

Principi di fisiologia postraccolta

Una volta che il fiore viene raccolto, perde la continuità con la pianta madre; ciononostante i suoi processi metabolici continuano e con il tempo subiscono profonde alterazioni fisiologiche. Questo squilibrio conduce a una rapida senescenza che si conclude con la morte del fiore. I tipi di intervento per aumentare la longevità postraccolta si basano sull'adozione di soluzioni tecnologiche inerenti l'ambiente di conservazione, oppure sull'utilizzo di prodotti chimici che interagiscano con i processi fisiologici rallentandone il normale decorso.

Dopo la raccolta, i fattori che influenzano la durata sono essenzialmente di tipo ambientale e biologico: temperatura, umidità, luce, etilene e qualità dell'acqua (Paull, 1999).

Temperatura e respirazione

La temperatura è il fattore più importante in un ambiente di conservazione e deve essere la più bassa possibile senza danneggiare i fiori. L'utilizzazione delle basse temperature come mezzo per la conservazione è nata praticamente con l'industria floricola. L'optimum per molti fiori recisi è solitamente intorno a zero gradi (Figg. 2 e 3) e tale temperatura dovrebbe essere garantita per tutta la catena di distribuzione (Dodge *et al.*, 1998); esistono alcuni fiori di origine tropicale come *Anthurium*, *Heliconia*, *Strelitzia* e molte orchidee il cui range di conservazione deve essere compreso tra 7 e 13°C per evitare danni da freddo. Le basse temperature agiscono sul metabolismo dei fiori recisi riducendo le attività biologiche, in particolare la respirazione, ed estendono così la longevità postraccolta (Côme, 1991; Reid, 1991).

Tab. 1 - Temperature ottimali e durata massima della conservazione		
<i>Fiore reciso</i>	<i>Temperatura ideale (°C)</i>	<i>Durata massima</i>
Alstroemeria	4	3-4 giorni
Anemone	4-7	2 giorni
Anthurium	13	2-4 settimane
Aster	0-4	1-3 settimane
Bouvardia	0-2	1 settimana
Buddleia	4	1-2 giorni
Calendula	4	3-6 giorni
Calla	4	1 settimana
Camelia	7	3-6 giorni
Crocus	1-2	1-2 settimane
Dalia	4	3-5 giorni
Delphinium	4	1-2 giorni
Freesia	0-1	10-14 giorni
Strelizia	7-8	1-3 settimane



Fig. 2 - Effetto della temperatura di conservazione sulla durata posttraccolta delle gerbere



Fig. 3 - Effetti sulla conservazione delle rose alle temperature di 0, 2,5, 5, 7,5, 10, 12,5°C per una settimana (da sinistra verso destra)

La respirazione è un processo attraverso il quale le cellule utilizzano il materiale di riserva per produrre energia sotto forma di adenosintrifosfato (ATP), anidride carbonica (CO_2) e acqua. L'utilizzazione delle riserve ha inizio con l'idrolisi dell'amido e la formazione di glucosio che, opportunamente fosforilato, entra nel processo di glicolisi. Al termine della glicolisi viene prodotto il piruvato che si lega al coenzima A con la liberazione di CO_2 la quale, entrando nel ciclo di Krebs, conduce alla formazione di ATP (Fig. 4). La temperatura gioca un ruolo fondamentale nella regolazione del processo respiratorio. Quanto più elevata è la respirazione, tanto è più veloce il processo di senescenza. L'aumento della temperatura di 10°C induce un aumento dell'attività respiratoria e un'accelerazione del processo d'invecchiamento di circa 2-3 volte (Seymour e Schultze-Motel, 1998). Risulta evidente che l'utilizzo del materiale di riserva durante il processo di respirazione determina un correlato calo di biomassa nei fiori e nel fogliame reciso. Tale calo è stato dimostrato crescere all'aumentare della temperatura. Nelle fronde recise il calo di peso ha un riscontro direttamente visibile in termini economici in quanto la loro commercializzazione è basata proprio su questo parametro. La conoscenza del meccanismo biologico di regolazione della temperatura nel processo di respirazione fornisce gli spunti per interventi migliorativi in tal senso. Abbassando la temperatura oppure modificando l'ambiente di conservazione mediante l'aumento dell'anidride carbonica e/o la riduzione dell'ossigeno (atmosfera controllata), è possibile ridurre il processo respiratorio agendo da un lato su un meccanismo d'inibizione a feed-back della

