ml di acqua; diluizione 1:4) e mantenuto in agitazione per 10 minuti, al fine di verificare se questo trattamento potesse evitare l'imbrunimento del campione. Poiché i campioni così pretrattati non hanno mostrato evidenti vantaggi di colore, tendiamo a sconsigliare questo pretrattamento, dal momento che rende invece più difficoltoso sia la distribuzione che la raccolta dei campioni dai vassoi.

Protocollo Operativo	
Igienizzazione iniziale dell'ambiente di lavoro	Disinfettare tavoli e pavimenti (acqua e candeggina, ipoclorito diluito); disinfettare utensili (secchi, mestoli, contenitori, colino); lavare le mani con amuchina (o soluzione igienica) e utilizzare guanti monouso. Se si utilizza soltanto il disinfettante, ripetere l'operazione di lavaggio mani ogni volta che si riprende il lavoro dopo una pausa o interruzione.
Approvvigionamento della materia prima	Nel tempo che intercorre tra l'acquisto e la lavorazione delle materie prime, stoccare i prodotti in luogo idoneo, possibilmente refrigerato.
Preparazione della materia prima	<p>Lavare accuratamente con acqua potabile. Pesare le materie prime e registrare il peso lordo. Effettuare le dovute sbuccature/pelature della materia prima. Rimuovere le parti rovinate. Pesare nuovamente gli alimenti e registrare il peso edibile. Tagliare gli alimenti in fette/rondelle/spicchi di spessore omogeneo (massimo 0,5 cm; ottimale 0,3 cm) per garantire un essiccamento uniforme.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
Sanificazione dei vassoi	Utilizzare una soluzione disinfettante, spazzola e acqua. Lasciare asciugare i vassoi prima di adagiarvi il prodotto.
Posizionamento delle materie prime sui vassoi	<p>Disporre le fette l'una vicina all'altra senza sovrapporle. Occupare tutto lo spazio disponibile sui vassoi per una maggiore efficienza di processo.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
Processo di essiccazione	Posizionare l'essiccatore con i ventilatori rivolti verso nord; collegare il sistema fotovoltaico all'essiccatore solare; inserirvi i vassoi. Chiudere il dispositivo e registrare i parametri di processo.

	<p>Se si inizia il processo di sera, rilevare i valori la mattina successiva; se invece si inizia la mattina, effettuare il secondo monitoraggio dopo circa tre ore. Monitorare il processo in tempi predefiniti (ogni circa due o tre ore) e registrarne i parametri. Si consideri il processo terminato quando due valori consecutivi di peso non siano significativamente diversi (circa l'1% di differenza tra due pesate successive).</p> 
<p>Imballaggio</p>	<p>Estrarre i vassoi dal dispositivo; mettere le fette in contenitori igienizzati; maneggiare sempre il prodotto indossando guanti in lattice. Misurare il peso secco finale. Insacchettare il prodotto e pesare ogni confezione, tenendo conto della tara del sacchetto. Indicare il peso netto in etichetta, corredata della descrizione del prodotto, gli ingredienti utilizzati, e la data di scadenza.</p> 
<p>Igienizzazione finale dell'ambiente di lavoro</p>	<p>Disinfettare tavoli e pavimenti (acqua e candeggina, ipoclorito diluito); disinfettare gli strumenti di lavoro (secchi, mestole, contenitori, colino) e i vassoi. Verificare che tutti gli ambienti e gli accessori, gli strumenti e le parti del dispositivo siano correttamente disinfettati. Coprire il dispositivo con una copertura dopo averne pulito le superfici interne ed esterne.</p>

4.2.7 Produzione di ingredienti a base di frutta essiccata per la prima infanzia

Verificata la stabilità dei preparati a fette realizzati, si è pensato di preparare un pool di farine mono o multi-ingrediente a base di frutta essiccata, per creare una linea di nuovi prodotti di supplementazione da indirizzare alle esigenze nutrizionali del singolo individuo, e mirate anche alla copertura di carenze nutrizionali specifiche (in particolare per bambini in età scolare e pre-scolare) (Fig. 8). Questa produzione è stata realizzata in entrambe le sedi sperimentali, in Italia preliminarmente e successivamente in Tanzania. Queste farine di frutta potrebbero essere utilizzate in combinazione con farine convenzionali e utilizzate per la produzione di prodotti da forno quali pane o “ugali” (una polenta bianca composta da farina di mais e acqua, pietanza tipica della cucina tanzanese).



Figura 8: farine di frutta

Per la realizzazione delle farine, le fette di frutta trattate sono state triturate tramite blender elettrico fino al raggiungimento della granulometria desiderata.

4.2.8 Produzione porridge fortificato ai semi di papaia – contesto nutrizionale della Scuola Secondaria St. Maurus Chemchemi di Sumbawanga

Partendo dalla ricetta del piatto tradizionale denominato “ugali” (polenta bianca composta da farina di mais e acqua) e dalla formulazione proposta da Kugo M., et al. (2018) è stato progettato un porridge fortificato dolce a base di semi di papaia, da poter proporre agli studenti della scuola luogo di sperimentazione, in aggiunta al menù scolastico abituale. La formulazione del porridge è stata inizialmente studiata nel mese precedente presso il laboratorio di ricerca del CREA di Milano, ed è stata denominata *Macò* (dagli ingredienti principali che lo costituiscono), e poi riproposta presso il laboratorio di nutrizione della scuola secondaria St. Maurus Chemchemi di Sumbawanga (Tanzania). La scelta di questa materia prima è giustificata da alcuni interessanti dati di letteratura che riportano tra gli effetti benefici dei semi di papaia la loro azione anti-elmintica e anti-amebica. Questi risultati sono discussi nel paragrafo 4.2.8.1.

L’iniziativa per la produzione di questo porridge nasce dalla valutazione del contesto nutrizionale della Scuola Secondaria St. Maurus Chemchemi di Sumbawanga, effettuata tramite interviste al responsabile della mensa scolastica. Dall’intervista è emerso un quadro nutrizionale inadeguato per quanto concerne la varietà del menù scolastico e l’esigua frequenza con la quale alcuni importanti alimenti vengono proposti. Agli studenti che pernottano nei dormitori della struttura vengono garantiti i 3 pasti principali della giornata: prima colazione, pranzo e cena. La colazione proposta dalla scuola consiste in sole 2 diverse offerte, riportate qui di seguito:

Colazione	
Lunedì	Porridge di mais
Martedì	Tè e mais cotto / patata dolce
Mercoledì	Porridge di mais
Giovedì	Tè e mais cotto
Venerdì	Porridge di mais / patata dolce
Sabato	Tè e mais cotto
Domenica	Tè e mais cotto

Il pranzo e la cena risultano essere anch'essi molto monotematici: entrambi i pasti sono costituiti da un piatto unico consistente in fagioli, verdura (cavolo) e ugali (polenta di mais a base di farina e acqua). Solamente due volte alla settimana gli studenti hanno accesso a una porzione di riso bianco; una volta a settimana viene servita della carne; per concludere, la frutta è proposta a fine pasto solamente due volte alla settimana.

Nell'ottica di voler migliorare l'apporto di micronutrienti agli studenti della scuola, si è quindi pensato di proporre una nuova ricetta da inserire nel menù scolastico, che sia di semplice realizzazione, apprezzato dagli studenti, e che, al fine di non gravare eccessivamente sulla casse della scuola, possa essere realizzato a partire da ingredienti già utilizzati dalla scuola. Per questo pensiamo che il porridge fortificato ai semi di papaia incontri tutte queste esigenze.

4.2.8.1 I benefici dei semi di papaia: background scientifico

L'azione benefica dei semi di papaia è stata recentemente esplorata da un team di ricercatori (Kugo M., et al., 2018). Gli elminti trasmessi dal suolo sono tra le malattie tropicali più trascurate al mondo, frequenti nelle regioni più povere del globo e soprattutto nei paesi in via di sviluppo. La morbosità dovuta a questi vermi parassiti è maggiore nei bambini in età scolare che in genere hanno più probabilità di contrarre l'infezione. Tant'è che nel 2001, l'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) ha approvato un programma per la somministrazione di farmaci contro i parassiti intestinali su bambini vulnerabili attraverso programmi scolastici. Anche se efficace, si pensa che questo programma non sia sostenibile per lunghi periodi di tempo. Si pone in quest'ottica la valutazione pilota condotta da Kugo M., et al., (2018) che lega l'alimentazione scolastica al controllo delle verminosi.

È stata progettata una farina di mais fortificata con semi di papaia (*Carica papaya*) essiccati e tritati e utilizzata per la preparazione di un porridge secondo la ricetta abituale del pasto scolastico in tre scuole elementari della contea di Nandi (Kenya). Sono stati creati tre gruppi di studio: i bambini della prima scuola hanno ricevuto 300 ml/die di porridge fortificato (gruppo papaia); la seconda scuola ha ricevuto la stessa porzione di porridge ma non fortificato (gruppo di controllo); la terza scuola ha ricevuto semplice porridge più 400 mg del farmaco anti-elmintico

albendazolo (gruppo albendazolo). Prima della randomizzazione, è stata effettuata un'analisi microscopica delle feci per determinare la presenza e l'intensità dei vermi intestinali. I bambini sono stati monitorati quotidianamente per 2 mesi, al termine dei quali è stata effettuata l'analisi finale delle feci e il monitoraggio clinico.

Su un totale di 326 bambini partecipanti (maschie e femmine tra i 4 e il 12 anni di età) la prevalenza complessiva iniziale di *Ascaris lumbricoides* era del 29,4%, di *Trichuris Trichura* del 5,2% e dell'*Ancylostoma duodenale* dello 0,3%. Dopo due mesi di somministrazione, il porridge fortificato ai semi di papaia ha ridotto il numero di uova di *Ascaris lumbricoides* del 63,9% mentre nel gruppo albendazolo la riduzione è stata del 78,8%. Il gruppo di controllo ha mostrato un aumento del numero di uova anche se non statisticamente significativo. È interessante notare che il gruppo papaia ha mostrato una significativa riduzione dei bambini con *Tinea capitis* rispetto al gruppo albendazolo che ha mostrato invece un aumento dell'infezione, anche se non statisticamente significativa. Si può quindi concludere che il porridge fortificato di semi di papaia ha avuto un effetto significativo sulla riduzione di *Ascaris lumbricoides*, per questo la sua adozione come pasto scolastico di routine può aiutare gli attuali programmi di nutrizione e sverminamento in Africa, in quanto strategia economica e rispettosa.

In uno studio più datato, firmato Okeniyi, J.A.O. et al., del 2007, è stata testata l'efficacia dei semi di papaia essiccati e macinati sulla parassitosi intestinale umana in 60 bambini asintomatici nigeriani ma con prove fecali positive a parassiti intestinali. Sono stati randomizzati due gruppi: al gruppo papaia sono stati somministrati 20 ml di un elisir composto da semi di papaia essiccati e miele; al gruppo placebo solamente miele. Gli esami delle feci ripetuti a distanza di 7 giorni dall'intervento mostrano nei soggetti del gruppo papaia una riduzione dei parassiti significativa (23 su 30, ossia il 76,7%) rispetto a quella registrata nei bambini del gruppo placebo (5 su 30, ossia il 16,7%). Inoltre, non si sono presentati effetti nocivi. Il tasso di *clearance* fecale per i vari tipi di parassiti è stato tra il 71,4% e il 100% dopo il trattamento con elisir rispetto allo 0-15,4% con il miele. Anche qui, viene dimostrata l'efficacia dei semi di papaia nel trattamento dei parassiti intestinali umani. Il loro consumo offre pertanto una terapia economica, naturale,

innocua, facilmente disponibile e una strategia preventiva contro la parassitosi intestinale, soprattutto nelle comunità tropicali.

4.2.8.2 Ingredienti, preparazione e buone prassi di lavorazione

Il porridge fortificato ai semi di papaia formulato inizialmente presso il CREA è stato realizzato utilizzando gli ingredienti e le dosi di seguito elencati:

- ❖ 250 g farina di mais;
- ❖ 100 g farina di mango (di nostra produzione);
- ❖ 50 g semi di papaia;
- ❖ 1200 ml latte di cocco.

Per la preparazione, sono state tagliate a metà due papaie (da 350 g l'una) e ne sono stati estratti i semi con un cucchiaino. I semi sono stati prima lavati con acqua corrente e successivamente pesati. Successivamente è stata effettuata la triturazione dei semi a mano, tramite pestello in ceramica – la giusta consistenza non dovrebbe essere né troppo liquida né troppo densa (Fig. 9 e 10); in seguito i semi macinati sono stati uniti alle due farine (Fig. 11) e mescolati a fondo con una frusta per omogenizzare il composto. Nel frattempo, il latte di cocco (Fig. 12) è stato portato a ebollizione (Fig. 13), e solo allora aggiunto del mix di farine e semi di papaia. Sempre mantenendo il fuoco acceso, il porridge è stato mescolato in continuo con l'aiuto di una frusta per 5-10 minuti al fine di farlo addensare e di non farlo aderire al fondo della pentola. Giunto nuovamente a bollire, il porridge è stato tolto dal fuoco (Fig. 14) e versato in vasetti da 100 ml ciascuno (Fig. 15). Il rapporto finale tra gli ingredienti risulta quindi approssimativamente di: 7,5 parti di latte di cocco; 1,5 parti di mais; 0,65 parti di farina di mango; 0,35 parti di semi di papaia.

Per garantirne una conservazione più prolungata nel tempo, soprattutto considerando la presenza di ingredienti altamente deperibili all'interno del prodotto, il porridge è stato sottoposto a sterilizzazione domestica per la conservazione sottovuoto. I vasetti sono stati riempiti fino a circa 1 cm dal bordo – buona prassi sarebbe sbattere i vasetti sul ripiano di lavoro un paio di volte in modo tale da evitare la formazione di bolle d'aria all'interno del porridge; nel caso in cui ne vengano individuate alcune, sarebbe opportuno levarle per scuotimento o aiutandosi con una posata. È stata portata a ebollizione dell'acqua (all'incirca metà

pentola): una volta raggiunto il bollore, è stato spento il fuoco e i vasetti sono stati adagiati nella pentola a testa in su (Fig. 16). Dopo averli lasciati raffreddare per circa 30 minuti nell'acqua, i vasetti sono stati disposti a testa in giù sul piano di lavoro (Fig. 17).

È opportuno indossare sempre dei guanti in lattice monouso, al fine di evitare contaminazioni microbiologiche e/o irritazioni cutanee. È bene mantenere l'ambiente di lavorazione sempre in ordine e ben igienizzato; inoltre si raccomanda di utilizzare sempre dell'acqua potabile per il lavaggio degli utensili.



Figura 9: pestato di semi (I)



Figura 10: pestato di semi (II)



Figura 11: mix di farine



Figura 12: latte di cocco



Figura 13: latte in ebollizione



Figura 14: porridge in raffreddamento



Figura 15: invasettamento



Figura 16: porridge in sterilizzazione



Figura 17: fine sterilizzazione

Partendo dalla ricetta sperimentata presso il CREA di Milano e pocanzi esposta, il porridge è stato riproposto ai professori che gestiscono e curano il lavoro di ricerca alimentare presso il *Nutritional Lab* della Scuola Secondaria di Sumbawanga. In questa sede, la ricetta ha visto la sostituzione del latte di cocco con il latte vaccino in quanto unica tipologia di latte disponibile presso il minimarket

nella città di Sumbawanga. Pertanto, il porridge è stato realizzato utilizzando gli ingredienti che seguono (gli ingredienti e gli step di lavorazione sono illustrati nella Fig. 18):

- ❖ 2 l di latte di mucca;
- ❖ 400 g di farina di mais;
- ❖ 200 g di farina di frutta disidratata (di nostra produzione);
- ❖ 100 g di semi di papaia.



Figura 18: step porridge

Il rapporto finale tra gli ingredienti è rimasto quindi invariato rispetto alla ricetta originale di partenza. Le farine di frutta utilizzate erano quelle a nostra disposizione, ossia 160 g di farina di papaia e 40 g di farina di banana. Ovviamente può essere utilizzata qualsiasi tipologia di farina di frutta a disposizione stagionalmente. Le procedure per la preparazione del porridge sono le stesse descritte pocanzi, fatta eccezione per l'uso di blender elettrico per la macinazione dei semi. Gli ingredienti e gli step per la preparazione, del tutto simili a quelli già descritti, vengono illustrati qui di seguito:

4.2.8.3 Analisi sensoriale

Al fine di indagare l'accettabilità del prodotto formulato, è stato effettuato un consumer test esplorativo, sia sul primo porridge fortificato prodotto al CREA di Milano, sia su quello prodotto a Sumbawanga (Tanzania).

Per quanto riguarda la prima produzione, il test è stato condotto all'interno del laboratorio preposto all'analisi sensoriale dell'istituto CREA. Il laboratorio è costituito da 6 postazioni (cabine di assaggio) (Fig. 19) provviste di monitor per accedere alla scheda sensoriale digitale (Fig. 20). Il test è stato condotto in un'unica giornata in tarda mattinata, tra le 11:00 e le 12:30. Il test è stato sottoposto a 29 persone di età compresa tra i 25 e 65 anni, reclutate all'interno dello stesso stabilimento. Gli assaggiatori sono stati informati sulla natura generale del prodotto, ossia "prodotto a base di cereali e frutta tropicale" e sul target cui il prodotto è indirizzato (bambini in età infantile) ma non è stata fornita loro nessuna delucidazione in merito alla composizione dello stesso.

La preparazione dei campioni è avvenuta all'interno della cucina antistante il laboratorio di analisi. I campioni sono stati disposti all'interno di bicchierini trasparenti in plastica usa e getta poco prima dell'analisi (Fig. 21), in modo tale da diminuirne il più possibile il tempo di contatto con l'aria. La quantità di campione all'interno del bicchierino era di 12-14 g (circa un cucchiaino e mezzo) (Fig. 22); la temperatura e l'umidità di somministrazione erano quelle ambientali. I campioni sono stati disposti presso la postazione di assaggio, forniti di una palettina in plastica prima dell'arrivo degli assaggiatori.

Trattandosi di un test di accettazione semplice, la scheda di analisi era costituita dalle seguenti domande:

- ❖ *Ti piace il prodotto assaggiato? Sì o no? Motivare la risposta con un commento.*
- ❖ *Riesci a individuare qualche ingrediente? Se sì, prova a elencarli.*



Figura 19: cabine di assaggio



Figura 20: scheda sensoriale



Figura 21: materiale di presentazione



Figura 22: campione e portacampione

Il secondo test sensoriale è stato invece condotto in lingua inglese all'interno del *Nutritional Lab* della Scuola Secondaria di Sumbawanga; a tale scopo è stato adibito un tavolo e 6 sedie per altrettante postazioni di assaggio (Fig. 23). Il test è stato condotto in forma anonima in un'unica giornata nel tardo pomeriggio, dalle 16:00 alle 19:00 circa. Sono stati reclutati 40 studenti e studentesse di età compresa tra i 14 e i 26 anni e suddivisi in gruppi da 6, al fine di condurre il test nella maniera più fluida e ordinata possibile.

Anche in questo caso i giovani assaggiatori sono stati informati sulla natura generale del prodotto, ossia "porridge fortificato" ma non è stata fornita loro nessuna delucidazione in merito alla composizione dello stesso (Fig. 24). Gli studenti che hanno mostrato difficoltà nella comprensione del testo sono stati affiancati da insegnanti che potessero guidarli nel completamento del test (Fig. 25). La preparazione dei campioni è avvenuta all'interno del laboratorio stesso; i campioni sono stati disposti all'interno di bicchierini in plastica poco prima dell'analisi, in modo tale da diminuirne il più possibile il tempo di contatto con

l'aria e al contempo evitare un eccessivo raffreddamento del prodotto. La quantità di campione all'interno del bicchierino era all'incirca un cucchiaino; la temperatura e l'umidità di somministrazione erano quelle ambientali. I campioni sono stati disposti presso la postazione di assaggio, corredati di scheda sensoriale e una forchetta in metallo (Fig. 26).



Figura 23: allestimento del test



Figura 234: reclutamento studenti



Figura 25: esecuzione del test



Figura 24: postazione d'assaggio

Viene di seguito riportata la scheda sensoriale cartacea proposta agli studenti (Fig. 27).

SENSORY TEST

PRODUCT: FORTIFIED PORRIDGE

SEX M F

AGE:

DO YOU LIKE THE PRODUCT?

YES NO

DO YOU RECOGNISE ANY INGREDIENT? TRY TO LIST THEM.

COMMENTS:

Figura 27: scheda sensoriale

4.2.8.3.1 Risultati

Per quanto riguarda il primo test effettuato, su 29 questionari, 26 hanno avuto esito positivo riguardo l'accettabilità del prodotto, mentre per 3 individui il prodotto non è risultato accettabile. Considerando il totale dei partecipanti, sono stati individuati 9 ingredienti diversi: cocco (13 volte); mais (5 volte); papaia (4 volte); mango (2 volte); limone (2 volte); banana (1 volta); kiwi (1 volta); noci (1 volta); avena (1 volta). Questi dati sono riassunti nei grafici in Fig. 28.

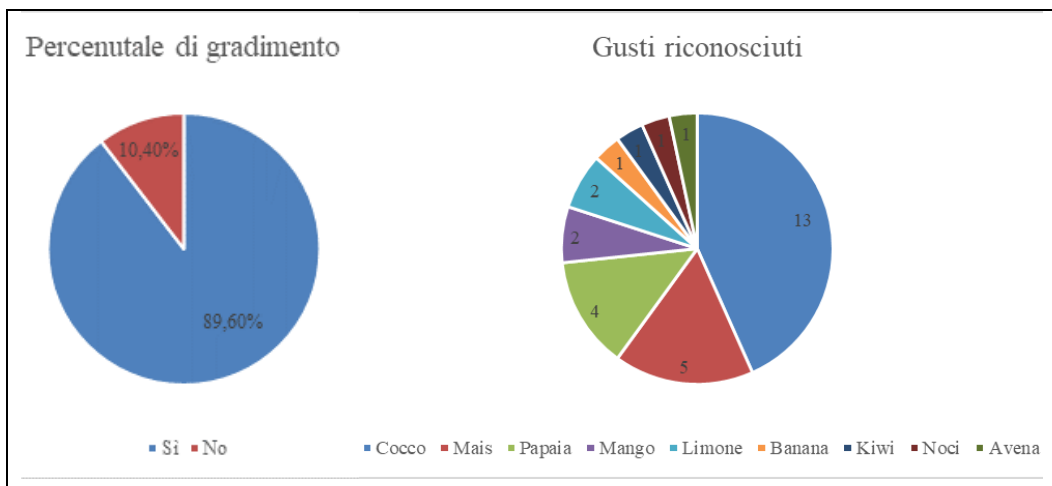


Figura 28: risultati del test sensoriale (CREA)

Per quanto riguarda il secondo test sensoriale, su 40 questionari, 38 hanno avuto esito positivo riguardo l'accettabilità del prodotto. Considerando il totale dei partecipanti, sono stati individuati 9 ingredienti diversi, che riportiamo in seguito insieme alla loro frequenza di apparizione: latte (40 volte); papaia (37 volte); farina di mais (28 volte); noccioline/arachidi (12 volte); zucchero (8 volte); mirtilli (3 volte); semi di papaia (3 volte); carota (2 volte); arancia (1 volta). Questi dati sono riassunti nei grafici riportati di seguito (Fig. 29):

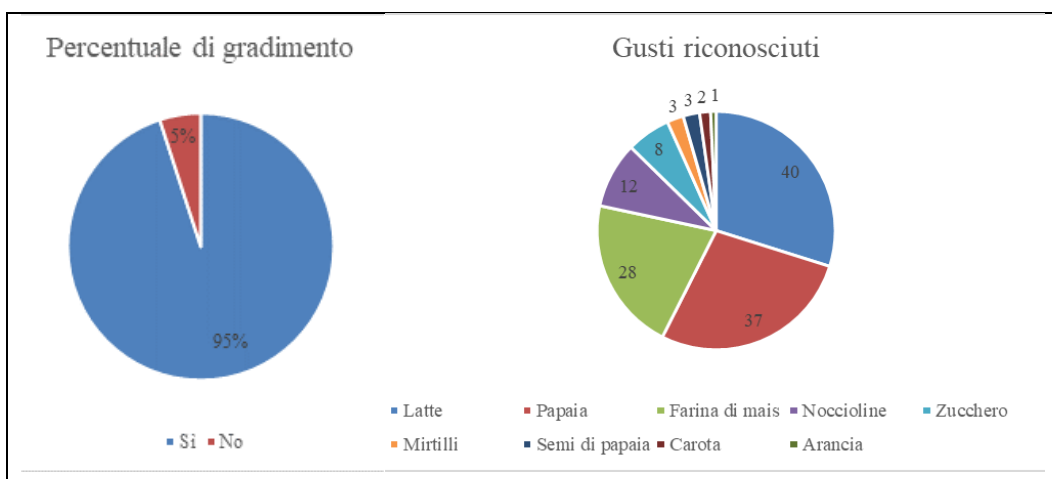


Figura 29: risultati del test sensoriale (Sumbawanga)

Tra i questionari sondati, 27 hanno riportato commenti totalmente positivi; riportiamo in seguito le considerazioni più comuni insieme alle loro frequenze di apparizione:

- ❖ Andrebbe prodotto (18 volte);
- ❖ Buono (10 volte);

- ❖ Sapore piacevole (8 volte);
- ❖ Delizioso (7 volte);
- ❖ Piacevolmente dolce (3 volte);
- ❖ Colore attraente (3 volte);
- ❖ Odore piacevole (1 volta).

Nonostante quindi, nel complesso, il prodotto proposto sia stato apprezzato dalla quasi totalità degli studenti, nella sezione dedicata ai commenti, non sono mancati suggerimenti riguardo possibili miglioramenti da apportare alla ricetta; vengono riportati in seguito le considerazioni più comuni con la loro frequenza di apparizione:

- ❖ Andrebbe aumentata la quantità di zucchero (4 volte);
- ❖ Andrebbe ridotta la quantità di papaia (3 volte);
- ❖ Andrebbe ridotta la quantità di latte (2 volte);
- ❖ Andrebbe aumentata la quantità di latte (2 volte);
- ❖ Il colore non è piacevole alla vista (2 volte);
- ❖ Andrebbe ridotta la quantità di semi di papaia (1 volta);
- ❖ Andrebbe ridotta la quantità di zucchero (1 volta).

