TerrEvolute 04

BORIN_Esperienze irrigue su mais in Veneto_2022.indd 1 22/02/2022 12:42:25

Direzione
Elisabetta Novello, Università degli Studi di Padova

Comitato scientifico
Giorgio Baldo, Museo del Paesaggio di Torre di Mosto
Giorgetta Bonfiglio-Dosio, Università degli Studi di Padova
Marco Borga, Università degli Studi di Padova
Maurizio Borin, Università degli Studi di Padova
Mario Brogi, Università degli Studi di Padova
Maria Stella Busana, Università degli Studi di Padova
Elena Canadelli, Università degli Studi di Padova
Dario Canzian, Università degli Studi di Padova
Benedetta Castiglioni, Università degli Studi di Padova
Eriberto Eulisse, Centro Internazionale Civiltà dell'Acqua
Marco Giampieretti, Università degli Studi di Padova
Graziano Paulon, Associazione Triveneta dei Dirigenti della bonifica
Farah Polato, Università degli Studi di Padova
Paolo Salandin, Università degli Studi di Padova
Clemente Santacroce, Università degli Studi di Padova
Michelangelo Savino, Università degli Studi di Padova
Remy Simonetti, Consorzio di bonifica Veneto Orientale
Alice Vacilotto, Università degli Studi di Padova
Francesco Vallerani, Università Cà Foscari di Venezia
Margherita Vanore, Università Iuav di Venezia
Stefano Zaggia, Università degli Studi di Padova

La collana *TerrEvolute* si propone di sviluppare la riflessione e il confronto su tematiche legate al complesso rapporto che nel corso dei secoli si è creato fra l'uomo e l'ambiente che lo ospita.
L'azione umana di regolazione e gestione delle acque ha determinato significative trasformazioni del territorio in varie zone d'Europa. Tali interventi hanno modificato sensibilmente la morfologia originaria di molte aree e avuto notevoli conseguenze economiche e sociali sulle comunità residenti.
Il termine *TerrEvolute* permette una doppia lettura: terre *"volute"*, perché fortemente desiderate, ritenute indispensabili per soddisfare le esigenze di una popolazione in continua crescita; terre *"evolute"*, perché frutto di un secolare processo di trasformazione e miglioramento produttivo, economico e sociale.
I volumi inclusi nella collana rivolgono particolare attenzione alle peculiarità dei territori di bonifica, alla complessa gestione delle risorse idriche, all'evoluzione del paesaggio, alla valorizzazione del patrimonio culturale, materiale e immateriale di queste aree.
TerrEvolute, attraverso approcci multidisciplinari, intende offrire spazio al dibattito sull'importanza dello sviluppo economico, sociale ed ecologico sostenibile promosso dall'Agenda 2030 dell'ONU.

TerrEvolute 04

Esperienze irrigue su mais in Veneto

a cura di Maurizio Borin

cleup

BORIN_Esperienze irrigue su mais in Veneto_2022.indd 3 22/02/2022 12:42:25

FEASR

REGIONE DEL VENETO

PSR VENETO 2014-2020

FONDO EUROPEO AGRICOLO PER LO SVILUPPO RURALE: L'EUROPA INVESTE NELLE ZONE RURALI

Iniziativa finanziata dal Programma di sviluppo rurale per il Veneto 2014-2020
Organismo responsabile dell'informazione: Soc. agr. Borgoluce s.s.
Autorità di gestione: Regione del Veneto – Direzione Adg FEASR e Foreste

Prima edizione: marzo 2022

ISBN 978 88 5495 494 6

© 2022 CLEUP sc
"Coop. Libraria Editrice Università di Padova"
via G. Belzoni 118/3 – Padova (t. +39 049 8753496)
www.cleup.it
www.facebook.com/cleup

Tutti i diritti di traduzione, riproduzione e adattamento, totale o parziale, con qualsiasi mezzo (comprese le copie fotostatiche e i microfilm) sono riservati.

Indice

Prefazione 7
di Albino Maggio

Introduzione 9
di Maurizio Borin

Maurizio Borin, Carmelo Maucieri 11
Irrigazione: importanza e sfide

Maurizio Borin 13
Il progetto GIAcAMI

Carmelo Maucieri, Maurizio Borin 17
Rapporti acqua-terreno: le basi per l'irrigazione razionale

Lucia Bortolini 25
Irrigazione e metodi irrigui

Maurizio Borin, Angelo Betto, Arianna Toffanin 49
Irrigazione in Veneto

Arianna Toffanin, Alessandro Candian, Lucia Bortolini,
Carmelo Maucieri 57
Metodi irrigui nel progetto GIAcAMI

Arianna Toffanin, Lucia Bortolini, Carmelo Maucieri,
Gabriele Furlanetto, Fabio Morandin, Maurizio Borin 85
Produzioni di mais in irriguo e in asciutto nell'alta pianura veneta

Arianna Toffanin, Carmelo Maucieri, Davide Breda,
Franco Cavaggioni, Maurizio Borin 91
Cambiamento climatico e produzioni del mais

Lucia Bortolini 99
Fertirrigazione

Arianna Toffanin, Elisa Dal Maso, Carmelo Maucieri, Maurizio Borin, Davide Daccordo 103
Tecnologie digitali per migliorare la gestione dell'irrigazione

Carmelo Maucieri 115
Mais, micotossine e gestione irrigua

Carmelo Maucieri, Arianna Toffanin, Maurizio Borin 121
Conclusioni e prospettive future

Prefazione

Albino Maggio
Professore ordinario di Agronomia e coltivazioni erbacce presso il Dipartimento di Agraria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II

A livello mondiale i terreni agricoli serviti da irrigazione rappresentano poco meno del 20% delle superfici coltivate, ma producono quasi il 40% delle derrate alimentari. L'irrigazione è quindi una leva potente per soddisfare i fabbisogni di cibo della popolazione del pianeta presente e futura.

Tuttavia la competizione per l'acqua dolce tra usi urbani, industriali e agricoli è in costante aumento a causa della crescita demografica e del cambiamento climatico. Questo tema è particolarmente rilevante in Italia e in tutte le regioni del Mediterraneo meridionale, dove l'irrigazione utilizza circa il 70% delle risorse idriche.

L'agricoltura irrigua consente di raddoppiare la produttività dei terreni e diventa essenziale per garantire raccolti elevati durante la tarda primavera e l'estate, caratterizzate da temperature elevate e mancanza di pioggia. Allo stesso tempo, la carenza d'acqua e gli eventi di siccità estrema causano una perdita di resa e diventeranno sempre più frequenti come conseguenza del riscaldamento globale.

Nella pratica comune, gli agricoltori irrigano senza una valutazione esplicita dell'effettivo fabbisogno di acqua delle colture, che dipende principalmente dal contenuto idrico del suolo, dallo stadio di sviluppo della coltura e dalle condizioni meteorologiche. Pertanto, vi è la tendenza ad apportare volumi eccessivi rispetto alle reali necessità, con conseguente perdita di acqua e possibili effetti dannosi per l'ambiente. Per garantire la sostenibilità a lungo termine dell'agricoltura irrigua è necessario migliorare l'efficienza nell'uso dell'acqua, come è richiesto dalla politica agricola comune dell'UE e dalla direttiva quadro sulle acque (2000/60/CE).

In questo senso, molti sforzi della ricerca sono dedicati allo sviluppo di strumenti affidabili per la stima del fabbisogno idrico delle colture e per la

gestione dell'irrigazione in condizioni di disponibilità sub ottimale di acqua irrigua. Sono stati proposti servizi di consulenza che sfruttano le tecnologie ICT e di telerilevamento per fornire informazioni tempestive ai consorzi di bonifica e agli agricoltori per una programmazione ottimale dell'irrigazione. Altrettanto impegno è stato dedicato allo sviluppo delle tecnologie irrigue, mettendo a disposizione dell'agricoltore impianti efficienti, in grado di ridurre al minimo le perdite di acqua se correttamente gestiti. Il principio del "more crop per drop" è un denominatore comune a tutti gli sforzi compiuti nel campo dell'irrigazione.

In questo scenario, il lavoro svolto dai colleghi dell'Università di Padova coordinati dal Prof. Borin all'interno del Progetto PSR GIAcAMI, e presentato in questo volume, è un esempio virtuoso di interazione fra ricercatori e aziende agricole per individuare soluzioni operative per migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua nell'irrigazione.

Introduzione

Maurizio Borin

Questo volume sintetizza e valorizza i risultati più significativi del progetto GIAcAMI (Gestione Integrata di Acqua e Azoto con diversi Metodi Irrigui), finanziato nel 2018 dalla Regione Veneto tramite la Misura 16 del Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020. In osservanza alle specifiche del bando, si è costituito un Gruppo Operativo, formato da aziende e università, con il compito di individuare criticità della gestione delle attività agricole alle quali dare risposta attraverso interventi di sperimentazione applicata. Nello specifico, con il coordinamento scientifico del Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente (DAFNAE) dell'Università di Padova, il Gruppo Operativo ha visto la partecipazione di tre importanti aziende agricole del Veneto (Borgoluce Società Agricola s.s., che ha svolto il ruolo di capifila, S.AGRI.V.IT. s.r.l. e Società Agricola Liasora s.s.) e di E.R.A.PR.A. del Veneto. L'oggetto dello studio ha riguardato la difficoltà a gestire in modo efficiente l'irrigazione e la fertilizzazione azotata nelle colture erbacee estensive e si è concentrato, come caso studio, sul mais, essendo questa la coltura irrigua più diffusa nella regione.

Nel complesso le tre aziende sono dotate di 27 impianti irrigui differenti per tipologia, superficie servita, anno di realizzazione, metodologie gestionali. Grazie a questa ricchezza di casistiche è stato possibile monitorare le prestazioni in condizioni di impiego reale, valutando le principali variabili irrigue e l'uniformità di distribuzione dell'acqua. In aggiunta, le aziende hanno messo a disposizione informazioni sulla produzione delle colture in irriguo e in asciutto negli ultimi 20 anni, che hanno consentito anche di valutare l'impatto dell'evoluzione del clima sulla fenologia e sulle rese. Le attività di campo sono state affiancate dallo sviluppo e dalla validazione di

un'applicazione per *smartphone*, utile a supportare l'agricoltore nella scelta del momento d'intervento irriguo.

Il volume, dopo la presentazione del progetto e delle aziende coinvolte, richiama i rapporti acqua-terreno, che rappresentano la base teorica di una pratica irrigua corretta ed efficiente. Vengono poi descritte le caratteristiche dei principali metodi irrigui, dando anche alcune considerazioni sui criteri di scelta dell'impianto. Il capitolo successivo fornisce una panoramica sull'irrigazione in Veneto, e ne illustra le fonti di approvvigionamento idrico, le modalità di gestione e i metodi irrigui. Segue la parte dedicata alla caratterizzazione dei 27 impianti irrigui monitorati durante il progetto, nella quale, oltre ai dati tecnici e alla determinazione dell'uniformità di distribuzione dell'acqua, si presentano indicazioni sui costi, elaborate assieme ai tecnici delle aziende. Nei capitoli "Produzioni di mais in irriguo e in asciutto nell'alta pianura veneta" e "Cambiamento climatico e produzioni del mais" si valorizzano le serie storiche di dati aziendali. Dopo un capitolo dedicato alla fertirrigazione, si danno due esempi di utilizzo di semplici tecnologie digitali per migliorare la gestione dell'irrigazione: "App GIAcAMI, sistema di supporto decisionale per la gestione dell'irrigazione del mais" e "Gestione da remoto di un rotolone". Un contributo relativo ai rapporti fra gestione irrigua e presenza di micotossine nella granella di mais conclude la parte tecnica. Il volume si chiude con alcune considerazioni conclusive e uno sguardo agli sviluppi futuri dell'irrigazione.

La realizzazione del progetto GIAcAMI è stata un'esperienza stimolante e gratificante, che ha dato l'opportunità a ricercatori universitari di lavorare all'interno delle aziende agrarie, in sinergia con il personale e in condivisione di problematiche, metodologie, approcci di lavoro. Si è sviluppato in un arco temporale fortemente condizionato dall'emergenza generata dalla pandemia Covid 19, soprattutto nel primo anno di attività.

Ciò nonostante il piano di lavoro è stato rispettato nei tempi e negli obiettivi, grazie all'impegno di tutte le persone che hanno partecipato al progetto, fra le quali mi sento di ringraziare in modo particolare Franco Cavaggioni, Gabriele Furlanetto, e Fabio Morandin.

Mi auguro che questo volume apporti un contributo di conoscenza utile a fornire elementi per migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua irrigua e a stimolare riflessioni e interventi.

Irrigazione: importanza e sfide

Maurizio Borin*, Carmelo Maucieri*

Il clima sta cambiando. Gelate tardive, nubifragi, grandine e non meno dannosi prolungati periodi di siccità e onde di calore si manifestano infatti con frequenza maggiore rispetto ai decenni scorsi. La piovosità annuale oggi è mal distribuita e l'irrigazione delle colture è d'obbligo per mantenere rese elevate e stabili nel tempo. A questo scenario si aggiungono le direttive europee per la salvaguardia dell'ambiente naturale quali la direttiva Acque 2000/60/CE che prevede la transizione da «Deflusso minimo vitale[1]» a «Deflusso ecologico[2]» cui fa seguito un aumento delle portate da garantire nei corsi d'acqua. Perciò se la portata minima dei corsi d'acqua aumenta, progressivamente non possono che diminuire i prelievi artificiali per altri usi come quello irriguo. Allo stesso tempo, si stima che entro il 2050 la domanda globale di acqua aumenterà del 55%, principalmente a causa della crescente domanda di alimenti, della produzione di elettricità termica e dell'uso domestico. La minore disponibilità idrica da un lato e la maggiore richiesta di

*Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente (DAFNAE); maurizio.borin@unipd.it; carmelo.maucieri@unipd.it

[1] **Deflusso Minimo Vitale**: la portata istantanea di ogni tratto omogeneo del corso d'acqua che garantisce la salvaguardia delle caratteristiche fisiche del corpo idrico, chimico-fisiche delle acque nonché il mantenimento delle biocenosi tipiche delle condizioni naturali locali (Decreto del Ministero dell'ambiente e del territorio del 28 luglio 2004).

[2] **Deflusso ecologico**: regime idrologico che, in un tratto idraulicamente omogeneo di un corso d'acqua, appartenente ad un corpo idrico così come definito nei piani di Gestione dei distretti idrografici, è conforme col raggiungimento degli obiettivi ambientali definiti ai sensi dell'art. 4 della direttiva quadro acque (Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela e del Territorio e del Mare 30/2017).

acqua dall'altro determineranno una crescente competizione per l'uso. Se si considera che l'agricoltura è il settore che preleva circa il 70% dell'acqua complessivamente utilizzata a livello globale, è facilmente ipotizzabile che proprio al settore primario sarà richiesto il maggior impegno per la riduzione dei consumi. Con particolare riguardo ai Paesi europei, l'Italia è al secondo posto, dopo la Spagna, in termini di superficie irrigata: 2,4 milioni di ettari, corrispondente al 19% della superficie agricola utilizzata (SAU). Le problematiche fin qui esposte fanno capire come un aumento dell'efficienza irrigua, e quindi una diminuzione della quantità d'acqua necessaria al raggiungimento della produzione agricola, sia un obiettivo fondamentale per i prossimi decenni.