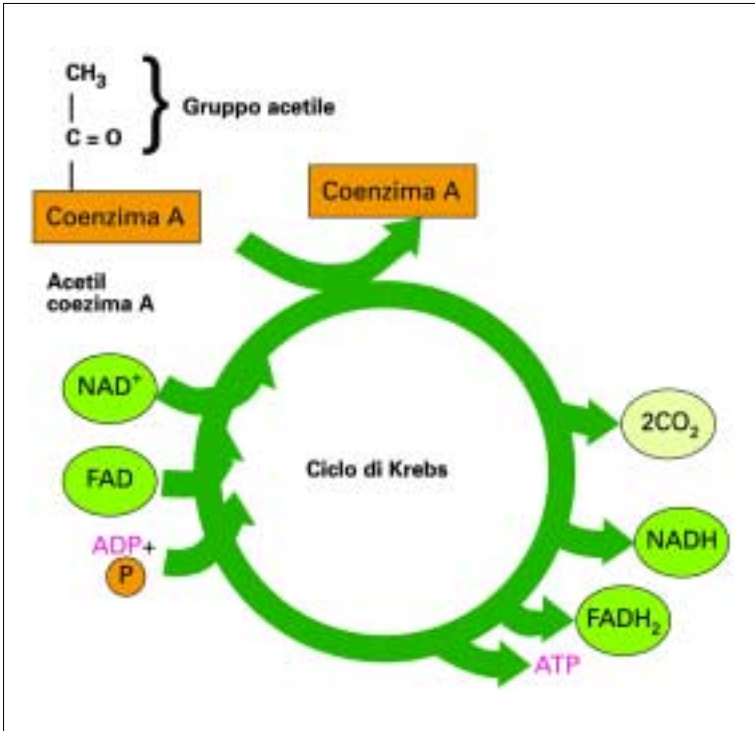


Fig. 4 - Ciclo dell'acido citrico o di Krebs

respirazione e dall'altro inibendo a livello di citocromo-ossidasi la catena di trasporto elettronico nella membrana mitocondriale. Il tasso di respirazione nei fiori recisi è molto alto e aumenta esponenzialmente con la temperatura (Tab. 2) con valori di Q_{10} che variano da 1,5 a 7. Cultivar della stessa specie possono avere tassi respiratori diversi e quindi rispondere in modo diverso alla temperatura.

Umidità relativa e bilancio idrico

L'ambiente di conservazione, agendo direttamente sul bilancio idrico (differenza tra il tasso di assorbimento idrico e il tasso di traspirazione), gioca un ruolo fondamentale nella durata dei fiori recisi. In natura è ben noto che le piante regolano la traspirazione in funzione dell'ambiente in cui si trovano per evitare le perdite di

Tab. 2 - Valori di Q_{10} , tassi di respirazione ($\text{ml CO}_2 \text{ kg}^{-1}, \text{h}^{-1}$) ed equazioni di correlazione tra respirazione (R) e temperatura di conservazione (T_c) di fiori recisi selezionati e cultivar

