



DIFESA DALLE GELATE PRIMAVERILI

NOTE TECNICHE 2026



INDICE

Tipologie di gelate tardive	2
Inquadramento e andamento dei fenomeni in Emilia-Romagna, distribuzione ed intensità	4
I mezzi di avvertimento del rischio di gelata	5
Cambiamenti climatici e risposta fisiologica delle piante da frutto	7
Strategie di prevenzione delle gelate in agricoltura	8
Mezzi di difesa ad acqua	9
Il problema della disponibilità di acqua	15
Metodi di difesa ad aria, termici ed energetici	16
Strategie integrate di difesa antibrina	24
Note di sintesi	26

TIPOLOGIE DI GELATE TARDIVE

In generale il termine “gelata” indica l’abbassamento delle temperature (°C, gradi centigradi) al di sotto dello zero che comporta il passaggio dell’acqua allo stato solido. Con l’espressione “gelata tardiva” si intende una gelata che si verifica nei mesi primaverili, quando le colture frutticole sono in risveglio vegetativo e si trovano in fasi fenologiche delicate (**si veda nota di sintesi n.3 in appendice**) caratterizzate dalla presenza di tessuti vegetali idratati. Il congelamento dell’acqua all’interno di tali tessuti li danneggia causando perdite di resa, come meglio descritto nella sezione “Cambiamenti climatici e risposta fisiologica delle piante”.

GELATA PER IRRAGGIAMENTO

L’abbassamento termico è dovuto alla perdita di calore per **“irraggiamento”**, cioè per **perdita di energia** sotto forma di **radiazione ad onda lunga**. Tale processo si verifica nelle **ore notturne** ogni volta che le condizioni siano favorevoli, ma raffreddamenti critici per le colture avvengono solitamente dopo **un’avezzione fredda** che si è verificata nei **giorni precedenti** (si veda dopo). Il raffreddamento radiativo avviene quando la fase avvettiva si interrompe e si instaurano condizioni di **stabilità atmosferica**, con **scarsa ventosità, umidità molto bassa** e cielo **sereno**. Il terreno perde calore in superficie per irraggiamento ed abbassa la sua temperatura; gli strati di terreno e l’aria che si trovano a contatto con la superficie, ad una temperatura maggiore rispetto a quest’ultima, cedono a loro volta calore e si raffreddano. Questo processo si propaga negli strati superficiali del terreno e dell’aria via via più lontani dalla superficie. La perdita di calore per irraggiamento può essere **limitata** da **alti valori di umidità dell’aria**, in condizioni di **cielo coperto e di ventilazione**. La temperatura **minima** si raggiunge di solito in prossimità dell’**alba** ed è tanto più bassa quanto minori sono la temperatura e l’umidità al tramonto e l’assenza di vento nel corso della notte. Il profilo di temperatura nelle ore più fredde è caratterizzato da **inversione termica**, con temperature minime registrate in prossimità del suolo e **temperature che aumentano con la quota**, anche in modo consistente (5 – 6 °C in pochi metri). Questa situazione meteorologica determina i danni tipicamente osservati nei frutteti: la parte inferiore delle piante risulta priva di frutti, i danni si presentano consistenti anche nella zona compresa tra 2 e 3 metri di altezza, mentre la parte più alta delle chiome appare perfettamente fruttificata; nei fondovalle e nelle aree di pianura topograficamente più basse, la perdita di frutti può interessare anche la parte più alta della chioma anche nella gelata per irraggiamento. La gelata radiativa ha una **forte variabilità spaziale** e la sua intensità è legata alle **caratteristiche topografiche e radiative del territorio**.

GELATA PER AVVEZZIONE

Le gelate avvettive si verificano quando movimenti di masse d’aria molto fredda (d’origine polare o continentale) si spostano in maniera veloce e repentina verso le medie latitudini. L’arrivo improvviso di un fronte freddo provoca un **abbassamento** drastico delle temperature che può superare anche i **10 °C** in poche ore. Questa tipologia di gelata si manifesta attraverso episodi generalmente estesi su larga scala, caratterizzati da **venti forti e bassa umidità relativa**. Questo tipo di gelata è particolarmente difficile da gestire poiché la quantità di energia necessaria per riportare le temperature sopra lo zero sarebbe enorme e pertanto la difesa da questo tipo di gelata è difficile. Le gelate per avvezione sono caratterizzate da bassa variabilità spaziale, essendo più legate a dinamiche atmosferiche di larga scala e poco influenzate dalle caratteristiche locali.

GELATA MISTA

Il termine stesso indica un **mix fra “irraggiamento” (componente principale) e la “avvezione”**, che può essere corrente fredda saltuaria o costante e di diversa intensità. **Situazione più complicata per l’efficacia dei vari sistemi antibrina**, per la maggior complessità e variabilità del fenomeno, anche all’interno del medesimo appezzamento coltivato.

GELATA PER EVAPORAZIONE

La gelata per evaporazione è un fenomeno di raffreddamento che si verifica in presenza di acqua libera sulla superficie degli organi vegetali, derivante da precipitazioni, rugiada, nebbia o interventi di irrigazione soprachioma. **Il passaggio di fase dell’acqua dallo stato liquido a quello di vapore** comporta la sottrazione di calore latente dalle superfici vegetali e dall’aria immediatamente circostante, determinando un abbassamento della temperatura dei tessuti. In condizioni di **aria secca** e di **ventilazione**, anche debole o moderata, il processo evaporativo risulta più intenso e può causare il raggiungimento di temperature inferiori a 0 °C a livello della vegetazione, anche quando la temperatura dell’aria è prossima o lievemente superiore allo zero.

La gelata per evaporazione può **manifestarsi in modo autonomo o in concomitanza** con gelate di tipo **radiativo** o **avvettivo**, contribuendo ad amplificarne gli effetti dannosi. Il fenomeno è particolarmente insidioso in quanto può verificarsi in assenza di formazione di brina visibile e determinare danni significativi alle colture, soprattutto nelle fasi fenologiche più sensibili.

INQUADRAMENTO E ANDAMENTO DEI FENOMENI IN EMILIA-ROMAGNA, DISTRIBUZIONE ED INTENSITÀ

Negli ultimi 60 anni, i dati rilevati da ARPAE mostrano tendenze in aumento di temperature ed eventi meteorologici estremi:

- **Analisi climatica storica:** i due segnali climatici riguardanti le temperature sono: un **aumento** evidente e generalizzato nei **valori medi** e un **aumento della variabilità**, sia estreme nei valori alti sia in quelli bassi. Confrontando il primo trentennio (1961-1990) con il secondo (1991-2020), in inverno si registra almeno **1°C di differenza nelle temperature medie tra i due periodi**, ad indicare una tendenza verso l'anticipo del risveglio vegetativo. Per quanto riguarda le temperature minime, l'analisi dei mesi in cui si verificano le gelate tardive, cioè **marzo e aprile**, si nota un **aumento della variabilità**, con una maggiore frequenza di episodi di gelate in alcune decadi. Secondo Meteo Center, questa tendenza all'aumento delle temperature negli ultimi trent'anni si osserva non solo in Italia, ma anche all'estero. Negli ultimi anni si sono inoltre registrati **record di temperature minime nel mese di aprile**: aprile 1997, aprile 2003 e 2020. Una possibile causa è il comportamento del vortice polare: nel periodo invernale, il vortice stratosferico è più profondo del normale, mentre **stratosfera e troposfera si comportano in modo opposto – quando una si raffredda, l'altra si riscalda**. Il raffreddamento del vortice stratosferico rimane concentrato sui vertici polari durante l'inverno, ma in primavera tende a frammentarsi. Di conseguenza, i lobi di aria fredda possono scendere verso latitudini più meridionali. Questo fenomeno, insieme all'aumentata variabilità, può spiegare l'incremento delle ondate di freddo primaverili: eventi più rari, ma più intensi, legati a variazioni della circolazione generale dell'atmosfera.