Possiamo concludere che gli studenti della Scuola Secondaria St. Maurus Chemchemi di Sumbawanga hanno aderito con entusiasmo all'iniziativa e si sono dimostrati curiosi e ben disposti a partecipare ad attività interattive dedicate all'alimentazione. Per questo motivo suggeriamo di proseguire sia con la produzione del porridge fortificato da noi formulato, sia di valutare nuove proposte nutrizionali da indirizzare ai ragazzi e alle ragazze della scuola: tali prodotti aiuterebbero a variare la loro alimentazione, che risulta monotona e carente di alcune componenti nutrizionali fondamentali per la crescita e il mantenimento di un ottimale stato di salute. Suggeriamo inoltre di consultare gli studenti stessi tramite test sensoriali, questionari o interviste, riguardo le loro preferenze alimentari e i loro gusti, in modo tale da poter valutare se ci possa essere una convergenza tra tre fattori fondamentali che vanno presi in considerazione nell'avanzamento di nuove proposte nutrizionali: budget scolastico, fattori edonistici e fattori nutrizionali.

4.2.9 Packaging ed etichettatura

A lavorazione ultimata tutti i prodotti essiccati realizzati sono stati pesati e imbustati secondo le necessità. I campioni realizzati in Italia sono stati impacchettati in bustine in plastica trasparenti (Fig. 30) ed etichettati con l'etichetta mostrata in Fig. 31. Le confezioni sono state mantenute al buio, lontano quindi da fonti di calore dirette.



Figura 30: packaging

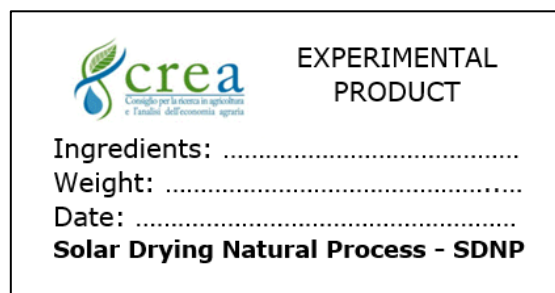


Figura 3125: Etichetta CREA

I campioni di frutta essiccati così come le farine realizzate in Tanzania sono state invece pesati e imbustati a processo ultimato in buste di carta, corredati di timbro identificativo come in Fig. 32. Inoltre, al fine di evitare deterioramenti o variazioni nella composizione dei prodotti, alcuni campioni realizzati in Tanzania sono stati imbustati sottovuoto, come mostrato in Fig. 33, e trasportati presso la sede di Milano del CREA, così da potervi effettuare le analisi d'interesse.



Figura 32: packaging



Figura 263: sottovuoto

La scelta di imballaggi in carta è stata dettata da due diverse esigenze: la prima è di natura prettamente legislativa, dal momento che il governo della Tanzania ha recentemente messo al bando l'uso di buste in plastica per incentivare l'utilizzo di materiali più ecosostenibili; in secondo luogo il packaging in carta può permettere una migliore conservazione dei prodotti al suo interno, dal momento che evita che la luce colpisca direttamente i campioni, degradandoli, e permettendo ai campioni una migliore traspirazione, evitando quindi la formazione precoce di muffe.

4.2.10 Parametri di processo

Vengono qui di seguito schematizzati i parametri di processo registrati per le varie lavorazioni effettuate in ambo le fasi del progetto di ricerca e comprendenti: temperatura interna ed esterna all'essiccatore; umidità relativa interna ed esterna all'essiccatore; i gradi °Brix del prodotto fresco (laddove possibile); il calo peso totale da prodotto fresco iniziale (peso edibile e non lordo) a prodotto secco finale; la resa finale.

Riguardo lo studio del calo peso, si vuole porre l'attenzione sulle ultime due lavorazioni di banana e papaia effettuate in Tanzania, datate rispettivamente al 05/08/19 e 06/08/29, per le quali sono state effettuate misurazioni in itinere, ulteriori a quella del calo peso complessivo (inteso sul totale del prodotto analizzato). Al fine di indagare l'andamento del calo peso durante il processo di essiccazione (non solamente, quindi, all'inizio e al termine dello stesso) sono stati misurati sia i pesi di vassoi campione sia i pesi di un quantitativo di fette campione fisso (8 per le banane, 4 per la papaia). Ciò ha permesso sia di controllare il buon andamento del processo di rimozione dell'acqua dalle matrici alimentari, sia di verificare a che punto il processo può essere considerato terminato, ossia quando il calo peso tra una misurazione e l'altra, non varia in maniera significativa. Sono state effettuate tre misurazioni al giorno a distanza di 3 ore circa l'una dall'altra.

Luogo	Prodotto	Data	Orario	Peso (g)	Temperatura (°C)		Umidità (%)		°Brix	Resa (%)
					in	out	in	out		
CREA	Zucchine	18/06/2019	12:00	1905	32,0	30,0	37	39	3,0	
CREA	Zucchine	18/06/2019	15:00		37,5	37,2	32	26		
CREA	Zucchine	19/06/2019	11:00		40,1	32,4	26	40		
CREA	Zucchine	19/06/2019	15:30	100	42,3	37,1	19	22		5,26

Luogo	Prodotto	Data	Orario	Peso (g)	Temperatura (°C)		Umidità (%)		°Brix	Resa (%)
					in	out	in	out		
CREA	Mango	18/06/2019	12:00	2504	32,0	30,0	37	39	13,5	
CREA	Mango	18/06/2019	15:00		37,5	37,2	32	26		
CREA	Mango	19/06/2019	11:00		40,1	32,4	26	40		
CREA	Mango	19/06/2019	15:30	374,9	42,3	37,1	19	22		14,99

Luogo	Prodotto	Data	Orario	Peso (g)	Temperatura (°C)		Umidità (%)		°Brix	Resa (%)
					in	out	in	out		
CREA	Banane	19/06/2019	11:00	1855	40,1	32,4	26	40	15,0	
CREA	Banane	19/06/2019	15:30		42,3	37,1	19	22		
CREA	Banane	20/06/2019	11:30		35,9	34,1	18	19		
CREA	Banane	20/06/2019	14:15	385,8	39,0	33,7	12	19		20,79

Luogo	Prodotto	Data	Orario	Peso (g)	Temperatura (°C)		Umidità (%)		°Brix	Resa (%)
					in	out	in	out		
CREA	Papaia	25/06/2019	13:00	3143	37,5	37,9	30	27	12,4	
CREA	Papaia	25/06/2019	15:15		39,6	38,7	32	27		
CREA	Papaia	26/06/2019	10:15		35,8	35	22	38		
CREA	Papaia	26/06/2019	15:30	407,5	40,6	38,8	28	30		15,23

Luogo	Prodotto	Data	Orario	Peso (g)	Temperatura (°C)		Umidità (%)		°Brix	Resa (%)
					in	out	in	out		
CREA	Mela	25/06/2019	15:15	2674	39,6	38,7	32	27	11,7	
CREA	Mela	26/06/2019	10:15		35,8	35	22	38		
CREA	Mela	26/06/2019	15:30		40,6	38,8	28	30		
CREA	Mela	27/06/2019	10:15	338,76	35,9	35,2	32	34		12,63

Luogo	Prodotto	Data	Orario	Peso (g)	Temperatura (°C)		Umidità (%)		°Brix	Resa (%)
					in	out	in	out		
CREA	Ananas	03/07/2019	12:15	1393	35,4	33	37	35	10,7	
CREA	Ananas	03/07/2019	14:00		34,9	38,8	36	27		
CREA	Ananas	04/07/2019	10:15		31,4	28,2	42	42		
CREA	Ananas	04/07/2019	15:00		32,3	34,2	32	29		
CREA	Ananas	05/07/2019	10:30		34,3	31	38	42		
CREA	Ananas	05/07/2019	14:30	197,5	36,4	32,4	34	39		14,17

Luogo	Prodotto	Data	Orario	Vassoi	Peso (g)	Temperatura (°C)		Umidità (%)		°Brix	Resa (%)
						in	out	in	out		
Mvimwa	Papaia	23/07/2019	11:45	1	1780	28,9	24,5	29	41	10,2	
Mvimwa	Papaia	23/07/2019	14:45			31,2	28,8	20	18		
Mvimwa	Papaia	23/07/2019	16:45			27,6	25,9	27	31		
Mvimwa	Papaia	24/07/2019	09:45			23,8	19,7	37	41		
Mvimwa	Papaia	24/07/2019	11:00			29,6	24,3	24	30		
Mvimwa	Papaia	24/07/2019	14:00			32,2	30,1	11	10		
Mvimwa	Papaia	24/07/2019	17:00			29,1	28,2	10	10		
Mvimwa	Papaia	25/07/2019	10:00			27,7	23,1	21	26		
Mvimwa	Papaia	25/07/2019	13:00			36,3	30,7	10	10		
Mvimwa	Papaia	25/07/2019	16:00			32,8	23,3	10	31		
Mvimwa	Papaia	26/07/2019	11:00			29,9	27,8	15	25		
Mvimwa	Papaia	26/07/2019	14:00		112	35,9	29,2	10	19		6,3

Luogo	Prodotto	Data	Orario	Vassoi	Peso (g)	Temperatura (°C)		Umidità (%)		°Brix	Resa (%)
						in	out	in	out		
Mvimwa	Papaia	24/07/2019	11:00	2	3037	29,6	24,3	24	30	11,3	
Mvimwa	Papaia	24/07/2019	14:00			32,2	30,1	11	10		
Mvimwa	Papaia	24/07/2019	17:00			29,1	28,2	10	10		
Mvimwa	Papaia	25/07/2019	10:00			27,7	23,1	21	26		
Mvimwa	Papaia	25/07/2019	13:00			36,3	30,7	10	10		
Mvimwa	Papaia	25/07/2019	16:00			32,8	23,3	10	31		
Mvimwa	Papaia	26/07/2019	11:00			29,9	27,8	15	25		
Mvimwa	Papaia	26/07/2019	14:00		293	35,9	29,2	10	19		9,6

Luogo	Prodotto	Data	Orario	Vassoi	Peso (g)	Temperatura (°C)		Umidità (%)		°Brix	Resa (%)
						in	out	in	out		
Sumbawanga	Papaia	30/07/2019	11:30	6	4220	30,1	26,3	21	26	12,8	
Sumbawanga	Papaia	30/07/2019	14:30			31,6	27,3	16	22		
Sumbawanga	Papaia	31/07/2019	10:00			28,6	22,4	36	44		
Sumbawanga	Papaia	31/07/2019	13:00			31,0	26,4	31	36		
Sumbawanga	Papaia	31/07/2019	16:00			33,2	25,8	24	35		
Sumbawanga	Papaia	01/08/2019	10:00			26,9	22,4	46	48		
Sumbawanga	Papaia	01/08/2019	13:00			29,9	27,2	35	37		
Sumbawanga	Papaia	01/08/2019	16:00		442	28,9	24,2	30	38		10,4

Luogo	Prodotto	Data	Orario	Vassoi	Peso (g)	Temperatura (°C)		Umidità (%)		Calo peso (g)		°Brix	Resa (%)
						in	out	in	out	Vassoio	Fette		
Sumbawanga	Papaia	31/07/2019	10:00	4	3727	28,6	22,4	36	44	1329	32	11,8	
Sumbawanga	Papaia	31/07/2019	13:00			31,0	26,4	31	36	1076	29		
Sumbawanga	Papaia	31/07/2019	16:00			33,2	25,8	24	35	901	15		
Sumbawanga	Papaia	01/08/2019	10:00			26,9	22,4	46	48	709	7		
Sumbawanga	Papaia	01/08/2019	13:00			29,9	27,2	35	37	661	5		
Sumbawanga	Papaia	01/08/2019	16:00			28,9	24,2	30	38	641	5		
Sumbawanga	Papaia	02/08/2019	10:00			30,1	22,2	32	44	643	5		
Sumbawanga	Papaia	02/08/2019	13:00		407	29,6	25,3	31	36	638	5		10,9

Luogo	Prodotto	Data	Orario	Vassoi	Peso (g)	Temperatura (°C)		Umidità (%)		Calo peso (g)		Calo peso fette (g)		Resa (%)
						in	out	in	out	Vassoio A	Vassoio B	Vassoio A	Vassoio B	
Sumbawanga	Banana	05/08/2019	12:00	2	1723	32,1	28,9	10	12	1409	1331	25	22	
Sumbawanga	Banana	05/08/2019	15:00			39,9	30,8	10	10	1049	1000	14	15	
Sumbawanga	Banana	05/08/2019	18:00			33,0	23,7	10	17	922	876	10	9	
Sumbawanga	Banana	06/08/2019	10:00			35,2	25,1	16	25	868	826	8	8	
Sumbawanga	Banana	06/08/2019	13:00			34,3	29,2	10	12	840	795	8	8	
Sumbawanga	Banana	06/08/2019	16:00			39,0	27,1	10	12	837	791	8	8	
Sumbawanga	Banana	07/08/2019	10:00		531	37,9	25,3	10	24	834	790	8	8	30,8

Luogo	Prodotto	Data	Orario	Vassoi	Peso (g)	Temperatura (°C)		Umidità (%)		Calo peso (g)		Resa (%)
						in	out	in	out	Vassoio	Fette	
Sumbawanga	Papaia	06/08/2019	10:00	4	3747	35,2	25,1	16	25	1527	51	
Sumbawanga	Papaia	06/08/2019	13:00			34,3	29,2	10	12	1087	35	
Sumbawanga	Papaia	06/08/2019	16:00			39,0	27,1	10	12	866	21	
Sumbawanga	Papaia	07/08/2019	10:00			37,9	25,3	10	24	694	8	
Sumbawanga	Papaia	07/08/2019	13:00			33,4	26,9	12	13	684	7	
Sumbawanga	Papaia	07/08/2019	16:00			33,1	24,4	10	24	678	7	
Sumbawanga	Papaia	08/08/2019	11:00			34,4	26,5	12	25	684	6	
Sumbawanga	Papaia	08/08/2019	14:00			35,0	30,5	15	18	682	6	
Sumbawanga	Papaia	08/08/2019	17:00			27,6	26,5	23	30	682	6	
Sumbawanga	Papaia	09/08/2019	10:00			29,5	25,7	32	37	693	6	
Sumbawanga	Papaia	09/08/2019	13:00			32,1	29,8	23	34	685	6	
Sumbawanga	Papaia	09/08/2019	16:00		440	34,2	29,1	16	20	684	6	11,7

Capitolo 5

5.1 Risultati e discussione

5.1.1 Valori di acqua libera a fine processo e dopo conservazione (campioni CREA)

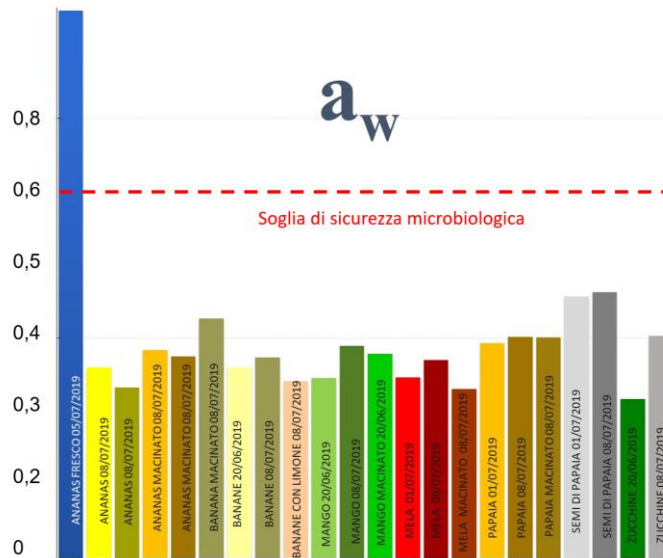


Figura 34: medie valori a_w (CREA)

Il grafico sopra riportato (Fig. 34) mostra le medie dei valori di a_w rilevati sui prodotti ortofruitticoli essiccati a fine processo di lavorazione eseguiti al CREA di Milano e, nel caso del campione ananas, anche dei valori di a_w rilevati sul prodotto fresco. Questi valori sono stati affiancati ai valori di a_w determinati a fine sperimentazione su tutti i prodotti essiccati ottenuti, al fine di verificare l'efficienza del processo ad assicurazione della qualità igienica dei prodotti finali e il mantenimento di quantità di acqua residua entro valori di sicurezza alimentare durante il periodo di conservazione a distanza di 17, 7 e 3 giorni dal termine del processo. Questi valori sono riportati sotto la dicitura "08/07/19". La linee tratteggiata in rosso delinea quella che è considerata la zona di sicurezza microbiologica, compresa tra valori di circa 0,2 e 0,6, entro e al di sotto della quale il prodotto alimentare risulta essere protetto da eventuali contaminazioni microbiologiche, dal momento che valori così bassi di acqua libera impediscono la proliferazione della quasi totalità di batteri, e della totalità di lieviti e muffe. Questi risultati ci permettono di porre la data di scadenza dei prodotti, se confezionati in aria e mantenuti a temperatura ambiente e in assenza di luce, a circa 8 mesi per i preparati con valori di a_w tra 0,35 e 0,4, e di prolungare il periodo di

commercializzazione ad oltre 1 anno per i prodotti con valori di a_w inferiori allo 0,35.

Si nota chiaramente come il valore di a_w del campione ananas fresco si differenzi nettamente da tutti prodotti essiccati analizzati, portandosi a valori prossimi a 1, caratteristici di prodotti non trattati, e destinati al consumo diretto.

Esclusi i campioni di semi di papaia e banana macinata, tutti i prodotti analizzati presentano valori di a_w inferiori allo 0,4; inoltre va considerato che entrambi – così come tutti gli sfarinati prodotti – sono da destinarsi a preparazione di alimenti fortificati di più immediato consumo, e per questo non necessitano di tempi di conservazione prolungati tanto quanto i prodotti a fette. Soprattutto per il campione semi di papaia, i valori leggermente più elevati di a_w rispetto agli altri prodotti è riconducibile alla natura mucillaginosa della polpa in cui sono immersi, e al fatto che la loro macinazione è stata effettuata con pestello e mortaio interamente a mano. Per questo sarebbe forse buona prassi aumentare il tempo di molitura dei semi oppure meccanizzare il processo cosicché, in forma ancora più granulare, si possa più facilmente allontanare l'acqua residua. Per il campione banana, si può ipotizzare che la natura amidacea del prodotto abbia condizionato l'evaporazione dell'acqua dalla matrice alimentare, rendendone più difficoltoso l'allontanamento. Considerando che il medesimo frutto in forma affettata, ha invece mantenuto valori di a_w decisamente inferiori, per la forma sfarinata è consigliabile un confezionamento che assicuri una maggiore ermeticità.

Ulteriori considerazioni in merito ai dati ottenuti con questa determinazione sono riportate nel paragrafo dedicato alla discussione dei risultati ottenuti con analisi di spettroscopia NIR (cfr. paragrafo 5.1.3).

Matrici alimentari	aw	aw	aw	Giorni di shelf-life
	Punto 0	Data 1	Data 2	
Zucchine	0,2895	0,4048	0,4592	74
Mango	0,3283	0,3864	0,4418	74
Banana	0,3349	0,3653	0,4571	74
Semi farina papaia	0,4762	0,4843	0,4817	63
Papaia farina	0,3911	0,4015	0,4737	63
Papaia	0,3911	0,403	0,4658	63
Mela	0,3288	0,3605	0,4417	63
Ananas	0,3468	0,3109	0,4344	56

Figura 35: dati di shelf-life

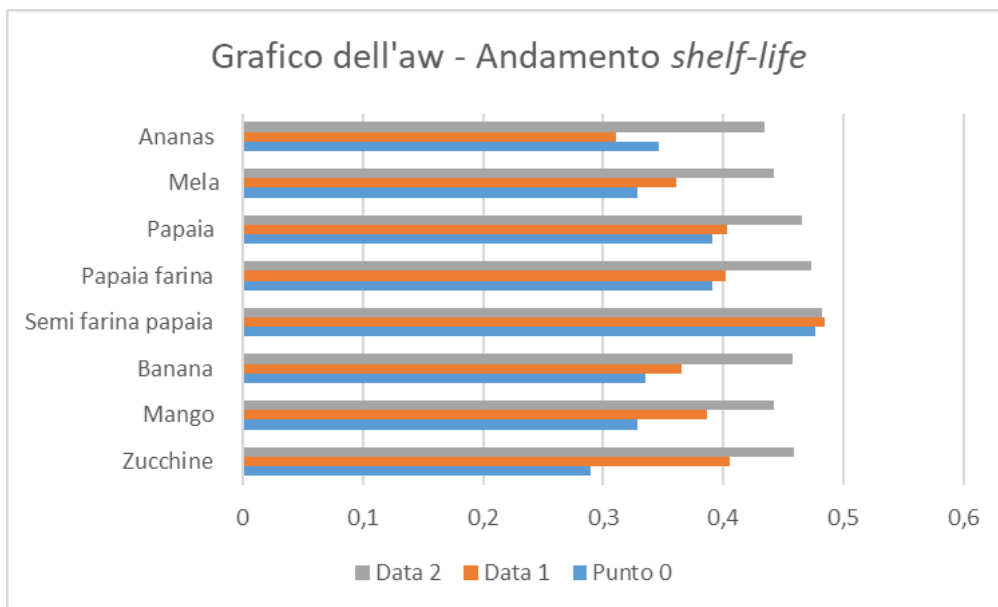


Figura 36: grafico di shelf-life

Questo grafico (Fig. 36) mostra e riassume gli andamenti dei valori di a_w durante il periodo di conservazione dei vari prodotti realizzati (Fig.35). Per “Punto 0”, “Data 1” e “Data 2” si intendono le date in cui sono state effettuate le misurazioni. Mentre “Data 1” e “Data 2” si riferiscono univocamente alle date 08/07/2019 e 02/09/2019 rispettivamente, “Punto 0” differisce tra i vari campioni poiché corrisponde alle date di misurazione del valore di a_w a fine processo di lavorazione, specifica di ogni matrice alimentare. Pertanto, per i campioni “Zucchine”, “Mango” e “Banana” corrisponde al 20/06/2019; per “Semi farina papaia”, “Papaia” e “Mela” corrisponde allo 01/07/2019; per il campione “Ananas” corrisponde allo 08/07/2019. Tenendo in considerazione questi tre raggruppamenti temporali, i giorni complessivi di conservazione al momento dell’ultima analisi risultano essere rispettivamente di 74, 63 e 56 giorni.

In generale è possibile osservare un prevedibile aumento del valore di a_w nel tempo, giustificati sia dalla lunghezza del tempo di conservazione (all’incirca 2 mesi) e in secondo luogo dal tipo di *packaging* utilizzato. Non essendo ricorsi a imballaggi sottovuoto bensì a sacchetti in plastica richiudibili, tutti i campioni hanno riacquisito una quota di umidità; l’utilizzo di sacchetti in carta, per quanto impedisca l’immediata ispezione visiva del campione senza compromettere l’incolumità del contenitore, può diminuire l’innalzamento del valore di a_w nel tempo del campione poiché quest’ultimo ha maggiore possibilità di traspirazione.

È possibile innanzitutto osservare una differenza di andamento tra frutta e ortaggi analizzati. Infatti, il campione zuccina riacquista la maggior quota di umidità nelle prime 2-3 settimane di conservazione, ma rallenta il fenomeno nei mesi successivi. Non può essere detto lo stesso per la frutta che, in generale, presenta un comportamento del tutto opposto: appare stabile nel primissimo periodo di conservazione, mentre tende a riacquistare umidità nel lungo periodo, in maniera più costante nel tempo. Interessante notare come per i semi di papaia il valore di a_w rimanga praticamente costante durante il periodo di *shelf-life*, ciò giustificato dal fatto che presentano contenuti di sostanza secca superiori rispetto agli altri campioni. L'unico campione che fa eccezione al fisiologico innalzamento dei valori di a_w nel tempo è quello di ananas; ciononostante questa inversione dei valori registrata dopo 3 giorni di conservazione non risulta essere significativa in quanto i valori ottenuti sono comunque molto vicini tra loro (0,3468 vs 0,3109) e non significativamente diversi, come invece riscontrato a fine lavorazione (56 giorni). Inoltre, è importante evidenziare che nessuno dei valori misurati supera la soglia di sicurezza microbiologica posta a valori di a_w superiori allo 0,6.

5.1.1.1 Valori di acqua libera (campioni africani)

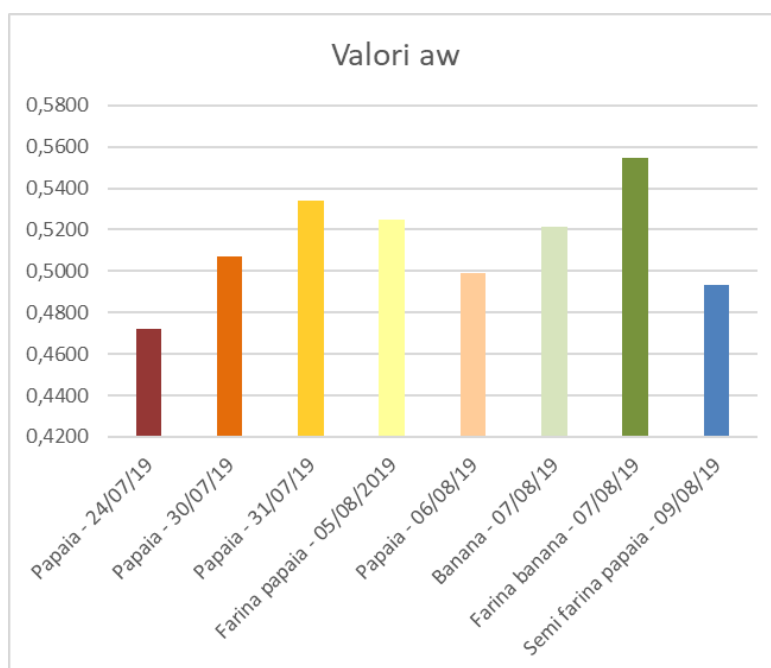


Figura 3727: medie valori a_w (Tanzania)

Per quanto riguarda il contenuto di a_w nei campioni realizzati in Tanzania, i valori oscillano tra un minimo di 0,4720 e un massimo di 0,5545 (quest'ultimo appartenente alla già citata farina di banana), valori comunque inferiori alla soglia di sicurezza microbiologica. Tra i valori più alti registrati ritroviamo quelli corrispondenti ai due campioni di farine; confrontando i valori di a_w delle farine con i corrispettivi campioni a fette da cui derivano (parametri evidenziati in rosso nella tabella sottostante, Fig.) si può ragionevolmente ritenere che le differenze di a_w registrate siano ascrivibili al processo di macinazione post-essiccazione. Il *blender* utilizzato non è risultato idoneo alla suddetta lavorazione in quanto ormai datato e non perfettamente funzionante: ciò ha determinato un allungamento del tempo di lavorazione, comportando altresì il surriscaldamento dell'apparecchio così come il riscaldamento e la riumidificazione dei campioni essiccati.