<i>Fiori & cultivar</i>	Q_{10} 0-10°C	Q_{10} 10-20°C	T 10°C	R/T_c equazione	r^2
Anemone Mona Lisa	3,08	2,45	85,82	$r = 28,137e^{0,110t}$	0,999
Aster Matsumoto	3,16	2,90	61,72	$r = 19,613e^{0,114t}$	0,999
Calla Lily	2,95	2,21	33,06	$r = 12,105e^{0,093t}$	0,991
Garofano Imperial White	3,10	2,66	70,45	$r = 22,733e^{0,109t}$	0,997
Garofano Ruri	4,46	2,78	76,42	$r = 19,433e^{0,127t}$	0,987
Garofano White Sim	2,05	2,56	52,86	$r = 25,369e^{0,082t}$	0,993
Narciso King Alfred	6,76	2,97	79,73	$r = 14,302e^{0,173t}$	0,973
Gerbera	2,94	2,88	66,00	$r = 22,144e^{0,110t}$	0,997
Iris Madonna	3,22	3,28	53,47	$r = 17,758e^{0,112t}$	0,991
Iris Telstar	3,37	2,76	43,91	$r = 14,257e^{0,110t}$	0,994
Killian Daisy	2,97	2,30	45,61	$r = 15,63e^{0,109t}$	0,999
Lisianto	3,67	3,44	35,43	$r = 10,521e^{0,124t}$	0,993
Jonquil Geranium	3,86	2,85	91,92	$r = 25,061e^{0,130t}$	0,995
Narcissus Paperwhite	3,48	2,61	77,18	$r = 22,221e^{0,125t}$	0,999
Ranuncolo	3,13	2,24	124,27	$r = 43,395e^{0,095t}$	0,989
Rosa Ambiance	4,13	3,85	57,84	$r = 14,262e^{0,138t}$	0,997
Rosa Cara Mia	5,74	3,17	70,52	$r = 12,912e^{0,149t}$	0,987
Rosa Fire and Ice	5,35	3,05	81,95	$r = 17,154e^{0,141t}$	0,987
Rosa First Red	5,67	3,00	56,84	$r = 9,3104e^{0,161t}$	0,964
Rosa Kardinal	4,11	2,71	78,88	$r = 21,115e^{0,121t}$	0,990
Rosa Preference	4,82	4,76	31,11	$r = 6,0271e^{0,161t}$	0,979
Rosa Raphaella	2,40	1,54	67,51	$r = 27,253e^{0,089t}$	0,995
Rosa Tineke	2,39	2,78	38,42	$r = 14,726e^{0,097t}$	0,991
Bocca di leone	2,65	2,53	110,81	$r = 39,802e^{0,11t}$	0,995
Stalice	2,87	4,77	34,21	$r = 10,587e^{0,132t}$	0,988
Tulipano	3,32	2,98	94,73	$r = 28,975e^{0,117t}$	0,999

Q_{10} è il coefficiente che correla l'aumento logaritmico della respirazione all'aumentare della temperatura.

acqua. Analogamente avviene anche negli organi recisi (fiori e fronde), che cercano di mantenere in equilibrio il bilancio idrico per evitare l'appassimento. Un bilancio idrico pari a zero indica che la quantità di acqua assorbita equivale a quella traspirata, mentre un valore negativo è indice di un tasso di traspirazione superiore

all'assorbimento di acqua e ciò porta a un inevitabile appassimento e alla morte dei fiori e delle fronde recise.

La capacità di un fiore reciso di assorbire acqua (assorbimento idrico) dipende dall'insieme dei fattori che regolano la traspirazione, la temperatura e la composizione della soluzione di conservazione.

La traspirazione delle fronde diminuisce durante la vita postraccolta, rimanendo in ogni caso superiore all'assorbimento idrico. Ciò conduce ad uno stress idrico, caratterizzato da un bilancio idrico negativo con abbassamento del potenziale osmotico e chiusura degli stomi. Alcune piante reagiscono a questo fenomeno aumentando la concentrazione dei soluti all'interno delle cellule attraverso un meccanismo chiamato "aggiustamento osmotico" che riduce o arresta la perdita di turgore (van Doorn, 1997). I soluti responsabili di tale fenomeno sono molecole organiche (carboidrati solubili e amminoacidi) e ioni organici e inorganici (Turner e Jones, 1980; Hanson e Hitz, 1982; Morgan, 1984).

L'umidità relativa influisce sulla traspirazione dei fiori, riducendo o favorendo la perdita d'acqua. Un'alta percentuale di umidità relativa significa che l'ambiente è ricco di acqua sotto forma di vapore e ciò riduce la traspirazione e di conseguenza l'appassimento. Pertanto i fiori recisi dovrebbero essere conservati a un'umidità relativa superiore al 95% e a bassa temperatura, intorno a 0-1°C (Paull, 1999). Ciò non implica che in suddette condizioni non si assista all'insorgenza di patogeni fungini come la *Botrytis cinerea*, per cui è consigliabile trattare i fiori con composti antibotritici prima della conservazione.

