Ottimizzazione degli impianti per la prerefrigerazione e per il *cold treatment* di frutti di agrume destinati all'esportazione

Giovanni Carlo Di Renzo[1], Giuseppe Altieri[1*], Maria Concetta Strano[2], Mariarosaria Calandra[2], Francesco Genovese[1] e Antonella Tauriello[1]

[1] *Dipartimento Tecnico Economico per la Gestione del Territorio Agricolo - Forestale, Università della Basilicata*

[2] *Consiglio per la Ricerca e la Sperimetazione in Agricoltura - ACM Centro di Ricerca per l'Agrumicoltura e le Colture Mediterranee, Acireale (CT)*

Research on pre-cooling and cold treatment technology for the export of fresh cut citrus fruit

Abstract. This work shows the results of a research activity aiming both to a quick decrease and a homogeneous distribution of citrus fruits temperature during the postharvest and the transport phases. Citrus fruits are widely transported worldwide in the last years, and trade towards extra UE countries grew continuously; moreover, commercial agreements with extra UE countries generally require both the respect of the fruit quality standards and the restriction of the parasites spread by means of an opportune fruit treatment named as "cold treatment". A pilot plant for the rapid cooling of citrus fruits, stacked in pallet, was assembled, supplied with an automatic system for temperature monitoring and recording. Moreover, the temperature distribution inside a transport container simulating the "cold treatment", using both conventional and innovative (more vented surface) package boxes for citrus. Data show that the pre-cooling operation is an important stage to improve the quality of citrus fruits before the container loading. The vented boxes guarantee a more accurate control of fruit temperature versus classic boxes. Concerning the temperature monitoring, probes show a good result in terms of temperature homogeneity.

Key words: postharvest quality, *Ceratitis capitata*, food plants automation, temperature monitoring.

Introduzione

Negli anni recenti è stato possibile osservare un crescente interesse da parte dei mercati extra-europei (U.S.A., Giappone ed Australia) per l'importazione di agrumi dall'Italia, con particolare riguardo alle clementine ed alle arance pigmentate. Considerato l'elevato valore economico del prodotto venduto in mercati "ricchi", è richiesta un'attenta gestione della catena del freddo ed il mantenimento delle caratteristiche qualitative del prodotto fresco (Di Renzo *et al.*, 2005, Altieri *et al.*, 2007). Infatti gli agrumi, nelle fasi postraccolta, vanno incontro ad un forte decadimento qualitativo (Di Renzo *et al.*, 2007, Lanza *et al.*, 2009), che può essere controllato con il rapido abbassamento della temperatura del prodotto (Aswaney, 2007) e l'allontanamento del cosiddetto "calore di campo" tramite una prerefrigerazione rapida (Amirante *et al.*, 2004). Tra le tecniche di conservazione degli agrumi basate sull'impiego del freddo rientra il *cold treatment*, che viene richiesto dai Paesi importatori per la devitalizzazione di eventuali uova o larve della mosca mediterranea (*Ceratitis capitata* Wiedemann) (Hill *et al.*, 1988, Lanza *et al.*, 2005). Il *cold treatment* viene effettuato nei magazzini frigoriferi prima del trasporto, o durante il trasporto, nella stiva di navi o in container autorefrigerati: ciò permette di accorciare i tempi per la distribuzione, non dovendo subire il periodo di trattamento all'arrivo; in tal modo è possibile immettere sul mercato un prodotto qualitativamente migliore perché conservato per un periodo di tempo inferiore (Ismail *et al.*, 1986).

Scopo del presente lavoro è stato quello di definire sia le condizioni ottimali durante la prerefrigerazione ed il *cold treatment*, sia la messa a punto di un prototipo di prerefrigeratore ad aria funzionante in aspirazione: per il controllo dei parametri ambientali (temperatura ed umidità relativa) sono stati progettati due diversi sistemi di controllo ed acquisizione dati (uno per il prerefrigeratore ed uno per il *cold treatment*).