Matrici alimentari	Data confezionamento	a_w
Papaia - 24/07/19	24/07/2019	0,4720
Papaia - 30/07/19	30/07/2019	0,5072
Papaia - 31/07/19	31/07/2019	0,5338
Farina papaia - 05/08/2019	05/08/2019	0,5246
Papaia - 06/08/19	06/08/2019	0,4988
Banana - 07/08/19	07/08/2019	0,5214
Farina banana - 07/08/19	07/08/2019	0,5545
Semi farina papaia - 09/08/19	09/08/2019	0,4933

Figura 3828: dettaglio a_w

Per quanto sia auspicabile ottenere prodotti essiccati con valori finali di a_w inferiori a quelli da noi registrati in questo studio, si ritiene che non sia possibile forzare ulteriormente il processo per rimuovere altra acqua dalle matrici alimentari. Ciò è facilmente riscontrabile dall'analisi dei parametri di processo (cfr. paragrafo 4.2.10). Osservando il calo peso sia dei vassoi che delle fette nei campioni di banana (Fig. 39), vediamo che le fette non hanno variato di peso per 24 ore consecutive, mentre i vassoi hanno subito variazioni minime e/o trascurabili nel medesimo arco di tempo.

Prodotto	Data	Orario	Calo peso (g)		Calo peso fette (g)	
			Vassoio A	Vassoio B	Vassoio A	Vassoio B
Banana	05/08/2019	12:00	1409	1331	25	22
Banana	05/08/2019	15:00	1049	1000	14	15
Banana	05/08/2019	18:00	922	876	10	9
Banana	06/08/2019	10:00	868	826	8	8
Banana	06/08/2019	13:00	840	795	8	8
Banana	06/08/2019	16:00	837	791	8	8
Banana	07/08/2019	10:00	834	790	8	8

Figura 3929: calo peso (banane)

Analoga considerazione può essere fatta per i campioni di papaia realizzati in Agosto: sebbene il valore finale di a_w registrato sia pari a 0,4988, i valori del calo peso registrati durante il corso della sperimentazione suggerivano che il processo di essiccamento poteva essere considerato concluso, dal momento che le variazioni in grammi sia dei vassoi che delle fette singole sono risultate del tutto minimali nell'arco di ulteriori 24 ore, ovvero pesando i campioni il giorno successivo alla medesima ora di ispezione.

5.1.2 Valori di colore (campioni CREA)

La scelta dei prodotti agricoli analizzati è stata effettuata sulla base della stagionalità e della eventuale disponibilità nelle zone rurali della Tanzania dove è stata poi verificata la trasposizione di scala e il potenziale utilizzo dell'impianto di essiccamento a energia solare per la produzione di prodotti innovativi facilmente conservabili e di semi lavorati da impiegare come alimenti fortificati da inserire nella dieta sia della popolazione in generale che della prima infanzia. Le rilevazioni effettuate con la colorimetria tristimolo, sia relativa agli indici di colore che ai valori di riflettanza percentuale, sono stati acquisiti contemporaneamente, sottoponendo tutti i campioni ad analisi in triplicato. Nell'elaborazione dei grafici sono state in seguito calcolate le medie di 3 misurazioni effettuate.

5.1.2.1 Parametri colore a fine processo

I parametri ottenuti sono l'oggettivazione di un test sensoriale visivo, relativo all'aspetto del prodotto percepito dall'occhio umano. La misura del colore degli oggetti realizzata con un colorimetro tristimolo produce come risultati solo i

dati colore numerici nei diversi spazi di colore ²⁷. I descrittori non sono legati alla concentrazione, ma più sono elevati, più ci danno indicazione di sostanze potenzialmente favorevoli dal punto di vista nutrizionale. Per questo è utile seguirli per capire le modificazioni che intervengono durante il processo di trasformazione industriale.

Il grafico in Fig. 40 mostra i valori sperimentali ottenuti per i diversi prodotti analizzati (per un riepilogo sugli indicatori di colore, cfr. paragrafo 4.2.4.2.2).

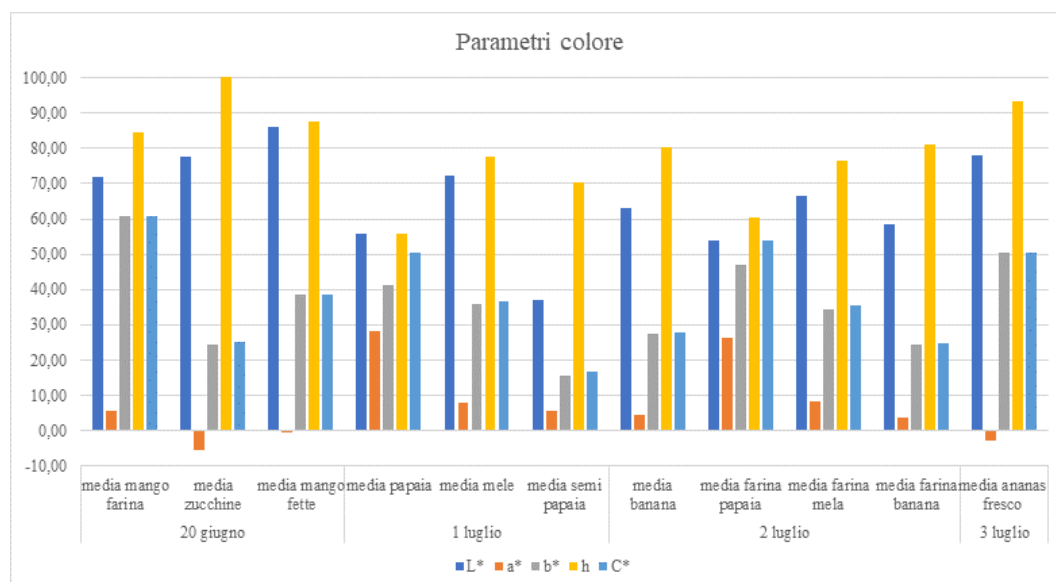


Figura 40

I valori più elevati di luminosità si riscontrano nell'ananas fresco (non trasformato) e nel mango a fette. Il mango mostra anche, sottoforma di sfarinato, la massima risposta del parametro b^* (giallo) che a seguito del processo di molitura raddoppia il suo valore; è probabile che ciò sia a causa della rottura della struttura fibrosa del frutto, con una maggiore evidenza dei componenti prima racchiusi all'interno delle cellule intatte. Per questo riguardo il parametro a^* del mango, i valori riscontrati nello sfarinato confermano l'ipotesi di incremento di biodisponibilità di componenti nutrizionali associati a capacità AOX, con un innalzamento dei valori di questo parametro di circa il 10% quando si passa dal prodotto a fette a quello sottoforma di sfarinato.

Differenze di parenchima rispetto al mango si evidenziano nella papaia, ricca di composti rilevabili indirettamente dall'indice ($a^* = \text{ca. } 30$) che non si modificano sostanzialmente se si considera il frutto essiccato in fette e il macinato

(valori pressoché identici). Il processo di molitura in questo caso non incontra una durezza di fibre tali da modificare sostanzialmente la biodisponibilità dei componenti associati alla colorazione rossa. Per contro una certa influenza della macinazione si evidenzia in un aumento di circa il 20% del valore del parametro b^* legato alla presenza di β -carotene e vitamina C.

Una prima valutazione della non drasticità dei processi di essiccamento condotti si evince dai mediamente elevati valori di tinta e brillantezza di tutti i preparati. Le uniche materie prime a mostrare una tendenza verso l'asse del verde risultano essere le zucchine e l'ananas, imputabile principalmente all'assorbimento del gruppo delle clorofille.

Il tipo di struttura parenchimale delle diverse categorie di prodotti analizzati è importante in quanto legato alla famiglia botanica di appartenenza, che influisce sul tipo di trattamento tecnologico da applicare per il mantenimento dello stato di freschezza dell'alimento durante la sua vita commerciale. Ad ulteriore esempio, si nota come la macinazione non ha influenza significativa su nessuno dei parametri di colore per la famiglia delle *Rosaceae* a cui appartengono le mele e delle *Musaceae* a cui appartengono le banane.

5.1.2.2 Spettri colore a fine processo

Oltre alla visualizzazione dei dati numerici sul colore, il colorimetro da noi utilizzato può visualizzare il grafico della riflettanza spettrale, Il grafico in Fig 41 mostra i profili di assorbimento dei diversi prodotti, dove l'asse delle ascisse riporta i valori di lunghezza d'onda mentre sull'asse delle ordinate si riportano i valori di riflettanza percentuale. Nell'intervallo di lunghezze d'onda associato al visibile (da 360 nm a 740 nm) è stato possibile identificare 4 zone caratteristiche per l'assorbimento di costituenti specifici, in particolare carotenoidi e xantofille (450 nm), vitamina A (500 nm), clorofilla A (670 nm) e la famiglia degli antociani (range 515-540 nm). Poiché l'assorbanza è direttamente proporzionale alla concentrazione dei diversi componenti chimici, nonostante i fattori nutrizionali siano in genere presenti come micro-costituenti e non macro-costituenti, alle lunghezze d'onda specifiche pocanzi riportate corrispondono punti di assorbanza massima, inflessioni di curve, massima pendenza a seconda del tipo di prodotto considerato.

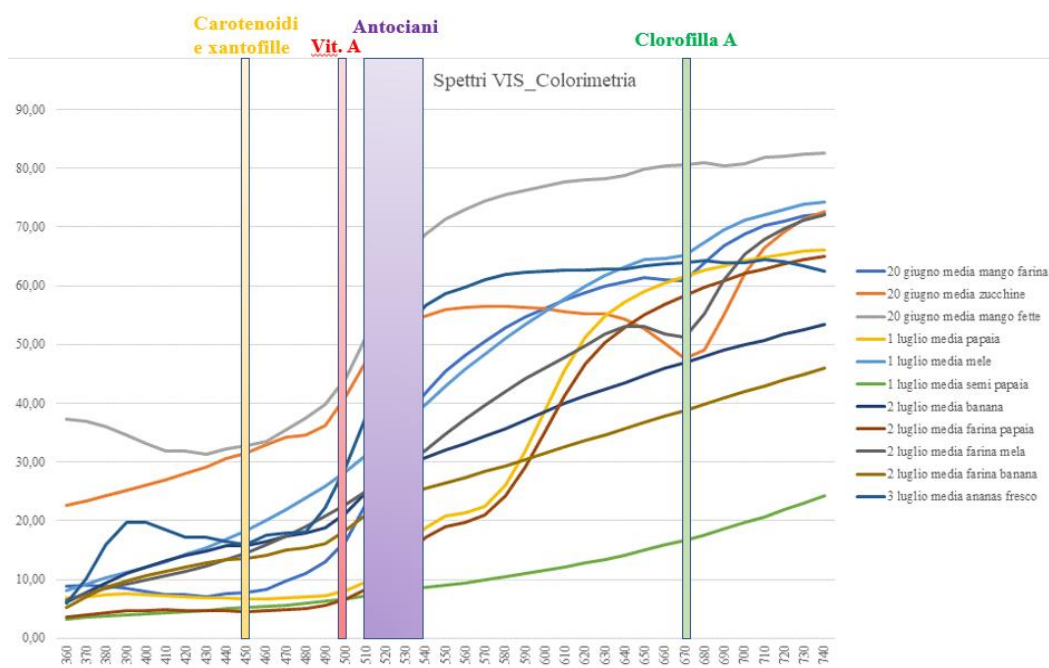


Figura 40

Analizzando in dettaglio il grafico il campione di semi di papaia (Fig. 41) è facilmente identificabile proprio per il profilo decisamente diverso rispetto a quello dei frutti esaminati. Poiché il colore originale del seme è decisamente tendente al blu-nero, anche i valori di riflettanza associati a questo prodotto risultano bassi in tutto l'intervallo spettrale considerato.

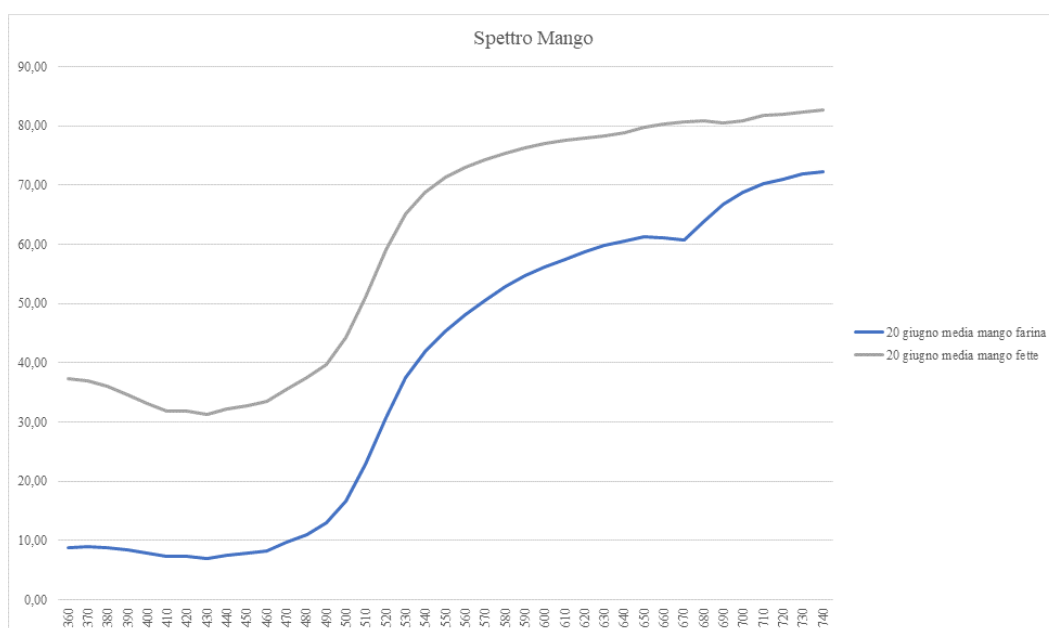


Figura 41

Per quanto riguarda i profili spettrali del mango, si osservano due andamenti paralleli del prodotto macinato e del prodotto a fette, per almeno $\frac{3}{4}$ dello spettro. Questo fenomeno di *shift* della curva verso il basso in seguito a molitura è attribuibile alla rottura della polpa del frutto, che ha causato la perdita della tessitura originale. Il fenomeno è da attribuire non a perdite sostanziali di costituenti, ma semplicemente ad un effetto visivo dovuto alla diversa presentazione del campione allo strumento. Conferma dell'effetto ottico rilevato è la quasi totale sovrapposibilità delle due curve (nella prima parte dello spettro, da ca. 350 nm a 570 nm) quando viene aggiunto un valore arbitrario e costante ai dati di riflettanza diffusa ottenuti sperimentalmente. La costruzione della nuova curva è evidenziata in Fig. 42, e identificata con lo spettro della “farina normalizzata”.

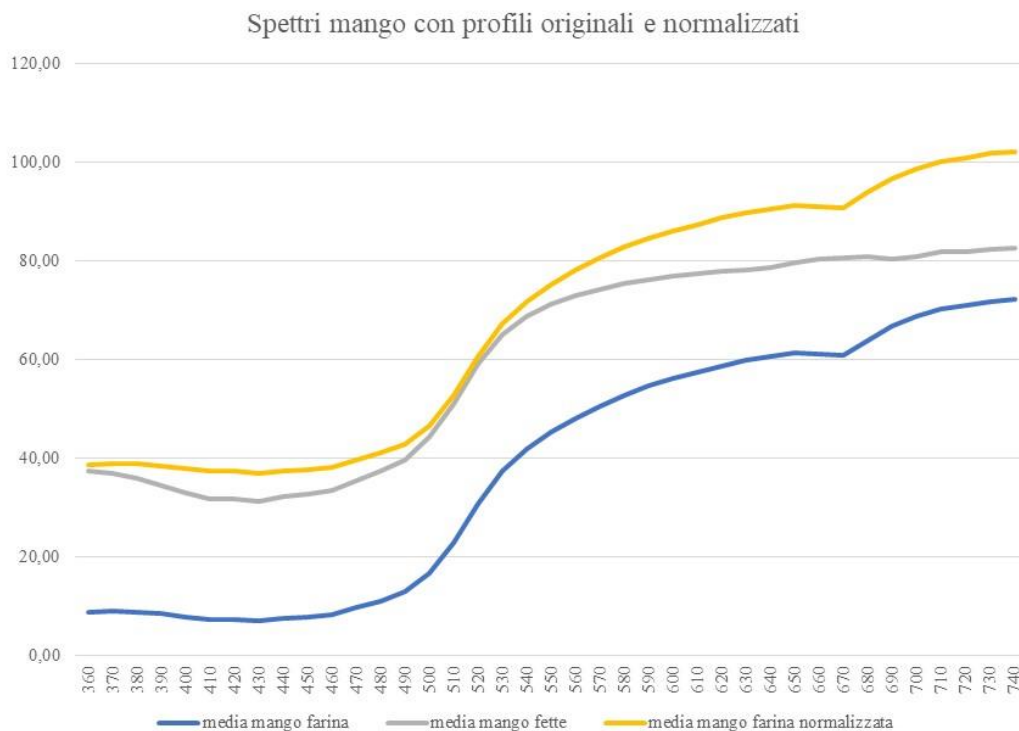


Figura 42

Le differenze, seppur non sostanziali rilevabili tra le due curve a lunghezze d'onda più elevate, sono dovute alla possibilità di rilevare componenti della clorofilla A più facilmente nella farina che nella fetta intera.

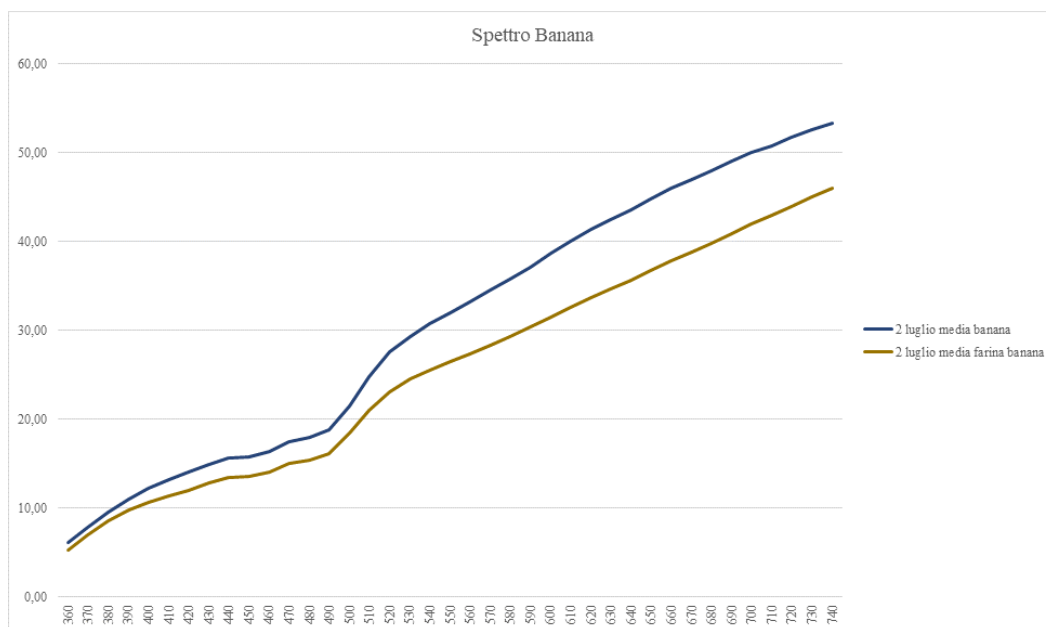


Figura 43

I prodotti disidratati a base di banana (Fig. 43) sono caratterizzati da valori di riflettanza diffusa crescente lungo il profilo spettrale e seppur in misura minore, anche per questo prodotto si evidenzia uno *shift* delle curve in seguito a macinazione con un delta costante fra le due curve a partire da ca. 510 nm, con una non influenza del processo di molitura sulla presenza di sostanze appartenenti alla categoria degli antociani e delle clorofille.

Lunghezza d'onda di interesse relativa al disidratato di zucchine a rondelle risulta essere l'intorno a 670 nm, caratteristico dell'assorbimento della clorofilla e un alto valore di riflettanza diffusa sopra i 700 nm.

A conferma della non variazione dei parametri di colore rilevata in precedenza, la non influenza del processo di macinazione sulle papaie, appartenenti alla famiglia delle *Caricacee* è confermata dagli andamenti spettrali riportati in Fig. 44, dove nessuna differenza visiva si evidenzia pre e post-macinazione. Le curve risultano molto simili, pressochè sovrapponibili.

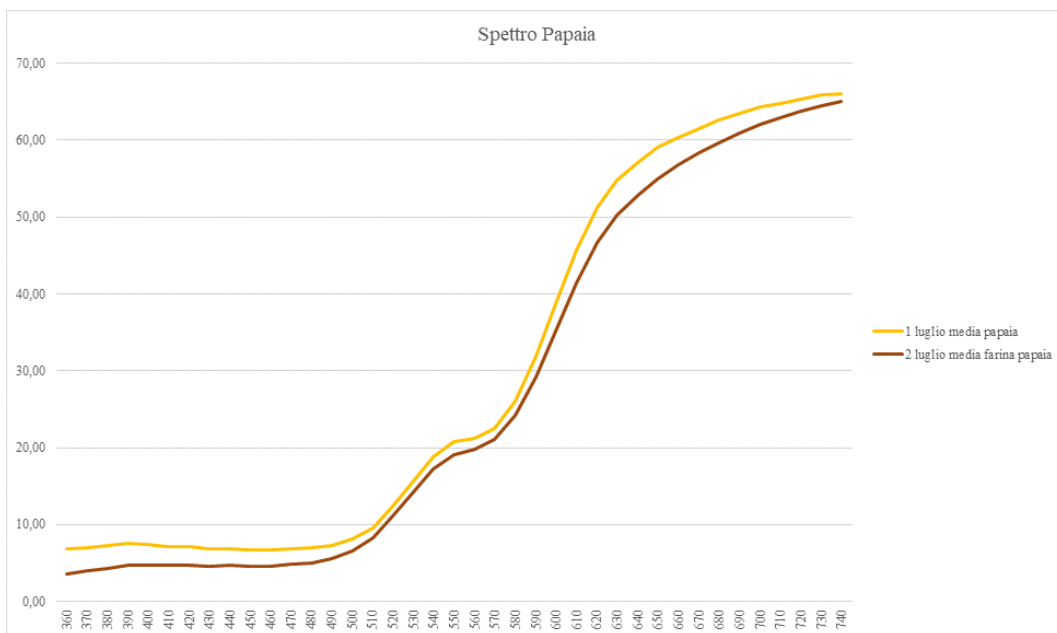


Figura 44

Gli spettri associati ai campioni di mele a rondelle e sfarinato di mela sono risultati molto simili, con una evidente influenza del processo di macinazione, esclusivamente nella zona di assorbimento tra ca. 650 e 680 nm, dove il picco della clorofilla A subisce importanti modificazioni in seguito a macinazione (Fig. 45).

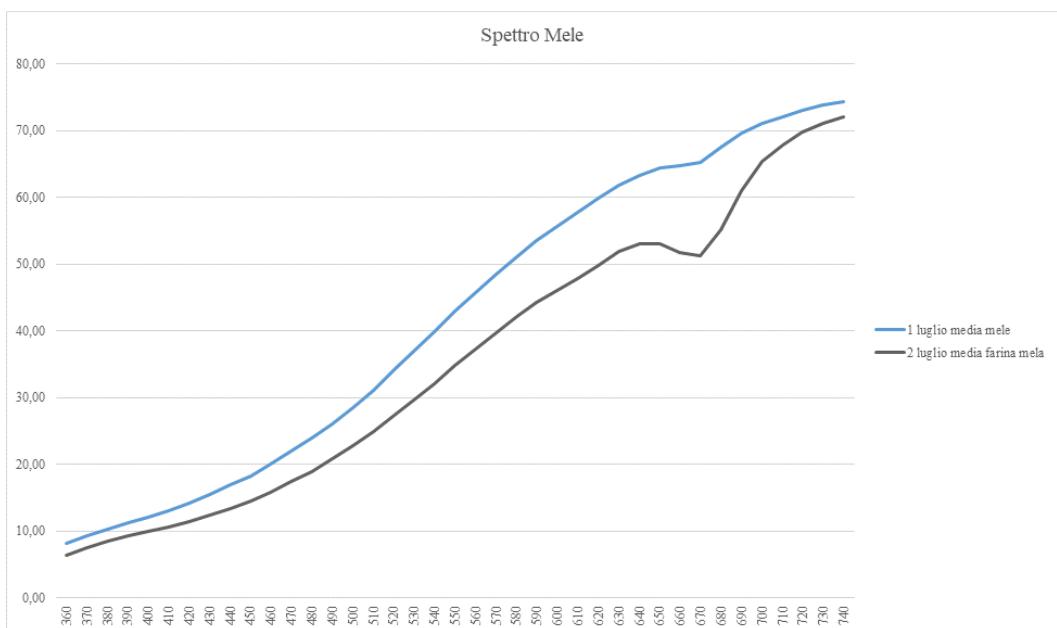


Figura 45

Questa differenza di valori di riflettanza è imputabile alla natura del preparato, ottenuto a partire da rondelle essiccate senza rimozione della buccia. Come conseguenza, trattandosi nella mela varietà *Granny Smith*, l'omogeneizzazione dei pigmenti superficiale ha portato ad evidente variazione di risposta spettrale tra il preparato a rondelle e lo sfarinato.

Una presenza importante di antociani e indirettamente anche di vitamina C può essere associata al profilo spettrale dei campioni di ananas fresco, che raggiungono i valori massimi di riflettanza a partire dai 540 nm fino ad assestarsi su di un *plateau* a valori di riflettanza superiori al 60%, che si mantengono fino a 740 nm. Questi alti valori di luminosità sono confermati da quanto ritrovato nei parametri di colore discussi in precedenza. Il picco allargato che si evidenzia fra 370 e 440 nm può in prima analisi essere associato a uno dei componenti delle clorofille.

5.1.2.3 Parametri colore dopo conservazione

Vengono riportati in Fig. 46 i parametri di colore rilevati in seguito a un breve periodo di conservazione (17, 7 e 3 giorni di *shelf-life*).