Il progetto GIAcAMI

Maurizio Borin*

Il progetto GIAcAMI (Gestione Integrata di Acqua e Azoto con diversi Metodi Irrigui, PSR Veneto Misura 16) nasce della difficoltà riscontrata dagli agricoltori del territorio di gestire in modo efficiente l'irrigazione e la fertilizzazione azotata nelle colture erbacee estensive. Scopo del progetto è quindi trovare soluzioni per aumentare l'efficienza dell'acqua irrigua e dell'azoto su colture esigenti quale è ad esempio il mais. Il progetto, che si è sviluppato in un triennio (2019-2021), ha dato come risultato principale lo sviluppo di uno strumento di supporto decisionale, ossia un'applicazione per smartphone, che identifichi il momento migliore per irrigare e lo suggerisca all'agricoltore: un semplice assistente irriguo. Coinvolte nelle attività erano il Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente (DAFNAE) dell'Università degli Studi di Padova e tre aziende dell'alta pianura veneta: Borgoluce Società Agricola s.s., S.AGRI.V.IT. s.r.l. e Società Agricola Liasora s.s., tutte in provincia di Treviso (fig. 1).

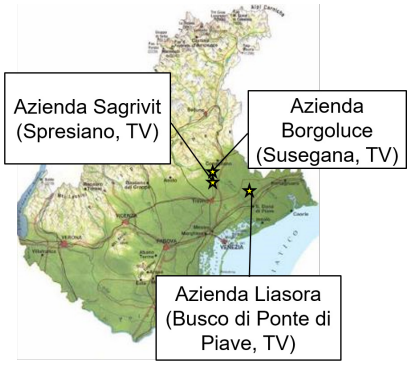


Fig. 1 - Localizzazione geografica delle tre aziende partner del progetto GIAcAMI (PSR Veneto): Borgoluce, S.AGRI.V.IT. e Liasora.

*Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente (DAFNAE); maurizio.borin@unipd.it

Le aziende partner

Borgoluce Società Agricola s.s.
Area geografica: Susegana, Santa Lucia di Piave (TV)
Superficie totale: 1000 ha
Colture erbacee: mais, orzo, frumento, loietto, erba medica, pisello, girasole
Colture arboree: nocciolo, noce, vite, olivo
Animali: Bufale, vacche Limousine, maiali, pecore Alpagotte, galline ovaiole
Impianti irrigui aziendali: rotoloni, pivot, microirrigazione su seminativo e microirrigazione su nocciolo, noce e vite
Consorzio di bonifica di riferimento: Piave

Fig. 2 - Vista della cantina nel centro aziendale dell'Azienda Borgoluce.

S.AGRI.V.IT. s.r.l.
Area geografica: Spresiano, Cessalto, Chiarano, Nervesa della Battaglia e Giavera del Montello (TV)
Superficie totale: 5500 ha in tutta Italia, di cui 435 in provincia di Treviso
Colture erbacee: mais, soia, orzo, frumento, erba medica
Impianti irrigui utilizzati su seminativo: rotoloni e pivot
Colture arboree: nocciolo, noce, vite
Impianti irrigui utilizzati su arboree: sub-irrigazione, microirrigazione
Consorzio di bonifica di riferimento: Piave

Fig. 3 - Centro aziendale di Spresiano (Villa Giustiniani) - Azienda S.AGRI.V.IT.

Società Agricola Liasora s.s.
Area geografica: Ponte di Piave, Cessalto (TV) e Ceggia (VE)
Superficie totale: 500 ha
Colture erbacee: mais, soia, frumento e bietola
Colture arboree: noce, vite
Impianti irrigui aziendali: rotoloni e sub-irrigazione su seminativo, microirrigazione su noce
Consorzio di bonifica di riferimento: Piave e Veneto Orientale.

Fig. 4 - Centro aziendale di Ponte di Piave - Azienda Liasora.

BORIN_Esperienze irrigue su mais in Veneto_2022.indd 16 22/02/2022 12:42:26

Rapporti acqua-terreno: le basi per l'irrigazione razionale

Carmelo Maucieri*, Maurizio Borin*

Le costanti idrologiche

Il suolo è un mezzo poroso i cui pori di forma e dimensioni molto diverse possono essere fra loro interconnessi o separati. Le funzioni dei pori dipendono dal loro diametro. Semplificando e schematizzando una situazione molto complessa si possono distinguere: i) i *macropori*, con diametro superiore ai 20 µm. Questi non riescono a trattenere l'acqua, che è quindi soggetta alla forza di gravità. Hanno la funzione di consentire la circolazione dell'aria; ii) i *micropori*, con diametro inferiore ai 20 µm. Grazie alla loro dimensione riescono a sviluppare capillarità trattenendo l'acqua, evitando che percoli per effetto della forza di gravità. Poiché trattengono l'acqua, il loro volume costituisce la riserva idrica del terreno.

In base al contenuto di acqua (umidità espressa in % sul peso secco del suolo) presente nel terreno si individuano le seguenti costanti idrologiche, ossia tre situazioni limite (fig. 1):

1. **Capacità Idrica Massima** (CIM): umidità del suolo quando sia la macroporosità che la microporosità sono riempite d'acqua. L'acqua presente nei macropori è soggetta alla forza di gravità e dunque a percolazione.
2. **Capacità di Campo** (CC): quantità di acqua trattenuta dal terreno nella microporosità dopo che l'acqua presente nei macropori è percolata liberamente per effetto della gravità. È l'acqua d'imbibizione capillare, viene trattenuta dal terreno a tensione di 0,1-0,2 bar.

*Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente (DAFNAE); carmelo.maucieri@unipd.it, maurizio.borin@unipd.it

3. **Punto di Appassimento o coefficiente di avvizzimento** (CA): contenuto di umidità nel suolo sotto il quale la maggior parte delle piante non è più in grado di assorbire l'acqua in quantità sufficiente e va incontro a morte. La tensione esercitata dal terreno è di 15 bar.

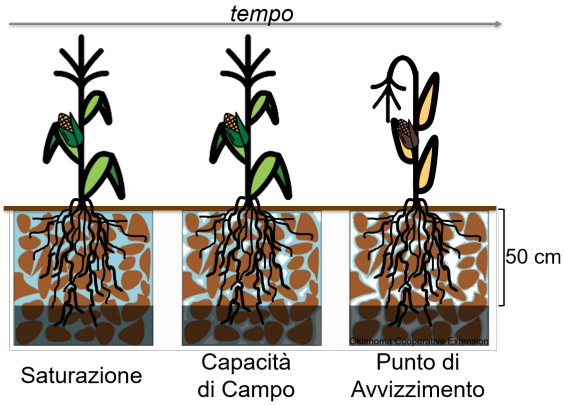


Fig. 1 - Costanti idrologiche del terreno.

L'intervallo di umidità compreso fra CIM e CC rappresenta l'**acqua di percolazione**. Essa abbandona velocemente (1-3 giorni) gli strati superficiali del suolo, ma in questo intervallo di tempo può essere assorbita dalle piante senza che esse debbano sviluppare suzioni significative. L'intervallo di umidità compreso fra CC e CA è l'**acqua disponibile**, ovvero la frazione di umidità che costituisce la riserva idrica del terreno e può essere assorbita dalle piante. Circa la metà dell'acqua disponibile è trattenuta con tensioni fra 0,1 - 1 bar. Nelle colture agrarie si è identificato un limite del contenuto idrico del terreno più elevato rispetto al PA: il **punto critico colturale** (PCC), che corrisponde al livello di umidità al di sotto del quale le piante iniziano a soffrire lo stress idrico. Di conseguenza iniziano a mettere in atto processi di controllo della traspirazione e rallentano le funzioni fisiologiche alla base della produzione. La quantità d'acqua contenuta fra questo punto e la capacità di campo viene indicata con il termine di riserva facilmente utilizzabile massima (RFUm). Quando nel terreno è presente RFU la pianta si trova in condizioni ottimali di rifornimento idrico. L'umidità inferiore al CA rappresenta **acqua residuale e non disponibile** per l'assorbimento da parte delle colture.

Una eccessiva irrigazione, che superi cioè la capacità di campo del terreno, comporta la saturazione temporanea dello strato esplorato dalle radici

della coltura risultando in uno spreco della risorsa acqua, di tempo e di denaro, e causa di ristagno superficiale (o ruscellamento superficiale a seconda della pendenza del terreno), percolazione oltre la profondità target, o una combinazione dei due a seconda della morfologia e natura del suolo. Tutti questi eventi possono avere conseguenze negative sulla coltura: un ristagno prolungato porta all'instaurarsi di un ambiente asfittico a livello della rizosfera con ripercussioni sfavorevoli sulla nutrizione della pianta e, in modo particolare, sulla forma con cui gli elementi sono disponibili nel suolo (es. N e Fe). Un elevato livello di umidità permanente può inoltre rendere le piante più suscettibili all'incidenza di alcune patologie (es: peronospora, difetti della buccia come lenticellosi o deformazioni della polpa) o di alcuni fitofagi (elateridi). La percolazione comporterebbe invece l'allontanamento dei nutrienti più mobili (principalmente N nitrico) oltre la profondità radicale con una minore disponibilità per la coltura e un conseguente impatto sui corpi idrici recettori (falde, corpi idrici di superficie).

Da quanto fin qui esposto emerge chiaramente l'importanza cruciale della conoscenza delle costanti idrologiche e il successivo monitoraggio dell'umidità del suolo per una gestione razionale dell'irrigazione. Di seguito sono riportati due metodi di campo per la determinazione della CC e del PA e una disamina della strumentazione utilizzabile per il monitoraggio dell'umidità del terreno.

Metodo dell'aiuola

Il metodo fornisce elevata rappresentatività per la determinazione della capacità di campo perché eseguito direttamente in campo. Consiste nel realizzare in campo delle aiuole contornate da arginelli, con superfice di 2 - 4 m^2 nelle quali viene immessa acqua in una quantità utile a determinare percolazione sotto l'orizzonte per il quale si intende ottenere il valore di questa costante idrologica (fig. 2). Dopo aver immesso l'acqua nell'aiuola si attende che questa si infiltri e non appena l'acqua non è più visibile si procede ad un primo campionamento del terreno nello strato di interesse. Si copre quindi l'aiuola con un telo in plastica e si procede a campionamenti regolari nei giorni successivi. I campioni di terreno prelevati vanno posti in stufa a 105 °C fino a peso costante per determinare il contenuto di umidità. Quando il valore di umidità del terreno diviene costante si considera terminato il processo di percolazione: l'umidità misurata rappresenta il valore della capacità di campo.

Metodo del girasole

Il girasole è stato individuato da decenni come pianta indicatrice per la determinazione del punto di appassimento. Il metodo prevede che le piante vengano coltivate in vasi riempiti con il terreno del quale si vuole determinare il punto di appassimento in condizioni di ottima disponibilità idrica fino al massimo sviluppo vegetativo, momento in cui cessa l'irrigazione. A questo punto i vasi vengono sigillati così che la perdita d'acqua avvenga solo per traspirazione della pianta e non per evaporazione dal suolo (fig. 2). I vasi sigillati vanno posti in un ambiente con una bassa richiesta evapotraspirativa fino a quando tutte le foglie appassiscono. Per assicurarsi che l'avvizzimento sia permanente, le piante vengono posizionate durante la notte in una camera umida e buia. Se tutte le foglie rimangono appassite al mattino, è stato raggiunto il punto di appassimento e si può determinare il contenuto di acqua del suolo o il potenziale idrico.

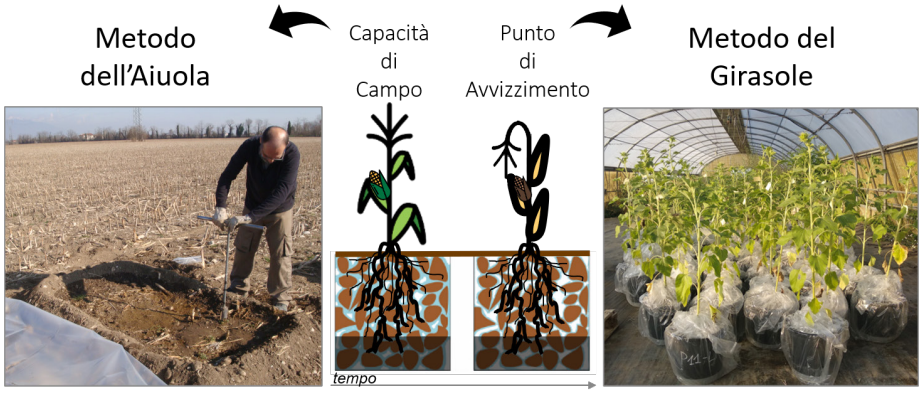


Fig. 2 - Metodo dell'aiuola (sinistra) e metodo del girasole (destra) impiegati per la determinazione delle costanti idrologiche del terreno nel progetto GIAcAMI.

Sensori di umidità

Un possibile approccio per la gestione razionale dell'irrigazione prevede l'impiego di sensori in grado di rilevare il contenuto idrico volumetrico[1]

[1] Contenuto idrico volumetrico: misura che fornisce il volume di acqua contenuta in un terreno a prescindere dalla sua reale disponibilità per le piante.

Fig. 3 - Datalogger e sensori utilizzati nel progetto GIAcAMI per la determinazione del contenuto volumetrico di acqua nel terreno.

(CIV, espresso in m^3 m^{-3} o %) del terreno oppure il suo potenziale idrico[2] (o tensione matriciale, espresso in kPa). Tra contenuto idrico volumetrico e potenziale idrico esiste una stretta relazione, decritta dalla cosiddetta curva di ritenzione idrica del terreno e dipendente dalla granulometria del terreno. Questa relazione, determinata sperimentalmente in laboratorio, è nota per molti tipi di terreno.

I sensori impiegati per la misura del contenuto idrico volumetrico (fig. 3) si basano sulla permittività dielettrica[3] del terreno. Il concetto alla base dell'utilizzo della tecnica dielettrica è che esiste un'enorme differenza nella costante dielettrica del terreno asciutto (2-5) e quella dell'acqua pura (80-81). Piccole variazioni di umidità del terreno fanno quindi variare in modo apprezzabile la sua permettività dielettrica.

Gli strumenti che sfruttano questa tecnologia emettono quindi nel terreno onde elettromagnetiche ad elevata frequenza (GHz) la cui velocità di pro-

[2] Potenziale idrico: misura che fornisce indicazioni sulla disponibilità idrica mediante la forza con la quale l'acqua è trattenuta nel terreno. Non da informazioni sulla quantità di acqua disponibile.

