

Irrigazione antibrina: nuove tecnologie per la difesa attiva dei frutteti

A patto di conoscerne i principi fisici di funzionamento, questo sistema rimane uno dei più efficaci per contrastare le gelate tardive, nemico stagionale sempre più imprevedibile



di **S. Gentile¹**, **D. Solimando¹**, **F. Bandecchi²**

¹ Consorzio di bonifica per il Canale Emiliano Romagnolo - CER

² Università degli studi di Bologna – Dipartimento di Scienze e tecnologie agrarie

I cambiamenti climatici degli ultimi anni hanno estremizzato gli eventi meteorologici, rendendo le gelate tardive primaverili una delle principali minacce per la frutticoltura italiana. Il motivo è prettamente fenologico: inverni più miti anticipano la ripresa vegetativa, allungando la finestra di vulnerabilità delle colture proprio nel periodo

in cui sono ancora possibili repentine irruzioni di aria fredda. In Emilia-Romagna, così come in molte altre aree frutticole, il tema ha assunto un carattere strutturale. Il riscaldamento degli inverni accelera il risveglio delle piante lasciandole esposte a ritorni di freddo intenso in primavera e a danni che lasciano segni profondi nei bilanci aziendali.

Tra i metodi di difesa attiva, l'irrigazione antibrina rimane uno dei più efficaci, a patto di conoscerne la fisica e di ottimizzare l'uso della risorsa idrica.

Le tipologie di gelata

Prima di avviare qualsiasi sistema di difesa è fondamentale riconoscere la natura dell'evento termico, perché non tutte le gelate si combattono allo stesso modo.

- Gelata per irraggiamento: si verifica in notti con cielo sereno, calma di vento, alta pressione e bassa umidità. Il suolo cede calore all'atmosfera, raffreddando l'aria a contatto con esso e creando il fenomeno dell'inversione termica (aria più fredda in basso, più calda in quota). In queste condizioni l'irrigazione antibrina esprime la sua massima efficacia.

- Gelata per avvezione: è causata dall'arrivo di imponenti masse d'aria gelida, spesso accompagnate da venti forti e cielo coperto. L'irrigazione in questo caso è molto meno efficace e, a causa del vento, può persino aggravare i danni per effetto dell'evaporazione in condizioni di aria secca e ventilazione.

- Gelata mista: è la combinazione dei due fenomeni precedenti, ovvero ingresso di aria fredda più raffreddamento radiativo notturno. Unisce intensità e persistenza, spesso la più complicata da gestire anche dentro lo stesso appezzamento.



Copertura ghiaccio su fiori di piante arboree

La fisica del ghiaccio

Le temperature sempre più clementi che si registrano tra fine febbraio e inizio marzo determinano l'interruzione della dormienza e un pericoloso anticipo della ripresa vegetativa. Le prime a mettersi in moto sono le drupacee (pesco, albicocco, ciliegio ecc.), seguite a ruota dalle pomacee e dall'actinidia (kiwi). In funzione del periodo, è frequente trovarsi di fronte a frutteti con gemme ingrossate, o addirittura in fioritura o con frutticini già allegati.

In questa fase, un ritorno di freddo tipico delle gelate tardive può provocare danni irreversibili agli organi riproduttivi. A seconda della severità dell'evento (con picchi che vanno da -1 °C fino a -8 °C negli ambienti più esposti o di fondovalle), i decrementi produttivi possono variare dal 10% fino al 90%, azzerando di fatto il raccolto.

Man mano che la stagione avanza, infatti, i tessuti vegetali diventano più idratati e, di conseguenza, estremamente più sensibili: in fioritura e allegagione anche temperature di poco sotto lo zero risultano letali. Il punto critico è proprio la sincronizzazione tra l'evento gelivo e la fase fenologica vulnerabile, un rischio oggi aggravato dal costante anticipo del risveglio vegetativo.

Per proteggere questi tessuti, l'irrigazione antibrina non "riscalda" la pianta utilizzando acqua calda, ma sfrutta un preciso principio termodinamico: la fisica del calore latente di solidificazione. Quando l'acqua passa dallo stato liquido a quello solido, cede calore all'ambiente, formando un guscio di ghiaccio attorno agli organi della pianta. Finché su tale guscio coesistono acqua liquida in scorrimento e ghiaccio in formazione, la temperatura a contatto con i tessuti vegetali resta bloccata intorno agli 0°C, isolando di fatto gemme e fiori dall'aria gelida esterna.