Materiali e metodi

Prerefrigerazione ad aria su singola pedana

Il prototipo di prerefrigerazione è stato realizzato utilizzando un ventilatore centrifugo a doppia bocca di aspirazione con pale rivolte in avanti (Nicotra

* giuseppe.altieri@unibas.it

ADH-250, portata nominale 5500m^3h^{-1}) azionato da un motore elettrico (potenza 4kW), entrambi posti all'interno di un telaio di contenimento; variando la frequenza di funzionamento del motore per mezzo di un inverter elettronico ("Micromaster vector" da 5kW - Siemens) sono state effettuate prove sperimentali a diverse velocità del ventilatore. Il sistema di acquisizione realizzato nell'attività sperimentale è costituito da un personal computer con software di acquisizione, memorizzazione e gestione dei dati creato tramite LabView 6.0.2 (National Instruments), 63 sonde di temperatura digitali (DS18B20+, Maxim - Dallas Semiconductors, -55 °C/+125 °C, accuratezza +/-0,5 °C e significatività 0,99), una scheda di acquisizione dati autocostruita basata su microcontrollore (PIC18F4620 - Microchip Technology Inc.) con trasmissione dei dati di temperatura tramite modem "wireless". Per il rilievo della temperatura sono state realizzate 5 serie di sonde, ognuna formata da 12 sonde da inserire al centro dei frutti collocati al centro delle cassette. Oltre a queste sono state utilizzate altre 3 sonde per la misura della temperatura dell'aria: nella cella, aspirata e scaricata dal ventilatore. Le prove si sono svolte in collaborazione con l'azienda Geagri Soc. Coop. Agricola di Massafra (Taranto). I frutti sono stati lavorati in centrale e confezionati in plateau di cartone (9 kg), quindi sono state realizzate delle pedane con rispettivamente 80 plateau. Le prove sono state condotte in cella frigorifera (10 x 20 x 8 m) accostando la pedana dinanzi alla bocca di aspirazione del prerefrigeratore. Sono state allestite quattro tesi sperimentali: Tesi A (frequenza= 50 Hz), Tesi B (frequenza= 40 Hz), Tesi C (frequenza= 35 Hz), Testimone (prerefrigerato in cella alla temperatura finale di 1,2 °C). Le sonde di temperatura sono state inserite al cuore dei frutti (un frutto per ciascun plateau della pedana) nei livelli della pedana I, III, V, VII e IX partendo dal basso verso l'alto. Ciascuna prova è stata replicata per tre volte. I dati sono stati elaborati ed è stato ricavato il coefficiente di scambio termico convettivo "h" (Pereira Da Silva *et al.*, 2010).

Cold treatment

La prova di simulazione di trasporto in container autorefrigerato, su prodotto prerefrigerato, è stata eseguita presso la centrale ortofrutticola Oranfrizer di Scordia (CT). Frutti di arancio della cv Tarocco, dopo lavorazione in magazzino consistente in preselezione, lavaggio con detergente, trattamento fungicida (imazalil), ceratura (cera ad acqua a base di gommalacca), asciugatura in tunnel ad aria calda, selezione e calibratura, sono stati confezionati in contenitori di cartone e sistemati in 21 pallet numerati. Per alcuni pallet è stato previsto l'impiego di contenitori di cartone con una maggiore superficie forata (innovativi), rispetto ai contenitori normalmente impiegati. Per valutare la distribuzione della temperatura, sono state impiegate 6 sonde/pallet in frutti prescelti a caso e 6 sonde/pallet per valutare l'effetto della temperatura nei frutti presenti nei contenitori innovativi. Sono state impiegate sonde di temperatura digitali (DS18B20+). Al raggiungimento della temperatura di circa 0 °C, i pallet sono stati caricati in un container 40'HC, costituito da un'unità refrigerante posta sulla parete opposta alla porta di ingresso. Durante il carico delle pedane all'interno del container sono state posizionate le sonde per il rilievo della temperatura, l'intervallo di campionamento è stato di 10 minuti. Alla chiusura del container è iniziata la prova di simulazione di spedizione di 30 giorni: al periodo di *cold treatment* di 14 giorni a T<1,2 °C, è seguito un rialzo termico di 1 °C al giorno fino al raggiungimento della temperatura di conservazione di 8 °C, mantenuta per tutti i restanti giorni di spedizione simulata. Aperto il container, i pallet sono stati trasferiti nella cella frigorifera dell'azienda e mantenuti ad 8 °C per altri 15 giorni (*shelf-life*), per un totale di 45 giorni.