I MEZZI DI AVVERTIMENTO DEL RISCHIO GELATA

1. Il servizio di previsione di rischio di gelata e l'avvertimento alert

➤ ARPAE Emilia-Romagna ha sviluppato, da circa dieci anni, un **modello** specifico per la **previsione del rischio di gelata**, basato sull'andamento tipico del raffreddamento notturno in caso di gelata radiativa. In queste condizioni, la diminuzione della temperatura dipende fortemente dalla temperatura dell'aria e dall'umidità relativa al tramonto, che diversi studi indicano come le variabili principali che influenzano il raffreddamento notturno. Il modello utilizzato è di tipo puntuale e non distribuito su vasta area e viene applicato attualmente a circa una trentina di località, in corrispondenza di stazioni termo-igrometriche. **Il servizio di previsione è accessibile direttamente alla seguente pagina:** <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/meteo/previsioni-meteo/previsioni-agrometeo/previsioni-gelate-tardive>

➤ Appena disponibili i **dati rilevati al tramonto**, il modello determina il **raffreddamento potenziale dell'aria** per la notte successiva, e queste informazioni vengono poi aggiornate sul sito, in termini di dati orari previsti fino all'alba. Durante la notte vengono inseriti anche i dati orari osservati per confronto. La **previsione è a breve termine** e fornisce anche un **intervallo di incertezza**, permettendo all'agricoltore di valutare la probabilità che la temperatura scenda sotto lo zero. Va sottolineato che il modello considera soltanto il raffreddamento potenziale, senza tenere conto di fattori come la ventilazione, che può rimescolare gli strati d'aria e mitigare gli effetti della gelata. In sostanza, il modello adotta un approccio cautelativo, e fornisce pertanto la peggiore ipotesi

➤ Per una valutazione del rischio di gelata con un anticipo di alcuni giorni, basata sulle condizioni sinottiche previste, **ARPAE invia avvisi tramite e-mail**, consentendo agli agricoltori di programmare eventuali interventi di difesa preventiva. **L'iscrizione** può essere fatta contattando il **seguente recapito** di posta elettronica: serviziigelate@arpae.it



Fig. 1. Stazione meteo aziendale

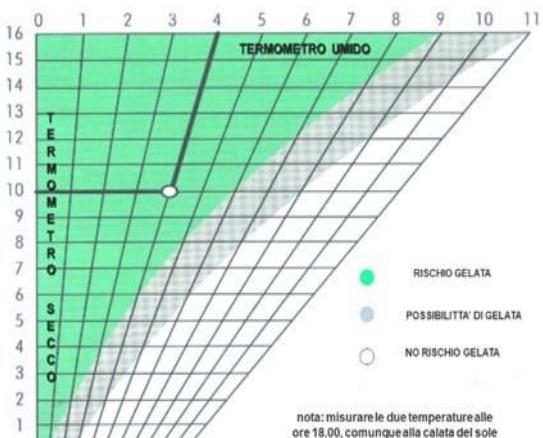


Fig. 2. Diagramma previsione gelata

2. Verifica tramite strumenti in campo

Il metodo più collaudato di previsione è quello della verifica della differenza dell'andamento delle temperature, fra un **termometro normale** (bulbo asciutto) e un **termometro a bulbo bagnato** (tenuto inumidito con acqua) (Figura 3).

Le **temperature** vanno misurate nel frutteto soggetto a difesa antibrina, a partire dal **crepuscolo** (ore 18:00 circa, ora solare) e per le ore successive. i **termometri vanno posti a circa 50-60 cm dal suolo**.



Fig. 3. Termometro a bulbo umido

Se la **differenza di valore fra i due termometri aumenta, in poche ore**, di diversi gradi centigradi, significa che **l'aria sta rapidamente perdendo umidità** e con cielo sereno e assenza di vento, aumenta la probabilità di abbassamento termico sotto gli zero gradi centigradi, soprattutto al mattino successivo. **Conclusione: occorre attivarsi per l'avvio della difesa antibrina, in relazione al sistema impiegato, già dalla tarda serata.**

Sono ovviamente impiegabili anche strumenti (termometri) derivati, come nodo da stazioni meteo aziendali e che saranno principalmente “sensori termometrici asciutti”. Meglio ancora se dotati di “sensori termometri bagnati”, alcuni presenti in commercio.

CAMBIAMENTI CLIMATICI E RISPOSTA FISIOLOGICA DELLE PIANTE DA FRUTTO

Negli ultimi inverni si stanno osservando regimi termici, con temperature comprese tra lo 0°C e 11-12°C. In questo intervallo, tutti i modelli più accreditati per il calcolo del fabbisogno in freddo indicano che ogni giorno contribuisce con 24 ore al monte ore necessario per soddisfarlo. Paradossalmente, il problema nasce proprio da queste temperature, perché valori più alti o più bassi annullerebbero il fabbisogno. Per una varietà classica di nectarina come la "Big Top", che richiede un **fabbisogno medio** di circa 600-650 ore in freddo, bastano 30 giorni per raggiungere questo parametro, che quindi risulta **soddisfatto già a metà gennaio**. Da quel momento, la endo-dormienza diventa **eco-dormienza: le gemme e le radici iniziano a rispondere alle temperature**. Se febbraio è mite, la ripresa vegetativa si anticipa notevolmente. Nel 2020, al 15 febbraio, susini cino-giapponesi e peschi erano già completamente fioriti, con fioriture sovrapposte. Questo dimostra che i vecchi calendari di fioritura, che indicavano date precise per susino cino-giapponese, albicocco, pesco ecc., non sono più affidabili.

Con il progredire dello sviluppo vegetativo aumenta anche l'idratazione dei tessuti, rendendoli più vulnerabili. Così, temperature non eccessivamente rigide possono provocare danni: la formazione di cristalli di ghiaccio lacera le membrane cellulari, compromettendo la funzione filtrante e quindi la funzionalità della cellula, del tessuto e dell'organo. Di conseguenza, più si avanza nella stagione, maggiore è la sensibilità anche a temperature relativamente miti. Gelate verificatesi, ad esempio, il 6 aprile o il 26 aprile negli anni passati, dimostrano come anche a fine aprile temperature leggermente sottozero possano risultare letali, considerando che l'acqua nei tessuti rappresenta circa l'85% del peso.

Infine, il tipo di gelata è un fattore cruciale per la difesa: la strategia deve basarsi sulle gelate più frequenti. Ad esempio, -8°C a inizio aprile indica l'arrivo di fronti freddi o cunei freddi, rispetto ai quali i sistemi di protezione basati sull'inversione termica risultano inefficaci.

Il danno da gelo si manifesta a livello microscopico, coinvolgendo l'acqua contenuta all'interno delle cellule delle piante e trasformandola in cristalli di ghiaccio. Quando la temperatura scende sotto lo zero, **l'acqua extracellulare subisce una transizione di fase**, cambiando il suo stato da liquido a solido (ghiaccio).

Il processo di congelamento a livello di parete (apoplastico) genera un gradiente osmotico che richiama l'acqua dal simplasto (citoplasma), il che porta ad una **disidratazione cellulare e collasso delle membrane** (plasmolisi) (Levitt, 1980). Se invece il fenomeno gelivo si manifesta in maniera più intensa e rapida, i cristalli di ghiaccio possono formarsi direttamente all'interno del citoplasma, in cui però la concentrazione di soluti è maggiore, determinando quindi un punto di congelamento tendenzialmente inferiore rispetto all'apoplasto. **L'esatta temperatura di congelamento della cellula è dettata quindi dal suo grado di idratazione (contenuto di soluti) e può avere tendenzialmente una soglia critica di -4 / -7 °C.**

Le basse temperature possono provocare nelle piante da frutto risposte fisiologiche e metaboliche, che possono determinare la sopravvivenza o la morte dei tessuti colpiti. Uno dei meccanismi più nocivi è **il raffreddamento della membrana citoplasmatica**, che ne causa una **diminuzione della fluidità**, con perdita di funzionalità che scatena un effetto a cascata sul metabolismo cellulare. Un altro fenomeno coinvolto è la respirazione cellulare, che durante gli eventi gelivi è fortemente alterata, diventando inefficiente e causando un **accumulo** di specie reattive dell'ossigeno (**ROS**) all'interno dei tessuti. Queste, essendo forti ossidanti, possono danneggiare le strutture di molecole azotate come lipidi, proteine e nucleotidi, amplificando i danni da gelo (Feng et al., 2025).

SI VEDA IL DOCUMENTO ALLEGATO: "STATO DELL'ARTE GELATE TARDIVE"

STRATEGIE DI PREVENZIONE DELLE GELATE IN AGRICOLTURA

Le **strategie di monitoraggio precoce** sono fondamentali per ridurre l'incertezza e programmare interventi tempestivi. L'uso dei **modelli previsionali**, come quelli messi a disposizione da **ARPAE**, permette di stimare il rischio di gelata con anticipo. Questi modelli si basano sull'analisi del raffreddamento notturno e integrano dati aggiornati fino al tramonto, fornendo non solo la **probabilità di gelata ma anche un'indicazione del margine di incertezza**. Ciò consente agli agricoltori di pianificare interventi mirati, come l'irrigazione preventiva, la copertura delle colture o l'attivazione di sistemi antigelo.

Un complemento pratico alle previsioni modellistiche è il **monitoraggio diretto in campo**. Il confronto tra termometro a bulbo asciutto e termometro a bulbo umido consente di valutare la rapidità di perdita di umidità atmosferica, un parametro che anticipa i crolli termici nelle ore successive al tramonto. Questa misura semplice ma efficace aiuta a identificare le aree più vulnerabili all'interno dello stesso appezzamento e a ottimizzare l'uso di mezzi di protezione attiva.

La struttura e lo stato del suolo svolgono un ruolo cruciale nel mitigare l'intensità delle gelate. La **capacità termica della superficie** condiziona infatti la velocità e l'entità del raffreddamento notturno. Suoli non inerbarati e ben strutturati, con una buona tessitura e una presenza equilibrata di sostanza organica, accumulano e rilasciano più calore rispetto a terreni recentemente lavorati o compattati, contribuendo a ridurre l'entità del calo termico. Allo stesso modo, un terreno umido trattiene maggiore energia termica rispetto a uno asciutto, grazie alla maggiore capacità di accumulo dell'acqua, fungendo da tampone contro le gelate.