[3] Permettività dielettrica: grandezza fisica che permette di quantificare la tendenza di un materiale a contrastare l'intensità del campo elettrico presente al suo interno.

pagazione è inversamente proporzionale alla radice quadrata della permettività dielettrica. La misura delle costanti dielettriche può essere effettuata in diversi modi, tra cui i più diffusi sono quelli del TDR (*Time Domain Reflectometry*) e quello del FDR (*Frequency Domain Reflectometry*). L'influenza trascurabile della temperatura sulle misurazioni della permittività elettrica rendono queste tecniche molto accurate nella determinazione dell'umidità anche in terreni poco profondi. I TDR determinano la permittività dielettrica della massa di terreno in cui si effettua la misurazione mediante l'inserimento in quest'ultimo di una sonda costituita da due 2-3 aste d'acciaio di lunghezza pari a quella dello strato in cui si vuole determinare il contenuto idrico. Una delle aste trasmette l'onda elettromagnetica mentre l'altra o le altre due ricevono l'onda che ha attraversato il terreno. Determinando il tempo intercorso tra l'emissione e la ricezione dell'onda lo strumento determina la permittività dielettrica e conseguentemente il contenuto idrico volumetrico del terreno. Gli FDR sono molto simili ai TDR. Differiscono da questi ultimi in quanto non misurano il tempo impiegato dall'onda tra emissione e ricezione ma la costante dielettrica del terreno generata tra due elettrodi.

I principali vantaggi di TDR e FDR sono la rapidità nell'esecuzione della misura, la ripetibilità della misurazione, la non dipendenza dalla tessitura e dalla temperatura del terreno. Lo svantaggio principale è invece legato alla non affidabilità della misura in terreni ricchi di sostanza organica e/o di scheletro, molto argillosi o eccessivamente salini. I sensori FDR hanno inoltre un tempo più lungo di stabilizzazione della misura per cui sono da preferire per installazioni permanenti nel terreno.

Il potenziale idrico viene normalmente misurato con un tensiometro, un semplice strumento costituito da: una colonna riempita di acqua (distillata o deionizzata), una coppa porosa che consente il passaggio di acqua tra il terreno e la colonna stessa fino al raggiungimento dell'equilibrio e un manometro che rileva le variazioni della pressione negativa all'interno della colonna d'acqua. I tensiometri rappresentano sistemi molto precisi per la misurazione del potenziale idrico, non sono influenzati dal contenuto salino e offrono misure accurate fino a tensioni di -80/-100 kPa; a valori più bassi (cioè, più negativi) si hanno fenomeni di cavitazione (formazione di bolle d'aria nella colonna d'acqua) che rendono le misure poco attendibili.

Una gestione razionale dell'irrigazione a basso costo può essere fatta con l'impiego di due sensori che controllino in automatico l'avvio e la fine dell'intervento irriguo. Il primo dei due sensori va posto in prossimità delle radici mentre il secondo più in profondità. Il sensore nella parte più alta attiva l'irrigazione quando il contenuto di umidità scende sotto una certa soglia

(impostata dall'operatore in funzione delle caratteristiche della specie coltivata); a sua volta, il sensore più in basso ferma l'irrigazione quando avverte un aumento dell'umidità legato alla percolazione dell'acqua. A causa della variabilità spaziale del terreno, per una gestione efficace dell'irrigazione non è però sufficiente installare i sensori in un solo punto. Conseguentemente, in terreni caratterizzati da elevata eterogeneità i costi di questo tipo di gestione sono maggiori.

Irrigazione e metodi irrigui

Lucia Bortolini*

Tipi di irrigazione

L'irrigazione si può definire come una pratica agronomica che prevede l'apporto di acqua al fine di migliorare l'attitudine globale del sistema suolo-pianta-atmosfera alla produzione vegetale. La più diffusa è l'**irrigazione umettante** che si propone di elevare il contenuto idrico del suolo al fine di soddisfare le esigenze idriche delle colture.

Vi sono molteplici scopi per i quali si può intervenire con l'irrigazione per cui, oltre all'irrigazione umettante, se ne distinguono altri tipi:

- **irrigazione termica**: utilizzata per modificare la temperatura del terreno, delle piante o dell'aria circostante (es. irrigazione antibrina);
- **irrigazione dilavante** o **dissalante**: serve ad asportare l'eccesso di salinità dai suoli al fine di renderli idonei alle piante che si intendono coltivare;
- **irrigazione ammendante**: permette di migliorare le proprietà fisiche dei suoli sfruttando la presenza ovvero aggiungendo sostanze naturali o sintetiche (organiche o inorganiche) all'acqua irrigua (come era il caso del limo fertile lasciato dal Nilo durante le sue periodiche inondazioni);
- **irrigazione correttiva**: i volumi d'acqua distribuiti servono anche per modificare il pH del suolo;
- **irrigazione concimante** o **fertirrigazione**: in questo caso l'acqua irrigua diviene veicolo anche per somministrare le sostanze nutritive;

*Università degli Studi di Padova, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TeSAF); lucia.bortolini@unipd.it

– **irrigazione antiparassitaria**: combatte certi parassiti delle piante con azione di dilavamento (es. eliminazione degli afidi con lo spruzzo dell'irrigatore) o di sommersione (es. lotta alle arvicole con inondazione delle gallerie).

L'irrigazione umettante può essere distinta in:

– normale: praticata ordinariamente durante l'intero ciclo colturale;
– di soccorso: per sopperire deficit idrici che compromettono la produzione colturale;
– ausiliaria: mirata al superamento di delicate fasi fenologiche della coltura (es. germinazione).

Negli ultimi anni si è diffuso il concetto di irrigazione di precisione o sito-specifica, termine con il quale si indica una pratica irrigua supportata da tecnologie e strategie finalizzate a una gestione spaziale e temporale articolata, che tiene maggiormente conto della variabilità del tipo di terreno. Gli interventi irrigui sono eseguiti in relazione alle reali necessità dell'appezzamento prevedendo, come per le altre pratiche dell'agricoltura di precisione, di somministrare alle colture gli input (in questo caso l'acqua) solo nella giusta quantità, quando servono e dove servono. In questo caso diventa fondamentale l'uso di mappe (del suolo, della fertilità, della produzione colturale, ecc.) che integrate ad una rete di sensori (umidità del suolo, stato idrico della pianta, ecc.) consentono di redigere le mappe di prescrizione necessarie per effettuare gli interventi di irrigazione mirati con dosi variabili (*Variable Rate Irrigation*).

Scelta del metodo irriguo

Al momento della scelta è necessario innanzitutto analizzare i diversi vantaggi e limiti che caratterizzano i diversi metodi irrigui e procedere a una valutazione il più possibile oggettiva che consideri tutti i fattori in gioco. È importante che i requisiti di un qualsiasi metodo irriguo siano sempre rapportati alle caratteristiche dell'ambiente in cui si opera. A seconda dei diversi ambienti questi requisiti saranno meglio soddisfatti da un certo metodo irriguo piuttosto che da un altro.

L'idoneità di un metodo irriguo ad un determinato ambiente dipende essenzialmente dai seguenti fattori:

– condizioni naturali: legate al tipo di terreno, pendenza, clima, disponibilità e qualità della risorsa idrica, il livello di rischio ambientale, ecc.;
– tipo di coltura;
– tipo di tecnologia: correlata al costo e alla complessità di utilizzo nonché al livello di automazione e alla facilità reperimento dei pezzi e dei ricambi;

– esperienze precedenti: determinano la disponibilità all'introduzione di nuovi metodi;
– possibilità di danneggiamento, anche per atti vandalici;
– richiesta di manodopera e il livello di preparazione degli operatori;
– costi e benefici, compresa la disponibilità al credito.

Altri però possono essere gli elementi utili per una valutazione obiettiva, che possono avere un peso diverso a seconda del contesto analizzato. Un elenco dei vari fattori da considerare nella scelta del metodo irriguo sono riportati in tab. 4.1. La fig. 4.1 riassume invece tutti i possibili metodi irrigui.

Tab. 1 - Fattori agronomici ed extra-agronomici da considerare nella scelta del metodo irriguo.

FATTORI AMBIENTALI	FATTORI ECONOMICI	FATTORI TECNICO-AGRONOMICI
1) **Clima** • precipitazione • umidità • temperatura dell'aria • ventosità • rischio gelate 2) **Terreno** • tessitura e struttura (permeabilità e capacità di ritenzione idrica) • caratteristiche chimiche • profondità • pendenza • erodibilità 3) **Acqua** • qualità dell'acqua • dimensione e tipo di risorsa idrica • profondità della falda • tipo di consegna dell'acqua	1) **Costi** - *costi d'investimento* • sistema irriguo • sistemazione permanente del terreno • durata tecnica • valore residuo • elasticità di utilizzo • finanziamenti - *costi di esercizio* • manodopera • energia • manutenzione • acqua (tipo di tariffazione) 2) **Ricavi** • reddito fornito dalla coltura • contributi • reddito fornito dall'uso dell'area	1) **Colturali** • specie e varietà • tecniche colturali • destinazione del prodotto • tempestività di intervento • qualità dell'irrigazione (azione battente) 2) **Aziendali** • disponibilità di manodopera • tipo di impresa • dimensione e forma degli appezzamenti • sistemazione idraulico-agraria • grado di meccanizzazione 3) **Impianto** • versatilità (polifunzionalità) • affidabilità • efficienza d'adacquamento • uniformità di distribuzione

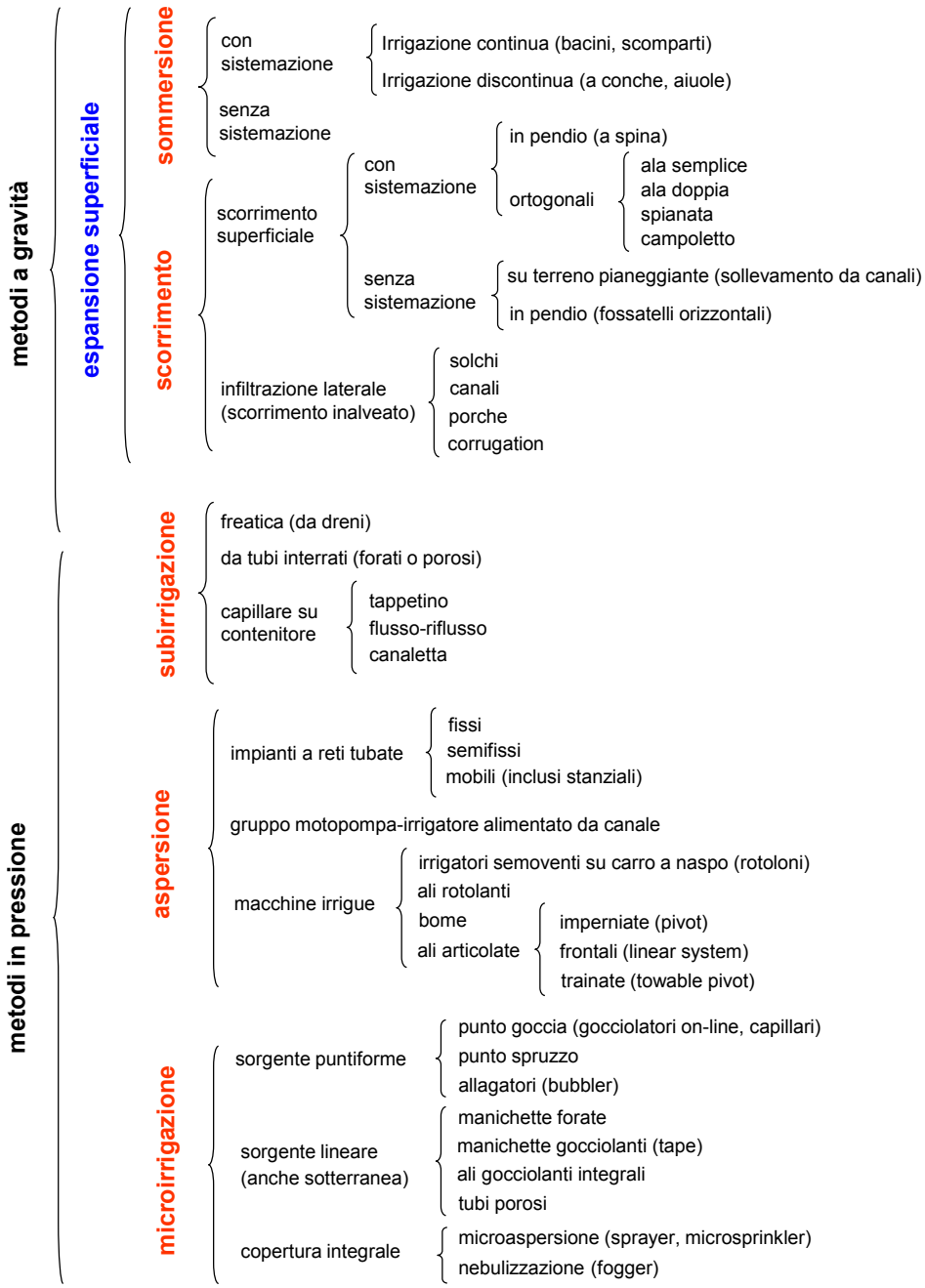


Fig. 1 - Schematizzazione dei possibili metodi irrigui.

Metodi a gravità

Sommersione

Con questo metodo la superficie del terreno viene coperta con uno strato d'acqua più o meno alto in modo che l'acqua soggiorni fino a infiltrazione completa. Un tipo primitivo di irrigazione ancora utilizzato in diverse parti del mondo è quello non controllato "per espansione delle acque di piena" (Nilo, Gange, Paranà, ecc.) con tiranti[1] anche superiori ai 2 metri.

In Italia l'irrigazione per sommersione è applicata su superfici ben livellate delimitate da arginelli di terra in scomparti o bacini, la cui area è normalmente compresa tra i 1000 m^2 e qualche ettaro. È usata per l'irrigazione dei prati e delle risaie con tiranti modesti dai 5 ai 30 cm. L'alimentazione degli scomparti può essere fatta "in cascata", facendo passare l'acqua da uno scomparto al successivo, o "indipendente".

I vantaggi di questa tecnica irrigua sono: scarso impiego di manodopera, effetto riscaldante o "volano termico" (sfruttato nelle risaie), dilavamento dei sali, deacidificazione[2] e azione antiparassitaria (eliminazione di animali nocivi, controllo malerbe). Gli svantaggi sono invece: danni alle colture e alla fauna utile, peggioramento della struttura del suolo (compattazione), richiesta di elevati corpi (volumi) d'acqua e modesta efficienza irrigua (elevate perdite d'acqua).

Scorrimento

L'acqua è fatta scorrere sulla superficie del terreno in pendenza in modo continuo per consentirne l'infiltrazione. È un metodo adatto alle colture foraggiere, soprattutto se permanenti, diffuso sui prati irrigui che richiedono elevati volumi d'acqua, proteggono il terreno dall'erosione e sono resistenti ai marciumi radicali e del colletto.

Normalmente l'introduzione dell'acqua negli appezzamenti avviene per tracimazione dal canale adacquatore posto in testata. Si distinguono sistemazioni irrigue adatte a terreni in pendenza (a fossatelli orizzontali, a spina) e a terreni in pianura (a spianata, a campoletto, ad ala semplice, ad ala doppia).

---

[1] Il tirante è l'altezza della lama d'acqua.

[2] Nel caso di creazione di un ambiente riducente che favorisce lo sviluppo di ammoniaca NH_3 che alza il pH (utilizzato nelle baragge piemontesi e brughiere lombarde).