Valutazione qualitativa

Per verificare il corretto funzionamento dei parametri impostati e la loro influenza sulla qualità dei frutti, sono stati ispezionati i pallet posizionati nella parte anteriore, centrale e posteriore del container. I parametri rilevati in pre-trattamento e a fine prova su campioni di 30 frutti per pallet, prelevati dai livelli 3, 6, 9 (dal basso verso l'alto) sono stati: colore dell'epicarpo e della polpa nelle sue componenti L*, a* e b*; acidità (% di acido citrico anidro); solidi solubili totali (°Brix); consistenza in kg (puntale da 8 mm); deformazione residua (mm) (3 kg per 30 s); calo peso (15 frutti per stratificazione) (Mitcham *et al.*, 1996). Dopo 15 giorni di conservazione a 8 °C (*shelf-life*), sui frutti presenti nei contenitori delle tre stratificazioni individuate, è stata valutata l'incidenza dei frutti affetti da micopatie da agenti primari (*Penicillium digitatum* ed *italicum*) e secondari (*Alternaria, Botrytis, Phytophthora, Phomopsis, Diplodia,* etc.), l'entità del danno da freddo e della necrosi peripeduncolare.

Risultati e discussione

Prerefrigerazione ad aria su singola pedana

In figura 1 è riportato il grafico delle curve medie ($-\log(T-T_{aria}) / (T_0-T_{aria})$ *vs* tempo) relative alla prerefrigerazione su singola pedana: la pendenza delle curve è proporzionale al coefficiente di scambio termi-

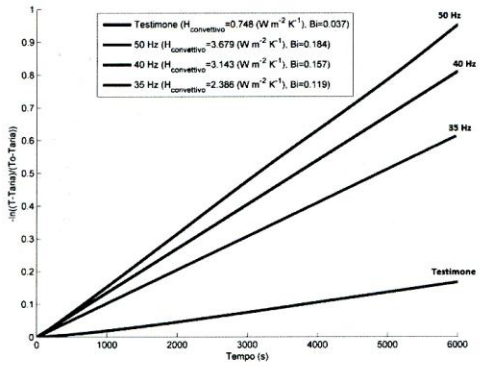

Fig. 1 - Curve medie ($-\log(T-T_{aria})/(T_0-T_{aria})$ *vs* tempo) per le prove di prerefrigerazione su singola pedana, con frequenza inverter regolata a 35, 40, 50Hz ed il testimone prerefrigerato in condizioni normali.

Fig. 1 - Average curves ($-log(T-T_{air})/(T_0-T_{air})$ vs time) of pre-cooling tests on a single pallet with the inverter frequency set at 35, 40 and 50Hz and the reference pallet pre-cooled under normal conditions.

co convettivo medio "*h*", essendo lo scambio termico esclusivamente regolato dalla convezione, le curve sono delle rette riferite alle diverse tesi sperimentali.

Dai dati si evince che con frequenza massima dell'inverter pari a 50Hz lo scambio termico aumenta di 5 volte (h= 3,679 $Wm^{-2}K^{-1}$) rispetto al testimone che presenta il più basso valore del coefficiente (h= 0,748 $Wm^{-2}K^{-1}$). Nelle prove effettuate con il prerefrigeratore si ottiene un incremento nella velocità di raffreddamento dei frutti, in relazione alla velocità dell'aria e al livello di depressione attraverso la pedana: passando da una velocità dell'aria da 0,5 a 1m/s ed un livello di depressione da 20 a 70 mmH_2O si ha una diminuzione del tempo di raffreddamento del 57%.

Per la relazione tra velocità di raffreddamento e posizione dei frutti nella pedana si osserva che nello strato inferiore della pedana (L1), così come nei due strati superiori (L7 ed L9), la velocità di raffreddamento è significativamente più bassa. La tendenza ad un raffreddamento più lento è dovuta sia all'esistenza di percorsi d'aria preferenziali sia all'intimo contatto tra bocca di aspirazione dell'aria del prerefrigeratore e pedana che contribuiscono a differenziare il raffreddamento dei frutti, privilegiando gli strati intermedi della pedana (L3, L5) rispetto agli strati estremi.