La conformazione del terreno e la presenza di elementi naturali o artificiali influenzano ulteriormente il **microclima locale**. Pendenze, corsi d'acqua, specchi d'acqua e aree urbanizzate favoriscono microclimi più caldi, poiché il calore accumulato durante il giorno viene rilasciato lentamente di notte. La pianificazione agronomica può quindi tenere conto di queste caratteristiche per posizionare le colture più sensibili in aree meno esposte al rischio gelata.

Le **pratiche preventive** non sono misure isolate, ma **costituiscono un insieme integrato** che migliora l'efficacia dei mezzi di protezione attiva e passiva. Una gestione agronomica attenta, combinata con il monitoraggio meteorologico e la conoscenza delle caratteristiche microclimatiche del terreno, permette di ottimizzare l'uso di coperture protettive, sistemi di irrigazione antigelo, ventilatori o bruciatori, riducendo costi e impatti ambientali. Inoltre, la prevenzione riduce la frequenza e l'intensità degli interventi di emergenza, aumentando la resilienza complessiva dell'azienda agricola alle gelate primaverili.

MEZZI DI DIFESA AD ACQUA

In relazione alla **maggior sensibilità delle piante al momento della gelata**, per via delle fasi fenologiche al momento dell'evento, sul territorio dell'Emilia-Romagna le specie arboree più sensibili sono, in ordine decrescente di rischio: **mandorlo, albicocco, actinidia, plesso (percoche, pesche e nectarine), ciliegio, susino, pero, melo e vite**. L'ordine indicato tiene ovviamente anche conto del periodo nel quale la specie rompe le gemme e/o entra in fioritura ed oltre. La vite è generalmente la specie meno a rischio perché, fra quelle indicate, è l'ultima a germogliare in primavera. Va sottolineato però che nel 2021 la vite era già in germogliamento al momento dei fenomeni gelivi e quindi ha subito in diversi casi danni significativi. Nel 2022, e in particolare nel 2023, era a sua volta in anticipo di rottura gemme e primo germogliamento. Ancora da verificare appieno il comportamento delle diverse varietà di noce da frutto, coltura entrata in coltivazione da alcuni anni in regione.

ACQUA SOTTO FORMA DI PIOGGIA SOPRACHIOMA

Fonda i suoi presupposti sul principio che bagnando in continuo la pianta la cessione del calore dell'acqua (che si trova a temperatura di almeno 7-8 °C sopra zero, soprattutto se da fonti sotterranee) e il suo successivo **congelamento, contrastano l'abbassamento termico del germoglio/fiore/frutticino e lo mantengono di poco al di sotto di 0° C. Ogni grammo d'acqua che congele libera 80 kcal/kg (calore latente di solidificazione)**.

Richiede molta attenzione nella corretta progettazione dell'impianto per uniformare la bagnatura sull'appezzamento e non ammette errori grossolani nella gestione.

Attenzione: se l'impianto si ferma durante l'erogazione, cessa l'apporto di calore dovuto al congelamento dell'acqua. In questo caso cessa l'apporto di calore dovuto al congelamento dell'acqua e prevale la sottrazione di calore causata dall'**evaporazione e sublimazione** del ghiaccio formato e così il danno potrebbe essere superiore a quello che si registrerebbe in assenza del sistema antibrina.

Si impiegano soprattutto irrigatori a schiaffo, di tipologie predisposte appositamente per la gestione "pioggia antibrina", usati poi anche per l'irrigazione a pioggia soprachioma.

In alternativa, si possono impiegare i moderni sistemi a spruzzo localizzato, che bagnano solo la pianta (con diametro di bagnatura di 2-3 m), disposti con incrocio limitato al solo filare e con possibilità di funzionamento a intermittenza.

L'irrigazione a spruzzo con diametri di bagnatura più larghi (3-6 m) può essere effettuata con sistemi pulsanti e/o intermittenti (come i cosiddetti pulsar), in grado di ridurre i volumi d'acqua erogati mantenendo efficienza ed efficacia pari a quelli tradizionali.

Tuttavia, occorre fare molta attenzione che nella fase di intermittenza (quella non erogante) non ci sia congelamento dell'acqua nell'irrigatore o nei tubi.



Fig. 4. Impianto a pioggia soprachioma

Fondamenti del metodo a pioggia “soprachioma”:

1. **Copertura:** Coprire uniformemente tutte le parti della pianta, soprattutto quelle già in vegetazione/fioritura, per formare uno strato di ghiaccio continuo che riduce l'abbassamento termico degli organi (si aggiunge poi l'effetto positivo del calore ceduto all'ambiente dall'acqua che congela sul suolo, meglio se inerbito);
2. **Uniformità:** Mantenere l'uniformità di bagnatura su tutti gli organi in vegetazione per evitare rischi di concentrazione di ghiaccio su parti differenti fra loro;
3. **Frequenza:** Bagnare continuamente la pianta e quindi mantenere entro l'intervallo di 1 minuto la rotazione degli irrigatori, meglio ancora entro i 30-40 secondi;
4. **Tipo di pioggia:** Utilizzare un tipo pioggia diffusa (acqua allo stato di pioggerella), ma non nebulizzata;
5. **Pluviometria:** In base alle esperienze, la quantità di acqua dovrebbe essere pari, almeno, a 3,5 - 4,5 mm/ora, in particolare per l'actinidia; la pressione all'ugello è correlata alle caratteristiche del tipo impiegato, comunque fra 3,0 - 3,5 atmosfere (atm), in relazione alle tabelle di funzionamento. In verifica la riduzione dei volumi orari erogati (per risparmio idrico), ma con risultati variabili fra le colture, le fasi fenologiche al momento dell'evento;
6. **Sistemi pulsanti:** In caso di disponibilità di sistema di irrigazione pulsar, la quantità di acqua è ridotta a 2,1-3,5 mm/ora poiché efficiente la bagnatura delle piante attraverso il suo caratteristico sistema di dispersione dell'acqua;
7. **Vento:** Non bisogna attivare il sistema in presenza di vento o di brezza che disturbi l'obbiettivo della bagnatura uniforme e continua degli organi in vegetazione. Anche perché la brezza o vento, oltre a spostare la pioggia, assorbe calore dall'ambiente circostante;
8. **Limiti termici:** La protezione della parte bagnata, in condizioni ottimali d'impianto e d'uso, permette di sopperire a temperature minime scese a minime di - 8 °C. Fatto salvo che la parte vegetale non sia già in stato di discreto accrescimento, come nel caso dei germogli di actinidia, per cui esista il rischio di formazione di troppo ghiaccio sui germogli;
9. **Umidità:** L'acqua distribuita ha come effetto aggiunto anche quello di aumentare l'umidità ambientale del campo;
10. **Sensibilità successiva:** La pianta bagnata aumenta la sua sensibilità al freddo e quindi occorre fare attenzione ad eventuali nottate successive, a rischio gelata, dopo la prima. La pianta potrebbe essere già stata bagnata da pioggia meteorica anche prima della prima notte di gelata.

Corretta gestione dell'impianto e sistemi di difesa:

1. Occorre far partire l'impianto con una temperatura non inferiore a +1,0 °C (misurata dal **termometro a bulbo umido**);
2. È necessario fermare l'irrigazione quando la temperatura è sopra gli 0 °C (2-2,5 gradi °C, termometro asciutto esterno all'appezzamento) o dopo il sorgere del sole (in presenza di ghiaccio occorre attendere che si sciolga almeno per il 75 - 80%, specialmente su actinidia e vite) e comunque con una tendenza di risalita delle temperature di 1°C l'ora;
3. È opportuno fare attenzione alla maggior perdita di calore al sorgere del sole causata dall'evaporazione del ghiaccio formato in superficie, quindi aver puntato alla massima uniformità di bagnatura del frutteto;
4. Bisogna porre la massima attenzione all'inizio dell'irrigazione nelle notti successive alla prima perché la vegetazione bagnata nelle notti precedenti è più sensibile al freddo rispetto a quella asciutta;

5. **Non si deve azionare l'impianto con velocità del vento superiore a 3–4 m/sec;**
6. È necessario curare il drenaggio del suolo per velocizzare la dispersione superficiale e la percolazione dell'acqua dopo lo scongelamento e ridurre quindi al minimo il rischio di successivi danni da asfissia radicale;
7. Curare le parti dinamiche dell'impianto, in particolare per quelli che hanno in azione motopompe a gasolio/benzina o pompe elettriche. Per **evitare le interruzioni di funzionamento che provocherebbero danni peggiori;**
8. Porre attenzione alla dimensione dello strato di ghiaccio che via via si forma, soprattutto su piante in avanzata formazione germogli, perché il peso del ghiaccio può romperli;
9. Per l'interruzione del sistema verificare il grado di trasparenza del ghiaccio, **solo in caso di ghiaccio opaco si potrà spegnere l'impianto** (Figura 5).