Affinché il sistema funzioni correttamente, è cruciale affidarsi al termometro a bulbo umido, lo strumento d'elezione in grado di simulare l'effetto del raffreddamento per evaporazione sui tessuti bagnati (oggi spesso sostituito e integrato da termoigrometri digitali associati a software agrometeo che elaborano i dati psicrometrici in tempo reale).

In serate caratterizzate da aria secca, la temperatura di bulbo umido scende molto più rapidamente rispetto al bulbo secco (la temperatura dell'aria classica), segnalando con prezioso anticipo l'arrivo del momento critico.



Copertura ghiaccio soprachioma su piante di kiwi

Operativamente, l'avvio dell'impianto va programmato rigorosamente quando il bulbo umido si abbassa a +1 °C.

Altrettanto delicata è la fase di spegnimento, che non deve mai essere anticipata alle prime luci dell'alba. Occorre attendere visivamente che il ghiaccio diventi opaco e inizi a fondere spontaneamente, verificando che la temperatura dell'aria (bulbo secco) sia in risalita stabile oltre i +2 °C. Fermare l'erogazione troppo presto fa prevalere evaporazione (e, in parte, sublimazione) del ghiaccio: processi che sottraggono calore ai tessuti e possono peggiorare i danni rispetto alla mancata difesa.

Sistemi soprachioma

Tra le principali tecniche di difesa attiva basate sull'irrigazione, si distinguono due approcci: soprachioma e sottochioma, descritti di seguito.

L'irrigazione soprachioma incapsula l'intera vegetazione e resta la soluzione più completa negli eventi severi, a patto di copertura uniforme e continuità. Per allontanarsi dalle storiche (ed eccessive) pluviometrie, il mercato offre oggi diverse opzioni ingegneristiche in grado di calibrare perfettamente l'acqua necessaria. Le soluzioni tradizionali impiegano gli **irrigatori a battente a pioggia lenta**. Lavorando a pressioni tra 1,5 e 4,0 bar, erogano portate da 10 a 20 l/minuto (600-1.200 l/h), sviluppando

pluviometrie da 2,3 a 7,0 mm/h a seconda del sesto d'impianto (a quadrato da 12x12 fino a 18x18 m, o a triangolo da 8x9 fino a 16x18 m). Generano gocce medio-grandi che resistono molto bene al vento, ma comportano i consumi volumetrici più alti in assoluto. Restano tuttavia indispensabili per combattere eventi climatici estremi, fino a -8 °C, tipici della frutticoltura alpina.

Per coperture totali con consumi più razionalizzati si utilizzano i **mini-irrigatori**. Con la medesima pressione d'esercizio (1,5 - 4,0 bar), abbassano le portate tra 5 e 15 l/minuto (300-900 l/h). Garantiscono un'ottima uniformità distributiva con pluviometrie che spaziano da 2,2 a 10 mm/h in base alle spaziatore adottate (da 9x9 fino a 12x12 m nello schema a quadrato, e da 9x10 fino a 10x12 m nello schema a triangolo).

Su un principio meccanico profondamente diverso si basano gli **irrigatori oscillanti**. Operando a bassa pressione (0,7 - 1,7 bar, grazie a un riduttore integrato), gestiscono un ventaglio di portate ampissimo, da 180 fino a oltre 1.500 l/h. Le possibilità di configurazione sono pressoché illimitate: scegliendo tra modelli ad alta o bassa traiettoria e variando i sestini d'impianto (da 6 a 12 metri, a quadrato o a triangolo), si possono generare pluviogrammi piatti con gittate lunghe, oppure distribuzioni più verticali. Questo permette di sostenere pluviometrie che spaziano da soli 1,8 mm/h fino a picchi di 19-20 mm/h. Il loro grande vantaggio agronomico risiede nell'assenza di un braccio battente, caratteristica che azzerà i rischi di blocco meccanico causato dal ghiaccio.

Il vero salto di qualità per il risparmio idrico si ottiene però passando al **soprachioma localizzato**, sfruttando microsprinkler dinamici autocompensanti. Questi erogatori, operanti tra 0,8 e 4,0 bar con portate da 20 a 95 l/h, vengono configurati per bagnare esclusivamente la fascia occupata dalla parete vegetale (creando un diametro di bagnatura di circa 2 metri), lasciando in larga parte asciutto l'interfilare. Questo approccio riduce il consumo volumetrico totale ad ettaro del 30-50%, pur concentrando sulla pianta un'elevata pluviometria localizzata (circa 7 mm/h), concentrando la massima sicurezza termica sul bersaglio (la pianta).