I vantaggi dell'irrigazione a scorrimento sono: utilizzabile nella maggior parte dei terreni, effetto riscaldante o "volano termico" (sfruttato nelle risaie) e dilavamento dei Sali. Gli svantaggi sono invece: elevato impiego di manodopera, erosione del suolo, richiesta di elevati corpi (volumi) d'acqua e modesta efficienza irrigua (elevate perdite d'acqua).

Infiltrazione laterale

A differenza degli altri metodi per espansione, questo metodo non prevede la diffusione dell'acqua su tutta la superficie del terreno. L'acqua è distribuita attraverso una rete molto fitta di solchi nei quali scorre o permane infiltrandosi verticalmente e lateralmente. I vantaggi di questa tecnica sono: adattabilità a qualunque tipo di terreno (esclusi estremi di permeabilità), sistemazione del terreno relativamente poco onerosa, possibilità di irrigare con piccoli moduli (5-10 L s^{-1}), ridotta erosione, non bagnatura della parte aerea delle piante, possibilità di impiego di acque reflue e non formazione di crosta superficiale. Gli svantaggi sono: elevata richiesta di manodopera, efficienza modesta e ostacolo alla meccanizzazione.

La scelta dei parametri di progettazione (pendenza, distanza, sezione dei solchi, ecc.) deve ottimizzare l'efficienza, l'uniformità e la convenienza economica dell'irrigazione. La pendenza è generalmente maggiore del 2% ma è bene che non superi il 5% per non incorrere in problemi di erosione.

La distanza tra i solchi varia a seconda del tipo di terreno e di coltura (forma e profondità dell'apparato radicale), nonché della larghezza di lavoro delle attrezzature. Per quanto riguarda la lunghezza, terreni sciolti così come colture con apparato radicale superficiale richiedono solchi corti che permettono anche di ottenere una migliore uniformità di distribuzione e una maggiore efficienza irrigua. Per contro, aumentando la lunghezza si riducono i costi e la richiesta di manodopera.

L'alimentazione può avvenire tramite:

- dighette di terra
- paratoie-tavole
- sifoncini
- condotte a bassa pressione metalliche o in plastica, anche floscia.

Talvolta, per le colture arboree si adotta una disposizione dei solchi "a greca", oppure a conche, a buche o con fossetta anulare.

Metodi in pressione

Aspersione

L'irrigazione per aspersione è detta anche "a pioggia" perché le modalità di distribuzione dell'acqua sul terreno e sulla coltura simulano quella degli apporti idrici naturali (fig. 2). In realtà, mentre la pioggia cade simultaneamente e abbastanza uniformemente in tutte le zone dell'appezzamento, la pioggia artificiale prodotta dagli irrigatori bagna aree irregolarmente circolari, producendo un'uniformità imperfetta conseguente alla sovrapposizione delle gittate degli irrigatori e all'effetto del vento.

L'efficienza di distribuzione data dall'irrigazione per aspersione è mediamente del 70-80%, ma sono raggiungibili valori superiori in impianti ben dimensionati e regolati e se si interviene in assenza di vento, con volumi ben dosati per evitare percolazione profonda e con intensità di aspersione adeguata alla capacità di infiltrazione del suolo per evitare ruscellamento.

Oltre all'elevata efficienza, l'aspersione ha il pregio di non richiedere volumi d'acqua molto elevati, adattandosi a terreni con caratteristiche idrauliche diverse (dai terreni più sciolti a quelli più pesanti) senza particolari sistemazioni del terreno, consentendo l'irrigazione anche in zone acclivi. Inoltre, l'acqua può essere dosata con buona precisione consentendo un'ap-

Fig. 2 - Alcuni metodi irrigui per aspersione: a) rotolone, b) impianto fisso, c) pivot.

plicazione corretta dei volumi stimati per mezzo di bilancio idrico, ovvero ripristinando con discreta esattezza la riserva idrica utilizzabile dalla coltura.

L'impianto può essere utilizzato per altri usi, come per la distribuzione di concimi (fertirrigazione), l'irrigazione termica (antibrina e climatizzante) nonché per le irrigazioni idonee alla germinazione dei semi o all'attecchimento delle piantine trapiantate, applicando piccoli volumi con alta efficienza.

Per contro l'irrigazione per aspersione necessita di energia per la messa in pressione dell'impianto e può comportare perdite per evaporazione diretta dal getto, dal suolo e dalle foglie bagnate, nonché le perdite d'acqua per deriva in caso di vento. Una gestione poco attenta degli interventi irrigui può facilmente causare anche perdite per ruscellamento e percolazione profonda. La inevitabile bagnatura della parte aerea delle piante ne limita l'impiego con acque di scarsa qualità (salse, torbide, inquinate, fredde, ecc.).

Per irrigare ad aspersione con un'elevata efficienza di distribuzione dell'acqua, è indispensabile attuare tecniche o comportamenti capaci di eliminare, o ridurre al minimo, le cause d'inefficienza del metodo (evaporazione, ruscellamento, percolazione profonda e deriva). Altrettanto importante per rendere alta l'efficienza, riducendo gli sprechi di risorsa idrica, è ottenere una elevata uniformità di bagnatura del terreno, progettando l'impianto con cura, contenendo le perdite di carico nelle tubazioni così da assicurare il buon funzionamento di tutti gli irrigatori e posizionando alla corretta distanza gli irrigatori per permettere una adeguata sovrapposizione dei getti.

Rotoloni - irrigatori semoventi a naspo

Negli ultimi decenni, l'irrigazione per aspersione si è evoluta verso forme meccanizzate più o meno semoventi. Dall'ala piovana tradizionale, con tubi posati sul terreno, si è passati a forme mobili in grado di evitare i continui spostamenti sul campo delle attrezzature irrigue (tubazioni e irrigatori). Così, dalla meccanizzazione del trasporto dei materiali negli impianti tradizionali mobili e semifissi, si è passati a costruire "macchine per aspersione" di dimensioni sempre crescenti (ali porta-irrigatori a spostamento assiale o frontale, bome, pivot, ecc.).

Sicuramente, tra le diverse proposte, quella che ha incontrato la maggiore popolarità in Italia è stata l'irrigatore semovente a naspo, chiamato comunemente rotolone, diffusosi rapidamente in molte regioni italiane. Nati negli anni '70 nel nord Europa per l'irrigazione delle colture ad alto reddito, in Italia i rotoloni si sono dimostrati particolarmente adatti a meccanizzare

l'irrigazione in quei contesti dove si praticava l'aspersione con ali mobili in colture da erbaio e soprattutto per la coltura, allora come forse tuttora, leader di ampie zone del nord: il mais.

I principali vantaggi dei rotoloni, che ne hanno decretato l'ampio successo, sono legati ad un costo di investimento relativamente modesto ed alle caratteristiche costruttive che rendono particolarmente rapido lo spostamento, anche su strada, migliorando la tempestività di intervento, così come la superficie dominabile da ogni macchina (superiore anche ai 60 ha durante un'intera stagione irrigua e fino a più di 6 ha per ogni singola postazione). Naturalmente, tra i vantaggi si devono annoverare anche quelli legati alla bassa richiesta di manodopera ed all'assenza in campo di tubazioni.

La richiesta sempre maggiore ha portato l'industria a produrre macchine di dimensioni e caratteristiche diverse ed attualmente l'agricoltore può scegliere, tra una gamma di modelli vastissima, quello che più si adatta alle specifiche esigenze.

Le variazioni climatiche e l'esigenza di irrigare nella fase di germogliamento della bietola e della soia, poi, ha spinto l'industria produttrice a proporre l'uso della barra irrigatrice che, oltre a migliorare l'uniformità di distribuzione trasversale, ha permesso di evitare i problemi dell'effetto battente tipico dei cannoni e di estendere l'utilizzo di queste macchine anche per irrigare colture con apparato fogliare più delicato. Addirittura, montando spruzzatori in grado di frantumare finemente il getto (ali nebulizzatrici) si è arrivati ad utilizzare i rotoloni anche per l'irrigazione di colture orticole, come pomodoro, patata, carota ma anche lattuga ed altre orticole a foglia.

Altri accorgimenti ed accessori proposti dalle ditte produttrici permettono oramai di disporre di una macchina dotata di una certa polivalenza d'uso che presenta però anche alcuni limiti che devono essere tenuti in debita considerazione. Sicuramente uno dei limiti più importanti è legato all'elevato consumo energetico, richiesto a causa delle elevate pressioni necessarie durante il funzionamento, che fa lievitare i costi di esercizio rendendo questa macchina interessante solo nel caso di irrigazioni di soccorso, mentre è decisamente da sconsigliare in zone a clima più arido o che necessitano di elevati volumi d'adacquamento stagionali.

I modelli di rotoloni possono essere suddivisi in tre categorie principali:

- macchine con torretta fissa (fissi);
- macchine con torretta girevole (girevoli meccanici);
- macchine con torretta girevole e appoggio a terra idraulico (girevoli idraulici).

Le macchine con torretta fissa sono utilizzate quasi esclusivamente per l'irrigazione dei tappeti erbosi dei giardini e dei campi sportivi. Ultimamente

la produzione è orientata verso modelli con tubo di diametro variabile da 40 a 75 mm e lunghezze da 100 a 200 m. Il loro costo varia mediamente dai 2 mila ai 6 mila euro.

I modelli con torretta girevole sono macchine di media e medio-grande dimensione che possono montare tubi di diametro variabile dai 50 ai 140 mm con lunghezze dai 200 ai 600 m. I prezzi variano orientativamente dagli 6 ai 40 mila euro a seconda del modello.

I girevoli idraulici sono dotati di una centralina idraulica, azionata da un motorino, che agisce su vari dispositivi permettendo di effettuare senza sforzo tutte le manovre di posizionamento. In posizione di lavoro le ruote sono sollevate e la macchina è appoggiata sulla ralla che può ruotare completamente di 360°. Questo assicura una estrema stabilità della macchina in fase di lavoro, anche con tubi molto lunghi. Si tratta di modelli di grandi dimensioni che montano tubi di diametro fino a 150 mm e lunghezze fino a 750 m. Il loro costo può superare i 45 mila euro.

Tutti i modelli sono già comprensivi di irrigatore montato su carrello o slitta che, nei modelli più piccoli, ha portate sotto 1 L s^{-1} con gittata di 15-20 m, mentre in quelli più grandi la portata può superare i 60 L s^{-1} e la gittata può raggiungere gli 80 m. Per tutti i modelli sono poi disponibili diversi accessori ed optional che ne aumentano la polivalenza d'uso, migliorano l'affidabilità e permettono una certa automatizzazione dell'intervento irriguo.

I principali vantaggi legati all'utilizzo dei rotoloni sono: costo relativamente modesto, elevata superficie dominabile da ogni macchina nella stagione irrigua, possibilità di rapidi ed agevoli spostamenti da un appezzamento all'altro (anche su strada), ampia scelta di modelli di dimensioni diverse, polivalenza d'uso di una stessa macchina.

Per quanto riguarda i limiti d'impiego, ve ne sono alcuni legati ad un utilizzo non corretto della macchina, tra i quali si può annoverare la scarsa uniformità di distribuzione lungo l'appezzamento per il mancato rispetto dei tempi di sosta iniziale e finale, l'elevata azione battente del getto dell'irrigatore a causa di una scelta errata di portata e pressione d'esercizio e gli elevati costi di funzionamento se utilizzato con colture che richiedono numerosi interventi durante la stagione irrigua. Inoltre, vi è la necessità di una certa manodopera per spostamenti, regolazioni e controlli sulle macchine che possono comportare dei problemi organizzativi nelle aziende di grandi dimensioni.

Tra gli svantaggi propri del sistema si possono considerare: scarsa uniformità di distribuzione trasversale, elevate perdite di carico dal punto di prelevamento dell'acqua all'organo di distribuzione, necessità di elevate pressioni di esercizio all'irrigatore per ottenere elevata gittata e buona frantumazione del getto, elevati consumi energetici a causa delle elevate pressioni richieste.

Ali articolate

Le ali articolate sono costituite da una lunga ala piovana che supporta e alimenta una serie di irrigatori statici o dinamici, "articolata" in sezioni composte da strutture di sostegno a travi metalliche (campate), che poggiano su torrette carrellate dotate di moto proprio. L'avanzamento della macchina è continuo, nel caso di motori idraulici, o sequenziale, se affidato a motori elettrici.

Le ali articolate si suddividono in:

- **imperniate** (comunemente chiamate *pivot*), che ruotano intorno ad un perno centrale dove è situata la fonte idrica di alimentazione del sistema;
- **lineari** (*linear* o *lateral move system*), dotate di avanzamento frontale rettilineo, con alimentazione laterale da tubo o canale;
- **trainabili** (*towable* o *mobile pivot*), che possono essere trasportati per servire più postazioni.

Diverse sono state le migliorie apportate negli anni: nel 1974 furono introdotti i sistemi "corner" e nel 1977 vennero proposti i sistemi ad avanzamento frontale, concepiti entrambi per cercare di superare il limite tipico dei pivot, ovvero quello di irrigare aree sostanzialmente di forma circolare. Negli anni '80 si iniziarono a diffondere le centraline per una gestione automatizzata, che dal 1991 divennero programmabili anche da remoto (abitazione, ufficio o altro sito collegabile via modem). I modelli più recenti fanno riferimento alle più attuali tecnologie legate all'uso di GPS e della rete Internet.

Fondamentale, per l'evoluzione di queste macchine, fu la crisi energetica degli anni '70 che spinse a sviluppare sistemi a bassa pressione che consentirono di ridurre i consumi energetici fino all'80%. I primi pivot richiedevano, infatti, volumi d'acqua molto elevati e alte pressioni (normalmente tra 5,5 e 7 bar) accompagnati da ingenti consumi energetici. Attualmente il mercato dispone di numerose soluzioni che, per la modularità delle componenti e la vasta gamma di optional, fanno delle ali articolate sicuramente il sistema di irrigazione più funzionale ed economico per aziende irrigue medie o grandi.

I vantaggi derivanti dall'impiego delle ali articolate sono: buona uniformità di distribuzione, elevata efficienza irrigua, assenza di compattamento del suolo, agevole meccanizzazione aziendale, migliore risposta colturale, bassa sensibilità al vento, assenza di filtrazione dell'acqua, elevata tempestività di intervento, possibilità di automazione e polifunzionalità, possibilità di utilizzo di acque reflue, sistemazione del terreno non necessaria, ridotto impiego di manodopera, ridotto impiego di energia e aumento dei redditi. Nel caso di ampie superfici aziendali l'investimento di capitale fondiario per ettaro è sicuramente inferiore ad altri sistemi per aspersione.