Fig. 5. Grado di opacità e trasparenza del ghiaccio

La criticità del sistema sopra chioma consiste nei **consumi di acqua**, dove abbiamo fino a 50 m³/ha/ora (tenuto conto della sovrapposizione di parte delle aree bagnate). Nell'ipotesi che siano attivati per circa 8 ore in una notte, si hanno consumi di **400m³/notte per ettaro**.

Gli **irrigatori pulsar** a basso consumo di acqua, dalla recente esperienza della Fondazione E. Mach di San Michele all'Adige, non forniscono ancora risultati particolarmente incoraggianti, soprattutto per le gelate con temperatura molto basse. I sistemi a impulso vanno bene, consumano **30-50% in meno d'acqua ma non arrivano a proteggere temperature sotto -3°C**. A temperature inferiori cominciano a congelarsi e quindi perdono la loro funzionalità.

Si stanno sperimentando anche impianti a file strette con micro-irrigatori che bagnano a striscia per ridurre i volumi. Un'esperienza interessante è stata fatta in un impianto in zona Romagna, dove su albicocco la temperatura è scesa a -5/-7°C. Con piovosità di 3,8-4mm/ora, cioè leggermente inferiore ai sopra chioma classici, i risultati sono stati soddisfacenti.

ACQUA SOTTO FORMA DI PIOGGIA SOTTOCHIOMA

Fonda i suoi presupposti sul principio che bagnando la superficie sotto la pianta (da mantenere preferibilmente inerbita e magari con i residui di potatura per aumentare le aree di bagnatura dell'acqua) il **congelamento dell'acqua libera calore nell'aria circostante che alzerà la temperatura della stessa fino a riportarla verso 0°C, con differente gradiente verso l'alto.**

La cessione di calore è di 80 calorie a grammo di acqua, nel passaggio dalla fase liquida a quella solida.

La fase di gestione è molto meno delicata di quella della pioggia soprachioma e anche se l'impianto dovesse funzionare in modo irregolare per qualche ragione tecnica e/o di impiantistica, questo metodo non peggiora la situazione rispetto a quella di un testimone, perché il sistema non bagna le parti vegetanti delle piante.

Si deve garantire che il calore sviluppato porti la temperatura dell'ambiente ad un valore maggiore rispetto a quello che crea danno a quella specie in quella precisa fase fenologica, per esempio: se il pesco in fioritura resiste ad una temperatura minima di -2,5 °C, è necessario che l'impianto sottochioma sviluppi una quantità di calore che mantenga la temperatura sopra quel valore.



Fig. 7 Impianto sottochioma in azione



Fig. 6 Impianto antibrina sottochioma e reti antigrandine

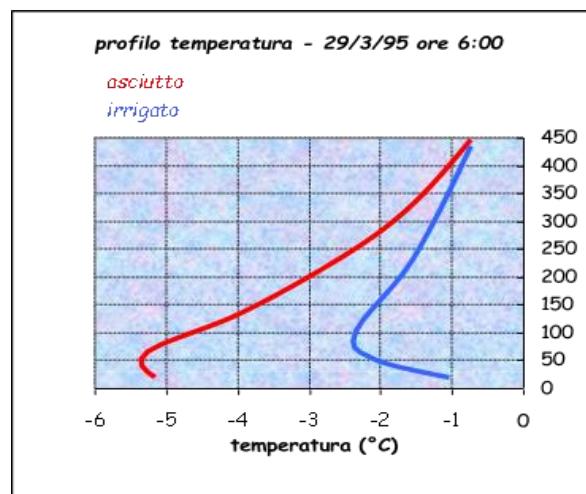


Fig. 8. Variazione del profilo delle temperature per effetto dell'irrigazione antibrina sottochioma, rispetto alla zona

Limiti: In caso di gelata per “avvezione” (vento freddo) o “mista” si può determinare qualche difficoltà di **risalita del calore verso l'alto**, a causa della contrastante discesa verso il basso dell'aria fredda degli strati più alti. È quindi possibile che la **protezione diminuisca dal basso verso l'alto** con intensità più o meno elevata (*si veda grafico a fianco*). Attenzione: una leggera brezza può spostare la massa di aria calda che si è formata, dall'interno all'esterno dell'appezzamento in protezione (1,5 - 2,0 m/s);

Fondamenti del metodo a pioggia "sottochioma":

1. **Ghiaccio al suolo:** Formare sul suolo la maggior quantità di ghiaccio possibile, senza dispersione di acqua non gelata per drenaggio o scorrimento superficiale, onde sviluppare nell'ambiente tutte le caloriche possibili;
2. **No nebulizzazione:** Evitare gocce troppo fini che tendono ad evaporare (sottraendo calore) anziché congelare;
3. **Umidità relativa:** Sebbene aumentare l'umidità (nebulizzazione) possa ridurre il calo termico, è una tecnica complessa e spesso insufficiente con minime molto basse. Il sottochioma funziona meglio congelando l'acqua al suolo.
4. **Superficie bagnata:** Più ampia è la superficie di bagnatura al suolo e maggiore è la quantità di ghiaccio formato (di conseguenza è maggiore lo sviluppo di calore). In questo caso è **più funzionale un inerbimento non sfalciato** rispetto ad un terreno nudo, magari in presenza dei tagli di potatura;
5. **Efficacia:** L'aumento di temperatura è massimo nei primi metri di altezza (recupero di 2-3 °C). Se la minima scende sotto i -4,5/-5,0 °C, l'efficienza può essere inferiore al soprachioma (che protegge per irraggiamento fino a -8 °C). In caso di forti venti (avvezione), i limiti sono maggiori. Si stanno studiando impianti pulsanti localizzati sulla fila per ridurre la pluviometria a 3 mm (contro i 4-4,5 mm del soprachioma).
6. **Settori:** È sconsigliato far funzionare l'impianto a settori alternati per risparmiare acqua, poiché durante la pausa potrebbe formarsi ghiaccio negli irrigatori o nelle condotte.

Corretta gestione dell'impianto e sistemi di difesa:

1. **Messa in funzione dell'impianto quando ci sono le condizioni perché l'acqua geli; quindi, con la temperatura del termometro a bulbo umido non sotto +1,0 °C (il bulbo umido anticipa la temperatura reale di congelamento rispetto a quello asciutto);** in condizioni di ambiente predisposto a gelata notturna, il termometro a bulbo bagnato rileva infatti già, in confronto a quello a bulbo asciutto, temperature inferiori;
2. È necessario bagnare tutta la superficie possibile del frutteto, quindi è meglio sistemare i minirrigatori su tutte le file;
3. Occorre utilizzare un tipo di pioggia diffusa (acqua allo stato di pioggerella), ma non nebulizzata;
4. Sulla base dell'esperienza già acquisita, **la quantità di acqua deve essere pari ad almeno 2,0 - 2,5 mm/ora**; non è necessario alzare troppo la quantità perché comunque l'acqua deve gelare per svolgere calore e non percolare nel terreno se in esubero. Meno se ne disperde è meglio è;
5. La distanza di montaggio degli irrigatori deve variare in funzione della gittata, della pressione, della portata e del tipo di gocce. Possibilmente per bagnare l'intera superficie sottesa. Mantenendo uniformità di bagnatura (in quantità e modalità) sull'intero appezzamento da difendere;
6. L'impianto deve rimanere in funzione **fino a che la temperatura esterna non risale sopra gli 0,5°C**, anche di poco, del termometro asciutto; infatti, oltre, l'acqua distribuita non gela più;

7. Controllare il corretto funzionamento dei mini-irrigatori, per non rischiare, dovessero per qualche ragione, smettere di funzionare causa ghiacciamento. Magari per pressione di funzionamento troppo bassa;
8. Attenzione ad un **controllo meticoloso del sistema filtrante** di cui sono dotati questi impianti, perché in certe condizioni di “acqua sporca” in passaggio o accumulo del filtrato, si può avere congelamento negli stessi e/o nelle condotte del sistema.

IL PROBLEMA DELLA DISPONIBILITÀ DI ACQUA

Ad oggi gli **impianti di gestione idrica** dei Consorzi di Bonifica distribuiscono l'acqua per l'irrigazione estiva ma **non riescono ad alimentare anche i sistemi antibrina**. Il Canale Emiliano Romagnolo, da oltre 20 anni, anticipa la partenza della stagione irrigua al 1° marzo, con una dotazione tale da garantire la distribuzione dell'acqua ai Consorzi di Bonifica che la richiedono per l'irrigazione antibrina.

In Trentino, come argomentato da esperti del settore, per il momento hanno la disponibilità quasi illimitata dell'Adige potendosi permettere così un elevato uso di sistemi ad acqua soprachioma. In **Romagna** la situazione è differente, **prevale il sotto chioma** che comporta consumi inferiori rispetto al sopra chioma e cioè 24 m²/ora/ha. Nell'ipotesi di sostenere le 10 ore di gelata occorrono 250-300m²/ha/giorno. Se consideriamo la classica azienda di 10 ha di actinidia con antibrina sotto chioma e un invaso di 3.000 m², occorre irrorare quasi 60l/sec con pluviometria 2,5mm/ora.

Quali sono le fonti esterne?