Per ottimizzare ulteriormente i consumi man-

TAB. 1 CONFRONTO DEI PRIMI DATI SPERIMENTALI: TEMPERATURE MINIME REGISTRATE DURANTE LE BRINATE DEL 19/03 E DEL 7/04 2025

Tipologia di impianto antibrina	Testimone asciutto [°C]	Test irrigato [°C]		
	1 m	Bulbo bagnato	1 m	Incremento Δ T [°C]
Sottochioma microsprinkler *	-2,9	-1,6	-0,6	2,3
Sottochioma microsprinkler **	-0,7	0,2	0,7	1,4
Sottochioma microsprinkler **	-1,5	-0,9	0	1,5
Soprachioma pulsata *	-2,8	-1,7	-1,1	1,7
Soprachioma pulsata **	-0,7	0	-0,4	0,3

Nota: *19/03/2025; **07/04/2025

tenendo questa sicurezza, le sperimentazioni più recenti (come il progetto Adapter) uniscono il soprachioma localizzato alla **turnazione automatizzata tramite centraline IoT**. Impiegando questi microsprinkler, sensoristica per il monitoraggio microclimatico (sensore a bulbo umido o termoigrometro), un software modula cicli di 6 minuti in base alla reale rigidità del clima: si parte con temperatura a 1 °C e con trend in diminuzione, si attivano 2 minuti di irrigazione e 4 di pausa, abbattendo la pluviometria media a soli 2,4 mm/h. Se la temperatura rilevata va sotto lo zero, il sistema non è stato in grado di condizionare effettivamente e dunque si passa a 3 minuti di lavoro e 3 di pausa (3,6 mm/h). Se la temperatura non viene condizionata abbastanza si passa poi al programma con 4 minuti di erogazione e 2 di pausa (4,8 mm/h) ed infine all'erogazione continua. Si tratta di un approccio "sartoriale" che salva il raccolto senza affogare le radici. L'estrema avanguardia idraulica per la microportata è infine rappresentata dai **sistemi pulsati**, che si dividono in due principali tecnologie:

1. Nel **sistema a membrana**, un gocciolatore autocompensante posto in ingresso alimenta una piccola camera in silicone. Riempendosi d'acqua, la membrana entra in tensione e si svuota istantaneamente, attivando il microsprinkler dinamico sovrastante che raggiunge gittate di 4-6 metri. La dinamica di riempimento e scarico dipende proprio dalla portata del gocciolatore: maggiore è la portata, più veloci saranno gli impulsi e maggiore sarà la gittata.

Prevedendo spaziatore tra i 4,5 e i 6 metri, questa configurazione consente di erogare pluviometrie bassissime, comprese tra 1,6 e 2,5 mm/h.

2. Il **sistema a microcamera** si basa invece su un principio meccanico: il gocciolatore in ingresso riempie un serbatoio rigido. L'ingombro dell'acqua genera un innalzamento della pressione fino a un limite di taratura, al raggiungimento del quale una valvola meccanica (pin-valve) si apre di scatto, scaricando l'acqua in pressione sull'erogatore. Questo sistema permette di montare deflettori che creano una precisa "striscia bagnata" (con pluviometrie localizzate fino a 5,0 mm/h) oppure testine a 360° per la massima uniformità radiale (1,6 - 2,5 mm/h).

Per entrambe le tecnologie pulsate sussiste però un'avvertenza tecnica fondamentale: in caso di freddi estremi (sotto i -4°C), le pluviometrie possono non essere sufficienti o le pause insite nel meccanismo rischiano di far ghiacciare l'acqua residua all'interno delle valvole o sulle membrane, bloccando l'erogazione.

Sistemi sottochioma

Il grande vantaggio pratico è la possibilità di sfruttare per la difesa gli stessi impianti a microsprinkler utilizzati in estate per l'irrigazione o la climatizzazione dell'impianto.

In questo schema, l'acqua viene aspersa esclusivamente al suolo, impiegando microsprinkler dinamici da 20-90 l/h (a 1,5-3,0 bar) che formano una striscia bagnata lungo il

filare. Il principio fisico sfrutta l'interfilare inerbito come scambiatore termico: l'erba alta moltiplica la superficie di congelamento, massimizzando il calore rilasciato. Anche i residui di potatura possono essere lasciati in campo aumentando ulteriormente la superficie di scambio. L'aria mitigata, più leggera, sale e protegge solo i primi 2-3 metri di chioma. A fronte di pluviometrie bassissime (da 1,5 a 3,5 mm/h), i rischi di asfissia e i danni meccanici sui rami si azzerano. I limiti però sono netti: sotto i -4,5 °C la tecnica perde efficacia, e basta una leggera pendenza del terreno o una brezza per far scivolare via l'aria mitigata, vanificando l'intervento.