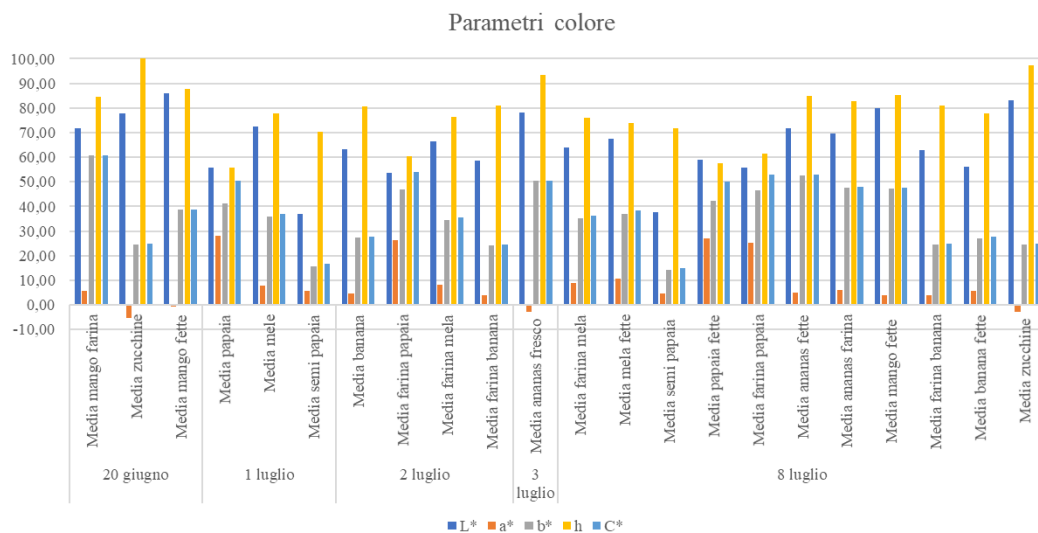


Figura 46

Gli essiccati a base mela, pur mostrando anch'essi dopo una settimana di conservazione, una importante stabilità di parametri colorimetrici, evidenziano alcune variazioni di luminosità, che potrebbe influire sulla accettabilità di prodotto da parte di un potenziale consumatore (Fig. 47).

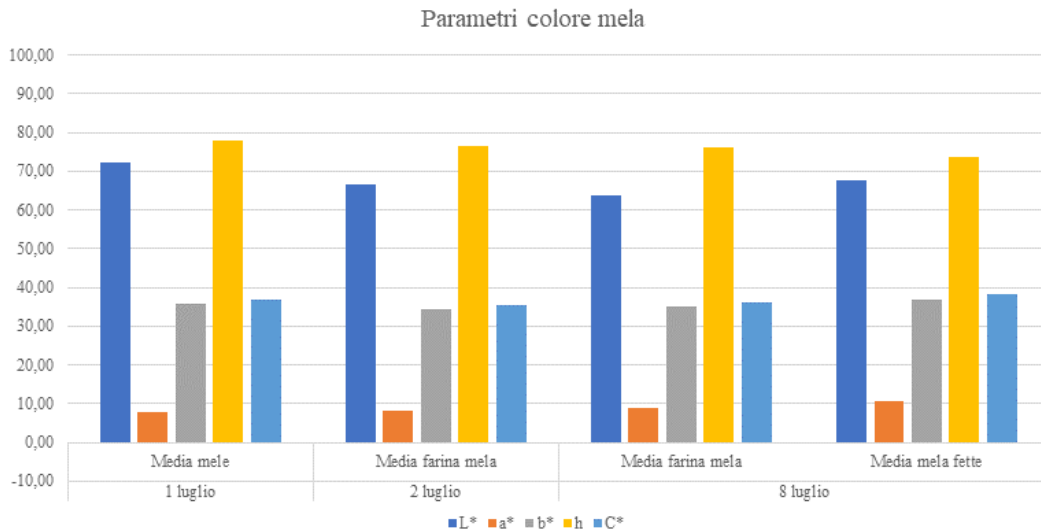


Figura 47

Interessanti i risultati ottenuti analizzando il campione banana (Fig. 48), in quanto la stabilità di tutti i parametri di colore dopo una settimana di conservazione e indipendentemente dalla forma del preparato finale (fette o sfarinato) indicano una buona attitudine alla trasformazione del prodotto, che inoltre risulta reperibile nell’Africa subsahariana, con costi di acquisto e di gestione molto contenuti. Il mantenimento dei parametri lascia presupporre perdite molte contenute di costituenti nutrizionali, sia nel caso dell’utilizzo degli essiccati come snack, che come ingrediente per la preparazione di alimenti compositi.

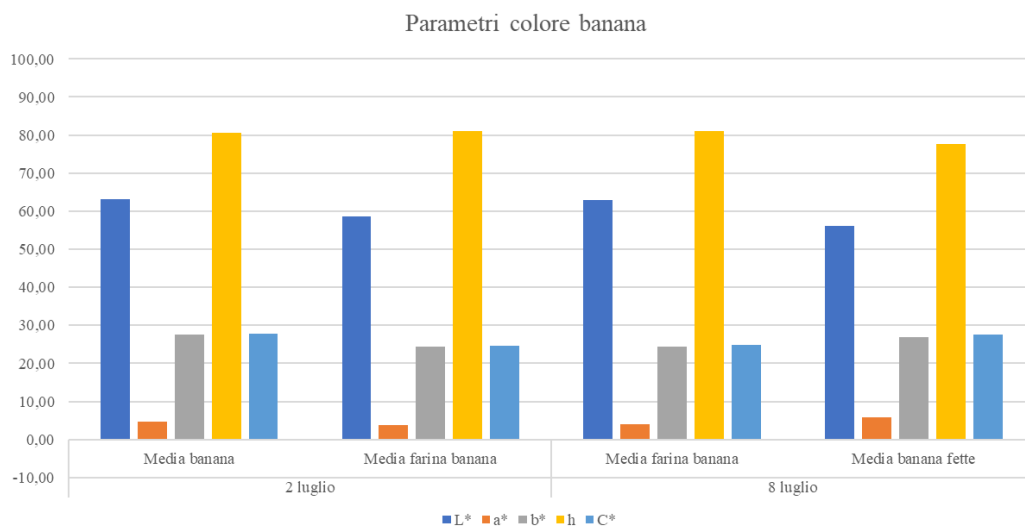


Figura 48

Osservazioni analoghe a quelle sopra riportate in merito alla conservabilità delle caratteristiche qualitative e nutritive della banana, possono essere fatte per i preparati di papaia (Fig. 49). Non è stata evidenziata alcuna variazione di parametri per quanto concerne sia la brillantezza e la luminosità, per ambo i parametri a^* e b^* , associabili in prima analisi alla presenza di componenti nutrizionalmente interessanti come caroteni e antociani. Queste caratteristiche di stabilità rendono interessante questa materia prima al fine di una produzione di alimenti innovativi per il miglioramento per lo stato di malnutrizione.

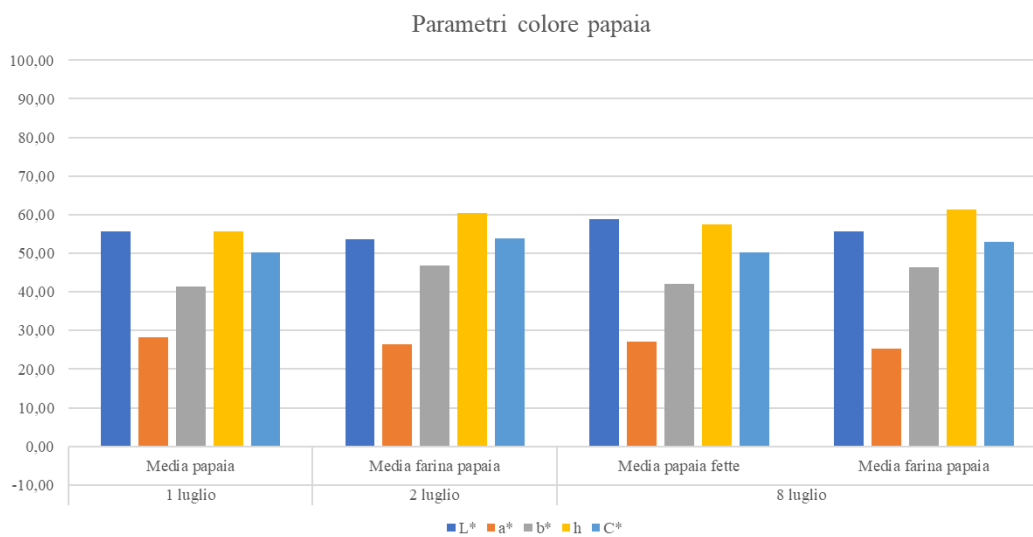


Figura 49

Ancora una volta, analoghe considerazioni possono essere avanzate riguardo i semi di papaia, risultati molto interessanti da un punto di vista igienico-sanitario, ed utilizzati per la produzione della Pappa *MaCò* (cfr. paragrafo 4.2.8) (Fig. 50).

L'insieme di dati ottenuti sottoponendo ad analisi i medesimi prodotti ad una settimana di distanza, suggeriscono come sia possibile mantenere a temperatura ambiente, senza l'utilizzo di atmosfere modificate o del vuoto, tutti i prodotti essiccati ottenuti con l'utilizzo di energie alternative quali l'energia solare.

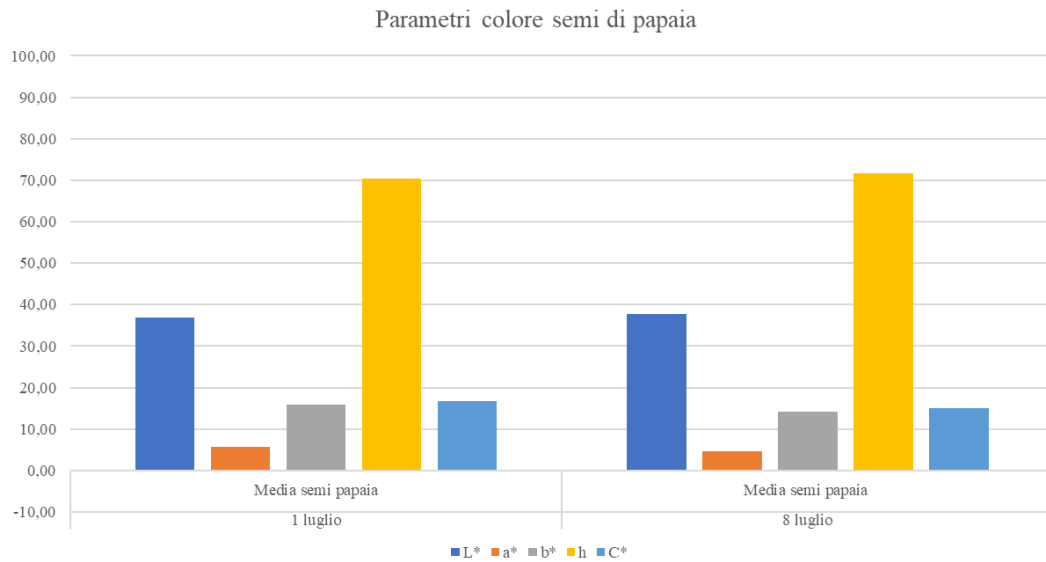


Figura 50

Riguardo il mango (Fig. 51) possiamo notare che dopo 17 giorni di conservazione a temperatura ambiente in luogo buio, non appaiono modificazioni importanti dei parametri L^* e h , mentre si evidenziano aumenti dei valori di a^* , b^* e C^* per il preparato a fette, con la tendenza ad uniformare le caratteristiche superficiali del prodotto a quelle della farina. I parametri considerati sono relativi a un aspetto più brillante (C^*) e a una maggiore rilevanza delle componenti rossa (a^*) e gialla (b^*).

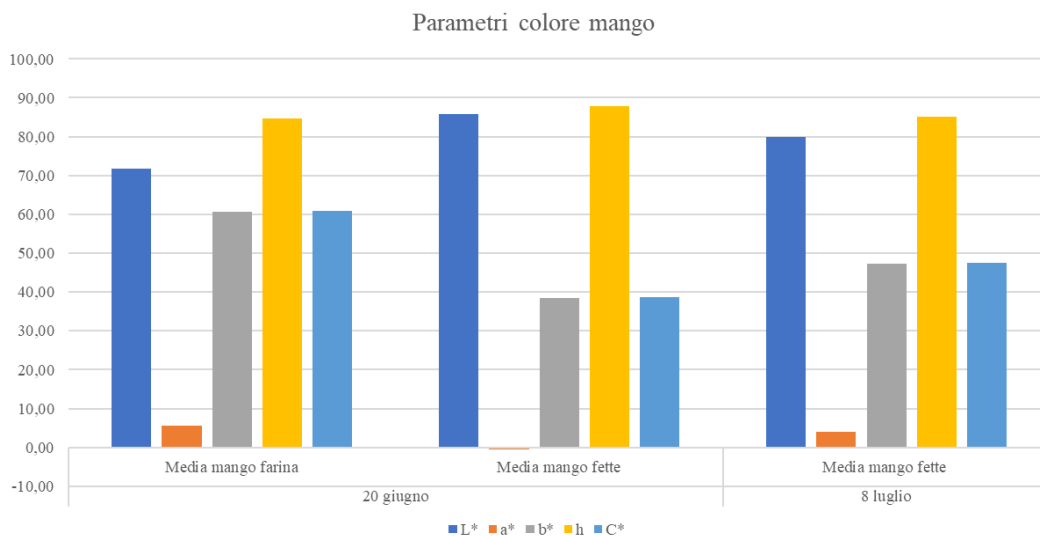


Figura 51

Anche una conservazione prolungata oltre le due settimane non risulta influire sulle caratteristiche colorimetriche dei prodotti essiccati, come si evince dal grafico relativo alla conservazione per 17 giorni di rondelle di zucchine essiccate (Fig. 52). I dati ottenuti confermano comunque precedenti sperimentazioni in base alle quali i disidratati solari possono avere una *shelf-life* anche di anni, se conservati in adeguate condizioni di temperatura, luce e umidità.

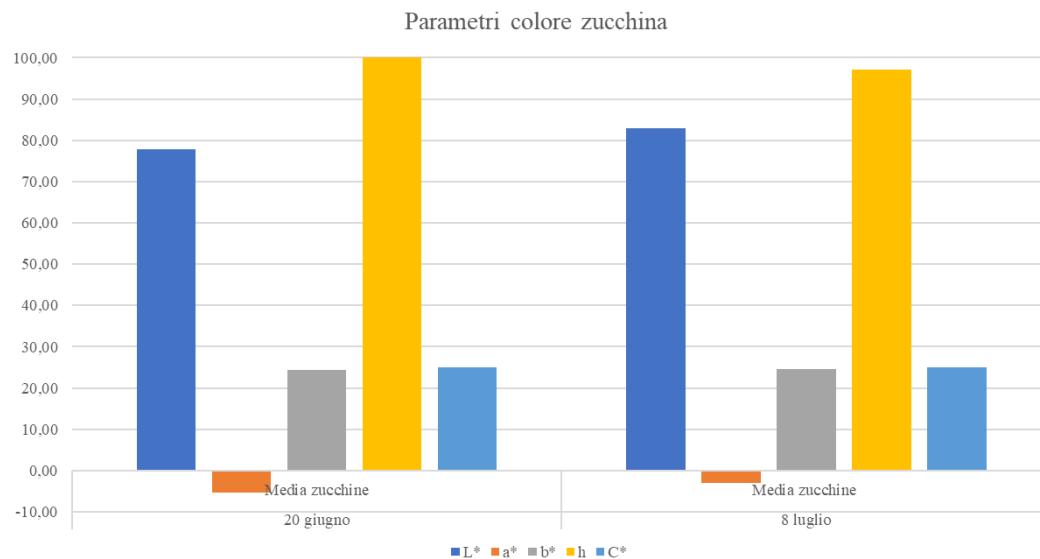


Figura 52

La messa a punto delle metodologie analitiche e l'ottimizzazione degli schemi sperimentali da seguire per il monitoraggio della qualità dei prodotti ottenuti, ha permesso di verificare l'importanza di avere a disposizione il prodotto fresco per una eventuale conferma del decadimento di alcuni indici legati all'aspetto e, indirettamente, alla qualità del prodotto. A titolo d'esempio si riportano i dati monitorati per il campione ananas, e dal grafico (Fig. 53) si può rilevare una certa influenza del processo per quanto riguarda i parametri di luminosità e tinta, che indicano come i raggi luminosi incidano sulla purezza di questi indici, confermata anche da aumentati valori di a^* , probabilmente imputabili in prima analisi alla formazione di alcuni composti derivanti da minime reazioni di imbrunimento non enzimatico (reazione di Maillard) che comunque non pregiudicano la qualità totale dell'alimento. Questo protocollo operativo verrà seguito tutte le volte che sarà possibile anche nelle prove pilota per la verifica della fattibilità delle produzioni anche con impianti pre-competitivi e industriali.

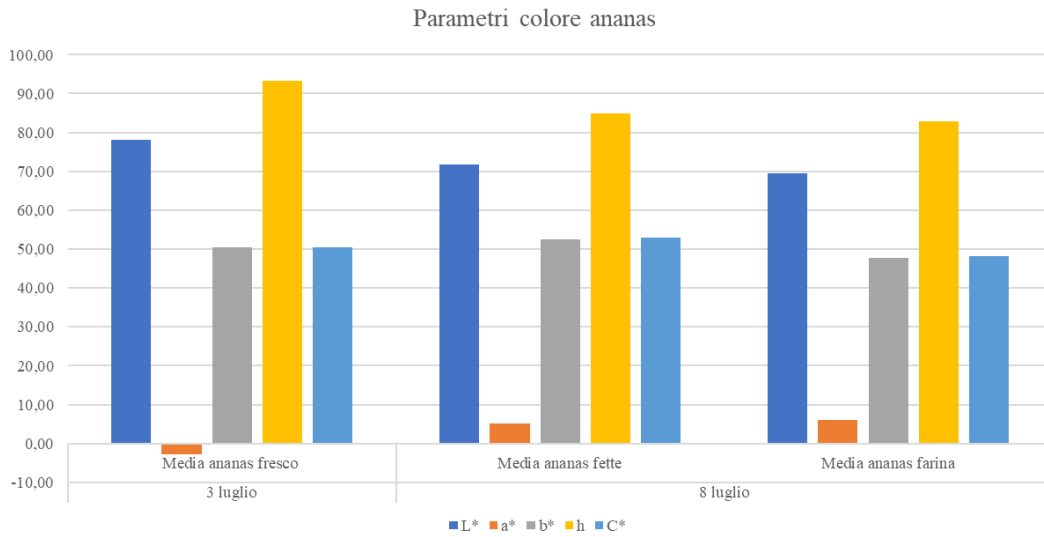


Figura 53

5.1.2.4 Spettri colore dopo conservazione

Anche per gli spettri di colore non mancano osservazioni interessanti in seguito a conservazione dei prodotti realizzati (Fig. 54).

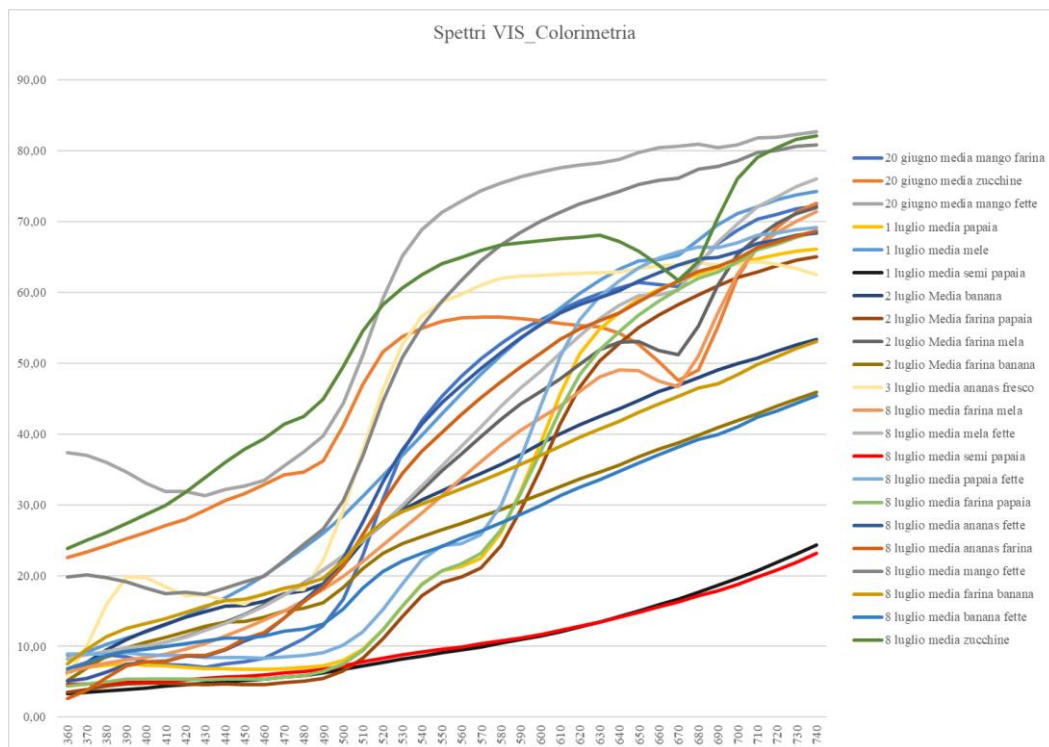


Figura 54

Analizzando i campioni di mango a fette dopo 17 giorni di conservazione (Fig. 55), si nota come l'andamento spettrale nella regione del visibile risulti in linea con il profilo spettrale del campione appena confezionato. La distanza fra le curve del 20 giugno e dell'8 luglio risulta più importante nella zona a basse lunghezze d'onda, denotando un cambiamento nella riflettanza percentuale a carico principalmente dei componenti afferenti alla categoria dei carotenoidi, mentre antociani, vitamina A e clorofilla sembrano mantenersi, anche a distanza di 17 giorni. I dati spettrali riscontrati confermano sostanzialmente quanto rilevato dagli indici parametrici che vedono un comportamento caratterizzato da assorbimenti sempre più simili a quelli dello sfarinato.

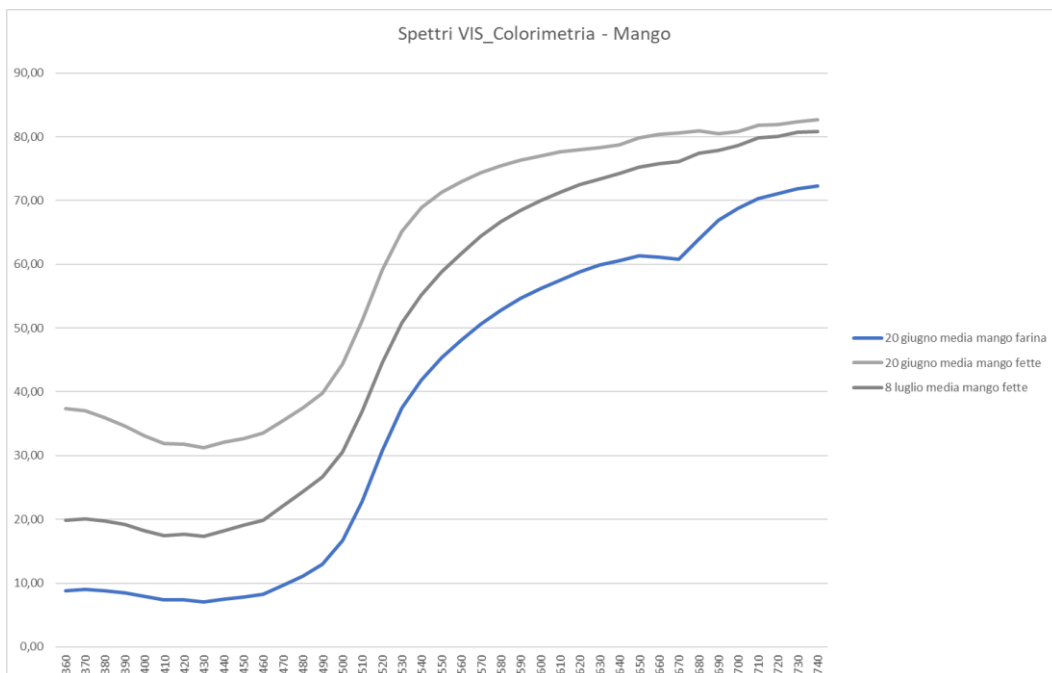


Figura 55

Pur non rilevando per le rondelle di zucchine delle sostanziali modifiche nel tempo dai risultati ottenuti dai parametri colorimetrici, l'analisi del profilo spettrale al tempo 0 e dopo 17 giorni di conservazione (Fig. 56) mostra alcune variazioni di intensità di risposta nella zona di interesse che vede in particolare l'assorbimento della clorofilla A ed una riflettanza percentuale mediamente più elevata lungo tutto l'intervallo spettrale considerato. Dato che concorda con una diminuzione del parametro a^* e spostamento del colore superficiale verso tinte più verdi.

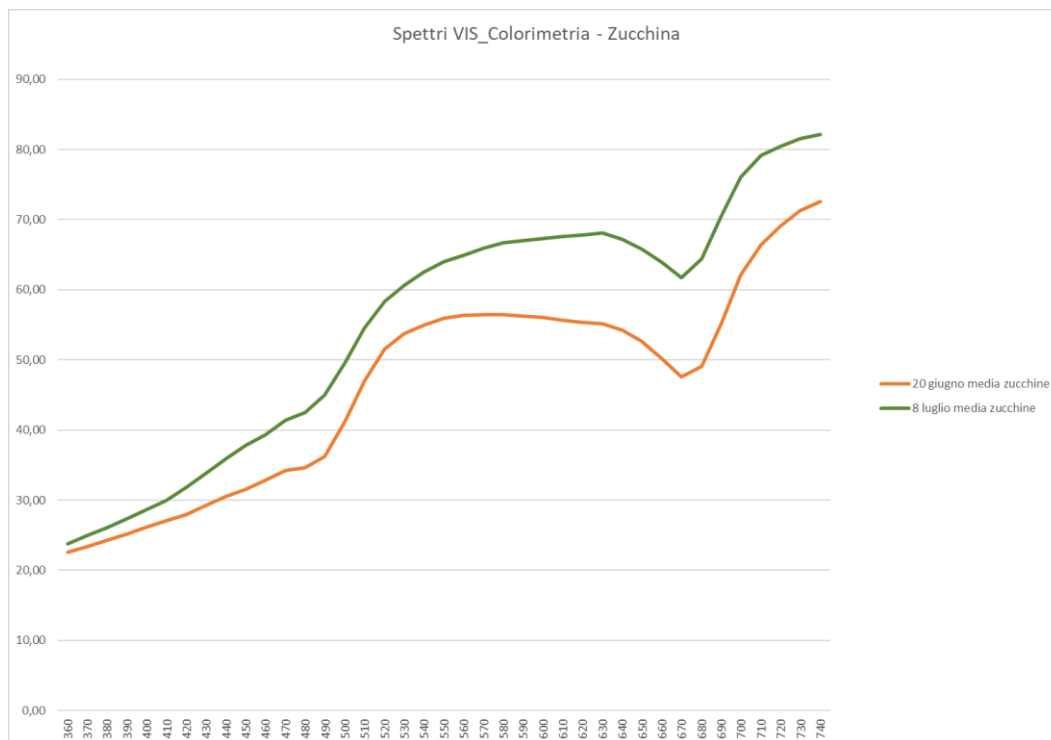


Figura 56

Risulta interessante notare come sia particolare la risposta del campione di banane tanto da poter essere considerato indice identificativo dei preparati a fette (Fig. 57) e di quelli sfarinati (Fig. 58) l'andamento dei due tipi di preparazione durante la conservazione. Lo stoccaggio al buio dei prodotti a fette si esplicita con una diminuzione di riflettanza lungo tutto l'intervallo spettrale considerato, associabile a una opacizzazione superficiale, che ne modifica parzialmente l'aspetto esteriore, e confermata da una seppur limitata diminuzione (ca. 10%) del valore di L^* . Per contro, si nota un incremento del valore di riflettanza per il preparato sfarinato legato a un incremento di L^* di circa il 6%, dovuto alla rottura durante l'operazione di macinazione proprio di quegli strati superficiali che nel tempo possono aver creato una pellicola superficiale, limitandone la capacità di rispondere a una luce incidente, rispetto, certamente, al preparato fresco.