Prima di tutto, è necessario considerare l'utilizzo dei **pozzi** e valutare anche la possibilità di ricorrere all'acqua di **fiumi e torrenti naturali**. Senza questa prospettiva, diventa difficile soddisfare le esigenze dei sistemi antibrina.

Un'ulteriore alternativa consiste nella realizzazione di **micro-invasi o laghetti** (in funzione della dimensione aziendale), alimentati sia dalle risorse dei consorzi di bonifica territoriale e/o CER, in modo da garantire una quantità sufficiente di acqua anche durante le gelate più prolungate.

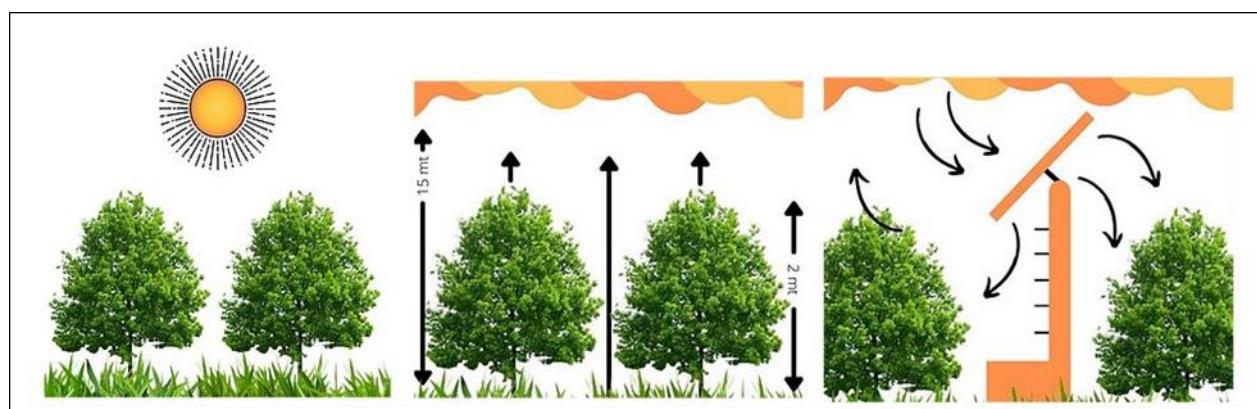
I bacini di raccolta, come laghetti aziendali e canali irrigui, svolgono un ruolo strategico nella gestione idrica aziendale. Essi rappresentano una preziosa riserva di acqua accumulata durante i mesi invernali, che può essere rapidamente utilizzata per alimentare i sistemi antigelo a base d'acqua, proteggendo le colture più sensibili. Contemporaneamente, i **laghetti aziendali raccolgono le acque di scolo derivanti dalle irrigazioni sottochioma antigelo, prevenendo fenomeni di asfissia radicale e contribuendo al mantenimento di un equilibrio idrico ottimale nel suolo**. In questo modo, tali bacini svolgono una duplice funzione: **protezione** attiva dalle gelate e **gestione** efficiente dell'**eccesso idrico**.

MEZZI DI DIFESA AD ARIA, TERMICI ED ENERGETICI

TORRI A VENTO, CON FUNZIONE ANTIBRINA

Le ventole antibrina sono solitamente costituite da una torre alta 10m con una pala di 6 metri la motorizzazione può essere sia con motore diesel (da circa 240 cv) oppure con motore a GPL. Queste macchine sono efficaci sia sulle brinate per irraggiamento che nel caso di eventi freddi derivanti da masse d'aria fredda di origine continentale.

La protezione delle colture dalle brinate si basa sul rimescolamento dell'aria. Durante le gelate da irraggiamento, infatti, l'aria a contatto con il suolo e con le piante si raffredda più rapidamente rispetto agli strati superiori, poiché gli strati d'aria fredda (più pesanti) tendono a scendere e a comprimersi vicino al suolo. I ventilatori antibrina sfruttano questo principio: il loro scopo è mescolare l'aria, spingendo verso il basso gli strati più caldi e innalzando così la temperatura intorno alle piante. L'innalzamento massimo ottenibile corrisponde, indicativamente, alla media tra la temperatura al suolo e quella dell'aria più calda degli strati superiori. Tuttavia, se la differenza di temperatura tra gli strati da miscelare è pari o inferiore a 1 °C, le esperienze finora condotte mostrano che l'attivazione dei ventilatori non produce benefici significativi.



A) Durante il giorno

B) La gelata notturna

C) L'effetto del ventilatore

Figura 9. Schema di funzionamento del ventilatore antibrina (fonte: AID, 2021).

Fondamenti del metodo a “torre antibrina”:

Quando si avvia il ventilatore si può indurre una rapida evaporazione sulla superficie della vegetazione e provocare una gelata per evaporazione. Più è secca l'aria, maggiore è il rischio di evaporazione dell'acqua dalla superficie della nuova vegetazione (foglie, fiori, frutticini), con ulteriore abbassamento della temperatura degli organi vegetali. **Per evitare possibili danni alla partenza della ventilazione si consiglia di avviare il sistema quando il termometro bagnato indica valori di 3-4 °C al di sopra della soglia considerata critica per la coltura (vedere allegato 1 in appendice).** Data la facilità con cui si può avviare il ventilatore si consiglia di iniziare la protezione con un leggero anticipo per ridurre il più possibile eventuali situazioni di rischio. È importante tenere presente che **non** si deve avviare il ventilatore quando il vento supera la velocità di **3-4 metri/sec** (soprattutto con gelate per “avvezione” o “miste”). Il ventilatore verrà fermato quando la temperatura, rilevata su un termometro bagnato, posto fuori dalla zona protetta, raggiunge valori positivi.

In base alle esperienze acquisite fino ad oggi occorrono due condizioni importanti per favorirne l'efficacia: aria calda in alto da riportare in basso e abbassamento termico non troppo forte e lungo (caso soprattutto delle "gelate per irraggiamento").



Figura 10. Ventolone antibrina

Corretta gestione dell'impianto e sistemi di difesa:

1. **Disposizione dei ventilatori:** in base al disegno del frutteto e alla direzione di un'eventuale brezza in corso durante la nottata. In generale n. 1 ogni 2,5-3,0 ettari. Questi sono consigli proposti da costruttori e utilizzatori esteri e anche italiani. Diversi costruttori indicano valori anche più alti di superficie protetta per un ventilatore. Dipende dalle modalità costruttive della macchina e delle ventole. Da ricordare però che ogni gelata primaverile è fine a sé stessa per caratteristiche fisico/climatiche e può essere di modalità ed intensità diversa da zona a zona.
2. **Azionamento: con temperatura sopra i 0 °C (2,0 - 2,5 °C) misurata a 1,0 metri da terra, dal termometro bagnato.**
3. Non azionare quando il vento supera i 3-4 metri/sec perché l'aria è già in rimescolamento.
4. **Fermare quando la temperatura fuori area coperta dal sistema ritorna sopra i 0 – 0,5 °C (termometro asciutto, posto dentro o fuori l'area protetta).**
5. Risultati in Emilia-Romagna e per impiego su actinidia. È stato verificato in vari anni un recupero di 1,2 - 2,1 °C a partire da minime variabili fra – 3 / – 4 °C in differenti fasi fenologiche: gemma gonfia, gemma rossa, germoglio a 5 cm o 10 cm. Altre osservazioni indicano risultati di maggior performance nell'innalzamento della temperatura, ma abbastanza variabili in relazione all'intensità del fenomeno.

6. In presenza di gelate di tipo “avvezione” e/o “miste” i risultati possono essere minori o in alcuni casi peggiorativi, se la ventola dovesse rimescolare aria fredda in alto e portarla poi anche in basso.
-

VENTILATORI MOBILI A BASSO IMPATTO ACUSTICO

In molti contesti agricoli, soprattutto dove i frutteti sono ubicati in prossimità dei centri abitati, alcuni comuni non autorizzano l’impiego delle ventole antigelo oppure impongono vincoli normativi tali da rendere complessa l’attuazione delle necessarie autorizzazioni. Tuttavia, l’evoluzione tecnologica ha portato allo sviluppo di motori dotati di schermature antirumore e di ventilatori significativamente meno rumorosi rispetto a quelli impiegati in passato.

Attualmente sono disponibili modelli caratterizzati da eliche più corte e in numero maggiore, soluzioni progettuali che consentono di ridurre l’impatto acustico mantenendo una buona efficacia nel rimescolamento dell’aria. Sono inoltre già prodotti e utilizzati da alcune aziende ventilatori mobili, facilmente trasferibili da un appezzamento all’altro, che permettono un impiego flessibile del sistema in funzione della specie coltivata e del diverso periodo di fioritura.

Questi sistemi operano secondo lo stesso principio delle torri antigelo fisse, basato sul rimescolamento degli strati d’aria in presenza di inversione termica; tuttavia, a causa delle differenti caratteristiche costruttive e delle diverse capacità operative, richiedono specifici accorgimenti di utilizzo e di posizionamento per garantire un’efficace protezione delle colture.