La temperatura agisce sulla viscosità dell'acqua e quindi sul tasso di assorbimento. Alcuni autori hanno dimostrato che le basse temperature aumentano la longevità dei fiori e delle fronde recise, mentre le alte temperature la riducono. Trattamenti con acqua fredda intorno ai 4°C su fronde recise di felce (*Pteris* spp.) subito dopo la raccolta ne aumentano la longevità (Carow, 1981). Analoghi risultati sono stati riscontrati nelle felci cuoio (*Rumohra adiantiformis*) conservate in acqua a 3°C (Stamps, 1986). Nonostante le ricerche svolte, l'effetto positivo dell'acqua fredda sulla longevità delle fronde recise non è però ancora ben conosciuto.

Su fiori recisi conservati a secco (*dry storage*) è stato osservato un aumento della reidratazione al crescere della temperatura dell'acqua (Holle, 1916), anche se trattamenti con acqua a 40°C hanno mostrato effetti negativi sulla longevità.

Un altro fattore che influisce sull'assorbimento idrico è la composizione ionica dell'acqua utilizzata per la conservazione. Sacalis (1974) osservò che la rimozione degli ioni dall'acqua di rubinetto

migliorava l'assorbimento idrico e ritardava l'appassimento in alcuni fiori recisi di rosa, ipotizzando così che l'effetto negativo dell'acqua fosse imputabile alla presenza di calcio e quindi alla durezza. Secondo Aarts (1957a), invece, concentrazioni di calcio dello 0,1-0,2% aumentavano il flusso idrico, attraverso i segmenti di stelo. Sicuramente nei fiori recisi di rosa l'alcalinità dell'acqua influisce positivamente sulla loro longevità (Crossmann, 1968).

Da un punto di vista meccanico, la riduzione del tasso di assorbimento idrico può essere causata dall'occlusione dei fasci vascolari di conduzione. Tale fenomeno può essere scaturito dalla cicatrizzazione della superficie di taglio sulla quale si forma una sorta di callo. In molti fiori recisi è stato osservato un recupero del potenziale di turgore, quando gli ultimi centimetri di stelo venivano ritagliati sott'acqua. Questo semplice esperimento dimostra che l'occlusione vascolare interessa la parte basale dello stelo, in prossimità della superficie di taglio, o nei primi centimetri, all'interno dei vasi xilematici (Aarts, 1957a).

Le principali cause dell'occlusione dei vasi xilematici possono essere così schematizzate:

1. penetrazione di aria nei vasi di conduzione;
2. formazioni di colonie batteriche e prodotti del loro metabolismo;
3. accumulo di lignina, tannini e gomme all'interno dei fasci vascolari;
4. emissione di essudati dalla superficie di taglio.

In genere la riduzione dell'assorbimento d'acqua è dovuta a un'azione combinata dei fattori sopra elencati, per cui è difficile determinare quale di essi sia predominante.

Formazione di emboli nei fasci vascolari

La teoria della coesione tra le molecole di acqua spiega, oltre che il flusso ascensionale della linfa nelle piante, la presenza di una pressione negativa all'interno dello xilema (Dixon, 1914). Agli inizi del secolo alcuni autori misurarono la pressione nelle cellule, che risultò essere pari a circa -20 MPa (Renner, 1911). L'uso delle emissioni acustiche per lo studio del trasporto idrico negli organi vegetali ha dimostrato che la penetrazione di aria avviene quando la pressione all'interno dei fasci vascolari scende intorno a valori di -3 o -5 MPa (Stocking, 1948; Scholander, *et al.*, 1965).