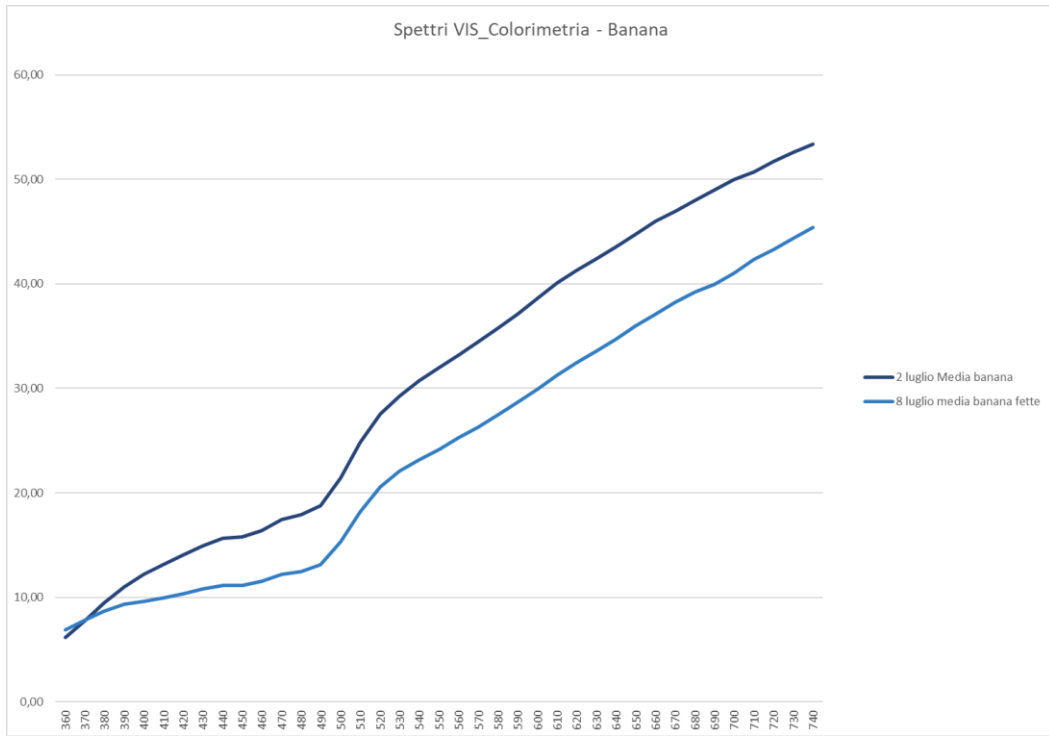


Figura 57

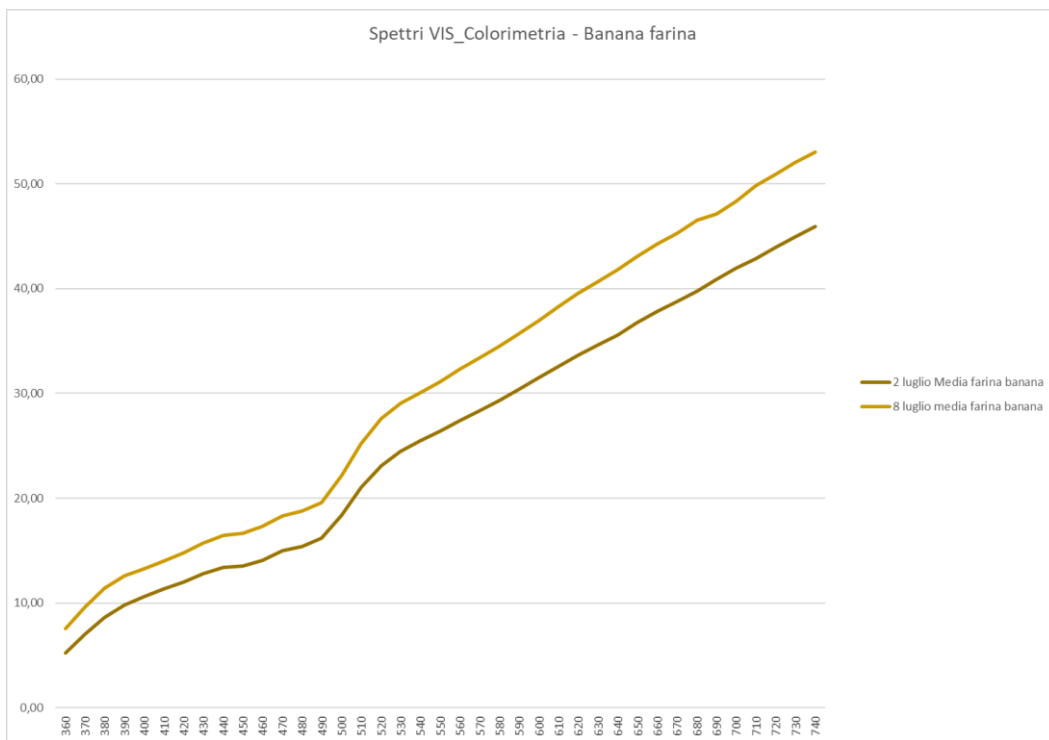


Figura 58

Il profilo dello spettro visibile dei preparati a base di papaia (Fig. 59) conferma la stabilità di prodotto anche durante la conservazione, sia in forma di sfarinato che nella versione affettata, con curve molto simili se non addirittura sovrapponibili anche se rilevate a distanza di una settimana su preparazioni diverse. Caratteristico si conferma, sempre nella sua stabilità, il macinato di semi, che presentando un colore tendenzialmente grigio fumo non è in grado di fornire elevati valori di riflettanza nell'intervallo del visibile. Queste caratteristiche permettono di considerare questo tipo di materia prima non solo idonea ma anche ideale da utilizzare come modello nelle sperimentazioni per la trasferibilità di scala, e nella preparazione di ingredienti ad elevato valore nutrizionale per alimenti per la prima infanzia e per la popolazione adulta.

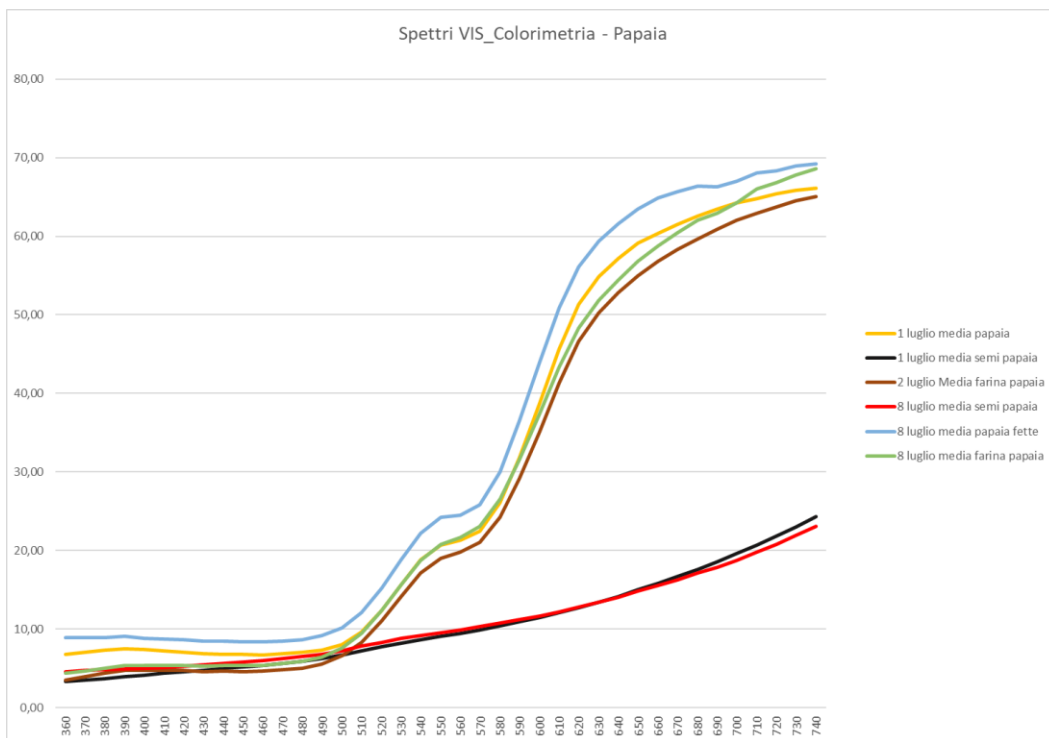


Figura 59

Passando ad analizzare il grafico relativo ai campioni di mela (Fig. 60), si nota come l'effetto conservazione sia più evidente nel preparato a fette rispetto agli sfarinati, anche se le variazioni restano confinate sopra i 600 nm, zona di assorbimento della clorofilla A, e confermata da un incremento di circa il 20% del valore di a^* , con conseguente perdita di pigmenti verdi. Questa risposta è peraltro in parte imputabile alla non uniformità del campione a fette, che incide con un

errore casuale, pur valutando la media delle tre repliche analitiche, sulla risposta spettrale.

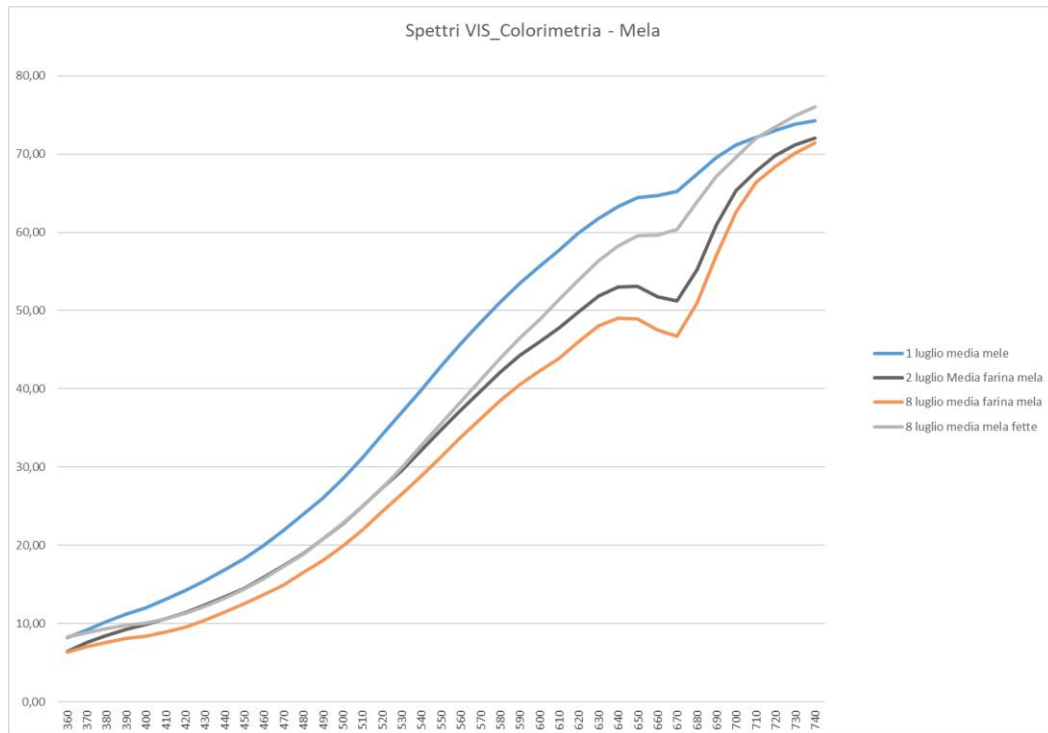


Figura 60

Le differenze di profili evidenziate nel grafico in cui vengono mostrate le curve prima e dopo essiccamento solare e macinazione per i prodotti ottenuti da ananas fresco (Fig. 61), suggeriscono variazioni intervenute in seguito al trattamento tecnologico che sfrutta la luce solare e quindi irradia il prodotto non solo sfruttando un innalzamento di temperatura, ma anche l'effetto della radiazione luminosa. Le zone maggiormente interessate dal fenomeno risultano essere quelle di assorbimento dei carotenoidi, precisamente nell'intorno di 550 nm (banda principale) e nell'intorno di 390 nm (banda di assorbimento secondario). Queste variazioni sono associabili alla formazione di un colore arancione-rosso più evidente nei prodotti trasformati con perdita di parte della colorazione gialla caratteristica, confermata da un innalzamento del parametro a^* che passa da valori negativi (ca. -3) a valori superiori a +5.

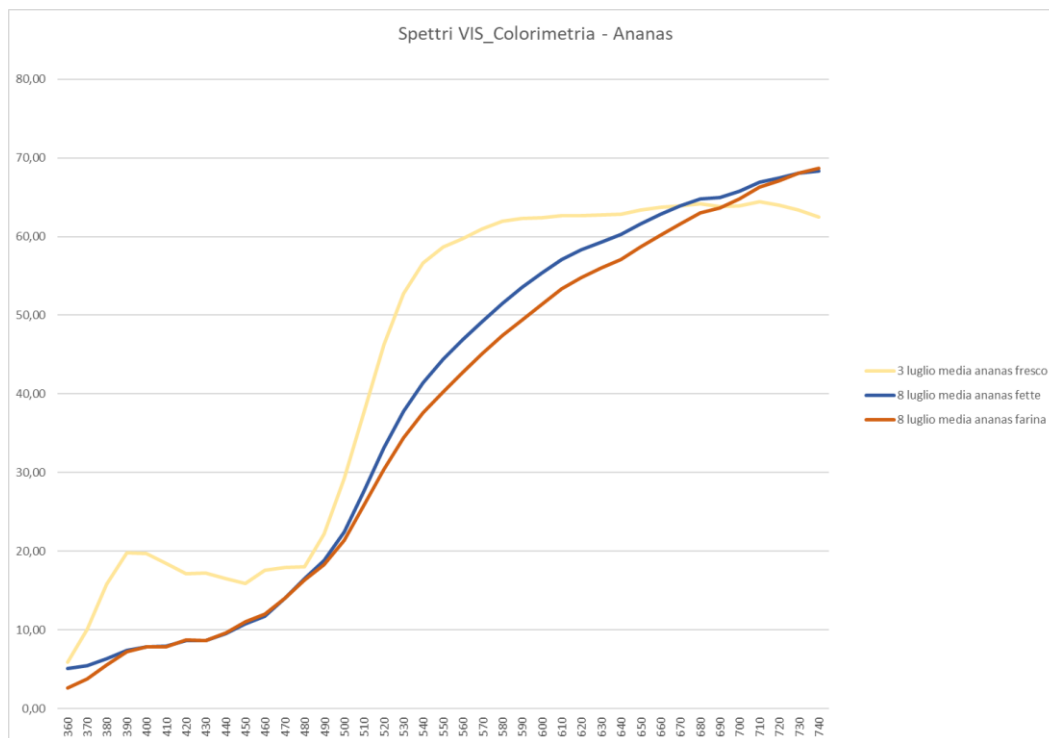


Figura 61

5.1.2.5 Valori di colore (campioni africani)

Analogamente a quanto fatto sui campioni analizzati precedentemente, anche per i nuovi campioni realizzati in Tanzania, sono state effettuate rilevazioni con la colorimetria tristimolo in data 02/09/19, sia relativa agli indici di colore che ai valori di riflettanza percentuale, acquisiti contemporaneamente e sottoponendo tutti i campioni ad analisi in triplicato. Nell'elaborazione dei grafici sono state in seguito calcolate le medie di 3 misurazioni effettuate in successione.

A differenza dei campioni di papaia preparati al CREA di Milano, quelli reperiti e lavorati in Tanzania (sia presso il Monastero di Mvimwa che nel *Nutritional Lab* di Sumbawanga) sono risultati molto più eterogenei, sia confrontando frutti diversi sia confrontando la polpa di uno stesso frutto. Ciò è ascrivibile al fatto che la commercializzazione delle derrate alimentari in generale avviene, in quelle zone, quasi esclusivamente per vendita diretta dall'agricoltore al consumatore per mezzo di mercati locali, senza passare attraverso una catena di produzione agroalimentare standardizzata e quindi regolamentata per quanto concerne grammatura e/o grado di maturazione. Seppur infatti all'apparenza e all'ispezione tattile del prodotto esso possa apparire sufficientemente maturo, una

volta aperto può risultare ancora acerbo oppure, al contrario, ormai in sovra-maturazione. Ciò consente e implica altresì una meno rigida interpretazione dei dati ottenuti dalle analisi colorimetriche, che riportiamo di seguito.

5.1.2.5.1 Parametri colore

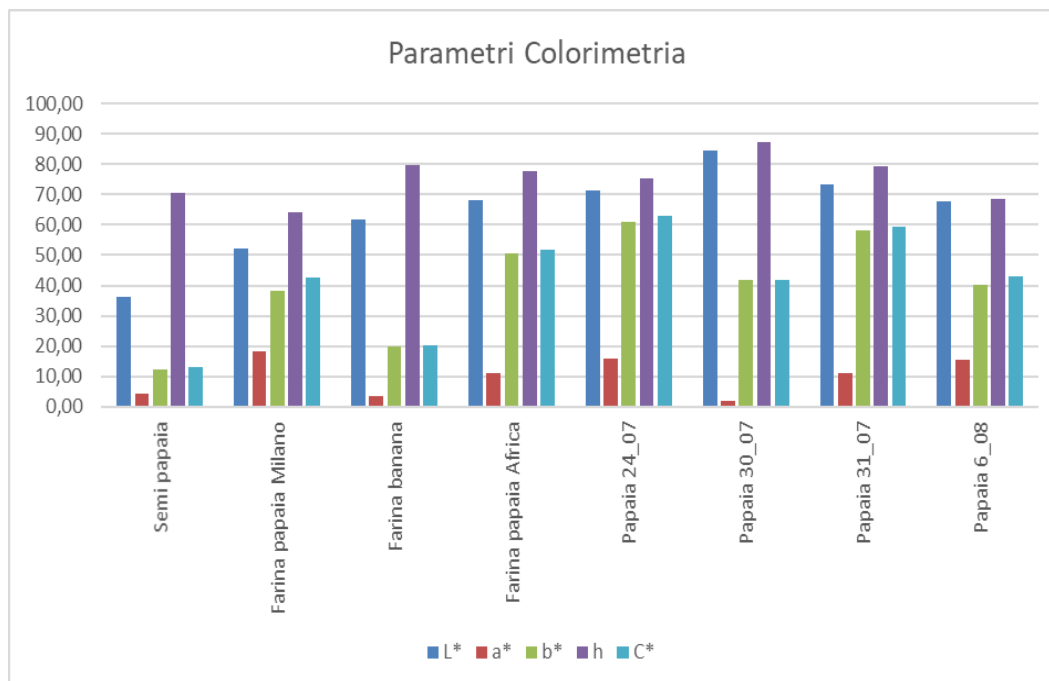


Figura 62

Anche in questo caso, a riprova della non drasticità di questo processo di essiccamento (*mild-technology*) osserviamo come i valori di tinta si mantengano mediamente elevati in tutti i preparati (Fig. 62). I valori più elevati di luminosità si riscontrano nei campioni di papaia datati al 30 e 31/07 (Fig. 63). Quest'ultimo presenta anche, insieme alla papaia del 24/07, la massima risposta del parametro b^* (giallo). La farina di papaia presenta, rispetto al corrispettivo prodotto in fette da cui deriva (30/07) parametri analoghi – seppur inferiori – fatta evidente eccezione per il parametro a^* che si comporta in maniera opposta rispetto alle analisi precedenti (aumenta invece di diminuire). Si può ipotizzare che questo innalzamento di valore possa essere dovuto a un non efficiente processo di molitura post-essiccamento, che può avere determinato un leggero imbrunimento del prodotto per ossidazione dei tessuti vegetali. Per contro una certa influenza della

macinazione si evidenzia per un aumento del valore del parametro b^* legato alla presenza di beta-carotene e vitamina C.

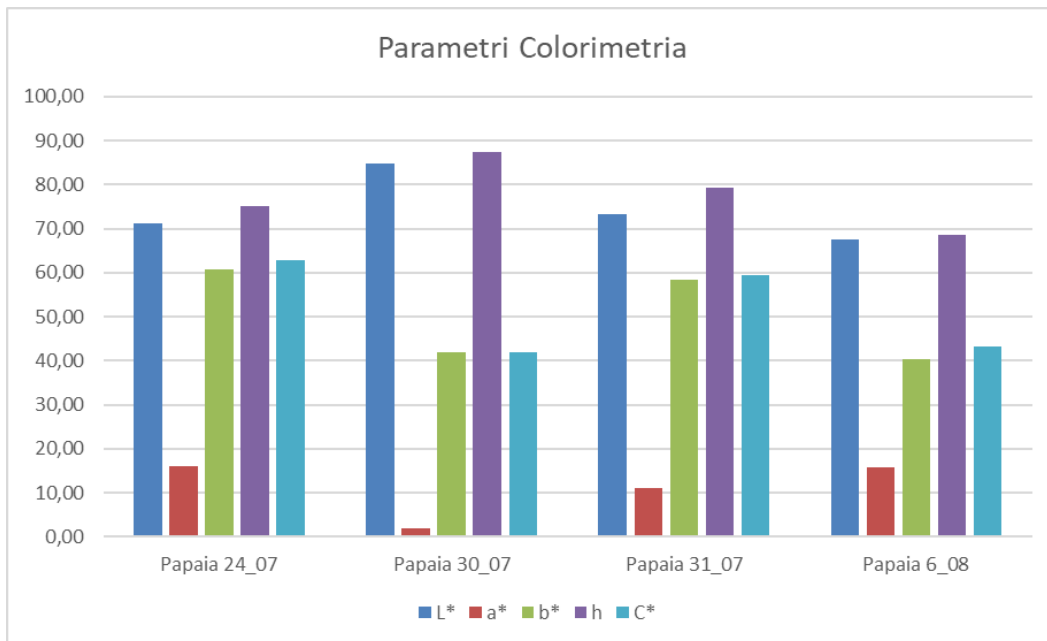


Figura 63

Nel grafico dedicato al confronto delle farine (Fig. 64), notiamo che i parametri delle farine di papaia si somiglino maggiormente rispetto a quello registrati sulla farina di banana; per quest'ultima il parametro a^* risulta essere più che dimezzato, così come anche il parametro b^* : differenze dovute alla colorazione dei diversi pigmenti naturali presenti nei due frutti ed associati a differenti componenti nutrizionali.

Infine, è interessante notare come i parametri dei semi di papaia macinati (Fig. 65) siano praticamente identici a quelli rilevati nei mesi precedenti a Milano e soprattutto, a partire da materie prime del tutto diverse. In merito alle considerazioni fatte pocanzi riguardo la maggiore disomogeneità dei campioni di papaia africane, questo stesso discorso non è quindi logicamente applicabile ai semi, che, sebbene estratti da matrici differenti per colore, taglia, maturazione, assumono nei confronti del processo di essiccamento il medesimo comportamento, e questo è verificabile appunto confrontando i dati di colore qui riportati.

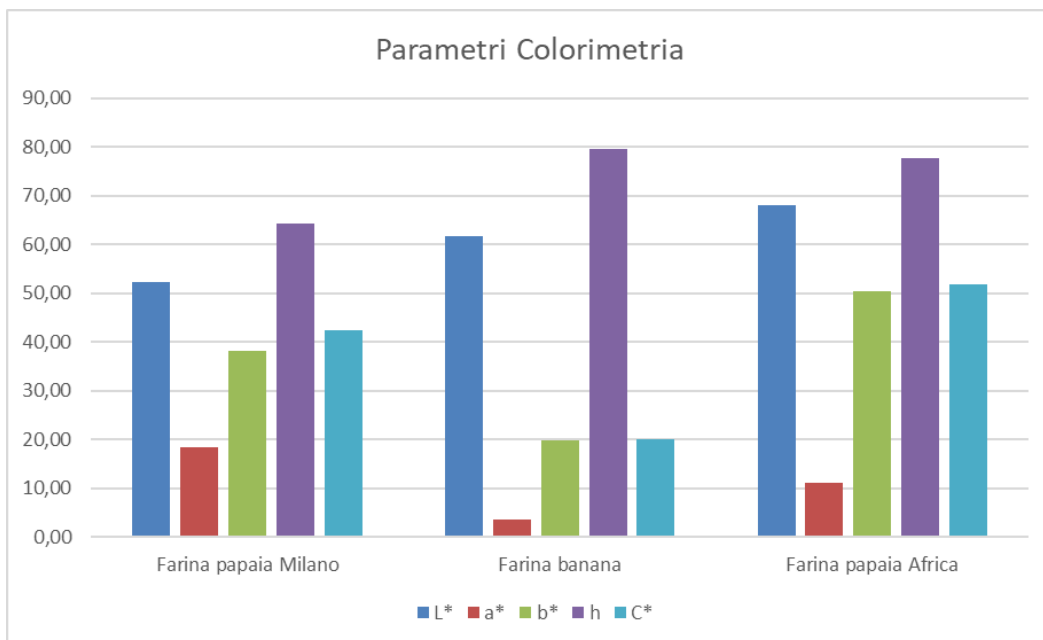


Figura 64

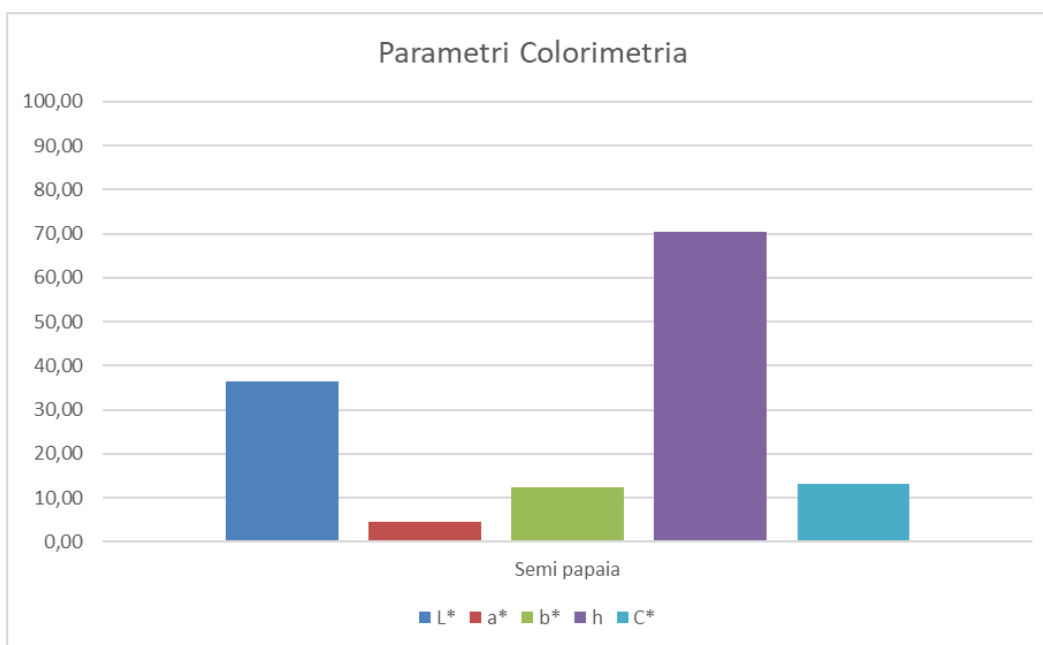


Figura 65

5.1.2.5.2 Spetti colore

Analizzando i profili di assorbimento dei diversi prodotti (Fig. 66), osserviamo come caratteristica la zona di assorbimento imputata alla presenza di antociani (circa 550 nm) in cui le curve presentano le massime pendenze.