Il progetto Aadapter

Il progetto Adapter nasce con l'obiettivo di testare e comparare diversi sistemi di difesa attiva contro le gelate tardive, fenomeni che negli ultimi anni hanno causato danni ingenti alla frutticoltura dell'Emilia-Romagna. L'iniziativa studia soluzioni tecnologiche innovative per la protezione delle colture, puntando a ridurre il rischio climatico e a migliorare la resilienza dell'agricoltura regionale.

Il progetto è sostenuto da un ampio partenariato che vede come Capofila Apo Conerpo, affiancato da Ri.Nova, Aop Italia, Granfrutta Zani, Orogel Fresco, Terremerse, Agribologna, Agrintesa, Fruit Modena Group, Orticolti, All

Vineyard, con il supporto scientifico e tecnico di Unibo, Cer e Dinamica.

Il progetto valuta diverse strategie di difesa; in questo contributo ci si concentra sulle soluzioni irrigue a minor impatto idrico.

Il progetto Adapter è realizzato nell'ambito del CoPSR 2023-2027 - Tipo di intervento SRG01 'Sostegno ai Gruppi Operativi Pei Agri' - OS4; è finanziato dal Feasr 2023-2027 - Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale - Progetto 'Valutazione comparata di sistemi di difesa attivi per le gelate tardive in relazione ai cambiamenti climatici - Adapter'.

In questo contributo si riportano i primi risultati di progetto relativi agli interventi effettuati durante due episodi gelivi della scorsa annata, focalizzando l'attenzione sul confronto tra i sistemi con microsprinkler sottochioma e i sistemi pulsati (tab. 1).

Rischi operativi

L'irrigazione antibrina è, e resterà, uno dei pilastri della difesa attiva per la frutticoltura. Tuttavia, la gestione tradizionale in continuo ad alte pluviometrie - con erogazioni abbondanti per tutta la notte - è diventata insostenibile per ragioni economiche, idriche e, soprattutto, agronomiche.

Il punto critico, e vero tallone d'Achille della difesa irrigua tradizionale, è infatti legato al suolo: in marzo e aprile i terreni sono spesso già vicini alla capacità idrica di campo o persi-

no saturi. L'apporto dei grandi volumi richiesti da un antibrina classico (che può erogare dai 40 agli 80 mm di pioggia in una singola notte) innesca un elevato rischio di asfissia radicale. A questo si unisce il problema delle portate consortili e delle riserve aziendali, messe a dura prova su ampie superfici.

Questo duplice vincolo ha spinto la ricerca verso le direzioni tecnologiche ormai tracciate: localizzazione della bagnatura, intermittenza calibrata sulla temperatura e automazione basata sul monitoraggio in campo.

Accanto ai vantaggi delle nuove tecnologie, è essenziale considerare i rischi operativi, poiché eventuali errori di gestione possono trasformare la difesa in un danno per la coltura. I principali punti critici includono le interruzioni di alimentazione e portata (black-out, motopompe bloccate, filtri o ugelli ostruiti, cali di pressione) che, compromettendo la continuità, causano un drastico raffreddamento dei tessuti per evaporazione. Altrettanto pericolosi sono un avvio tardivo o uno spegnimento precoce (specialmente in condizioni di aria secca), così come una bagnatura non uniforme causata da vento, layout errato o impianto sottodimensionato. Infine, il vincolo stesso della disponibilità idrica, in caso di invasi insufficienti, può rendere inefficace a metà nottata un impianto anche tecnicamente valido.

In definitiva, la variabile che determina il successo di una notte di difesa non è solo il sistema installato, ma la competenza nel gestirlo. Conoscere la differenza tra termometro a bulbo umido e secco, avviare l'impianto con il giusto anticipo ed evitare lo spegnimento fino all'avvio della fusione del ghiaccio, restano regole agronomiche fondamentali. La tecnologia crea le condizioni operative, ma è la competenza tecnica a trasformarle in protezione effettiva. In un contesto climatico in cui gli eventi gelivi estremi sono diventati più frequenti, questo approccio integrato rappresenta la risposta più solida per garantire la produttività delle aziende frutticole.



Inerbimento interfilare e residui di potatura aumentano la superficie di scambio termico