Cold treatment

Dai dati delle sonde collocate nello spazio di testa del container si evince che le temperature medie tra le sonde presentano una differenza inferiore a 0,5 °C a dimostrazione di una omogenea circolazione dell'aria nell'interno del container e attraverso il prodotto. I picchi osservati nel grafico si ripropongono ciclicamente ogni 25 ore, per una durata di 30 minuti, essi rappresentano gli innalzamenti di temperatura dovuti all'entrata in funzione del sistema temporizzato di sbrinamento elettrico; questo sistema, operando a un'elevata temperatura, porta il livello termico dell'aria a oltre 10 °C in prossimità dell'aerorefrigerante, con conseguente riscaldamento anche del prodotto più vicino. Tale fenomeno risulta progressivamente attenuato all'aumentare della distanza dall'aerorefrigerante. Un andamento simile è stato osservato per le sonde di temperatura collocate nei canali del pavimento grigliato del container a distanza crescente rispetto all'aerorefrigerante. In particolare, la temperatura media è risultata compresa nel range ±0,5 °C nelle diverse posizioni di misura, mentre i valori minimi misurati sono stati sensibilmente inferiori a 0 °C, con punte fino a -0,8 °C in fase di avviamento degli aerorefrigeranti. Tale livello termico minimo raggiunto dall'aria, anche se per pochi minuti, può apparire pericoloso in considerazione del livello di temperatura a cui le arance cominciano a manifestare sintomi di danno da freddo (-1 °C).

Dal confronto tra le temperature medie raggiunte nelle due pedane centrali (pallet 10 con contenitori innovativi e pallet 11) (fig.2), non si osservano differenze significative tra i frutti posizionati nelle due tipologie di contenitori; sul pavimento e nello spazio di testa si possono osservare delle differenze soltanto in corrispondenza dei cicli on/off del sistema di sbrinamento dell'aerorefrigerante del container, che influenza la temperatura dello spazio di testa (picchi più elevati). Allo stesso tempo va considerato che tale differenza si limita a valori inferiori a 1 °C (fig. 2).

Valutazione qualitativa

Dai risultati della valutazione dei parametri reologici e chimico-fisici non è emersa alcuna variazione

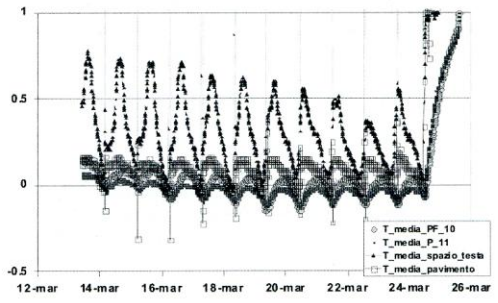

Fig. 2 - Temperature medie registrate durante la sperimentazione in quattro punti differenti all'interno del container: spazio di testa, pavimento, pallet con contenitori innovativi forati e pallet classico.

Fig. 2 - Average temperatures recorded during the test in 4 different points into container: head space, floor, pallet with innovative boxes and pallet with standard boxes.

significativa tra i campioni valutati ad inizio e fine prova. I dati sul calo peso hanno mostrato un maggiore calo ponderale nei frutti nei contenitori innovativi (4%), rispetto ai contenitori tradizionali (3%). La valutazione delle mico e fisiopatie (tab.1) ha evidenziato un'elevata incidenza di marcio, con prevalente presenza di *P. italicum,* osservata sia sui frutti conservati in contenitori tradizionali (4%), che su quelli conservati in quelli innovativi (5%). Riguardo alla necrosi peripeduncolare, valori più elevati, prossimi o superiori al 2%, sono stati registrati rispettivamente nei frutti dei pallet 10 e 21. L'indice del danno da freddo, mediamente inferiore a 0,20 è risultato nella norma.

Conclusioni

Le prove sperimentali con il prerefrigeratore ad aria mostrano che, operando a 50 Hz, si ottiene un significativo aumento delle prestazioni dell'impianto. Il testimone presenta un valore di *h* molto basso, pari a 0,748 $Wm^{-2}K^{-1}$, mentre a 50Hz lo scambio termico aumenta di circa 5 volte con un valore di *h* pari a 3,679 $Wm^{-2}K^{-1}$. Dalle prove preliminari si osserva che i frutti che occupano lo strato intermedio della pedana (L5) subiscono un abbassamento di temperatura maggiore rispetto agli altri livelli considerati. Tali tempi sono di circa 10 volte più bassi rispetto ai tempi ottenuti per il testimone.

Nel *cold treatment* è opportuno disporre i pallet in modo da massimizzare la circolazione dell'aria ed il trasferimento del calore per un uniforme raffreddamento e avviare prontamente al mercato i frutti appena giunti al porto di destinazione. Riguardo ai container risulta opportuno migliorare lo sbrinamento con un sistema "on demand" o riducendo i tempi a 20 min/24h. L'impiego di contenitori idonei è un aspetto determinante per il successo dell'operazione, anche in considerazione delle diverse modalità di circolazione dell'aria fredda attraverso il carico che vengono attuate durante il trasporto con container.