Con riferimento ai limiti di questo metodo irriguo, un primo svantaggio è costituito dalla scarsa adattabilità a superfici con caratteristiche agronomiche e pedologiche diverse, a meno che non si adotti un sistema a dose variabile. Inoltre, il metodo non è economicamente conveniente per piccole superfici ma soprattutto nel caso in cui le irrigazioni siano in numero limitato durante la stagione irrigua (irrigazione di soccorso). Un altro limite è sicuramente rappresentato dalla necessità di corpi d'acqua consistenti dato il numero elevato di irrigatori contemporaneamente funzionanti, aumentando proporzionalmente con la lunghezza dell'ala. Un grande limite intrinseco delle ali articolate imperniate è quello di bagnare aree di forma circolare. Questa caratteristica può rendere particolarmente elevate le tare, anche se con alcuni accorgimenti si riesce ad aggirare questo limite. Il problema delle tare non esiste praticamente nelle ali ad avanzamento frontale, che presentano però un altro importante limite: il ritorno a vuoto dell'ala su terreno bagnato per ricominciare ad irrigare l'appezzamento servito. Anche in questo caso alcuni accorgimenti possono "alleviare" questo svantaggio. Altri inconvenienti sono legati ad una non corretta progettazione del sistema quali: l'insufficiente portata dell'impianto, che non garantisce il corretto funzionamento degli irrigatori; l'intensità di aspersione non proporzionata alla capacità di infiltrazione del terreno, che causa eccessivo ruscellamento; la scarsa portanza del suolo, che provoca affondamento dei pneumatici e formazione di carreggiate profonde.

I PIVOT

I pivot sono ali imperniate costituite da una torre centrale di comando di forma piramidale al cui centro è presente il tubo di alimentazione. Alla torre centrale sono collegate più campate lunghe da 32 a 62 metri circa, costituite da barre di tubo in acciaio zincato, ognuna lunga 6 o 12 metri, accoppiate con giunti flangiati e bulloni, irrobustite con tiranti e carpenteria in acciaio galvanizzato. Il diametro dei tubi varia da 141 mm (5 9/16") a 254 mm (10") con dimensioni standard da 168 mm (6 5/8"). Trattandosi sostanzialmente di una lunga ala piovana, la scelta del diametro segue le regole "classiche" del dimensionamento di una tubazione: l'obiettivo è quello di convogliare una certa portata minimizzando le perdite di carico. Si devono quindi considerare la lunghezza della tubazione e la portata dell'impianto. L'altezza standard dal suolo delle campate si aggira sui 3 metri. È possibile su richiesta installare sistemi *a profilo basso* (1,5 – 2 metri) o *a profilo alto* (circa 4 metri) o *a profilo altissimo* fino ai 5 metri di altezza dal suolo.

La giunzione delle campate con speciali manicotti snodati consente una elevatissima adattabilità alle accidentalità del terreno, tanto che le campate

sono in grado di sopportare pendenze elevate, in certi modelli superiori al 30%, mentre con campate più lunghe si riescono ad irrigare superfici con pendenze fino al 15%. Le campate più lunghe consentono un risparmio sui costi dell'impianto, richiedendo un numero minore di torrette mobili e relative componenti, anche se aumenta il carico, e quindi l'affondamento, delle ruote sul terreno. La lunghezza totale dell'ala imperniata può variare da un minimo di 100 ad un massimo di 800 metri, anche se in realtà non esiste teoricamente una lunghezza massima, essendo questa solo limitata dalla presenza di infrastrutture sulla superficie da irrigare e dalla portata a disposizione. Dopo l'ultima campata viene normalmente installato un braccio sospeso, modulabile in elementi da circa 6 metri, che ha lo scopo di "allungare" l'ala articolata aumentando quindi la superficie irrigata. La condotta viene sostenuta da appositi tiranti in acciaio e la lunghezza non supera i 25 metri. All'estremità viene normalmente installato un irrigatore a settore a lunga gittata (cannone).

L'avanzamento di un'ala articolata è normalmente "sequenziale", ossia a momenti di moto succedono momenti di sosta. Nel caso dei pivot, oltre ad essere sequenziale l'avanzamento è circolare, guidato dall'ultima torre. In genere, la velocità di avanzamento è uguale per tutte le campate mentre cambiano i tempi di movimentazione. Il pannello di controllo posto al centro del pivot temporizza il moto dell'ultima campata in percentuale del tempo di rotazione massimo previsto. Tutte le altre campate si "adeguano" alla posizione di questa ultima campata. La regolazione della velocità avviene tramite un sistema di controllo automatico con sensori montati sui giunti, che rispondono al disallineamento relativo e, in retroazione, agiscono sui motori in modo da riallineare le torri oppure, quando è indispensabile, provocano l'arresto della macchina. Le torri si allineano alla torre più esterna grazie ad un gioco di congiuntori che agisce sul motore di ogni torre che si trova arretrata rispetto alla torre che la precede. Per tale motivo i motori non operano mai tutti in contemporanea.

Il tempo di rotazione può essere variato dalle 12 alle 120 ore (6 giorni) per un giro completo di un pivot della lunghezza tipica di 400 metri. Per le sue caratteristiche tecniche di funzionamento il sistema pivot può essere utilizzato per irrigare 24 ore su 24. Questo consente di ridurre al minimo la richiesta idrica riferita all'unità di superficie. In pratica, è preferibile disporre di un margine di tempo necessario alla manutenzione ed eventuali imprevisti.

Nel caso dei pivot l'area irrigata presenta una forma circolare, per cui restano asciutte ampie zone dell'intera superficie coltivabile (più del 20%). A meno che non si decida di coltivare in asciutto o lasciare quelle zone incolte, diverse soluzioni possono essere adottate per ovviare a questo problema:

- utilizzare il cannone d'estremità solo in corrispondenza degli angoli (risolve solo parzialmente il problema);
- ricorrere ad un sistema complementare di irrigazione nelle zone non servite dal pivot;
- inserire boschetti o coltivazioni arboree da legno pregiato o da biomassa (una soluzione che anche recepisce le attuali normative europee in tema agricolo-ambientale);
- dislocare in quelle zone gli edifici rurali e altre strutture (solo nel caso di nuovi insediamenti);
- utilizzare un sistema articolato (Corner, Sistema ripiegato, Drop span).

Le opzioni Corner, Sistema ripiegato e Drop span

Il *Corner* è un dispositivo irrorante che si apre a compasso per irrigare aree di forma non circolare. Costruito con le stesse strutture delle campate alle quali è collegato, è dotato di irrigatori che entrano in funzione automaticamente a seconda della lunghezza della superficie che deve servire. Ad apparecchiatura chiusa l'erogazione è praticamente nulla. Il suo sviluppo longitudinale massimo è di circa 80 m e, se dotato anche di irrigatore terminale, permette di irrigare altri 100 m oltre l'ultima campata. Infatti, un sistema Corner può aggiungere all'area irrigata fino a quasi 8 ha. Un sistema di guida a cavo sotterraneo dirige l'unità motrice sterzabile mentre estende o ritrae la campata Corner, facendole evitare i vari ostacoli ed estendendola negli angoli. Il cavo in rame viene interrato lungo il perimetro dell'area da irrigare e deve essere opportunamente protetto contro sovratensioni. Esso emette un segnale a bassa frequenza che viene ricevuto da una o due antenne di marcia avanti e indietro.

Il Corner è dotato di una propria centralina di controllo che misura costantemente l'angolo di apertura comandando la portata e la sequenza di apertura e chiusura delle idrovalvole dei singoli irrigatori.

Il *Sistema ripiegato*, proposto inizialmente da Valley e ripreso da altre ditte, può essere installato anche su pivot esistenti e consente di formare fra due campate un angolo di 165° per evitare ostacoli nel campo come filari di alberi o stalle. Una funzione permette di accelerare e di irrigare anche se il pivot non è allineato. Recente è anche il sistema *Drop span* che permette di staccare le campate esterne in modo che il resto della macchina continui a irrigare dietro alle barriere per ricollegarle quando la macchina ritorna indietro.

Tutte queste strutture sono piuttosto costose e trovano giustificazione solo se utilizzate in pivot di grandi dimensioni, qualora sia stata valutata positivamente la convenienza economica alla coltivazione di quella ulteriore superficie.

Le lineari

I modelli lineari sono una evoluzione del sistema imperniato, proposti verso la fine degli anni '70, principalmente per risolvere il problema delle tare colturali. In effetti, con questo sistema è possibile utilizzare fino al 98% della superficie coltivabile.

Molte componenti (come la carpenteria e la struttura portante) sono le stesse dei sistemi imperniati ma l'avanzamento è frontale anziché circolare. La prima importante differenza costruttiva, rispetto ai pivot, è la presenza della torre mobile a due o quattro ruote motrici, in quanto il punto di derivazione non è fisso. La versione a due ruote motrici è adatta ai modelli di più piccole dimensioni.

L'altra particolarità costruttiva è la presenza di un sistema di guida, necessario per mantenere un avanzamento rettilineo della macchina, che può essere: *a fune* tesa sopra il suolo, *a solco* praticato sul bordo della capezzagna percorsa dalla torre motrice, *a cavo interrato* che emette un segnale a bassa frequenza ricevuto da appositi sensori.

In queste macchine irrigue l'alimentazione idrica, che si può trovare al centro o più frequentemente su un lato dell'ala, può avvenire in tre modi differenti:

- aperta: l'alimentazione avviene da un canale posto lateralmente o centralmente alla superficie da irrigare. Un gruppo moto-pompa, munito normalmente di generatore diesel, fornisce l'energia per la movimentazione dell'ala e la messa in pressione dell'acqua. Un filtro autopulente, sostenuto da galleggianti, assicura un pescaggio "pulito" dal canale.
- chiusa: il sistema è alimentato tramite un tubo flessibile collegato ad un idrante della linea idrica principale.
- chiusa automatizzata: simile al precedente ma un sofisticato sistema permette un collegamento automatico del tubo di alimentazione agli idranti posti a distanza costante sulla linea idrica principale, normalmente interrata.

Rispetto alle ali imperniate, le ali articolate ad avanzamento frontale possono essere utilizzate solo su terreni pianeggianti o con deboli pendenze (raramente superiori al 6-7%) in quanto, non avendo un punto di ancoraggio come il pivot, non hanno la possibilità di superare grandi dislivelli del

terreno. Inoltre, la portata tende ad essere superiore a quella del pivot: infatti, non potendo tornare immediatamente indietro a fine corsa sul terreno appena irrigato, si hanno dei tempi morti che vanno conteggiati per definire la portata specifica necessaria per servire una data superficie. Esistono però accorgimenti relativi alla gestione dell'intervento che permettono di limitare questi tempi morti, ad esempio irrigando con metà dose e distribuendo la seconda metà durante il ritorno.

Anche questo tipo di macchina si giustifica soprattutto quando si dispone di superfici di una certa ampiezza, oltre i 20-25 ha, e la lunghezza della superficie irrigata è almeno pari a 2,5 volte la larghezza.

I sistemi lineari pivottabili ampliano le possibilità di irrigazione di superfici attigue o irregolari. In particolare, il "*sistema ippodromo*" consente una utilizzazione dell'ala articolata sia nella modalità imperniata che ad avanzamento frontale. In questo caso, essendo parallelamente diversa anche la modalità di irrigazione (circolare o lineare), un particolare sistema di commutazione automatica degli ugelli permette di passare da esercizio rotante a lineare e viceversa; altri costruttori propongono, invece, un doppio sistema di irrigatori.

I TRAINABILI

Il sistema trainabile o *pivot mobile* è una soluzione pensata soprattutto per le realtà aziendali europee, caratterizzate da situazioni planimetriche di grandezza limitata e forma irregolare. Nei pivot mobili la torre centrale può essere agganciata al trattore e spostata, assieme alle campate collegate, in uno o più appezzamenti attigui. Le componenti strutturali sono simili a quelle delle ali imperniate ma la torre centrale, anziché essere ancorata al suolo, è montata su ruote (in numero di 2, 3 o 4). Le ruote della torre centrale e delle campate sono ruotabili di 90° rispetto alla posizione di lavoro, rendendo il sistema trainabile da un trattore e spostabile da una postazione all'altra. Lo sviluppo longitudinale è generalmente limitato alle 5 campate ed è preferibile non superare i 200 metri di lunghezza totale per contenere le sollecitazioni di trazione e torsione durante gli spostamenti. Esiste anche una versione su slitta, più economica, che può raggiungere dimensioni maggiori dell'ala, ma è adatta solo per spostamenti stagionali.

Il sistema trainabile, non essendo ancorato al suolo, può operare solo con pendenze simili ai sistemi ad avanzamento frontale non superiori al 6-7%. Da valutare, in questo caso, la validità del sistema di rotazione delle ruote ed il dispositivo di trazione per l'aggancio al trattore, in quanto influenzano notevolmente la facilità e rapidità con cui si riesce spostare l'ala.

Microirrigazione

La microirrigazione è un metodo irriguo contraddistinto dalle seguenti caratteristiche:

– somministrazione a basse portate e basse pressioni;
– erogazione quasi continua con intervalli frequenti.

È ancora comune l'uso del termine "irrigazione a goccia" che definisce più propriamente solo quei sistemi caratterizzati da una erogazione continua, o quasi continua, goccia a goccia; anche l'espressione "irrigazione localizzata" è stato utilizzato in passato per definire questo metodo irriguo in virtù della caratteristica di bagnare il terreno esclusivamente nella zona interessata dall'apparato radicale (superata da alcune tipologie di erogatori, come ad esempio spruzzatori posizionati per bagnare l'intera superficie, come con l'aspersione).

Sicuramente il termine "microirrigazione" permette di definire in maniera più esauriente questo metodo irriguo che comprende tutti i sistemi che erogano acqua con pressioni e portate modeste ed elevata frequenza di intervento. L'acqua viene distribuita alle piante attraverso una fitta rete di tubazioni laterali provviste di numerosi punti di erogazione (chiamate linee disperdenti).

Tra le peculiarità di questo metodo - soprattutto quando un impianto di microirrigazione è correttamente progettato, gestito e mantenuto - vi è l'elevata uniformità di distribuzione accompagnata da un'alta efficienza irrigua, che consentono a tutte le piante dell'area servita dall'impianto di ricevere la stessa quantità d'acqua e di utilizzarla quasi totalmente. In questo modo vengono notevolmente ridotti gli sprechi d'acqua a vantaggio della produttività delle piante, che risulta migliorata sia per il favorevole regime idrico (il livello di umidità del suolo può essere mantenuto a un valore costante e ottimale) che per la maggiore disponibilità degli elementi nutritivi.

Il concetto con il quale opera un impianto di microirrigazione è completamente diverso rispetto a quello di un impianto per aspersione. Chi deve gestire un simile impianto deve familiarizzare con la maggiore frequenza degli interventi irrigui e prepararsi ad accettare un più alto numero di ore da dedicare alla manutenzione dell'impianto.

Al pari degli altri sistemi irrigui, la microirrigazione presenta alcuni vantaggi e svantaggi. Sicuramente, un impianto ben progettato può offrire la maggior parte di questi vantaggi, riducendo e compensando gli svantaggi. Come si è detto, tra i vantaggi del metodo vi è sicuramente l'elevata efficienza irrigua. In nuovi impianti correttamente progettati l'efficienza irrigua può raggiungere valori fino al 95%, che si traduce in una minore richiesta

d'acqua rispetto agli altri metodi. La microirrigazione può migliorare l'efficienza irrigua:

- riducendo l'evaporazione dalla superficie del suolo poiché può essere bagnata anche solo una parte del terreno e, nel caso dell'interramento delle ali gocciolanti (microirrigazione interrata), l'evaporazione viene praticamente annullata;
- riducendo o eliminando il ruscellamento superficiale;
- riducendo o eliminando la percolazione profonda ovvero al di sotto della zona interessata dall'apparato radicale;
- eliminando la necessità di sovra irrigare alcune parti dell'appezzamento a causa di una scarsa uniformità di applicazione dell'acqua.