La penetrazione di aria nei vasi xilematici è chiamata "embolismo" o "cavitazione", a secondo se avviene spontaneamente in natura (cavitazione) oppure durante la raccolta quando, in seguito

al taglio, i vasi xilematici vengono a contatto con l'aria (embolismo). La differenza di pressione tra l'aria presente nei vasi di conduzione e quella atmosferica genera un flusso verso l'interno dei fasci vascolari; l'aria, una volta entrata, blocca il flusso ascensionale, provocando un rapido appassimento della fronda o del fiore reciso. Per evitare che ciò accada i fiori devono essere ritagliati in acqua, prima di essere posti nella soluzione di conservazione.

Lieviti, funghi filamentosi e batteri

Diversi studi hanno dimostrato che le oscillazioni di pH da un ambiente neutro ad uno acido o alcalino giocano un ruolo fondamentale nell'ostacolare lo sviluppo di diverse forme microbiche. I microrganismi contenuti in una soluzione di conservazione sono solitamente in competizione e in equilibrio dinamico tra loro. Quando il pH della soluzione è mantenuto intorno alla neutralità, lo sviluppo dei lieviti è inibito, mentre è favorita la crescita batterica con la presenza sporadica di qualche fungo filamentoso (*Fig. 5*). Al contrario, quando acidifichiamo la soluzione di conservazione (pH intorno a 3-4), si ha un forte aumento dei lieviti e dei funghi filamentosi mentre la crescita batterica è soppressa. In ambiente alcalino, invece, predomina la presenza di batteri.

Batteri e prodotti del loro metabolismo

I batteri e i loro prodotti di degradazione sono stati indicati come possibili responsabili della riduzione del tasso di assorbimento idrico nei fiori recisi per la prima volta nel 1930 da Arnold. Successivamente, nel 1957, Aarts considerò l'ostruzione batterica come la causa principale del rapido appassimento di alcuni fiori recisi. Il successivo utilizzo di composti antibatterici ha dato conferma alle due precedenti ipotesi, permettendo di incrementare la longevità di alcuni fiori e fronde recise (van Meeteren, 1978; van Doorn *et al.*, 1991).

L'azione degenerativa della carica batterica è dovuta sia alla presenza fisica dei microrganismi nei vasi di conduzione, sia alla produzione di cataboliti, di dimensione inferiore ai batteri ma superiore a quella dei pori di connessione dello xilema, derivanti dal loro metabolismo (*Fig. 5*). I danni causati sono soprattutto a carico delle pareti cellulari del vaso, le quali sono degradate dagli enzimi cellulolitici e pectinolitici di origine microbica (Burdett, 1970). I fasci vascolari perdono la loro funzionalità e i prodotti derivanti dalla loro degradazione accentuano ancora di più l'occlusione dei vasi.

Il percorso di occlusione dei vasi da parte dei batteri inizia nella parte basale dello stelo dove è stata trovata la loro massima pre-