Come sottolineato in precedenza, anche qui il profilo dei semi di papaia non solo è maggiormente distinguibile dagli altri campioni, ma anche confrontabile se non sovrapponibile con quello registrato a Milano su semi differenti; i valori di riflettanza risultano quindi inferiori se si considera il loro colore grigio-nero, rispetto agli altri prodotti analizzati.

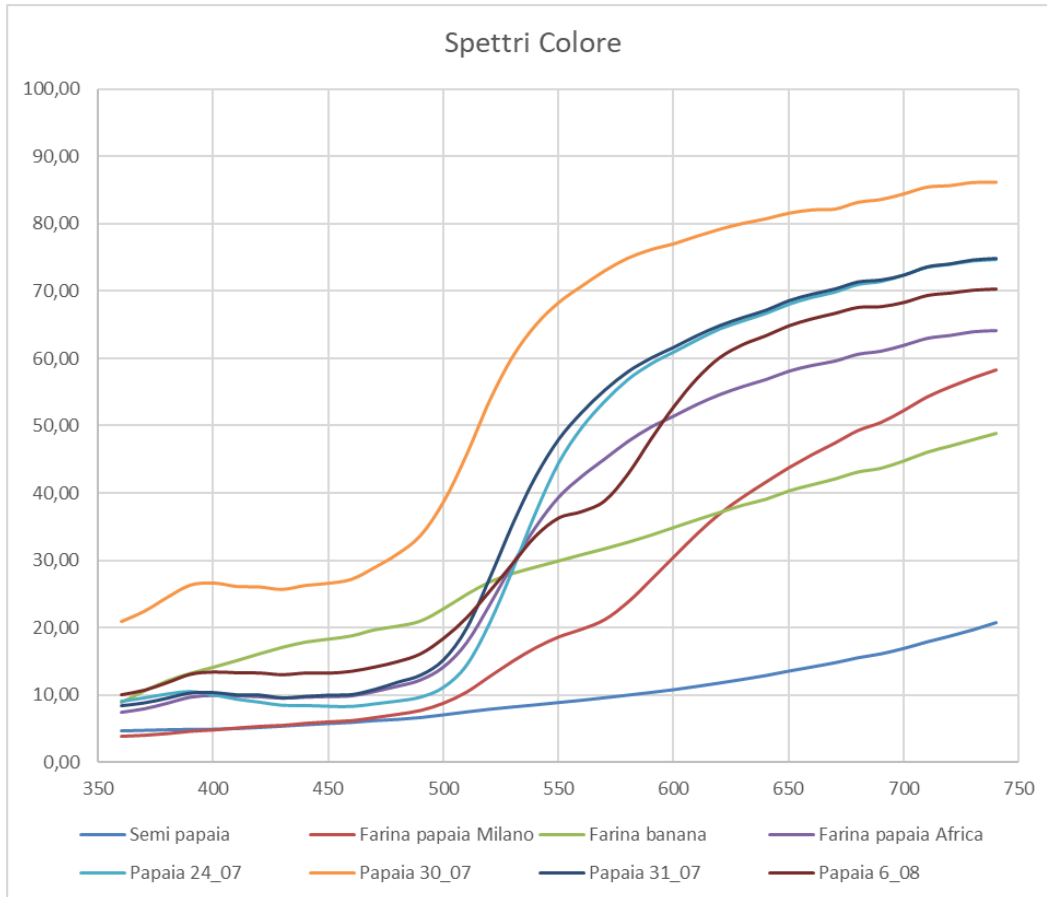


Figura 66

Gli spettri delle farine (Fig. 67) risultano essere molto differenti fra loro: quello derivante dal macinato di banana presenta una riflettanza crescente costante lungo tutto il profilo spettrale non rendendo possibile rimarcare un punto di flesso significativo in corrispondenza della componente antocianica, in accordo con la composizione chimica in micro-costituenti del frutto considerato.

Confrontando invece i due preparati di papaia (Fig. 68), vediamo una differenza sostanziale nell'intorno dei 550 nm, in cui il picco di assorbanza per i composti appartenenti alla famiglia degli antociani risulta più evidente in una farina

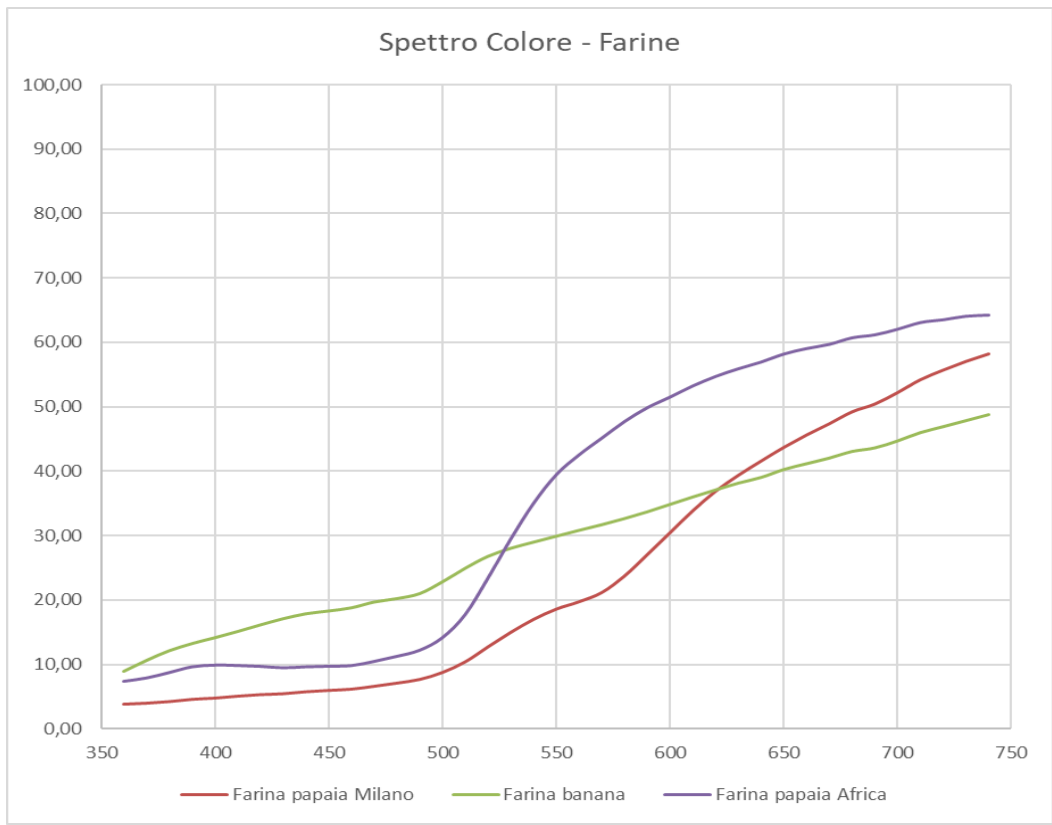


Figura 67

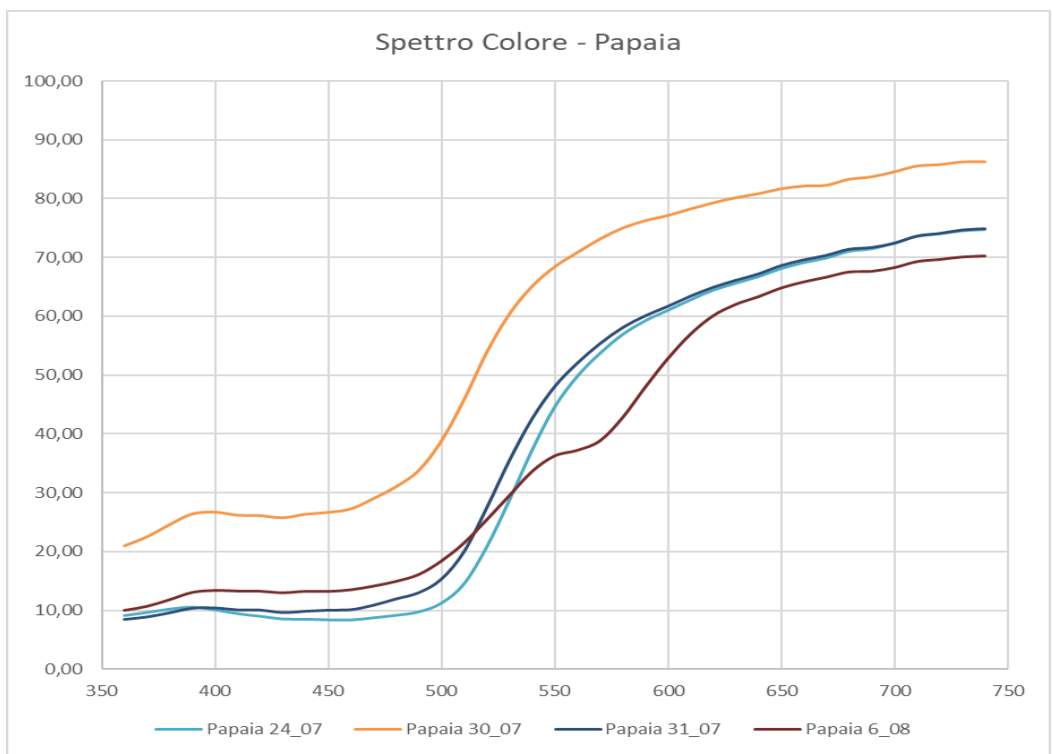


Figura 68

e non nell'altra. Differenze imputabili in prima analisi alla varietà, alle condizioni di maturazione e al tempo di conservazione, più lungo per la farina prodotta a Milano rispetto a quella realizzata in Africa. Infine, anche in questo caso, la papaia datata 30/07 (e che, facciamo presente, ha subito un processo di essiccazione più lungo rispetto agli altri campioni) presenta dei livelli di riflettanza spettrale apparente più alti. Normalizzando infatti le curve è possibile osservare che gli andamenti delle stesse sono in realtà pressoché sovrapponibili, fatta eccezione per quella datata allo 06/08. Per quest'ultimo campione, non sorprende il flesso accentuato nell'intorno dei 550 nm sempre dovuto all'assorbimento degli antociani, dal momento che fra tutti i campioni lavorati era quello con una polpa più tendente al violaceo-rossiccio, ed imputabile quindi a contenuti diversi di composti appartenenti a questa categoria nutrizionale fin dal frutto fresco.

5.1.3 Valori del NIR (campioni CREA)

La spettroscopia nel vicino infrarosso è una delle tecniche non distruttive maggiormente utilizzate per il monitoraggio della qualità di prodotti e processi, non solo in campo alimentare. Come tutte le tecniche spettroscopiche vibrazionali, permette di analizzare sistemi biologici e non sottoposti a perturbazioni interne od esterne, seguendo cambiamenti chimici e fisici associati a modificazioni strutturali dei diversi costituenti la materia che si instaurano per favorire il mantenimento dell'equilibrio biochimico del sistema analizzato. A differenza delle rilevazioni effettuate nel medio infrarosso, non è possibile associare alla singola molecola un profilo spettrale definito in grado di identificare e quantificare il singolo costituente, ma permette, attraverso l'assorbimento dovuto all'intensità delle vibrazioni dei legami C-X (X = O, N, H, C) se sollecitati da una sorgente luminosa idonea, di individuare variazioni ascrivibili a gruppi funzionali coinvolti in reazioni, processi e riarrangiamenti chimico-fisici presenti nel materiale in esame. L'intervallo di lunghezze d'onda caratteristico della zona NIR va da 900 a 2500 nm, ma le strumentazioni portatili a disposizione spesso utilizzano la prima parte di questo intervallo spettrale (900-1600 nm) che minimizza la presenza della banda di combinazione (1900 nm) dei gruppi -OH delle molecole di acqua che, presentando alti valori di assorbanza nel NIR potrebbe coprire alcuni gruppi funzionali di

componenti minori. L'acqua infatti risulta il componente quantitativamente più abbondante in tutti i sistemi biologici complessi, quali gli alimenti, di conseguenza, un caratteristico spettro NIR di una matrice alimentare "fresca" presenta un profilo molto simile a quello di una soluzione acquosa. Si ricorda inoltre che a differenza dello spettro VIS (visibile), i valori rilevabili nella regione del vicino infrarosso non sono influenzati dal colore del materiale analizzato e risultano quindi più direttamente associabili alle vibrazioni dei gruppi funzionali presenti nelle molecole dei componenti dei materiali analizzati. Le vibrazioni dei diversi gruppi funzionali con assorbimento specifico nel NIR possono peraltro essere rilevate in modo più evidente e semplice considerando la parte dello spettro sottesa nell'intervallo 900 – 1600 nm, caratterizzata dalla presenza dei "sovratoni" delle bande di combinazione principali. L'effetto trascinalamento dovuto al fascio di luce incidente che colpisce la materia, permette infatti di identificare i medesimi gruppi funzionali, seppure con una intensità via via minore, anche a lunghezze d'onda inferiori a quelle caratterizzanti le bande di assorbimento principali.

Data la numerosità e la complessità del set di dati a disposizione in uno spettro NIR, è pratica normale utilizzare tecniche di statistica multivariata per l'elaborazione degli spettri, ma alcune interessanti considerazioni si possono già trarre dall'analisi degli spettri grezzi. Si riporta in Fig. 69 l'insieme dei risultati ottenuti sottoponendo ad analisi NIR i campioni di prodotti ortofrutticoli processati nella prima del progetto ricerca (campioni CREA).

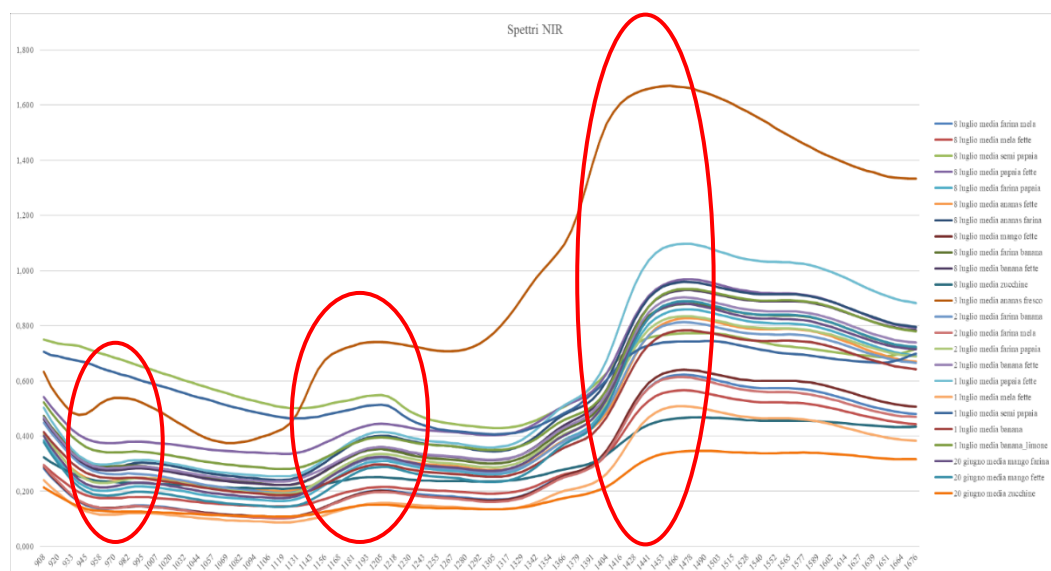


Figura 69

Sono evidenziate nel grafico tre bande associate al primo, secondo e terzo sovratono (*overtone*) di assorbimento dell'acqua (da destra verso sinistra). È evidente come siano individuabili tre massimi presenti esclusivamente nello spettro del campione di ananas fresco, nel quale la componente acquosa risulta preponderante. Per contro, in tutti gli altri campioni, analizzati dopo essiccamento, risulta ben visibile, caratterizzato da valori di assorbanza decisamente inferiori, solo il picco di assorbanza relativo al primo *overtone* (1440 nm) e, in funzione del tipo di distribuzione delle molecole di acqua residua dipendente dal parenchima della specie analizzata, in alcune preparazioni anche la banda relativa al secondo *overtone* (ca. 1200 nm) risulta ancora visibile. Ricordiamo che non solo l'acqua contiene gruppi -OH in grado di vibrare se sottoposti a radiazione luminosa idonea, infatti in questo intervallo risultano subire sollecitazioni anche le componenti zuccherine ed acide (carbossilici, aldeidi).

I campioni di zuccina a rondelle, analizzati a fine processo di disidratazione e dopo 17 giorni di conservazione, mostrano andamenti del tutto analoghi, supportando l'ipotesi che l'applicazione di un trattamento tecnologico di minima drasticità, sia in grado di conservare nel tempo la qualità globale del prodotto (Fig. 70). Lo spostamento dello spettro associato al campione conservato per 17 giorni verso valori di assorbanza più elevati è in prima analisi imputabile ad una leggera reidratazione del campione venuto a contatto con l'umidità dell'ambiente esterno durante le operazioni di pesatura e di *packaging* e alla chiusura non ermetica della confezione. Ricordiamo inoltre che la resa di trasformazione per questo prodotto è risultata essere del 5% circa a causa dell'elevato contenuto di acqua del campione fresco: questo facilita da un lato il processo di disidratazione e dall'altro anche la tendenza ad un rapido riassorbimento di umidità. Supportano queste considerazioni i risultati ottenuti sottoponendo alla determinazione del contenuto di acqua libera i disidratati di zuccina che presentano a fine processo valori di $a_w = 0,29$ che si innalzano dopo 17 giorni di conservazione a $a_{w17} = 0,40$, confermando una parziale re-idratazione del prodotto.

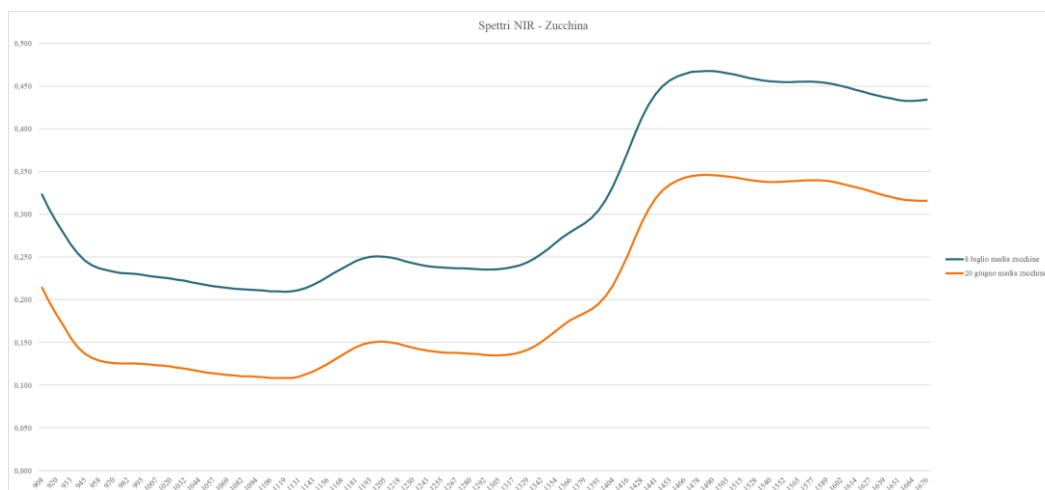


Figura 70

Gli essiccati di mango, sono stati anche sottoposti a macinazione per l'ottenimento di farina a fine processo. Si nota, come i profili spettrali (Fig. 71) indichino un'influenza non significativa del processo di molitura sul riarrangiamento della frazione acquosa all'interno del prodotto. Un riassetto di idratazione dei costituenti si ha invece a livello del primo *overtone* di assorbimento che presenta nell'intervallo di lunghezze d'onda da 1440 a 1670 un distanziamento importante dalla curva originale dopo 17 giorni di conservazione pur rilevando corrispondenti valori di a_{w17} superiori (0,38 vs 0,32) a quelli determinati a fine processo. Questi andamenti sono da attribuire al riarrangiamento delle molecole di acqua legata alle componenti glucidiche (zuccheri solubili) che risultano concentrati nel prodotto essiccato con conseguente vibrazione simultanea dei gruppi -OH sia della frazione acquosa residua che degli zuccheri semplici.

Sono stati sottoposti ad analisi NIR preparati di banana addizionati di soluzione acidula e tal quali. L'effetto della presenza di gruppi acidi potenzialmente rilevabili al NIR si evince dallo *shift* delle curve di assorbimento a fine processo per i due preparati che risultano avere trend simili caratterizzati però dai massimi e minimi valori di assorbanza rilevati per questo set di spettri (Fig. 72). Il prodotto essiccato tal quale è stato trasformato anche in sfarinato per il suo utilizzo come ingrediente in preparati misti di buona qualità nutrizionale. La presenza di zuccheri complessi nella polpa di questo frutto risulta responsabile in prima analisi dell'innalzamento dei valori di assorbanza rilevabile con spettroscopia NIR per la

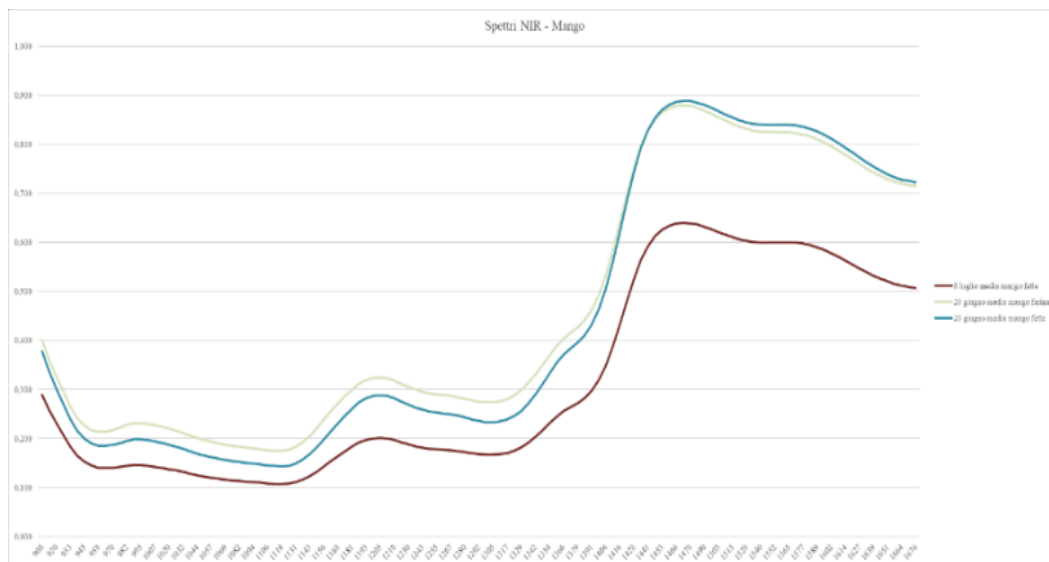


Figura 71

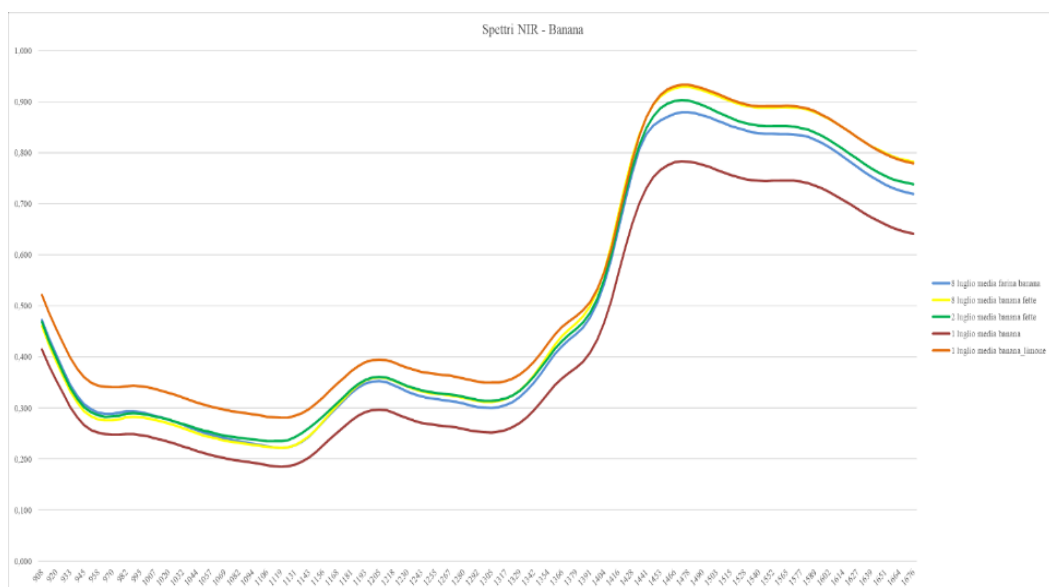


Figura 72

messa in evidenza della presenza, dopo macinazione, di ulteriori gruppi C-X in grado di assorbire e riflettere il fascio di luce incidente. Il riarrangiamento dell'acqua interstiziale dopo macinazione è confermato dall'aumento di valori di acqua libera nello sfarinato dopo 7 giorni di conservazione che si assestano intorno ad $a_{w7} = 0.43$ con un innalzamento del 15% ca. rispetto al contenuto di a_{w7} del preparato a rondelle.