Sono inoltre già prodotti e utilizzati da alcune aziende ventilatori mobili, facilmente trasferibili da un appezzamento all’altro, che permettono un impiego flessibile del sistema in funzione della specie coltivata e del diverso periodo di fioritura.

Corretta gestione dell’impianto e sistemi di difesa:

1. Verifica delle condizioni di inversione termica prima dell’attivazione, poiché l’efficacia del sistema dipende dalla presenza di aria più calda negli strati superiori.
2. Avviamento tempestivo dell’impianto: generalmente quando la temperatura si avvicina ai valori critici per la coltura, evitando attivazioni tardive, **sopra i 0 °C (1,5-2,0 °C) misurata a 1,0 metri da terra**.
3. Corretto posizionamento dei ventilatori, tenendo conto della morfologia del terreno, dell’orientamento dei filari e degli ostacoli che potrebbero limitare il flusso d’aria.
4. **Fermare quando la temperatura fuori area coperta ritorna sopra i 0-0,5 °C (termometro asciutto, posto dentro o fuori l’area protetta).**
5. **Rispetto delle distanze operative tra i ventilatori** e tra questi e la coltura, in funzione della capacità di rimescolamento e della superficie da proteggere (circa 60-100 m).
6. Regolazione dell’angolo e dell’altezza delle eliche, se prevista dal modello, per ottimizzare la distribuzione dell’aria calda verso il suolo.
7. Monitoraggio continuo delle temperature durante l’evento di gelo, mediante sensori o stazioni meteo aziendali, per valutare l’efficacia dell’intervento (soprattutto il **valore di vento nella zona non influenzata dal ventilatore**).

8. **Manutenzione** periodica dell'impianto, con controllo di motore, pale, **sistemi antivibranti e schermature antirumore.**
9. Rispetto delle prescrizioni normative locali, in particolare per quanto riguarda orari di funzionamento e limiti di emissione acustica.



Figura 11. Ventole mobili antibrina a basso impatto acustico.

“CANDELE”, A PARAFFINA O PELLET LEGNA, GENERATORI DI CALORE IN FUNZIONE ANTIBRINA

Le “candele”, chiamate anche “bugie” dalla nomenclatura francese, sono contenitori in metallo (bidoni) che bruciano paraffina (tipi più usati sono da 5 - 10 kg) oppure pellets di legna. **Vanno disposti sull’appezzamento in modo regolare, in misura di 300-500 ad ettaro e la funzione è semplicemente quella di generare calore dalla combustione del comburente che si espande all’intorno alzando la temperatura per tenerla intorno o sopra i 0° C;** un “bidone” di paraffina da 10 kg può funzionare 2-3 notti, in relazione al numero di ore di attività.

Per cercare la maggior efficienza economica del sistema si possono “accendere” i bidoni **a gruppi di 100 alla volta**, sempre coprendo omogeneamente l’intera superficie da proteggere, **a partire dalla sera in cui la temperatura si avvicina a 0°C e continuando nella notte fino ai 300-400 per ettaro, in funzione del controllo e verifica degli abbassamenti di temperatura all’esterno del campo e del mantenimento sopra i 0 °C all’interno.** 200 bruciatori/ha sembrerebbero sufficienti per avere un’ottima protezione. Inizio accensione con temperature di 2-3 °C sopra zero del termometro bagnato. Le candele si spengono quando la temperatura del termometro asciutto (esterno al frutteto/vigneto) torna sopra i 0 °C.



Figura 10. Candele calorifere.

I costi del sistema, materiali e impiego manodopera, sono elevati e l'aumento del prezzo del pellet li ha incrementati ulteriormente, vanno quindi preventivamente calcolati con il proprio tecnico e/o fornitore. È un mezzo di difesa che si usa soprattutto quando non si riescono ad utilizzare altri mezzi: piccoli appezzamenti, perimetri irregolari o in punta.

È possibile utilizzare le candele antigelo in combinazione con tecnologie come reti antigrandine/insetto, teli ombreggianti soprachioma e teli anti pioggia. La complementarità di tali mezzi efficienta l'utilizzo delle candele mitigando l'effetto termico ceduto al frutteto. Attenzione all'altezza dei fuochi liberi, per non incorrere in incendi.

Corretta gestione dell'impianto e sistemi di difesa:

1. Accendere prima quelli ai bordi (soprattutto lato da dove arriva l'aria fredda) e poi progressivamente verso l'interno dell'impianto.
2. Obiettivo, creare un "cuscinetto termico" esterno che rallenti l'ingresso dell'aria gelida.
3. Uso di **pellet certificato e asciutto** (fondamentale per resa e continuità).
4. Verifica capacità di carico e autonomia rispetto alla durata prevista della gelata minimo 200 candele per ettaro per notte e pulizia preventiva del braciere e dei canali di aria.
5. **Accensione più anticipata rispetto ai sistemi meccanici: idealmente a +2,0/3,0 °C, considerando l'inerzia termica (Bulbo umido).**
6. Combustione **continua e costante**, evitando cicli di stop-and-go, controllo continuo delle funzionalità e del corretto funzionamento.
7. Controllo visivo della fiamma (deve essere stabile, non fumosa).
8. Distribuzione corretta dei punti di calore (layout fisso ben studiato in funzione dell'appezzamento che si vuole coprire, la più consigliata è a griglia sfalsata (quincunx), tra le zone prioritarie di posizionamento abbiamo: **zone basse dell'appezzamento** (accumulo aria fredda), **bordi sopravento**, **zone storicamente più fredde** e zone con **stadi fenologici più sensibili**.
9. **Spegnimento solo dopo stabilizzazione termica, temperature al mattino maggiori di 0°C (bulbo asciutto).**

BRUCIATORI (DIFFUSORI DI CALORE IN MOVIMENTO) O DIFFUSORI DI VAPORE CALDO A LIVELLO DEL SUOLO.

Sono dei bruciatori mobili trainati o portati da un trattore. La superficie che copre è di circa 3-5 ha ma dipende dalla tipologia. Girando con il trattore tra le file il ventilatore spinge l'aria fino a 100 m, cioè 40-50m per ogni lato. Ogni 8-10 minuti occorre passare nello stesso punto.

Funziona con la transizione di fase, sfruttando la formazione di brina che libera molta energia e si usa quest'energia per proteggere le piante. Oltre alla macchina portata esiste anche una tipologia stazionaria che può proteggere 0,5-1ha. Questa ruota facendo un giro di 360° in 9 minuti. I risultati ci sono fino a -6/-6,5°C. Uno dei vantaggi del sistema mobile è che ha più possibilità di modifica nel metodo di applicazione e si può modulare quindi, in funzione della necessità, la modalità di utilizzo (passaggio e frequenza).

In alcuni casi il beneficio termico generatosi può migliorare l'allegagione, inoltre, a differenza dei sistemi ad acqua può essere usato dove non c'è disponibilità di acqua. Il costo del carburante è circa 10€/ora/ha senza contare il consumo della trattice e le ore del trattorista. Nelle aree frutticole del Belgio, dove le gelate si verificano tutti gli anni sono utilizzati da tempo.

In generale il bruciatore è alimentato a GPL (gas propano liquido) che riscalda l'aria a 80-85°C. Oppure si usa materiale solido (balle di legno di risulta) soprattutto quelli che producono vapore tramite caldaia, da diffondere in ambiente. L'aria calda viene diffusa nel frutteto tramite 2 bocche laterali. Occorre tornare il più frequentemente possibile su ogni punto "in riscaldamento" dell'appezzamento, per cui se la velocità è intorno ai 6-7 km/h si torna sullo stesso punto ogni 10-15 minuti, se la superficie è di un ettaro. Bisogna, probabilmente, tornare sul punto precedente, anche solo in 8-12 minuti. Perciò uno dei punti di criticità è proprio il tempo elevato richiesto all'operatore per il periodo di rischio.

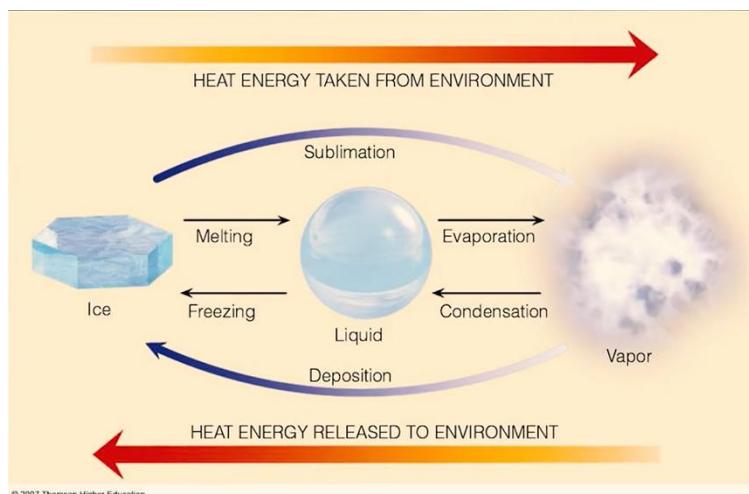


Figura 11. Transizione di fase.