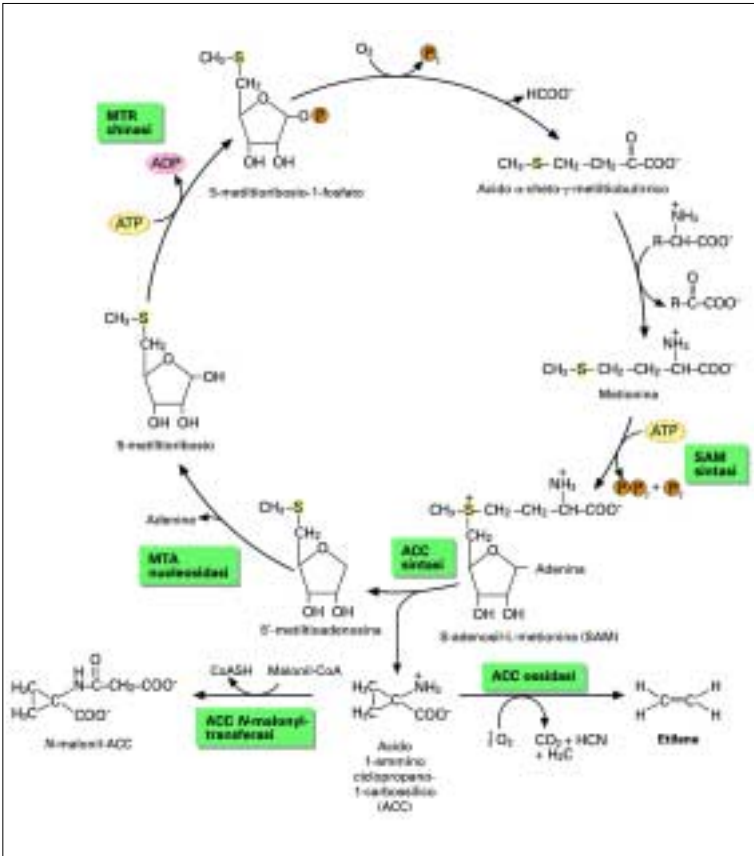


Fig. 5 - Via di biosintesi dell'etilene

senza. Generalmente, l'occlusione batterica si manifesta quando le UFC (unità formanti colonie) sono circa 10^6 per grammo di peso fresco (van Doorn, 1997).

Nello stelo di fronde recise di felce (*Adiantum raddianum*) è stato trovato in correlazione con l'occlusione dei fasci vascolari (van Doorn *et al.*, 1991) un alto numero di UFC. Tuttavia, questa relazione non è valida per tutte le specie di fronde e fiori recisi. Infatti, prove sperimentali svolte su fiori di garofano posti in condizioni sterili e non, hanno mostrato la stessa longevità del controllo (van Doorn *et al.*, 1991), suggerendo che in questo caso la causa principale dell'appassimento non era la carica batterica.

I batteri ritrovati nei vasi legnosi di conduzione risultano essere gli stessi che si trovano nello strato superficiale del terreno (Put e Klop, 1990). Questo significa che la contaminazione della soluzione di conservazione è provocata dai batteri presenti sullo stelo dei fiori che, una volta in acqua, si moltiplicano fino a causare il blocco vascolare. Occorre quindi prestare molta attenzione durante la fase di raccolta, utilizzando utensili puliti e cercando di eliminare l'eventuale terra dall'epidermide del ramo o dello stelo.

Alterazioni interne dei fasci vascolari

Il taglio effettuato in seguito alla raccolta dei fiori genera un complesso di reazioni che inducono, oltre alla sintesi dell'etilene, anche l'attivazione e la sintesi di perossidasi, fenilalaninammonio liasi, enzimi coinvolti nella sintesi della lignina e di altre sostanze che compongono la parete cellulare (Yang e Pratt, 1978). L'azione di questi enzimi conduce alla formazione di tannini, gomme, mucillagine e lignina che, accumulandosi all'interno dei vasi xilematici, riducono l'assorbimento idrico (Durkin, 1967). La presenza di queste sostanze nei vasi xilematici è stata studiata per la prima volta in piante australiane (Chattaway, 1948); in alcune piante appartenenti alla famiglia delle *Asteraceae*, *Malvaceae*, *Mimosaceae*, *Proteaceae* e *Rutaceae* le emissioni gommose sono risultate la principale causa dell'occlusione vascolare.

Queste gomme trovate all'interno dei vasi xilematici sono composte da acido galatturonico associato con zuccheri esosi e pentosi, come il galattosio, mannosio, arabinosio, xilosio e ramnosio (Brown *et al.*, 1948; Hough e Pridham, 1959; Jones, 1939, 1950).

Emissione di essudati dalla superficie di taglio

La superficie di taglio è costituita da cellule lesionate che hanno perso la loro continuità e liberano quindi enzimi e sostanze organiche nella soluzione di conservazione. Queste sostanze sono molto diverse e difficilmente raggruppabili per la presenza di numerose forme intermedie. Generalmente si tratta di gomme e mucillagini le quali, insieme a una miscela di polisaccaridi, sono state ritrovate sulla superficie di taglio di alcune fronde recise appartenenti alla famiglia delle *Lauraceae* e *Magnifoliaceae* (de Bary, 1877).

Le molecole organiche liberate dalle fronde spesso rappresentano substrato alimentare per lo sviluppo dei batteri, quindi è buona norma prestare la massima attenzione dal punto di vista sanitario.