Dalle curve riportate in Fig. 73 risulta evidente il diverso profilo associato ai campioni di semi di papaia rispetto ai preparati di frutto sia sottoforma di sfarinato che al prodotto a fette. I campioni di semi macinati mostrano profili decisamente più omogenei lungo tutto l'intervallo spettrale con assorbimenti poco variabili, dovuti alla natura del preparato intesa come composizione centesimale. Le curve raccolte a 0 e a 7 giorni di conservazione risultano pressoché sovrapponibili in accordo con i contenuti di a_w che non variano anche dopo conservazione. Elevata stabilità mostrano anche i profili spettrali associati ai campioni di farina che non mostrano variazioni sensibili dopo 7 giorni di conservazione. Per tutti i preparati i valori di a_w rilevati sono risultati prossimi a 0,40 suggerendo la presenza di costituenti altamente idratati in grado di legare l'acqua residua in modo stabile, quali gruppi aldeidici e carbossilici. Riarrangiamenti strutturali associati alle strutture secondarie e terziarie delle diverse molecole presenti possono essere visualizzati nelle differenze riscontrate tra i profili dei campioni di papaia a fette con punti di flesso che modificano l'andamento delle due curve nell'intorno di 1390 nm, zona di assorbimento proprio di composti con presenza di gruppi $-COOH$ e $-COH$. L'analisi dei medesimi preparati a tempi di conservazione più lunghi è in grado di meglio spiegare questi andamenti.

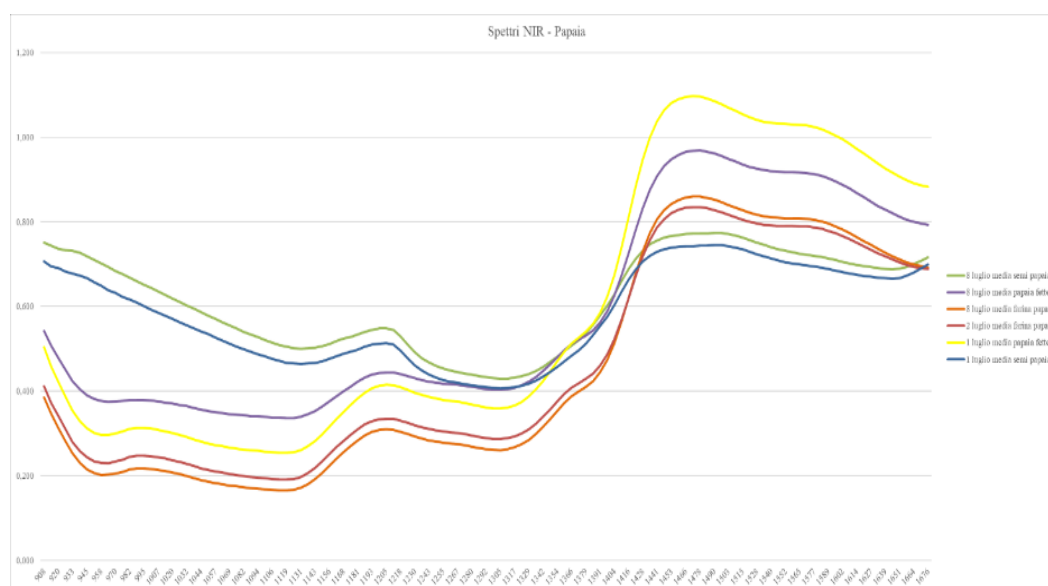


Figura 73

Anche nel caso dei disidratati di mela (Fig. 74) l'analisi NIR permette di associare un'elevata stabilità ai prodotti sfarinati che presentano curve sovrapponibili a 0 e 7 giorni di conservazione, confermando ottime possibilità di utilizzare tutti gli sfarinati come ingredienti per la produzione di alimenti ad alto valore nutrizionale per la preparazione di alimenti integrativi nella dieta della popolazione in genere e della prima infanzia in particolare per sopperire a carenze da malnutrizione. I corrispondenti valori di a_w , pari a 0,35 per questi prodotti, assicurano inoltre la qualità igienica e l'assenza di contaminazioni microbiche per tempi di conservazione anche superiori ad un anno. La distanza tra le curve dei preparati a fette, colmabile dopo normalizzazione delle curve stesse, ottenibile per sottrazione o per aggiunta di un uguale fattore numerico lungo tutto l'intervallo spettrale, permettono di considerare le differenze di assorbanza riscontrate non ascrivibili a variazioni di qualità di costituenti di matrice, rendendo le due curve sovrapponibili dopo trattamento matematico. Questo *shift* è principalmente imputabile a variazioni di temperatura dell'ambiente esterno rilevate durante la determinazione.

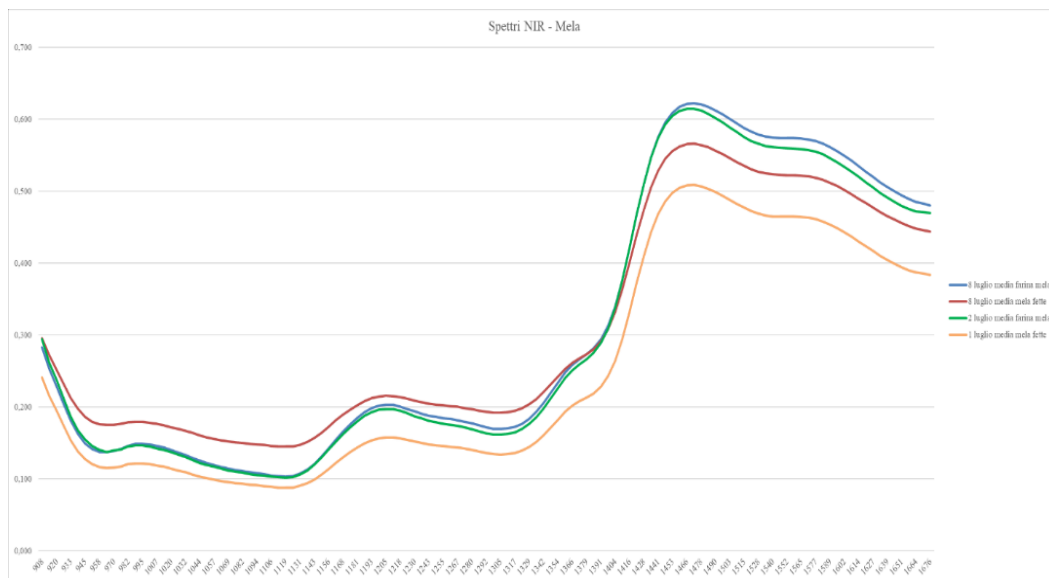


Figura 74

Infine, per quanto riguarda il campione ananas (Fig. 75) la diminuzione della quantità di acqua presente nel prodotto fresco, rispetto ai prodotti disidratati, già rilevata nel grafico generale, risulta ben evidente se si analizzano i soli spettri relativi ai campioni di ananas. L'operazione di macinazione per l'ottenimento di

farina comporta la rottura delle cellule parenchimali con ulteriore disponibilità di molecole di acqua non legata ai principali costituenti della polpa disidratata e sfarinata in grado di fornire valori di assorbanza superiori rispetto a quelli associati al preparato a fette soprattutto nella seconda parte della regione spettrale, principalmente dovuta alla presenza di cluster di molecole d'acqua legate fra loro da ponti idrogeno. Questa osservazione è avvalorata dall'innalzamento dei valori di a_w da 0,31 a 0,35 dopo aver sottoposto i prodotti al processo di macinazione.

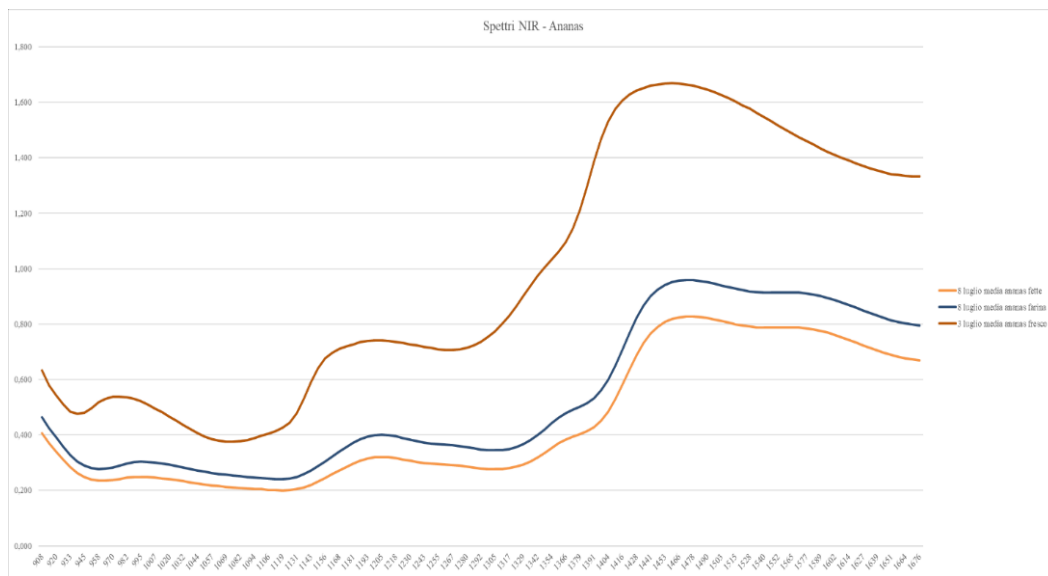


Figura 75

5.1.3.1 Valori del NIR (campioni africani)

Si riporta in Fig. 76 l'insieme dei risultati ottenuti sottoponendo ad analisi NIR i campioni di prodotti ortofrutticoli processati in Tanzania tra Luglio e Agosto 2019 (più la farina di papaia processata invece a Milano). Come già visto in precedenza, nel grafico complessivo possono essere osservate le tre bande associate al primo, secondo e terzo sovratono (*overtone*) di assorbimento dell'acqua (da destra verso sinistra). Per il primo e il secondo (più evidenti rispetto al terzo), i massimi registrati appartengono ai campioni di farine disidratate di papaia e banana realizzate in Tanzania; ciò è in linea con i valori di a_w superiori allo 0,5 registrati a fine processo nelle farine. Ciò ancor più evidente nel grafico dedicato alle farine (Fig. 77): si nota come rispetto allo spettro della farina realizzata a Milano, gli spettri delle farine realizzate in Africa presentino sì gli analoghi andamenti, ma

siano spostati verso valori di assorbanza superiori, anche a conferma di differenze climatiche e dei processi di macinazione effettuati con strumentazione diversa.

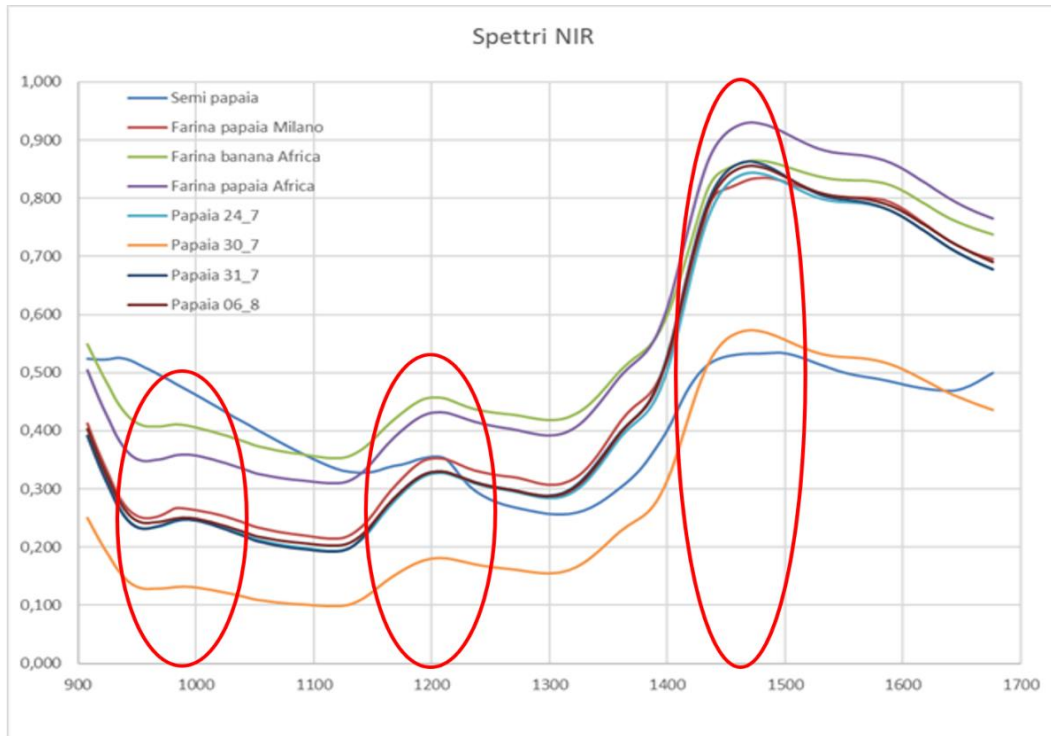


Figura 76

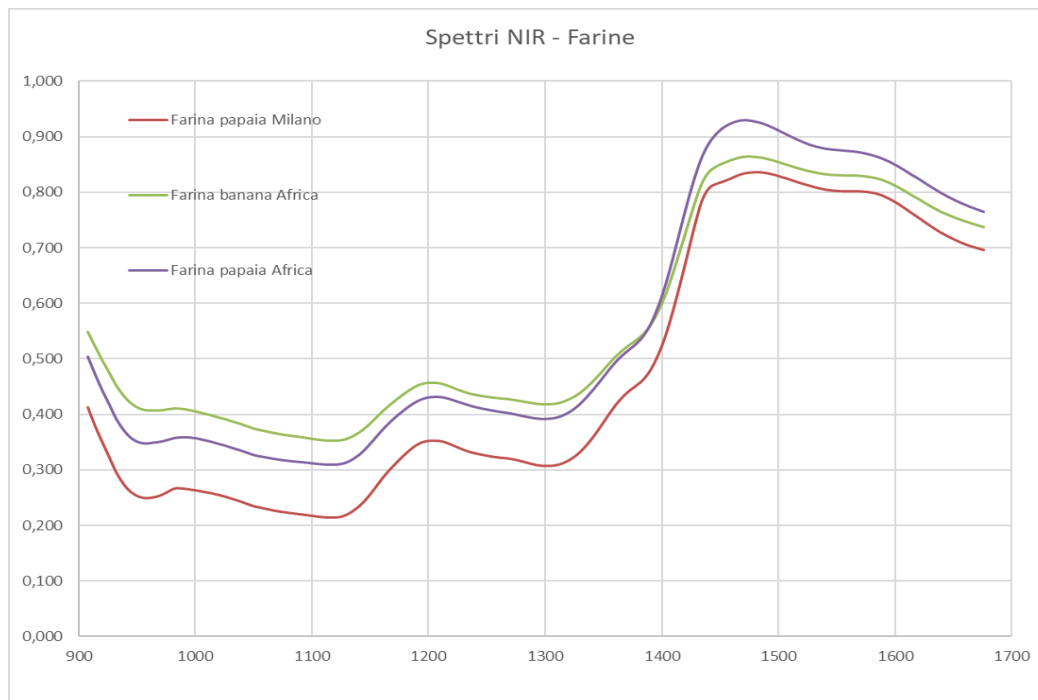


Figura 77

Dall'osservazione degli spettri di papaia a fette (Fig. 78) è interessante notare come essi cambino in considerazione dei giorni di durata del processo. Mentre a livello del primo *overtone* (circa 1440 nm) è ancora evidente la presenza di acqua legata nei tre campioni di papaia i cui spettri risultano del tutto sovrapposti, per la papaia del 30/07/2019 il medesimo picco risulta assestarsi a livelli inferiori di assorbanza. Ciò è spiegabile considerando che i giorni di essiccamento di quest'ultimo campione sono stati 4, uno in più rispetto ai tempi di trattamento degli altri campioni. Per contro, per quanto concerne la zona di spettro tra 900 e 1350 nm, il profilo spettrale risulta assolutamente analogo per tutti i campioni considerati.

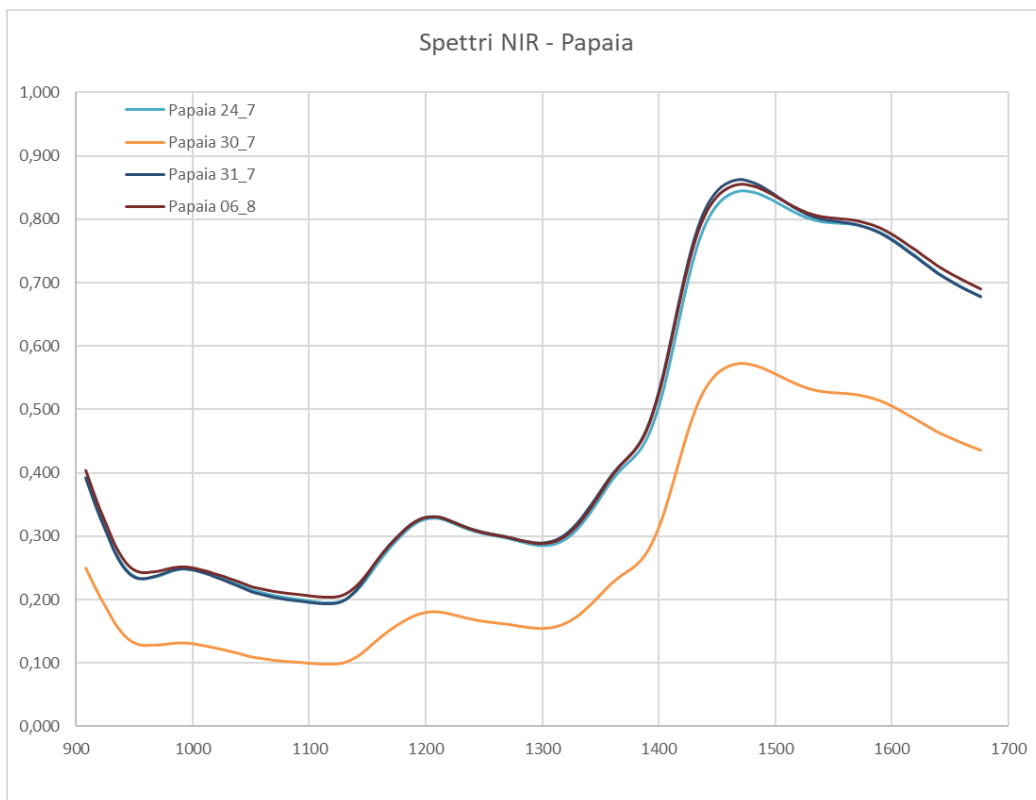


Figura 78

Infine, come del resto prevedibile, lo spettro di assorbimento dei semi di papaia (Fig. 79) risulta essere ben diverso rispetto a tutti gli altri (ascrivibile alla diversa natura e composizione dei semi rispetto ai frutti). I valori di assorbanza registrati lungo tutto l'intervallo spettrale risultano contenuti tra 0,200 e 0,600 AU (unità arbitrarie di assorbanza), fornendo un profilo più piatto e omogeneo pur se risultano evidenti alcuni massimi in corrispondenza dei sovratoni dell'acqua.

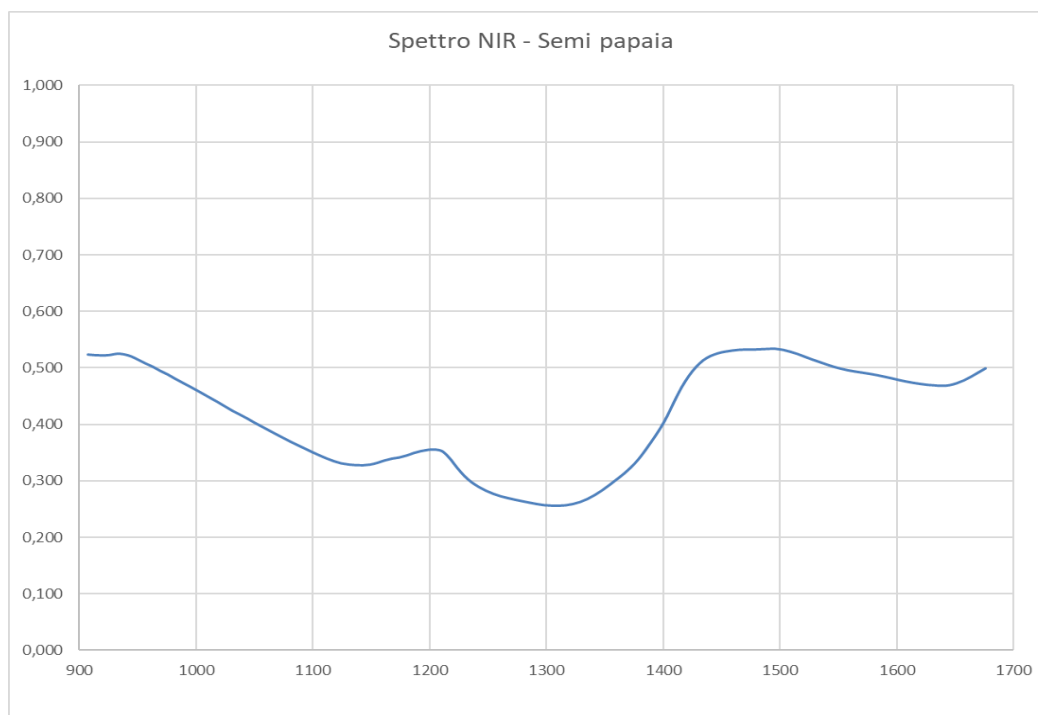


Figura 79

5.1.4 Valori °Brix

Il valore di gradi °Brix è indice indiretto della concentrazione in solidi solubili presenti nei campioni analizzati. Come da dati di letteratura, i prodotti ortofrutticoli contengono mediamente il 10% di zuccheri e/o solidi solubili, con punte che arrivano anche al 15 °Brix per frutti amidacei o particolarmente dolci come il mango. Una verifica indiretta del buon andamento del processo di essiccamento solare può essere la misurazione rifrattometrica del contenuto in solidi solubili, prima e dopo il processo di trasformazione, previa ricostituzione della matrice negli stessi rapporti umidità/solidi del prodotto fresco.

Il grado °Brix è stato misurato in due momenti della sperimentazione (riportiamo a titolo d'esempio i dati relativi alla prima fase della sperimentazione in Italia, Fig. 80): inizialmente durante l'operazione di taglio dei vari prodotti freschi, e alla fine del processo sui prodotti secchi macinati. In quest'ultimo caso la misurazione è stata preceduta da una ricostituzione con acqua in cui la quantità aggiunta è stata calcolata in base a valori tabellari²⁸ del contenuto in acqua per 100 g di prodotto fresco, con l'intento, quindi, di mantenere lo stesso rapporto (Fig. 81). I valori qui riportati sono il risultato della media di 3 misurazioni effettuate su

aliquote diverse dei vari prodotti. I dati ottenuti dai campioni processati a Milano presso la sede del CREA e presentati nell'istogramma in Fig. 82 mostrano come la ricostituzione effettuata permetta di raggiungere l'obiettivo prefissato, e assicuri in modo indiretto la buona efficienza del processo che non ha degradato o reso indisponibili composti solubili principalmente zuccherini. La più grande distanza tra i valori pre e post processo la si riscontra nel campione banana, frutto che presenta una composizione glucidica formata sia da zuccheri semplici che da zuccheri complessi. Ad ogni modo, in nessun caso la variabilità riscontrata tra contenuto in solidi solubile in prodotto fresco e nel prodotto processato ha superato valori del 10%: ricordiamo che essendo questa una determinazione indiretta, l'errore stimato per analisi strumentali di questo genere, è pari al 15%.

Prodotto	Contenuto in acqua (su 100 g prodotto)	°Brix (fresco)	°Brix (macinato)
Mango	82,8 g	13,5	13,1
Banana	76,8 g	15,0	12,8
Papaia	89,3 g	12,4	8,0
Mela	85,2 g	11,7	10,9
Ananas	86,4 g	10,7	11,0

Figura 80

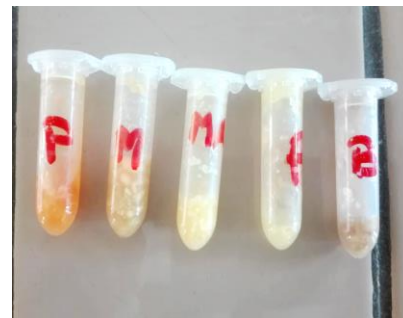


Figura 81

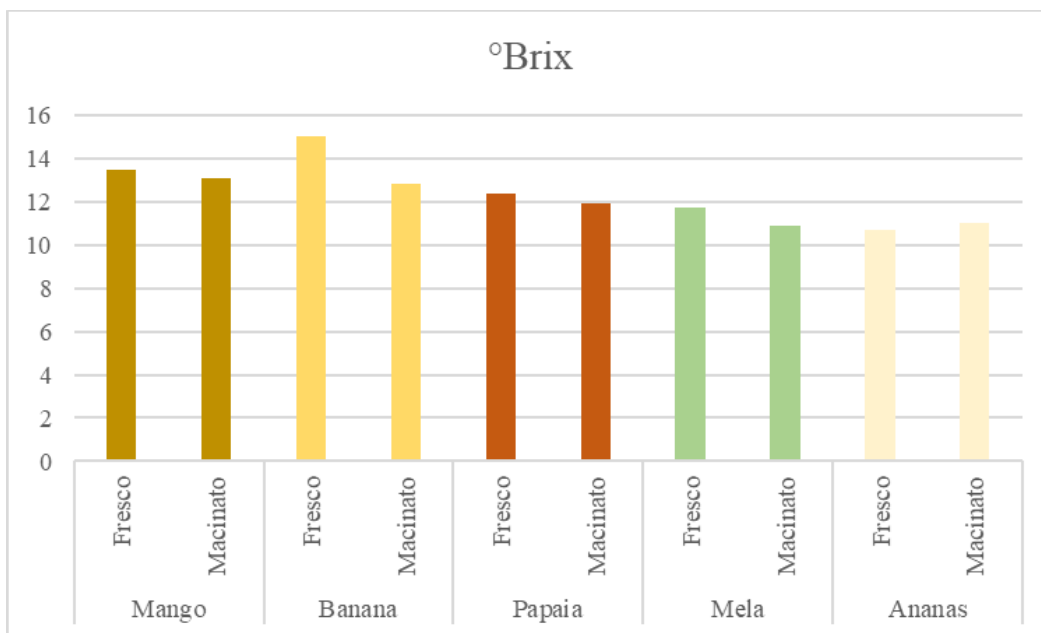


Figura 82

5.1.5 Temperatura e umidità

5.1.5.1. Periodo Giugno-Luglio (Milano)

I valori di temperatura e umidità (UR) – sia interne che esterne – sono stati rilevati ad intervalli di circa 3 ore di distanza l’uno dall’altro (dalla mattina fino al pomeriggio) durante tutto il periodo del tirocinio (Fig. 83). Questa scelta è stata determinata dalla necessità di avere a disposizione i dati relativi alle variazioni climatiche in modo pressochè costante, a copertura dell’intero periodo di lavorazione, per la verifica dell’influenza delle modificazioni dell’ambiente esterno sulla durata e sull’efficacia del processo di trasformazione basato su principi di utilizzo dell’energia solare.