Corretta gestione dell'impianto e sistemi di difesa:

1. **Attivare** sia bruciatore mobile che fisso ad una temperatura **superiore agli 0 gradi circa +2,0/2,5 °C del bulbo umido**.
2. Per bruciatore mobile, attenzionare la frequenza di **passaggio sullo stesso punto/fila** che non deve superare i **15-20 minuti** per avere un'efficienza adeguata.
3. In caso di gelata severa ($> -5^{\circ}\text{C}$), la capacità del bruciatore di copertura diminuisce, in questo caso è **consigliabile ridurre la superficie** per garantire una maggiore frequenza di passaggio nello stesso punto.
4. Muovere l'unità a velocità e intervalli regolari per distribuire l'aria calda in modo omogeneo.
5. **Evitare di passare troppo vicino ai germogli/infiorescenze** per non danneggiarli col calore diretto.
6. Assicurarsi che i bruciatori funzionino con combustione corretta per ridurre residui, fumi e spreco di carburante.
7. Controllo prestazionale di motore, accensione, ugelli, ventola e trasmissione e pulizia degli ugelli soggetti a depositi di carbonio ogni tot ore di funzionamento (tra eventi gelivi consecutivi e prima di utilizzarli).
8. **Pianificare i rifornimenti** per non rimanere a secco durante una notte di gelata; tenere bombole serbatoi sempre ben forniti. Verificare carburante (gasolio, GPL o miscela prevista) e autonomia per tutta la notte.
9. Nei sistemi fissi: priorità ai bruciatori perimetrali e lato di ingresso dell'aria fredda, e se possibile accensione simultanea se più di uno.

10. Nei sistemi fissi: distribuzione uniforme, evitando zone d'ombra termica.
11. **Spegnere il sistema quando la temperatura esterna raggiunge i 0,5 °C (bulbo asciutto).**



Figura 12. Bruciatore mobile (sx) e bruciatore fisso (dx)

METODI A BASE DI VAPORE ACQUEO DIREZIONATO

Esistono e sono attualmente in fase di collaudo e verifica sistemi a base di vapore acqueo. Il sistema antibrina attivo è basato sul Metodo di Evaporazione Direzionale (MED), pensato per proteggere le colture (in particolare frutteti a fioritura precoce) dalle gelate tardive primaverili, senza ritardare la fioritura e quindi senza perdere il vantaggio commerciale della frutta precoce.

Il sistema utilizza un bruciatore a GPL per la produzione controllata di vapore acqueo e anidride carbonica, distribuiti lungo le file del frutteto mediante tubazioni forate e ventilazione dedicata. Il principio di funzionamento si basa principalmente sul **rilascio del calore latente del vapore acqueo durante la condensazione**, integrato dal calore sensibile dei gas e dalla turbolenza indotta dai getti, che favorisce la miscelazione dell'aria e la stabilizzazione del microclima.

In condizioni tipiche di gelata da irraggiamento (assenza di vento e cielo sereno), il sistema consente un incremento termico graduale e localizzato, stimabile sperimentalmente in circa **1 °C/ora**, riducendo il rischio di danni a fiori e giovani frutti. L'impianto è modulabile in funzione della superficie da proteggere, attivabile solo in presenza di eventi critici e compatibile con le esigenze produttive delle colture precoci, mantenendo elevati standard qualitativi e competitività commerciale.



Figura 12. Dispositivo iMED in funzione.

PROTEZIONE CON LE RETI ANTIGRANDINE TRADIZIONALI

Ovviamente aperte, in generale è stato verificato un recupero di 1,0-1,3 °C sotto le reti, ma questo valore dipende dal tipo di gelata (intensità e modalità, durata). Con eventi meteo predisponenti alla gelata, mantengono un grado di umidità maggiore all'interno del frutteto che riduce in parte l'abbassamento termico. Presenti in genere per la funzione antigrandine, in diversi casi vengono aperte anche dove esistono altri sistemi antibrina per aumentare l'effetto di riduzione di potenziali danni dalla gelata. Inoltre, la chiusura anche laterale delle reti può in parte contenere lo spostamento delle masse d'aria fredda nel caso di una gelata mista.

PROTEZIONE CON LE RETI ANTIPIOGGIA

Vale quanto detto in relazione alle reti antigrandine, con ulteriore vantaggio sul mantenimento di un certo ambiente umido interno nel frutteto, che mitiga la caduta di temperatura. L'efficacia però è da verificare in relazione alla modalità (intensità, durata) della gelata.

INTERVENTI ALLE COLTURE

Per tutti quei mezzi/metodi, molto "estemporanei" (ritardanti della ripresa vegetativa, protettivi della vegetazione, ecc.), non esistono ancora risultati positivi significativi (con riscontri oggettivi confrontabili) degni da consigliarne l'adozione su ampia scala.

Anche se nascono da valutazioni scientifiche che si possono considerare funzionali, soprattutto per ridare vigore alla pianta nel post fenomeno gelata che abbia determinato danni parziali, dalle verifiche svolte fino ad oggi i risultati sono altalenanti, senza correlazioni positive tali da poter definire una linea tecnica efficiente. Diversi prodotti sono impiegati anche in previsione del fenomeno di gelata con l'ipotesi di aumento della resistenza fisiologica dell'organo vegetante. Per ora i risultati sono da studiare ed approfondire, viste le molteplici e complicate variabili in gioco.

STRATEGIE INTEGRATE DI DIFESA ANTIBRINA

COMPLEMENTARITÀ DEI MEZZI

Per ottenere una protezione efficace delle colture contro le gelate, è auspicabile sfruttare la complementarità tra i diversi sistemi, combinando più mezzi attivi o integrando mezzi attivi e passivi. Sistemi attivi, come ventilatori e bruciatori, e sistemi passivi, come reti antigrandine o frangiventi, possono essere combinati in modo sinergico per stabilizzare il microclima dell'appezzamento, ridurre le perdite di calore e migliorare l'uniformità termica lungo il profilo verticale dell'aria.

L'integrazione e la sinergia dei diversi strumenti consentono di affrontare condizioni critiche, come gelate prolungate, inversioni termiche deboli o rapidi abbassamenti di temperatura nelle ore successive al sorgere del sole, situazioni in cui un singolo metodo potrebbe risultare insufficiente. Il principio alla base di questa strategia è sfruttare i punti di forza complementari dei mezzi disponibili: i sistemi attivi contribuiscono al rimescolamento dell'aria e al trasferimento del calore, mentre quelli passivi riducono la dispersione termica e migliorano la ritenzione di calore.

VENTOLE ANTIBRINA E BRUCIATORI

I ventilatori antibrina dotati di bruciatore integrato costituiscono sistemi progettati per **operare in modo sinergico**, nei quali la produzione di calore e il rimescolamento dell'aria avvengono contestualmente e in modo controllato. Il flusso d'aria generato dalla macchina non sottrae calore all'ambiente, ma viene utilizzato come mezzo di diffusione dell'aria riscaldata, migliorando l'efficacia e l'uniformità della protezione.

Il principio di funzionamento si basa **sull'immissione nell'appezzamento di aria calda**, prodotta dal bruciatore (generalmente alimentato a GPL o gasolio) e immediatamente **distribuita dal ventilatore** lungo le file o in rotazione sull'area protetta. Questo consente di ridurre la stratificazione termica, contrastare il ristagno dell'aria fredda negli strati prossimi al suolo e aumentare la temperatura dell'ambiente in modo più uniforme rispetto ai sistemi di riscaldamento statici.

Dal punto di vista operativo, i ventilatori con bruciatore integrato devono essere attivati in anticipo rispetto al raggiungimento delle temperature critiche, generalmente quando la temperatura dell'aria si avvicina a **+1 / +0,5 °C**. L'efficacia del sistema dipende dalla continuità di funzionamento, dalla corretta regolazione del flusso d'aria e dalla potenza termica disponibile in relazione alla superficie protetta. In presenza di vento naturale intenso ($>3-4$ m/s), l'efficienza può ridursi a causa della dispersione dell'aria calda prodotta.

VENTOLE ANTIBRINA E IRRIGAZIONE SOTTOCHIOMA

L'integrazione tra **ventilatori antibrina e irrigazione sottochioma** è compatibile dal punto di vista fisico, in quanto l'acqua non interessa direttamente gli organi vegetali. L'irrigazione sottochioma contribuisce a riscaldare gli strati d'aria prossimi al suolo attraverso il rilascio di calore latente durante il congelamento dell'acqua sul terreno.

Tuttavia, tale calore tende a rimanere **confinato negli strati inferiori** in presenza di stratificazione termica.

L'azione dei ventilatori può favorire la **redistribuzione verso l'alto del calore prodotto**, migliorando l'uniformità termica all'interno della chioma.

L'efficacia dell'integrazione è subordinata alla presenza di inversione termica e a condizioni atmosferiche stabili; in assenza di differenziale termico verticale o in presenza di vento naturale significativo, il rimescolamento può risultare inefficiente o dispersivo. L'incremento termico ottenibile è generalmente limitato, ma può risultare determinante in condizioni prossime alla soglia critica.