Riguardo quest'ultimo punto c'è da dire che un impianto di microirrigazione ben progettato e mantenuto applica l'acqua più uniformemente di qualsiasi altro metodo in quanto sono molto numerosi e distribuiti i punti di uscita dell'acqua: ciò assicura che tutte le parti dell'area irrigata ricevano lo stesso ammontare d'acqua.

Altri interessanti vantaggi del metodo sono:

- *Favorevole regime idrico per le piante.* La possibilità di irrigare con frequenza a piccoli volumi consente di mantenere il contenuto idrico a valori prossimi alla capacità di campo o comunque di soddisfare con continuità le esigenze idriche della vegetazione, evitando condizioni di stress.
- *Riduzione delle infestanti.* Nel caso di sistemi di irrigazione localizzata, che bagnano solo una porzione del terreno, lo sviluppo delle infestanti può essere maggiormente controllato. Viceversa, nelle aree servite dagli erogatori il continuo inumidimento può accelerare il "breakdown" degli erbicidi, che perdono così di efficacia, e favorire la crescita delle infestanti.
- *Indifferenza al vento.* Se si esclude il caso in cui si utilizzano spruzzatori posizionati a una certa altezza dal suolo e la nebulizzazione (tra l'altro quasi unicamente impiegata in ambiente protetto), sono assenti le perdite d'acqua per deriva.
- *Riduzione delle richieste di energia.* Un impianto di microirrigazione richiede meno energia di un altro sistema in pressione sia per i ridotti consumi d'acqua che per le basse pressioni di esercizio. Passando da un sistema tradizionale in pressione alla microirrigazione i fabbisogni di energia si possono ridurre fino al 50%.
- *Agevole fertirrigazione.* La somministrazione frequente di acqua permette di distribuire gli elementi fertilizzanti a piccole dosi frazionate nel tempo seguendo le esigenze specifiche della coltura nelle diverse fasi vegetative.

- *Possibilità di elevata automazione.* Un impianto di microirrigazione può essere facilmente automatizzato. In tal modo è possibile in qualsiasi momento della giornata e per ogni durata di tempo desiderata. Per automatizzare ulteriormente il sistema possono essere utilizzati sensori per il rilevamento dell'umidità del suolo. L'installazione di impianti ad elevata automazione permette anche vantaggiosi *risparmi di manodopera*.
- *Adattabilità alle condizioni del terreno.* La microirrigazione può essere utilizzata con successo in terreni in pendenza e non livellati, su terreni con scarsa infiltrabilità e su terreni a bassa capacità di ritenuta idrica.
- *Possibilità di utilizzo delle acque reflue.* Le ali gocciolanti, soprattutto quando interrate, consentono la distribuzione di reflui urbani, industriali o zootecnici direttamente nel terreno senza "sporcare" la vegetazione. Per evitare frequenti occlusioni degli erogatori è però consigliato trattare preventivamente i reflui separando la parte solida.
- *Possibilità di impiego di acque fredde.* Le piccole dosi somministrate e i lunghi percorsi fatti compiere all'acqua permettono di evitare, o quantomeno ridurre, gli shock termici legati all'utilizzo di acque fredde.
- *Riduzione del rischio di salinità.* La microirrigazione può diminuire i problemi di salinità:
  - permettendo ai sali di rimanere diluiti a causa dell'elevata e persistente umidità del suolo legata alle frequenti irrigazioni;
  - muovendo i sali verso i bordi della zona umida (bulbo umido) e lasciando una zona di terreno bagnato a basso contenuto di sali in cui è favorita l'attività radicale;
  - eliminando la possibilità per i sali di depositarsi e/o essere assorbiti dalle foglie, come avviene nell'irrigazione a pioggia.

La microirrigazione presenta naturalmente anche alcuni limiti o svantaggi quali:

- *Richieste di manutenzione.* Le ridotte dimensioni dei passaggi dell'acqua degli erogatori rendono gli impianti di microirrigazione particolarmente suscettibili ad occlusioni da particelle minerali, composti organici e precipitati. I dispositivi di filtraggio possono diminuire i rischi di intasamento ma è necessaria anche una periodica manutenzione - inclusa l'iniezione di cloro e/o acido e il lavaggio in pressione delle linee laterali - al fine di garantire una prestazione ottimale dell'impianto. Al contrario degli altri metodi irrigui, con la microirrigazione le colture non possono contare su grosse riserve di acqua accumulata nel suolo e pertanto non possono trascorrere lunghi periodi tra un adacquamento e un altro. Per questo motivo, problemi e guasti nell'im-

pianto – specialmente durante i picchi di fabbisogno idrico – devono essere risolti velocemente per evitare danni alle colture legati a stress idrici.

– *Elevate spese d'impianto.* La fitta rete di tubazioni, l'elevato numero di erogatori, il sistema di trattamento (filtri, dispositivi per l'iniezione di sostanze chimiche) e tutte le altre attrezzature rendono elevate le spese di un impianto microirriguo, anche se i benefici già citati possono giustificare gli alti costi. È sicuramente buona regola verificare il rapporto costi/benefici già in fase di progettazione.
– *Difficoltà nella progettazione.* Negli impianti di una certa dimensione devono essere attentamente calcolate le perdite di carico lungo le tubazioni (collettrici e linee disperdenti) se si vuole assicurare un prefetto funzionamento di tutti gli erogatori.
– *Possibilità di danneggiamento delle tubazioni.* Il calpestamento dovuto al passaggio di macchinari, animali o del personale addetto può causare fessurazioni nelle linee laterali in polietilene o rotture negli erogatori. Gli animali, in special modo i roditori ma anche alcuni insetti, possono danneggiare le tubazioni, soprattutto se poste in superficie (ma anche in profondità). Controlli e ispezioni prima di ogni irrigazione sono consigliati.
– *Limitato sviluppo della zona radicale.* Particolarmente in zone con basse precipitazioni, la crescita radicale si limita soprattutto alla zona bagnata dell'erogatore, il cui volume è normalmente inferiore rispetto a quello bagnato con gli altri sistemi come l'aspersione.
– *Insufficiente aerazione in taluni suoli.* Nei terreni compattati, con ridotta porosità, il continuo umettamento può creare problemi di asfissia radicale. Infatti, l'eccessiva localizzazione dell'acqua crea una pozzanghera cui soggiace una zona satura d'acqua, nella quale si può avere anche una progressiva degradazione della struttura.
– *Difficoltà di movimentazione delle macchine.* La presenza di una fitta rete di tubazioni sulla superficie del terreno può rendere difficile l'utilizzo di macchine per eseguire alcune pratiche (es. trattamenti).
– *Possibilità di accumulo di sali vicino le radici.* Al contrario degli altri sistemi irrigui, che utilizzando maggiori volumi d'acqua spingono i sali anche molto al di sotto della zona occupata dalle radici, i sistemi di microirrigazione tendono a muovere i sali verso il limite più esterno della zona umida e verso la superficie del suolo. È necessaria pertanto una gestione attenta dei volumi tale da evitare la migrazione dei sali verso la zona attiva radicale. Inoltre, modeste quantità di pioggia insufficienti a lisciviare totalmente i sali dalla zona radicale possono

muovere i sali all'interno della zona occupata dalle radici, con conseguenze negative. Se è necessario eliminare i sali dalla zona radicale, può essere opportuno l'utilizzo un sistema di irrigazione alternativo (es. aspersione) al fine di rimuovere questo accumulo.

Subirrigazione - I sistemi interrati

In alcuni casi gli impianti di microirrigazione sono interrati. In questi sistemi la somministrazione dell'acqua irrigua avviene direttamente nella zona interessata dagli apparati radicali. Generalmente si interrano le ali gocciolanti e per questo si usa anche il termine microirrigazione sotterranea, ma nel caso di piante arboree isolate o abbastanza distanti l'una dalle altre si possono interrare gocciolatori, spruzzatori o bubbler utilizzando dispositivi costituiti da una struttura cilindrica aperta con rete o un tubo parzialmente forato.

La profondità di interro dipende dal tipo di prodotto utilizzato, dalla coltura presente e dalle caratteristiche del suolo. Generalmente, la profondità varia da 10 a 60 cm. Installazioni a maggiore profondità comportano minori perdite per evaporazione dal terreno e consentono di effettuare più agevolmente le lavorazioni. Per contro, la maggiore profondità influenza negativamente la germinazione dei semi e limita la disponibilità dei fertilizzanti distribuiti in superficie. È importante ricordare in fase di interro delle ali gocciolanti di verificare che gli orifizi siano sempre posizionati verso l'alto. Infatti, in questo modo si evitano occlusioni delle uscite ad opera delle particelle presenti in sospensione che tendono a precipitare sul fondo della tubazione.

Con le ali gocciolanti interrate (subirrigazione) l'acqua viene distribuita direttamente alle radici e si rende completamente invisibile l'impianto irriguo. I vantaggi legati a questo tipo di sistema sono numerosi e possono essere così riassunti:

- elevata efficienza irrigua, in considerazione delle ridottissime perdite per percolazione e dell'assoluta assenza di perdite per ruscellamento ed evaporazione;
- massima fruibilità dell'area, in quanto in qualsiasi orario può essere eseguita l'irrigazione ed è consentita l'entrata in campo delle macchine per eseguire i trattamenti e gli sfalci;
- possibilità di irrigare con modesti volumi d'acqua e pressioni di esercizio, in virtù delle basse portate e pressioni richieste dall'impianto;
- elevata uniformità di distribuzione anche in zone molto ventose.

I benefici sono ottenibili solo con una progettazione accurata dell'impianto e una regolare manutenzione. Infatti, per una adeguata distribuzione dell'acqua deve essere riposta particolare cura nella scelta della portata dei gocciolatori e nella loro disposizione (distanza).

Uno dei problemi maggiori è legato all'occlusione degli erogatori ad opera delle piccole radici. L'intrusione delle radici nel gocciolatore può essere contrastata dall'azione di un diserbante che deve essere regolarmente immesso nel sistema a basse dosi. Attualmente l'impiego di microdosi di un diserbante anti-germinello sembra dare buoni risultati. Sempre a tale scopo, sono reperibili anche particolari ali gocciolanti con gocciolatore coestruso autocompensante con una membrana in rame, che viene lentamente e costantemente rilasciato durante ogni irrigazione nella zona circostante al gocciolatore.

Naturalmente i costi dell'impianto microirriguo interrato sono più elevati dei sistemi tradizionali e la decisone di adottare tale soluzione deve essere accompagnata da un'adeguata valutazione preliminare dei benefici che ne possono derivare.

Alcune considerazioni sulla scelta di un impianto

Prima di installare un nuovo impianto di microirrigazione si dovrebbero innanzitutto fare alcune considerazioni. Anche per coloro che intendono avvalersi della consulenza di un professionista per la progettazione e l'installazione, saper porre le giuste domande può aiutare a selezionare un impianto che meglio soddisfa le proprie esigenze.

Due sono le domande che dovrebbero precedere qualsiasi decisione in merito alla scelta e installazione di un impianto di microirrigazione:

– *La disponibilità idrica è idonea a frequenti irrigazioni?*

La microirrigazione richiede interventi frequenti. Alcune colture, soprattutto durante i periodi di maggiore evapotraspirazione, devono essere irrigate quasi di continuo. Naturalmente, se la fonte di approvvigionamento è un pozzo, l'acqua può essere prelevata "alla domanda", ma se l'acqua viene consegnata da un consorzio irriguo può essere difficoltoso ottenere consegne così frequenti. In questo caso si può contattare il consorzio per discutere la possibilità di avere una consegna "alla domanda" o quantomeno ridurre la durata del turno, a fronte dei minori volumi consegnati per turno. Se la rigidità della consegna non è superabile da parte del consorzio, l'utente potrebbe comunque decidere di dotare il fondo di un serbatoio (vasca o altro) di accumulo dell'acqua.

– *La qualità dell'acqua è adeguata alla microirrigazione?*

L'acqua che viene impiegata in un impianto di microirrigazione dovrebbe essere preventivamente analizzata per determinare se soddisfa le esigenze legate a tale uso. Infatti, certi elementi contenuti nell'acqua possono causare occlusioni, soprattutto nei piccoli orifizi dei gocciolatori. Quando viene utilizzata acqua di pozzo bisognerebbe verificare la presenza di ferro (solubile e totale), manganese, calcio, sodio, magnesio, carbonati e bicarbonati, il pH e la conducibilità elettrica EC. Se vengono impiegate acque di superficie (fiumi, laghi, ecc.) sono le sabbie ed i limi, oltre alle alghe ed alle melme batteriche, che possono causare occlusioni. Ma, anche se l'acqua presenta potenziali difficoltà di utilizzo, nella fase di progettazione e di gestione dell'impianto sono diverse le soluzioni impiantistiche che si possono adottare per ridurre il pericolo di occlusioni (filtraggio, trattamenti chimici, ecc.).

Irrigazione in Veneto

Maurizio Borin*, Angelo Betto*, Arianna Toffanin**

Inquadramento generale

Il Veneto presenta una superficie di 18.345,35 km^2. Nel 2020 la superficie agricola è di 752.183 ha (41% della superficie totale). Dai dati disponibili più recenti (6° Censimento generale dell'agricoltura - Istat, 2010) l'irrigazione interessa 602.000 ha.

I terreni condotti a colture erbacee si localizzano principalmente nella zona pianeggiante, che in Veneto rappresenta il 56% della superficie totale e vede una significativa presenza di seminativi (mais, frumento, soia, bietola e foraggere) e orticole in serra e a pieno campo, oltre che di arboree (vite, melo, pesco, pero). La coltivazione della vite è diffusa anche nelle aree collinari (15% della superficie regionale), mentre nelle zone montuose (29% della superficie totale) si individuano pascoli e prati.

Il territorio regionale è interessato complessivamente da 11 bacini idrografici, individuati da una complessa rete di fiumi, in parte alpini e in parte di risorgiva. I fiumi che contribuiscono maggiormente all'approvvigionamento idrico regionale sono il Piave, l'Adige e il Brenta. Metà della superficie pianeggiante del Veneto viene classificata di bonifica e il 64% del territorio totale è gestito da 11 Consorzi di bonifica, 10 di primo livello e uno di secondo livello. Compiti dei Consorzi sono il mantenimento dell'equilibrio idraulico, la manutenzione dei manufatti e degli impianti, l'assicurazione dell'irrigazione e l'impegno nella protezione dello spazio rurale e nella salvaguardia del paesaggio e degli ecosistemi.

*Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente (DAFNAE); maurizio.borin@unipd.it; angelo.betto@unipd.it
**Consorzio di Bonifica Veneto Orientale (CBVO) – San Donà di Piave (VE); arianna.toffanin@bonificavenetorientale.it

Il Veneto presenta, in generale, un clima temperato, con caratteri sia continentali sia marittimi, di tipo mediterraneo. Tuttavia, si riscontra un'ampia varianza di manifestazioni climatiche fra differenti areali, dovuta all'azione mitigatrice delle acque mediterranee, all'effetto orografico della catena alpina e alla continentalità dell'area centro-europea. Inoltre, fra le caratteristiche tipicamente mediterranee, mancano gli inverni miti e la siccità estiva, a causa dei frequenti temporali di tipo convettivo. Gli inverni sono quasi ovunque freschi, o addirittura rigidi. Le estati sono fresche sui rilievi, mentre molto calde in pianura. Non meno variabili sono i regimi e la quantità delle precipitazioni. Fondamentalmente si hanno due massimi, uno primaverile e uno autunnale. La piovosità massima, sui 2.000 mm annui, si riscontra nell'area montuosa prealpina. Il bilancio idroclimatico annuale, ossia il saldo tra le precipitazioni e l'evapotraspirazione di riferimento, risulta negativo in una fascia che comprende la parte meridionale delle provincie di Verona, Padova, Venezia e tutta la provincia di Rovigo. La stagione estiva presenta il bilancio maggiormente negativo, il quale supera i 200 mm nella citata fascia. I mutamenti climatici in corso, caratterizzati da un aumento dell'escursione termica e della siccità, potrebbero avere nel prossimo futuro rilevanti effetti sul settore irriguo regionale, portando soprattutto a un'eccessiva variabilità produttiva.

L'irrigazione rappresenta la principale fonte di consumo d'acqua in Veneto e pertanto la sua razionalizzazione assume grande rilevanza. Le fonti di approvvigionamento sono diversificate, come emerge dalla fig. 1. Dei terreni irrigui veneti, il 30% è servito da irrigazione strutturata, il restante da interventi di soccorso (fig. 2). Quest'ultima in molte aree si è di fatto evoluta in pratiche irrigue oramai stabili, ma non è caratterizzata da una particolare organizzazione in termini di modalità di erogazione, tempi e volumi di attingimento, ecc. e si basa su libero prelievo dalle fonti idriche. I dati numerici tendono a variare significativamente di anno in anno, in quanto influenzati dall'andamento climatico. La quasi totalità delle aree irrigate ricade all'interno dei comprensori di bonifica. In termini assoluti l'irrigazione interessa maggiormente i seminativi, mentre il rapporto più elevato fra fabbisogno della risorsa idrica e superficie agraria utilizzata riguarda le specie orticole.

L'irrigazione a pioggia nel 2010 ha riguardato il 60% circa delle aree a gestione idrica organizzata, dove tuttavia vi è anche un ampio ricorso allo scorrimento superficiale e all'infiltrazione laterale, che insieme hanno interessato quasi un quarto delle superfici (fig. 3). L'impiego di sistemi a maggiore efficienza come l'aspersione è aumentato molto nel corso degli anni precedenti: dai dati relativi al 2004, infatti, lo scorrimento e l'infiltrazione, sistemi a bassa efficienza idrica, risultavano ancora nettamente preponde-

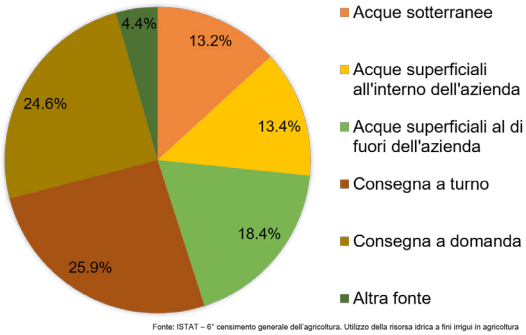


Fig. 1 - Fonti di approvvigionamento idrico per l'irrigazione in Veneto (Fonte: ISTAT – 6° censimento generale dell'agricoltura. Utilizzo della risorsa idrica a fini irrigui in agricoltura).

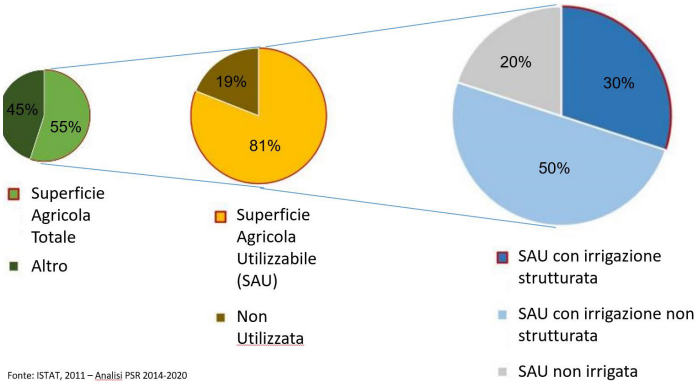


Fig. 2 - Gestione dell'irrigazione in Veneto (Fonte: ISTAT, 2011 – Analisi PSR 2014-2020).

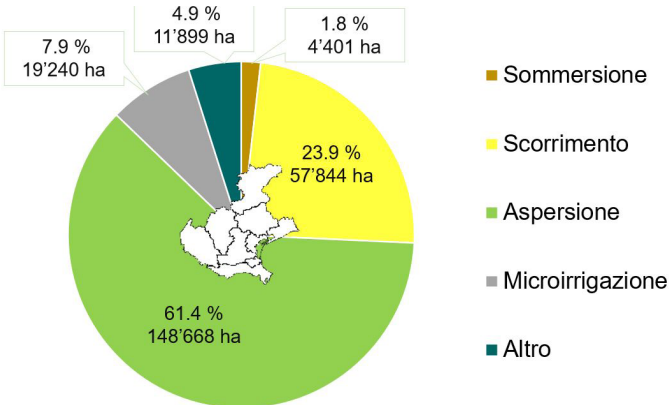


Fig. 3 - Metodi irrigui impiegati in Veneto (Fonte: ISTAT – 6° censimento generale dell'agricoltura. Utilizzo della risorsa idrica a fini irrigui in agricoltura).

ranti. Non sono reperibili dati sui sistemi irrigui utilizzati nelle aree caratterizzate da irrigazione non strutturata, tuttavia, laddove gli attingimenti seguono un'organizzazione stabilita, vi è preponderanza dell'aspersione. La stagione irrigua copre il periodo primaverile-estivo, mediamente da aprile a fine settembre. L'approvvigionamento idrico deriva prevalentemente (75%) da fonti di superficie.

Mais

Il mais (*Zea mays* L.) rappresenta la maggiore coltura cerealicola in Veneto con una superfice coltivata nel 2019 di circa 199.500 ha (161.500 ha mais da granella e 38.000 ha mais ceroso) (Dati Veneto Agricoltura). Occupa la porzione maggiore della superficie agraria irrigata utilizzata in Veneto, con un'estensione di 89.815 ha nel 2010 (tab. 5.1). Il 37% è gestita con irrigazione organizzata, e riceve un volume di 254 milioni di m^3 d'acqua per tutta la stagione colturale (Cesnimentoagricoltura.istat, 2010).

Informazioni sugli effettivi fabbisogni idrici della specie sono stati calcolati alla fine del secolo scorso, considerando esclusivamente l'intero areale italiano. Secondo queste valutazioni, il fabbisogno idrico si attesta su valori di 250 kg d'acqua per kg di sostanza secca prodotta. Questo si tradurrebbe, in funzione della disponibilità di acqua nel terreno, dell'andamento delle precipitazioni, della tecnica colturale, ecc., in un consumo d'acqua medio di 5.000 m^3 ha^{-1}, corrispondente a 500 mm di acqua utile, in caso di produzioni di 10 t ha^{-1} di granella secca. Nei climi mediterranei la portata delle piogge e la loro distribuzione lungo l'anno rendono necessari interventi irrigui anche in presenza di terreni con buona capacità idrica.

Tre quarti dei volumi d'acqua utilizzati complessivamente per l'irrigazione del mais (193 milioni di m^3) nel 2010 sono stati distribuiti tramite aspersione. Il 20% della superficie coltivata a mais (18.149 ha) è stata invece irrigata impiegando scorrimento superficiale o infiltrazione laterale. La coltivazione si concentra in tutti i territori pianeggianti, quindi è consistentemente presente in tutte le province ad eccezione di Belluno, ma con il picco nel territorio veronese, dove sono situate un quarto delle superfici a mais da granella e dove viene impiegato il 30% dei volumi idrici regionali (76 milioni di m^3). L'irrigazione per aspersione è risultata nettamente preponderante nelle province di Verona, Padova e Rovigo, con valori che hanno superato l'80% dell'intera area provinciale a mais gestito in irriguo. Nei territori di Venezia e Rovigo, invece, il 30% della superfice in irriguo è stata gestita con infiltrazione laterale e scorrimento superficiale. I metri cubi d'acqua usati

per unità di superficie sono risultati pressoché uguali fra l'irrigazione per aspersione e quella per scorrimento o infiltrazione laterale, sia considerando la regione in generale, che le singole province, attestandosi su valori medi di 2.870 m^3 ha^{-1}. Non sembra, quindi, che il maggiore ricorso a un sistema più efficiente abbia portato a una riduzione dei volumi irrigui. Su base provinciale, i minori volumi irrigui sono stati applicati nella provincia di Treviso (1.995 m^3 ha^{-1}) mentre quelli più elevati nelle province di Verona e Rovigo (in media 3.350 m^3 ha^{-1}) (Censimentoagricoltura.istat, 2010).

Vite

La vite (*Vitis vinifera* L.) è la seconda coltura irrigua per estensione presente in Veneto, arrivando a occupare 97.347 ha nel 2019 (Dati Veneto Agricoltura). La produzione si concentra maggiormente nelle province di Verona e Treviso. La coltivazione della vite richiede volumi stagionali inferiori rispetto a quelli del mais, mediamente attorno a 1.000 m^3 ha^{-1}. Dai dati rilevati durante il 6° censimento dell'agricoltura (tab 2), l'aspersione rappresenta il metodo irriguo impiegato in quasi il 50% delle superfici vitate, seguito dalla microirrigazione, impiegata su circa il 30% della superfice (Censimentoagricoltura.istat, 2010).

Tab. 1 - Superfici (ha) irrigate a mais da granella nelle province venete, volumi irrigui (m3) utilizzati, volumi irrigui per unità di superficie (m3 ha-1), suddivisi per sistema irriguo impiegato nell'intera stagione colturale 2010 (Censimentoagricoltura.istat, 2010).

Mais	**Aspersione**		**Scorrimento superficiale e infiltrazione laterale**		**Altro sistema**	
Areale	**Superfici (ha)**	**Volumi unitari (m^3 ha^{-1})**	**Superfici (ha)**	**Volumi unitari (m^3 ha^{-1})**	**Superfici (ha)**	**Volumi unitari (m^3 ha^{-1})**
Veneto	67.346,23	2.862,87	18.149,50	2.877,34	4.318,89	2.043,84
Verona	18.369,60	3.250,46	3.794,04	3.944,10	517,20	2.492,81
Vicenza	7.989,96	2.772,10	2.042,76	2.668,33	211,33	2.410,02
Belluno	27,70	1.570,81	64,70	1.403,94	..	..
Treviso	12.920,57	1.889,22	5.466,66	2.263,65	291,23	1.653,66
Venezia	4.011,07	2.328,90	3.051,46	2.554,22	2.617,38	1.894,37
Padova	11.283,28	3.006,72	1.986,21	2.874,44	153,65	2.096,15
Rovigo	12.744,05	3.391,73	1.743,67	3.348,51	528,10	2.398,37

Tab. 2 - Superfici (ha) irrigate a vite (Vitis vinifera L.) nelle province venete, volumi irrigui (m3) utilizzati, volumi irrigui per unità di superficie (m3 ha-1), suddivisi per sistema irriguo impiegato nell'intera stagione colturale 2010 (Censimentoagricoltura.istat, 2010).

Vite	Aspersione		Scorrimento superficiale e infiltrazione laterale		Sommersione		Microirrigazione		Altro sistema	
Areale	Superfici (ha)	Volumi unitari (m^3 ha^{-1})	Superfici (ha)	Volumi unitari (m^3 ha^{-1})	Superfici (ha)	Volumi unitari (m^3 ha^{-1})	Superfici (ha)	Volumi unitari (m^3 ha^{-1})	Superfici (ha)	Volumi unitari (m^3 ha^{-1})
Veneto	11.290,73	1.017,34	4.033,00	1.271,78	200,94	1.089,20	7.537,47	848,18	939,22	780,03
Verona	5.789,87	1.050,76	1.803,29	1.456,07	5,24	1.129,34	4.216,76	869,27	405,35	870,54
Vicenza	1.382,86	1.121,50	181,87	1.197,31	2,52	1.549,23	839,75	938,42	70,99	910,96
Belluno	..	..	2,99	714,95	..	..	1,88	1.236,24	..	..
Treviso	3.473,12	905,45	1.649,28	1.135,92	191,58	1.082,74	2.141,93	774,76	301,33	713,64
Venezia	262,94	796,39	354,46	983,07	0,85	949,81	203,35	659,72	152,40	592,84
Padova	357,22	1.292,98	38,91	1.513,47	0,75	1.070,32	130,96	1.070,90	8,69	1.069,68
Rovigo	24,72	1.451,08	2,20	1.218,32	..	..	2,84	1.195,61	0,46	847,26

Nocciolo

In Veneto la coltivazione del nocciolo (*Corylus avellana* L.) è di recente introduzione, tuttavia negli ultimi anni l'interesse riservato a questa coltura è sensibilmente aumentato, passando dai 16 ha coltivati nel 2010 ai 704 ha del 2020 (Dati.istat, 2021). Il nocciolo è generalmente considerato una specie sensibile allo stress idrico, con una bassa capacità di regolazione stomatica. Il ciclo annuale della pianta vede la sovrapposizione, fra giugno e agosto, di differenti fasi vegetative e riproduttive, quali la differenziazione dei germogli fiorali, l'allegagione e la fine dello sviluppo dell'area fogliare, per cui una buona disponibilità idrica risulta un importante fattore per evitare competizioni fra organi vegetali (Silvestri et al., 2021). Essendosi diffusa da poco la coltivazione del nocciolo in Veneto, non sono disponibili dati sull'irrigazione. Prendendo come riferimento altre aree caratterizzate da condizioni pedoclimatiche simili a quelle del Veneto la letteratura fornisce alcune informazioni riguardanti il periodo e l'ammontare del rifornimento idrico stagionale. Nelle zone a clima mediterraneo i fabbisogni del nocciolo sono tradizionalmente fissati sugli 800 mm di pioggia utile ben distribuita durante l'anno, mentre l'irrigazione tende a seguire in genere il periodo compreso fra aprile e settembre (Fideghelli e De Salvador, 2008).

Bibliografia

Fideghelli, C., & De Salvador, F. R. (2008). World hazelnut situation and perspectives. In VII International Congress on Hazelnut 845 (pp. 39-52).

Silvestri, C., Bacchetta, L., Bellincontro, A., & Cristofori, V. (2021). Advances in cultivar choice, hazelnut orchard management, and nut storage to enhance product quality and safety: an overview. Journal of the Science of Food and Agriculture, 101(1), 27-43.