Data	18/06/2019		19/06/2019		20/06/2019		25/06/2019	
Orario	12:00	15:00	11:00	15:30	11:30	14:15	13:00	15:15
Tempo (ore)	0,00	3,00	23,00	27,50	47,50	50,35	119,20	121,35
Temperatura interna (°C)	32,0	37,5	40,1	42,3	35,9	39,0	37,5	39,6
Temperatura esterna (°C)	30,0	37,2	32,4	37,1	34,1	33,7	37,9	38,7
Umidità interna (%)	37	32	26	19	18	12	30	32
Umidità esterna (%)	39	26	40	22	19	19	27	27

26/06/2019		27/06/2019		03/07/2019		04/07/2019		05/07/2019	
10:15	15:30	10:15	12:15	14:00	10:15	15:00	10:30	14:30	
142,35	147,50	166,35	312,50	314,35	334,35	339,35	358,50	362,50	
35,8	40,6	35,9	35,4	34,9	31,4	32,3	34,3	36,4	
35,00	38,8	35,2	33,00	38,8	28,2	34,3	31,0	32,4	
22	28	32	37	36	42	32	38	34	
38	30	34	35	27	46	29	42	39	

Figura 83

Il grafico mostrato in Fig. 84 riporta i valori di umidità relativa e temperatura rilevati all’interno dell’impianto a disposizione per le prove pilota. Vengono riportati i valori associati ai tre diversi cicli di lavorazioni effettuate nei mesi di Giugno e Luglio; i 3 singoli set di dati si riferiscono alle determinazioni mediante sensore digitale (termo-igrometro) effettuate all’inizio, durante e alla fine di ogni ciclo di trasformazione. Nel medesimo grafico si può notare come la temperatura all’interno dell’impianto di essiccamento sia rimasta non solo piuttosto stabile durante tutto il periodo di lavorazione, ma soprattutto al di sotto dei 45°C, confermando quindi come il processo di essiccamento a energia solare sia da ascrivere tra le tecnologie *mild*, che non causano danni termici drastici a carico della qualità finale dei prodotti alimentari trattati. È inoltre interessante notare come i valori di umidità relativa interna all’impianto presentino variazioni tra l’inizio del

ciclo di produzione e il termine dello stesso: i valori di umidità iniziale vanno via via a decrescere man mano che il processo di essiccamento prosegue, e nonostante si possa notare un innalzamento dell'umidità durante le prime ore del mattino, essa non raggiunge mai gli alti valori iniziali; ciò a conferma sia dell'efficacia dell'impianto di ventilazione utilizzato dall'essiccatore in questione, sia del procedere del processo di disidratazione.

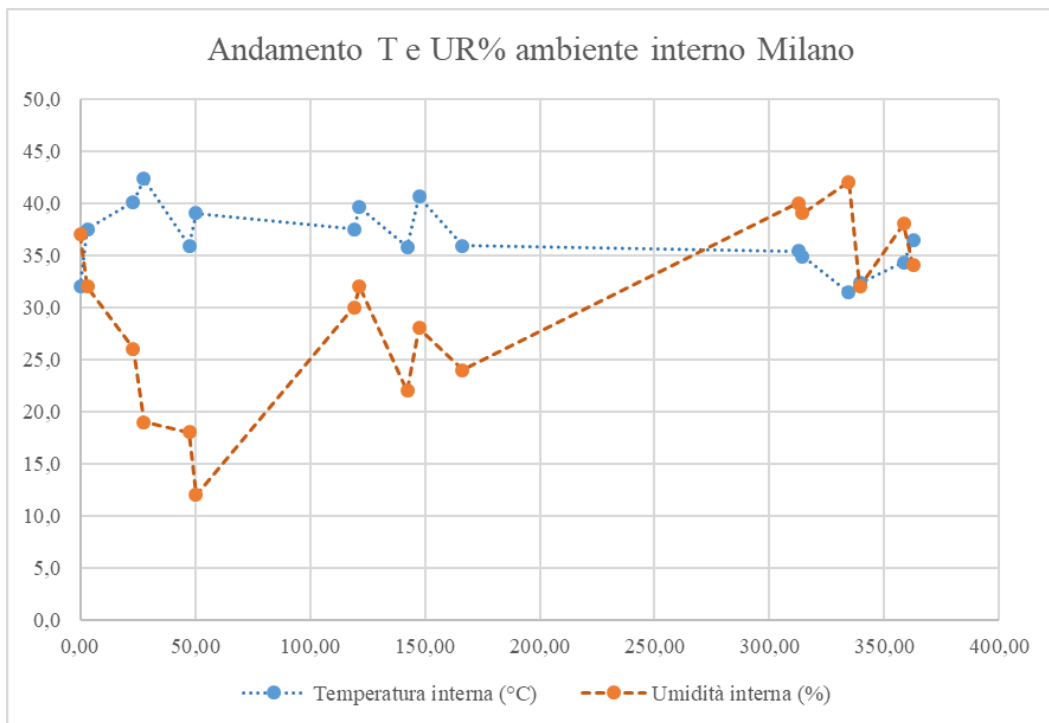


Figura 84

Mediante un processo di disidratazione viene esaurito in circa 50 ore, in un clima temperato, anche se l'andamento del singolo ciclo di trasformazione è fortemente dipendente dal tipo di prodotto da sottoporre al processo, all'iniziale contenuto di acqua, e al tipo di taglio/pre-trattamento della materia prima.

Dal grafico mostrato in Fig. 85 si può notare come la temperatura esterna sia risultata meno variabile rispetto all'umidità che ha presentato un intervallo di variabilità compreso tra $20 < UR\% < 45$. I dati riportati in figura possono essere considerati un primo esempio di archiviazione di carte di controllo per il monitoraggio delle variazioni climatiche presenti in ambienti ed ecosistemi diversi, che sicuramente sono strumenti utili per la valutazione delle condizioni e dei tempi

di processo per una predizione della durata dei trattamenti di essiccamento anche a distanza di mesi o di anni qualora si ripetano analoghe condizioni ambientali.

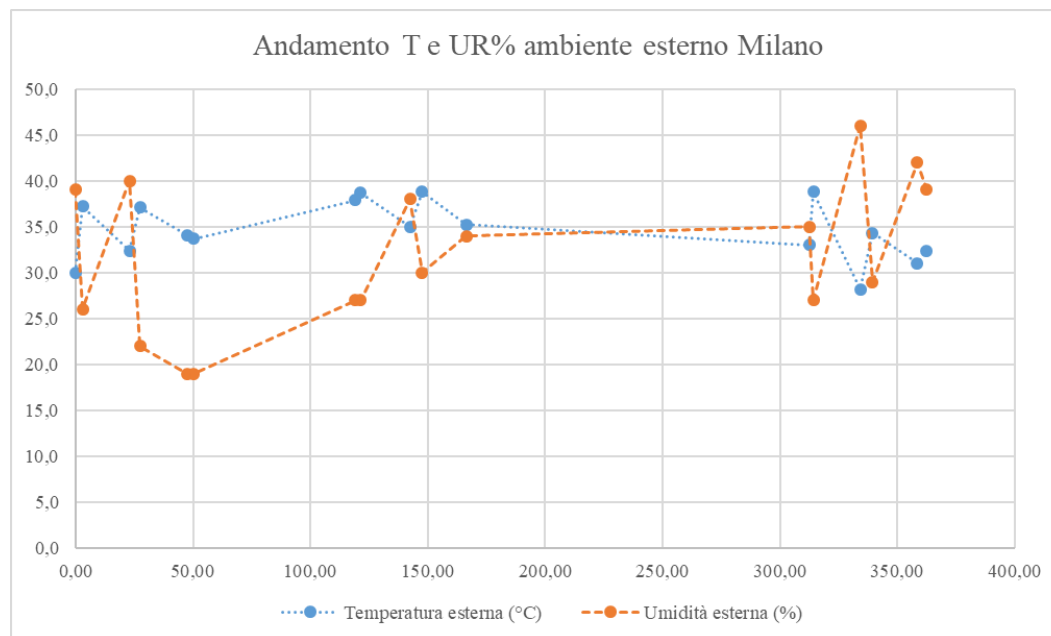


Figura 85

Questa documentazione dovrebbe essere quindi predisposta per almeno un anno, così da poter programmare le attività di trasformazione con tempi e modi standardizzati. La possibilità di raccogliere i dati relativi alle variazioni climatiche a lungo termine e/o di avvalersi di database già disponibili nel sistema meteorologico internazionale forniscono interessanti spunti per l'analisi dello storico e la prevenzione in caso del subentrare di cambiamenti climatici più importanti.

5.1.5.2 Periodo Luglio-Agosto (Tanzania)

La Tanzania è un paese a clima tropicale diviso in quattro zone climatiche principali: la pianura costiera calda e umida, la zona centrale semi-arida dell'altopiano, le regioni dei laghi ad alta umidità, e le aree montuose temperate ²⁹; il periodo tra Giugno e Agosto è il più fresco dell'anno ed è quasi ovunque secco ³⁰. Anche in questo caso, i raggruppamenti di punti individuabili nel grafico a dispersione (Fig. 86) fanno riferimento ai valori associati a 6 diversi cicli di

lavorazioni effettuati nei mesi di Luglio e Agosto e divisi in 3 set di dati (uno presso il Monastero di Mvimwa e 2 presso il *Nutritional Lab* della Scuola Secondaria di Sumbawanga). Anche in queste sedi, le misurazioni sono state effettuate mediante sensore digitale (termo-igrometro) all’inizio, durante e alla fine di ogni ciclo di trasformazione. Anche in questo caso, vediamo come la temperatura interna agli essiccatori non sia mai salita oltre i 40°C (cfr. Parametri di processo al paragrafo 4.2.10), confermando ancora una volta la non drasticità del trattamento termico, ascrivibile pertanto tra le tecnologie *mild*. Inoltre, è evidente quanto l’interruzione del processo di essiccazione durante le ore notturne influisca sulla riumidificazione dei prodotti all’interno del dispositivo, determinando quindi valori di umidità interna molto più variabili rispetto a quelli delle temperature interne allo strumento. Per questo è opportuno individuare con precisione il momento in cui interrompere il processo, al fine di evitare la riumidificazione notturna e stressare ulteriormente i prodotti, dal momento che, come già precedentemente affermato, prolungare le tempistiche del processo oltre una certa soglia di raggiunta essiccazione non determina ulteriore e proporzionale disidratazione.

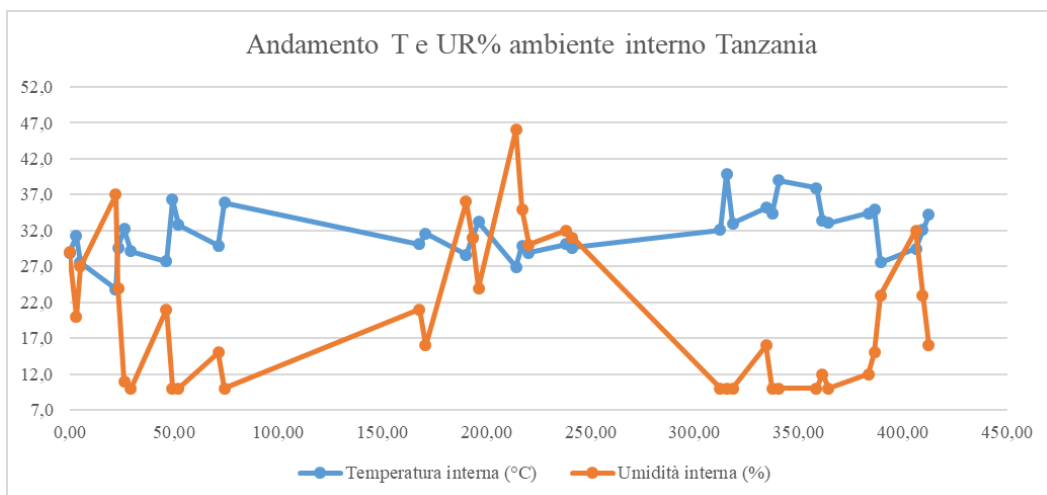


Figura 86

Analizzando infine il grafico delle condizioni ambientali esterne (Fig. 87), la temperatura esterna non ha mai superato i 31°C in nessuna delle due località, e l’umidità si è rivelata non soltanto, come già sottolineato, più variabile rispetto alle temperature, ma anche generalmente molto più bassa rispetto ai valori registrati in

Italia nei mesi precedenti. Sarebbe senz'altro interessante sia predisporre registri climatici di questo tipo, per impostare lavorazioni agro-industriali come quello proposto nel presente lavoro di ricerca, ed altresì indagare quanto le diverse altitudini alle quali sono collocate i due complessi, sedi di questo studio, incidano sulla lavorazione.

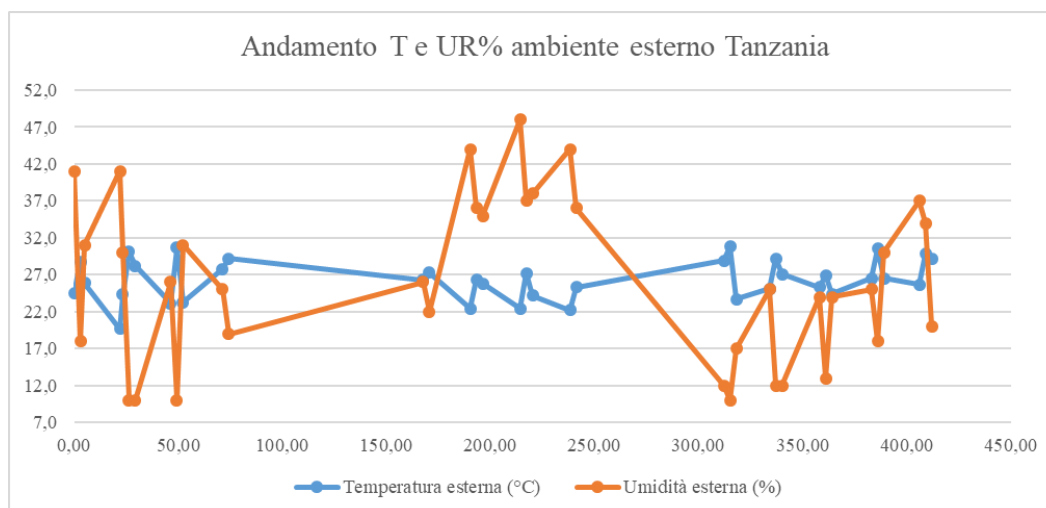


Figura 87

5.2 Conclusioni

La realizzazione del presente lavoro di ricerca sul campo ha come scopo quello di far convergere verso un unico obiettivo tematiche provenienti da differenti ambiti di studio ma allo stesso tempo radicalmente concatenate e connesse a un'alimentazione ecosostenibile; temi che si conciliano nell'implementazione dell'uso di dispositivi di essiccazione a pannelli solari. La questione dello spreco alimentare è di capitale importanza nella lotta all'eradicazione della fame soprattutto nei paesi più poveri del mondo, dal momento che ne influenza la sicurezza alimentare, sviluppo economico e ambiente, ed è stato appurato che ogni anno si perdono volumi significativi di cibo in fase di post-raccolta in tutta l'Africa subsahariana. Se si considera che l'entità di questa perdita di cibo è di gran lunga superiore al valore dell'aiuto alimentare totale ricevuto da quest'area del pianeta nell'ultimo decennio, appare chiaro che nuovi progetti di cooperazione internazionale debbano volgere lo sguardo proprio all'implementazione di strumenti atti a diminuire la quantità di cibo che finisce quotidianamente nella pattumiera: strumenti come quello proposto in questo progetto di ricerca.

Come emerge da copiosi dati di letteratura, la Tanzania non è esente da radicati problemi di malnutrizione; in particolar modo, è stato osservato che in nessun gruppo di età specifico, nè fra gli uomini né fra le donne, il consumo di frutta raggiunge la soglia raccomandata giornalmente; dati che si aggravano ancor di più nelle zone rurali e più difficilmente raggiungibili del paese; la realizzazione di frutta essiccata tramite essiccatori ad energia alternativa può senz'altro migliorare questi dati di consumo.

Il presente lavoro di ricerca, svolto presso un monastero benedettino della regione di Rukwa (Tanzania meridionale), è risultato interessante dal punto di vista delle connessioni sociali e culturali che intesse in quella parte di territorio; risulta chiaro infatti, quanto l'implementazione di progetti di carattere nutrizionale impatti notevolmente sulla qualità di vita della popolazione e dei piccoli centri abitati che gravitano intorno a poli come quello scelto per questo studio.

La proposta nutrizionale riguardante alimenti fortificati, avanzata in questo lavoro presso una scuola secondaria, ha riportato risultati più che stimolanti: gli studenti hanno dimostrato di aderire con entusiasmo a iniziative e attività interattive dedicate all'alimentazione. L'indagine sullo stile alimentare condotto sulle fasce d'età più giovani ha rivelato diete monotone e carenti in micronutrienti. Una soluzione può pertanto essere trovata nella realizzazione di prodotti a base di frutta essiccata, che possano sia scongiurare la perdita di derrate alimentari – prolungandone la vita commerciale – sia apportare miglioramenti nutrizionali alla popolazione locale. A sostegno dei vantaggi già finora elencati, le analisi di laboratorio effettuate sui campioni di frutta essiccata realizzata in Africa mostrano che il dispositivo utilizzato assicura un'ottima conservazione dei prodotti, poiché l'allontanamento dell'acqua dalla matrice alimentare evita il rischio di contaminazione microbiologica, assicurandone quindi la conservazione.

Bibliografia

1. Affognon, H., Mutungi, C., Sanginga, P., Borgemeister C. (2014). *Unpacking Postharvest Losses in Sub-Saharan Africa: A Meta-Analysis*. Elsevier, World Development Vol. 66, pp. 49–68.
2. Berns R. S. (2000). *Billmeyer and Saltzman's principles of color technology, 3rd edn*. JohnWiley and Sons, Inc., NY.
3. Bradford, K.J., Dahal, P., Asbrouck, J.A., Kunusoth, K., Bello, P., Thompson, J., Wu, F. (2018). *The dry chain: Reducing postharvest losses and improving food safety in humid climates*. Elsevier, Trends in Food Science & Technology, Volume 71, Pages 84-93.
4. Cabras P. e Martelli A. (2004). *Chimica degli alimenti*. Piccin-Nuova Libreria.
5. Capanoglu, E., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., De Vos, R.C., Hall, R.D. (2010). *The effect of industrial food processing on potentially health-beneficial tomato antioxidants*. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 50: 919-930.
6. Da-Wen Sun (2009). *Infrared Spectroscopy For Food Quality Ananlysis and Control*. Oxford, UK: Elsevier.
7. El-beltagy, A., Gamea, G.R., Essa, A.H.A. (2007). *Solar drying characteristics of strawberry*. Journal of Food Engineering, 78, 456–464.
8. Escher, F., Neukom, H. (1970). *Studies on drum drying apple flakes*. Trav. Chim. Aliment.Hyg. 61, 339_348.
9. Fellows P. J. (2016). *Food Processing Technology – Pronciples and Practice, 4th edn*. Woodhead Publishing – Elsevier Science, UK.
10. Francis FJ. (1999). *Colorants*. Eagen Press Handbook Series. Eagan Press, St. Paul, MN.
11. Gumusay, O.A., Borazan, A.A., Ercal, N., Demirkol, O. (2015). *Drying effects on the antioxidant properties of tomatoes and ginger*. Food Chem. 173: 156-162.
12. Hiranvarachat, B., Suvarnakuta, P., Devahastin, S. (2008). *Isomerisation kinetics and antioxidant activities of β -carotene in carrots undergoing different drying techniques and conditions*. Food Chem. 107: 1538-1546.

13. Hodges, R. J., Buzby, J. C., Bennett, B. (2011). *Postharvest losses and waste in developed and less developed countries: Opportunities to improve resource use*. Journal of Agricultural Science, 149(S1), 37–45.
14. Hutchings JB. (1999). *Food color and appearance, 2nd edn*. Aspen Publishers, Gaithersburg, MD.
15. Kadam, D.M., Lata, D.V.K.S., Pandey, A.K. (2005). *Influence of different treatments on dehydrated cauliflower quality*. International Journal of Food Science and Technology, 40, 849–856.
16. Kamiloglu S., Toydemir G., Boyacioglu D., Beekwilder J., Hall R. D., Capanoglu E. (2015): *A Review on the Effect of Drying on Antioxidant Potential of Fruits and Vegetables*, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, DOI: 10.1080/10408398.2015.1045969.
17. Kemp, M., Dever, J., Thompson, A., Metzger, B., Barnes, D. (2013). Evaluation of pumpkins as a novel source for α -carotene. FASEB J. 27: 1079.60.
18. Khraisheh, M.A.M., McMinn, W.A.M., Magee, T.R.A. (2004). Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. Food Research International, 37, 497–503.
19. Krokida, M. K., Maroulis, Z.B., Saravacos, G.D. (2001). The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. Int. J. Food Sci. Technol. 36 (1), 53_59, <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2621.2001.00426.x>.
20. Kugo, M., Keter, L., Maiyo, A., Kinyua, J., Ndemwa, P., Maina, G., Otieno P., Songok E. M. (2018). *Fortification of Carica papaya fruit seeds to school meal snacks may aid Africa mass deworming programs: a preliminary survey*. BMC Complementary and Alternative Medicine.
21. Lee, S.H. and Labuza, T.P. (1975). *Destruction of ascorbic acid as a function of water activity*. Journal of Food Science, 40, 370–373.
22. Leong, S.Y. and Oey, I. (2012). *Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables*. Food Chem. 133: 1577-1587.
23. Marwaha K. (2010). *Control and Analysis for Food and Agricultural Products*. New Delhi: GENE-TECH BOOKS.
24. Msambichaka B., Eze I, C., Abdul R., Abdulla S., Klatser P., Tanner M., Kaushik R., Geubbels E., Probst-Hensch N. (2018). *Insufficient Fruit and Vegetable Intake in a Low- and Middle-Income Setting: A Population-*

Based Survey in Semi-Urban Tanzania. Nutrients, 10, 222; doi:10.3390/nu10020222, MDPI

25. Nielsen S. (2010). *Food Analysis – Fourth Edition*. Purdue University West Lafayette, IN, USA: Springer.
26. Nora, C.D., Muller, C.D.R., de Bona, G.S., Rios, A.D.O., Hertz, P.F., Jablonski, A., de Jong, and Flores, S.H. (2014). *Effect of processing on the stability of bioactive compounds from red guava (Psidium cattleianum Sabine) and guabiju (Myrcianthes pungens)*. J. Food Composit. Anal. 34: 18-25.
27. Ochieng J., Afari-Sefa V., Lukumay P. J., Dubois T. (2017). *Determinants of dietary diversity and the potential role of men in improving household nutrition in Tanzania*. PLoS ONE.
28. Okeniyi, J.A.O., Ogunlesi, T.A., Oyelami, O.A., Adeyemi, L.A. (2007). *Effectiveness of Dried Carica papaya Seeds Against Human Intestinal Parasitosis: A Pilot Study*. Journal of Medicinal Food VOL. 10, NO. 1.
29. Orikasa, T., Wu, L., Shiina, T., Tagawa, A. (2008). *Drying characteristics of kiwi fruit during hot air drying*. Journal of Food Engineering, 85, 303–308.
30. Parfitt, J., Barthel, M., Macnaughton, S. (2010). *Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050*, Philosophical Transactions of the Royal Society B, vol. 365, pp. 3065-3081.
31. Sagar V. R., Suresh Kumar P. (2010). *Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review*. Journal of Food Science and Technology. DOI: 10.1007/s13197-010-0010-8.
32. Santos P. H. S. and M. A. Silva (2008). *Retention of Vitamin C in Drying Processes of Fruits and Vegetables—A Review*, Drying Technology: An International Journal, 26:12, 1421-1437, DOI: 10.1080/07373930802458911.
33. Stuart B. (1997). *Biological Applications of Infrared Spectroscopy*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
34. World Bank (2011). *Missing food: The case of postharvest grain losses in Sub-Saharan Africa*. Washington, DC: The World Bank, 116p.

Sitografia

¹http://www.fao.org/fileadmin/templates/faoitally/documents/pdf/pdf_Food_Security_Cocept_Note.pdf

²<http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/en/>

³<http://www.fao.org/3/i9553en/i9553en.pdf>

⁴http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/raf/uploads/files/129654.pdf

⁵<https://sustainabledevelopment.un.org/>

⁶<https://sustainabledevelopment.un.org/sdg2>

⁷<https://sustainabledevelopment.un.org/sdg1>

⁸<http://www.fao.org/3/CA1908EN/ca1908en.pdf>

⁹<https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/WFP-0000105875.pdf>

¹⁰https://www.researchgate.net/profile/Gibson_Kagaruki2/publication/311065616_TANZANIA_STEPS_SURVEY_REPORT/links/583c978a08ae502a85e3e9bd.pdf

¹¹https://www.who.int/ncds/surveillance/steps/UR_Tanzania_2012_STEPS_Report.pdf

¹²<http://www.fao.org/3/a-i2697e.pdf>

¹³<http://www.barillacfn.com/position-paper/pp-spreco-alimentare-cause/>

¹⁴<https://www.worldbank.org/en/programs/africa-myths-and-facts/publication/is-post-harvest-loss-significant-in-sub-saharan-africa>

¹⁵<http://www.fao.org/3/a-au111e.pdf>

¹⁶<https://www.golfinirossionlus.com/chi-siamo>

¹⁷<https://www.gtek.it/essicazione-solare-solar-driers/>

¹⁸http://www.den.gtek.it/GteK_Italo_base_piu.pdf

¹⁹<https://www.gtek.it/documents/Italo-base-plus-eng.pdf>

²⁰<http://www.termotend.com/default.asp?modulo=pages&idpage=16>

²¹<http://www.termotend.com/Download/Depliant%20Zefiro-max.pdf>

²²<https://www.metergroup.com/food/products/aqualab-4te-water-activity-meter/>

²³https://www.rotronic.com/it/humidity_measurement-feuchtemessung-mesure_de_l_humidite/parameter-water-activity-mr

²⁴https://www5.konicaminolta.eu/fileadmin/content/eu/Measuring_Instruments/2_Products/1_Colour_Measurement/2_Spectrophotometers_Portable/2_CM-2600d_CM-2500d/PDF/CM-2500d_EN.pdf

²⁵www.viavisolutions.com/micronir

²⁶<https://www.viavisolutions.com/en-us/literature/micronir-pro-es-data-sheets-en.pdf>

²⁷<https://www.plastix.it/colore-3/>

²⁸<https://www.crea.gov.it/-/tabella-di-composizione-degli-alimenti>

²⁹<https://www.embassyoftanzaniarome.info/profile-del-paese-1/profile-del-paese-3>

³⁰<https://www.climieviaggi.it/clima/tanzania>