Tab. 1 - Influenza del preraffreddamento e del *cold treatment* sull'incidenza delle mico e fisiopatie su frutti di arancio Tarocco dopo 15 giorni di conservazione in cella frigorifera a 8°C (45 giorni dall'inizio della prova). Medie in colonne seguite dalla stessa lettera non sono statisticamente significative (test Tukey 5%).
Tab. 1 - Influence of rapid prerefrigeration and cold treatment on decay incidence and chilling injury rating on Tarocco orange after 15 days of cold storage at 8°C (45 days after the beginning of the trial).

Pallet	Incidenza marcio* (%)	Necrosi peripeduncolare* (%)	Indice danno da freddo*
1	4,3a	0,4a	0,10a
10	5,1a	2,1b	0,18a
21	4,3a	2,3b	0,16a

Riassunto

Il presente lavoro riassume i risultati delle attività sperimentali realizzate nell'ambito del progetto MiPAAF "RAVAGRU", ed ha riguardato l'ottimizzazione degli impianti di prerefrigerazione e *cold treatment* dei frutti di agrume destinati all'esportazione. È stato assemblato un prototipo di impianto per la refrigerazione ad aria forzata (in depressione) operante su singola pedana, completamente automatizzato, corredato di un sistema di controllo della temperatura dei frutti. Un secondo sistema di registrazione della temperatura è stato realizzato per il controllo delle condizioni termo igrometriche delle arance all'interno dei container, simulando le condizioni di trasporto cui vanno incontro i frutti durante la spedizione all'estero.

Parole chiave: qualità in postraccolta, *Ceratitis capitata,* automazione degli impianti agroalimentari, controllo della temperatura.

Bibliografia

ALTIERI G., DI RENZO G.C., GENOVESE F., 2007. *Air-cooler defrosting management and performance optimization in fruit and vegetable cold storage rooms.* Proc. of 2007 CIGR Section VI Intern. Symp. on Food And Agricultural Products: Processing and Innovations. Naples, 24-26 September 2007.

AMIRANTE P., COLELLI G., 1994. *Criteri costruttivi degli impianti di frigoconservazione in relazione alle esigenze post-raccolta dei prodotti.* Atti del Convegno "Scelte Varietali e Aspetti Qualitativi della Frigoconservazione", Firenze, Italy, 129-169.

ASWANEY M., 2007. *Forced – Air precooling of fruits and vegetables.* Air conditioning and Refrigeration Journal, 57-62.

DI RENZO G.C., ALTIERI G., GENOVESE F., 2005. *Conservazione dei prodotti agro-alimentari. Ottimizzazione degli aerorefrigeranti.* ZeroSottoZero, 14 (6), 60-66.

DI RENZO G.C., ALTIERI G., LANZA G., GENOVESE F., STRANO M.C., 2007. *Problematiche del settore postraccolta.* Italus Hortus 14 (6): 47-49.

HILL A.R., RIGNEY C.J., SPROUL A.N., 1988. *Cold storage of oranges as a disinfestations treatment against fruit flies* Dacus tryoni *(Froggatt) and* Ceratitis capitata *(Wiedemann).* J. Econ, Entomol. 81 (1): 257-260.

ISMAIL M.A., HATTON T.T., DEZMAN D.J., MILLER W.R., 1986. *In transit cold treatment of Florida grapefruit shipped to Japan in refrigerated van containers: problems and recommendations.* Proc. Fla. State Hort. 99: 117-121.

LANZA G., CALANDRA M., BARBAGALLO S., PORTO M.E., CALVITTI M., D'ANNA R., PEDROTTI C., 2005. *Evaluation of cold treatment against Mediterranean Fruit Fly in "Tarocco" oranges.* Acta Hort. (ISHS) 682: 2141-2146.

LANZA G., STRANO M.C., 2009. *Gestione post-raccolta.* In: Citrus - Trattato di Agrumicoltura, Edagricole: 273-288.

MITCHAM B., CANTWELL M., KADER A., 1996. *Methods for determining quality of fresh commodities.* Perishables Handling Newsletter, 85: 1-5.

PEREIRA DA SILVA W., CLEIDE M. D., 2010. *Calculation of the convective heat transfer coefficient and cooling kinetics of an individual fig fruit.* Heat Mass Transfer, 46: 371-380.