Nota: *l'uso di ventole con impianti soprachioma è invece delicato e sconsigliato senza precisi controlli, per il rischio di indurre raffreddamento da evaporazione.*

BRUCIATORI E TELI DI COPERTURA (antigrandine/antipioggia)

L'integrazione di **bruciatori antigelo** e **telì antigrandine/antipioggia** costituisce un approccio sinergico per la protezione delle colture dalle gelate tardive. I telì limitano la dispersione di calore per irraggiamento e contribuiscono a stabilizzare il microclima sotto la copertura, mentre i bruciatori forniscono calore supplementare durante i picchi di raffreddamento notturno. L'uso combinato migliora l'efficienza energetica del sistema, riduce i gradienti termici critici e aumenta significativamente la protezione dei tessuti vegetali sensibili rispetto all'impiego isolato dei due mezzi.

NOTE DI SINTESI

1.TABELLA RIEPILOGATIVA DELLE MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO CONSIGLIATE PER I VARI SISTEMI

Sulla base delle informazioni raccolte, confrontando le diverse esperienze sul territorio dell'Emilia-Romagna, pur considerando la particolarità del fenomeno delle gelate, qui si riassumono le modalità di inizio/fine attivazione degli impianti sopra illustrati.

METODO DI DIFESA	Attivazione T° bulbo Umido (°C)	Spegnimento T° bulbo Asciutto (°C)	Limite vento (m/sec)
Pioggia soprachioma	1,0	2,0-3,0	3,0-4,0
Pioggia sottochioma	1,0	0,5	4,0
Ventole antibrina	2,0-2,5	0,1-0,5	3,0-4,0
Candele antigelo	2,0-3,0	0,1-0,5	2,0-3,0
Bruciatori meccanici	2,0-3,0	0,1-0,5	3,0-4,0

2. SUGGERIMENTI IMPORTANTI:

1. L'allerta rischio gelata va monitorato soprattutto la sera precedente l'ipotesi del verificarsi del fenomeno, seguendo gli "alert" (esempio, quello dell'Arpa Emilia-Romagna): <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/meteo/previsioni-meteo/previsioni-agrometeo/previsioni-gelate-tardive>.

Oppure **monitorando la differenza di temperatura** fra termometro a bulbo bagnato e termometro a bulbo asciutto, dalla scomparsa del sole (circa dalle 18:00, orario solare) a seguire per 3-4 ore. Se la differenza aumenta, via via, di 2-3-4-5 °C significa che con cielo sereno e assenza di vento, l'umidità dell'aria è in forte diminuzione e quindi aumenta il rischio di gelata notturna.

2. I sistemi di difesa, **basati sull'impiego dell'acqua, vanno azionati in assenza di vento**, in particolare il soprachioma.
3. Per i sistemi con distribuzione **dell'acqua sottochioma, controllare attentamente la pulizia dei filtri**, onde evitare blocco del regolare funzionamento del sistema.
4. Se la gelata prevista è assimilabile ad una per **avvezione o mista, occorre fare attenzione all'efficacia delle ventole**, perché le stesse potrebbero portare in basso ulteriore aria fredda che si trova in alto al posto della presupposta aria più calda.
5. Il tipo di suolo e le modalità di conduzione sono elementi importanti:
 - un suolo inerbito accumula minor calore di un suolo non inerbito e quindi si raffredda maggiormente,
 - si accumula maggior calore in un suolo non inerbito ma ben strutturato rispetto ad un suolo non inerbito e lavorato di recente,
 - si accumula maggior calore in un suolo non inerbito ma ben strutturato rispetto ad un suolo inerbito ma tagliato raso,
 - un suolo ricco di acqua accumula maggior quantità di calore di un suolo asciutto.

6. **Un fiume, un lago, un canale, un centro abitato liberano calore.**
7. **Sui pendii collinari, il suolo inerbito rallenta la discesa verso il basso delle correnti fredde.**
8. **Un frangivento riduce l'intensità del raffreddamento:** l'acqua si condensa sul frangivento e **assorbe le onde di infrarosso** delle piante e del suolo determinando un effetto serra locale; il raffreddamento però continua nella parte alta sopra il frangivento.
9. Il fenomeno **“gelata tardiva” non è generalmente omogeneo** su ampio territorio; **dipende** dalla sua **intensità** (origine, temperatura minima raggiunta, durata), dalla **fase fenologica** della coltura in quell'ambiente, dall'**dislivello dei terreni** rispetto al livello del mare. In Emilia-Romagna ci sono **aree più predisposte di altre**, perché i fenomeni sono di solito più intensi e frequenti, in buona parte in relazione alla posizione di accumulo delle correnti fredde di quelle aree e/o alla loro altezza sul livello del mare (ad esempio: le aree della zona pianeggiante del comune di Spilamberto e del comune di Faenza).

3.TABELLA ORIENTATIVA DELLE TEMPERATURE CRITICHE DELLE PRINCIPALI PIANTE DA FRUTTO (Snyder et al., 2005).

SPECIE	STADIO FENOLOGICO	10% DANNO	90% DANNO
Albicocco	Gemma rigonfia	- 4,3 °C	- 14,4 °C
	Calice visibile	- 6,2 °C	- 13,8 °C
	Inizio fioritura	- 4,9 °C	- 10,3 °C
	Piena fioritura	- 4,3 °C	- 6,4 °C
	Scamiciatura	- 2,6 °C	- 4,7 °C
	Ingrossamento frutto	- 2,3 °C	- 3,3 °C
Cilegio	Gemma rigonfia	-11,1 °C	- 17,9 °C
	Bottoni visibili	- 2,7 °C	- 6,2 °C
	Separazione dei bottoni	- 2,7 °C	- 4,9 °C
	Inizio fioritura	- 2,8 °C	- 4,1 °C
	Piena fioritura	- 2,4 °C	- 3,9 °C
	Allegagione	- 2,2 °C	- 3,6 °C
Pesco	Gemma rigonfia	-7,4 °C	- 17,9 °C
	Calice visibile	- 6,1 °C	- 15,7 °C
	Corolla visibile	- 4,1 °C	- 9,2 °C
	Inizio fioritura	- 3,3 °C	- 5,9 °C
	Piena fioritura	- 2,7 °C	- 4,4 °C
	Caduta petali	- 2,7 °C	- 4,9 °C
	Scamiciatura	- 2,5 °C	- 3,9 °C

SPECIE	STADIO FENOLOGICO	10% DANNO	90% DANNO
Susino	Gemma rigonfia	- 11,1 °C	-17,2 °C
	Bottoni visibili	- 8,1 °C	- 14,8 °C
	Bottoni bianchi	- 4,0 °C	- 7,9 °C
	Inizio fioritura	- 4,3 °C	- 8,2 °C
	Piena fioritura	- 3,1 °C	- 6,0 °C
	Caduta petali	- 2,6 °C	- 4,3 °C
Pero	Apertura gemme	- 8,6 °C	- 17,7 °C
	Mazzetti fiorali	- 4,3 °C	- 9,6 °C
	Mazzetti divaricati	- 3,1 °C	- 6,4 °C
	Inizio fioritura	- 3,2 °C	- 6,9 °C
	Piena fioritura	- 2,7 °C	- 4,9 °C
	Caduta petali	- 2,7 °C	- 4,0 °C
Melo	Gemma d'inverno	-11,9 °C	-17,6°C
	Rottura gemma	- 7,5 °C	-15,7°C
	Punte verdi	- 5,6 °C	- 11,7 °C
	Orecchiette di topo	- 3,9 °C	- 7,9 °C
	Mazzetti affioranti	- 2,8 °C	- 5,9 °C
	Bottoni rosa	- 2,7 °C	- 4,6 °C
	Apertura fiore centrale	- 2,3 °C	- 3,9 °C
	Piena fioritura	- 2,9 °C	- 4,7 °C
	Allegagione	- 1,9 °C	- 3,0 °C
Vite	Gemma cotonosa	- 10,6 °C	- 19,4 °C
	Punta verde	- 6,1 °C	- 12,2 °C
	Apertura gemme	- 3,9 °C	- 8,9 °C
	Prima foglia	- 2,8 °C	- 6,1 °C
	Seconda foglia	- 2,2 °C	- 5,6 °C
	Terza foglia	- 2,2 °C	- 3,3 °C
	Quarta foglia	- 2,2 °C	- 2,8 °C
Actinidia	Gemma dormiente		- 18,0 °C
	Germogliamento		- 3,0 °C
	Inizio accrescimento		- 2,0 °C
	Foglie espanso		- 1,5 °C
	Bottoni fiorali distinguibili		- 1,0 °C

4. STATO DELL'ARTE DELLE GELATE TARDIVE

Vengono approfonditi i meccanismi naturali di difesa delle piante e le strategie di protezione agronomica, sia passive che attive, come irrigazione antibrina, bruciatori e ventilatori. Infine, lo studio esplora i metodi di previsione avanzata, dalle reti di monitoraggio meteorologico alla modellistica fenoclimatica e alle tecnologie digitali, evidenziando strumenti innovativi per mitigare i rischi legati alle gelate tardive.