Veneto Agricoltura (2020). Rapporto 2019 sulla congiuntura del settore agricolo veneto.

Sitografia

https://www.anbiveneto.it (Consultato in data 09-03-2021)

https://www.anbi.it/p/statuto (Consultato in data 02-11-2021)

http://censimentoagricoltura.istat.it (2010)

http://dati.istat.it (2021)

http://www.unesco.it/it/italianellunesco/detail/188 (Url consultato in data 02-11-2021)

Metodi irrigui nel progetto GIAcAMI

Arianna Toffanin*, Alessandro Candian**, Lucia Bortolini***,
Carmelo Maucieri**

Gli impianti

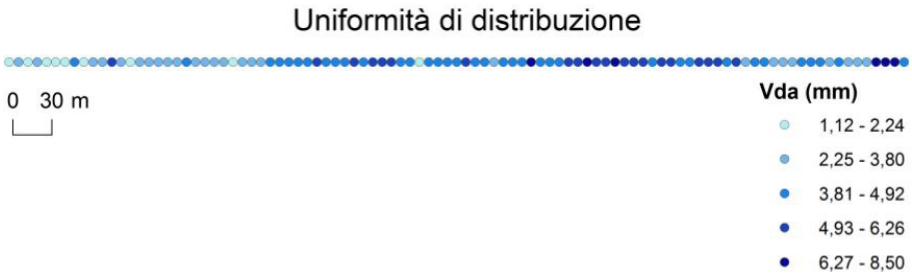
Borgoluce Società Agricola S.s. – Impianto 1

Tipo di impianto: Pivot
Coltura interessata: mais
Località: Bresse, Susegana (TV)
Marca: Valley
Anno di acquisto: 1985
Superficie coperta: 44 ha
Lunghezza lineare: 355.1 m (4 campate x 48.6 m, 3 x 44.9 m, sbalzo 26 m)
Pressione di esercizio: 1.4 bar all'ultimo ugello
Pompa: elettropompa da 45 kW con portata nominale 50 L s^{-1}
Tempo di rotazione a massima velocità: 23 h (pluviometria 8 mm)
Tempo di rotazione classico: 70 h (pluviometria 24 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 6
Volume irriguo stagionale: 144 mm

*Consorzio di Bonifica Veneto Orientale (CBVO) – San Donà di Piave (VE); arianna.toffanin@bonificavenetorientale.it
**Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente (DAFNAE); alessandro.candian.2@studenti.unipd.it; carmelo.maucieri@unipd.it
***Università degli Studi di Padova, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TeSAF); lucia.bortolini@unipd.it

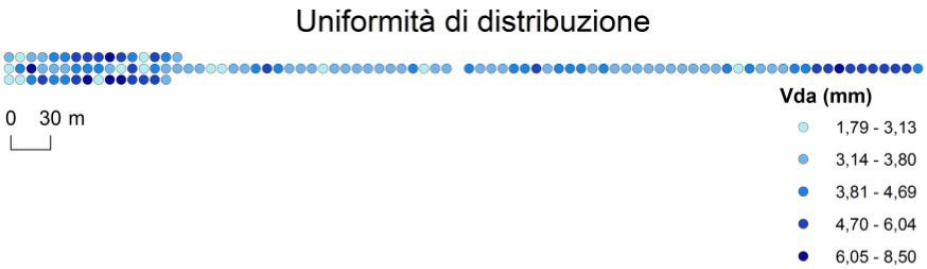
Borgoluce Società Agricola S.s. – Impianto 2

Tipo di impianto: Pivot con corner
Coltura interessata: mais
Località: Rocca Gelsa, Susegana (TV)
Marca: Valley
Anno di acquisto: 1996
Superficie coperta: 46 ha
Lunghezza lineare: 404.3 m (5 campate x 54.86 m, 1 x 48 m, corner 82 m)
Pressione di esercizio: 5 bar in pompa, 2.5 bar all'ultimo ugello
Pompa: elettropompa 45 kW, pompa di rilancio 5.52 kW, portata nominale 50 L s^{-1}
Tempo di rotazione a massima velocità: 17 h (pluviometria 6 mm)
Tempo di rotazione classico: 68 h (pluviometria 24 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 6
Volume irriguo stagionale: 144 mm



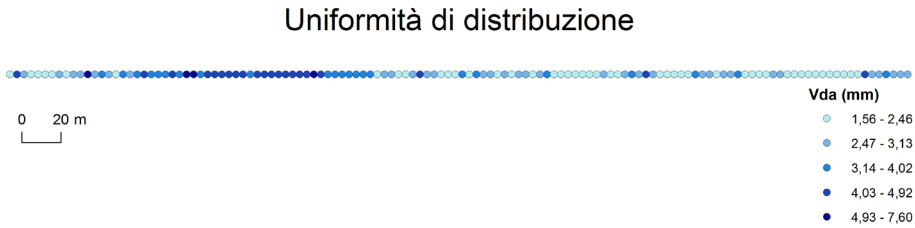
Borgoluce Società Agricola S.s. – Impianto 3

Tipo di impianto: Pivot con corner
Coltura interessata: mais
Località: Quadro Bernardi, Susegana (TV)
Marca: Valley
Anno di acquisto: 1997
Superficie coperta: 37 ha
Lunghezza lineare: 349.4 m (4 campate x 54.86 m, 1 x 48 m, corner 82 m)
Pressione di esercizio: 5 bar in pompa, 2.5 bar all'ultimo ugello
Pompa: motopompa a gasolio da 132 kW, gruppo elettropompe da 20 kW, portata nominale 70 L s^{-1}
Tempo di rotazione a massima velocità: 8 h (pluviometria 6 mm)
Tempo di rotazione classico: 32 h (pluviometria 24 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 6
Volume irriguo stagionale: 144 mm



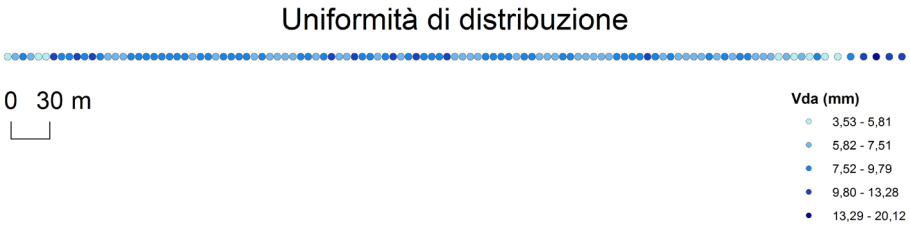
Borgoluce Società Agricola S.s. – Impianto 4

Tipo di impianto: Pivot
Coltura interessata: mais
Località: Mandre Santa Filomena, Susegana (TV)
Marca: Lindsay
Anno di acquisto: 1994
Superficie coperta: 29 ha
Lunghezza lineare: 268.3 m (4 campate x 60.91 m, sbalzo 24.66 m)
Pressione di esercizio: 4 bar in pompa
Pompa: elettropompa da 30 kW, portata nominale 35.5 L s^{-1}
Tempo di rotazione a massima velocità: 9 h (pluviometria 5 mm)
Tempo di rotazione classico: 43 h (pluviometria 24 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 6
Volume irriguo stagionale: 144 mm



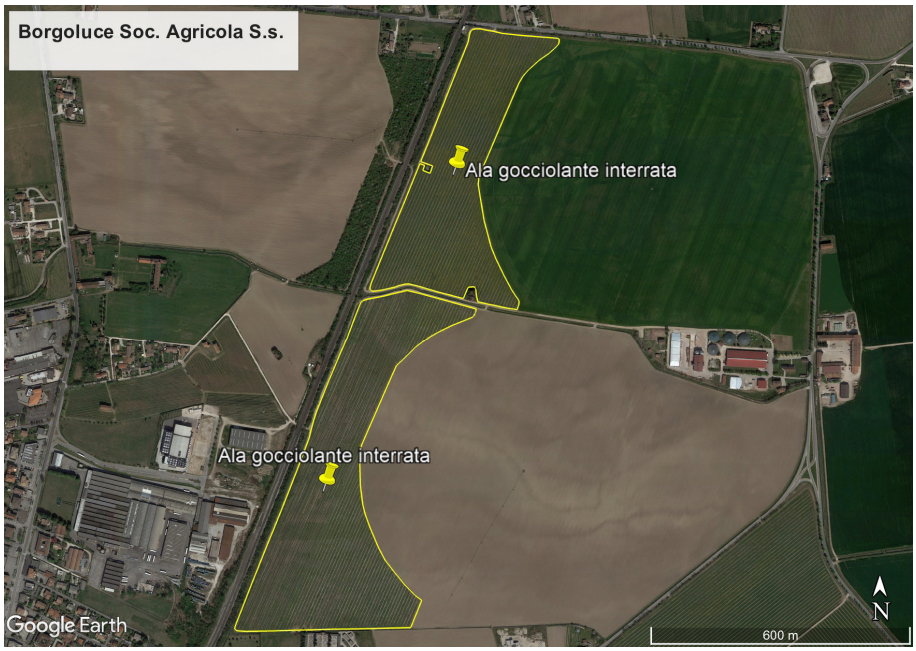
Borgoluce Società Agricola S.s. – Impianto 5

Tipo di impianto: Pivot
Coltura interessata: mais
Località: Mandre Piavesella, Susegana (TV)
Marca: Lindsay
Anno di acquisto: 1994
Superficie coperta: 42 ha
Lunghezza lineare: 329.2 m (5 campate x 60.91 m, sbalzo 24.66 m)
Pressione di esercizio: 4 bar in pompa
Pompa: elettropompa da 40kW, portata nominale 42.5 L s^{-1}
Tempo di rotazione a massima velocità: 11 h (pluviometria 6 mm)
Tempo di rotazione classico: 53 h (pluviometria 24 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 6
Volume irriguo stagionale: 144 mm



Borgoluce Società Agricola S.s. – Impianto 6

Tipo di impianto: Doppia ala gocciolante interrata a 0.30 m ai lati della coltura
Coltura interessata: noce e nocciolo
Località: Bresse e Rocca Gelsa, Susegana (TV)
Marca: NETAFIM
Anno di acquisto: 2016
Superficie coperta: 16 ha + 11 ha
Pressione di esercizio: 2.5 bar al filtro, 1.2 bar pressione massima interna all'ala, 0.6 bar pressione minima al termine dell'ala
Pompa: motopompa da 73 kW
Numero filtri: 3
Distanza tra fori sulla manichetta: 0.5 m
Distanza tra manichette: 2 m tra le due manichette sulla fila, 5 m tra le file
Numero medio adacquate per stagione irrigua: al bisogno un giorno sì e uno no
Tempo di adacquamento classico: 7 h (pluviometria 5 mm)
Volume irriguo stagionale: 180 mm

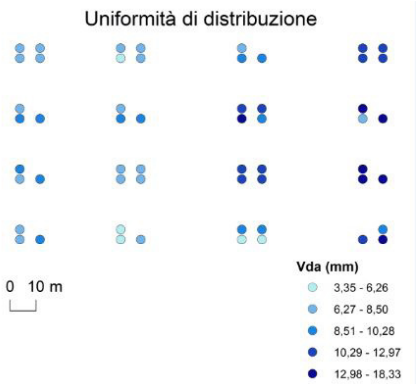


Borgoluce Società Agricola S.s. – Impianto 7

Tipo di impianto: Doppia ala gocciolante interrata a 0.30 m ai lati della coltura
Coltura interessata: noce e nocciolo
Località: Grave, Susegana (TV)
Marca: NETAFIM
Anno di acquisto: in esercizio dal 2019
Superficie coperta: 20 ha di noci + 2 ha nocciolo
Pressione di esercizio: 2.5 bar al filtro, 1.2 bar pressione massima interna all'ala, 0.6 bar pressione minima al termine dell'ala
Pompa: motopompa da 59 kW
Numero filtri: 3
Distanza tra fori sulla manichetta: 0.5 m
Distanza tra manichette: 2 m tra le due manichette sulla fila, 5 m tra le file
Numero medio adacquate per stagione irrigua: al bisogno un giorno sì e uno no
Tempo di adacquamento classico: 7 h (pluviometria 5 mm)
Volume irriguo stagionale: 180 mm

Borgoluce Società Agricola S.s. – Impianto 8

Tipo di impianto: Ala gocciolante
Coltura interessata: mais
Località: Santa Lucia di Piave (TV)
Marca: 2016-2020 NETAFIM, 2021 Irritec
Anno di acquisto: 2016
Superficie coperta: 19 ha
Pressione di esercizio: 4 bar, 1 bar dopo filtro con picco minimo 0.45-0.7 bar
Pompa: acqua consegnata dal consorzio di bonifica con una pressione di 4 bar
Numero filtri: 3
Distanza tra fori sulla manichetta: 0.5 m
Distanza tra manichette: 1.5 m
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 15
Tempo di adacquamento classico: 10-15 h (pluviometria 10-15 mm)
Volume irriguo stagionale: 150 mm



Borgoluce Società Agricola S.s. – Impianto 9

Tipo di impianto: Irrigatore semovente a naspo (rotolone)
Coltura interessata: mais, frumento, orzo, erba medica
Località: Mandre, Susegana (TV)
Marca: Irrimec
Anno di acquisto: 2010
Superficie coperta: 30 ha
Pressione di esercizio: 10 bar in pompa, 5-6 bar al boccaglio
Pompa: motopompa da 162 kW
Tubo – lunghezza: 500 m, diametro: 150 mm, gittata: 60-70 m, boccaglio: 40 mm
Velocità di rientro tipica: 30 m h^{-1} (pluviometria 40-45 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 3-4
Volume irriguo stagionale: 180 mm

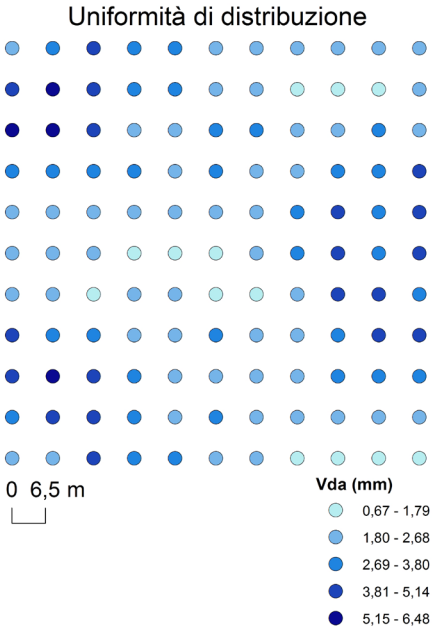
Borgoluce Società Agricola S.s. – Impianto 10

Tipo di impianto: Irrigatore semovente a naspo (rotolone)
Coltura interessata: mais, frumento, orzo, erba medica
Località: Mandre, Susegana (TV)
Marca: RM
Anno di acquisto: 2013
Superficie coperta: 24 ha
Pressione di esercizio: 10 bar in pompa, 5-6 bar al boccaglio
Pompa: motopompa da 162 kW
Tubo – lunghezza: 450 m, diametro: 150 mm, gittata: 60-70 m, boccaglio: 40 mm
Velocità di rientro tipica: 30 m h^{-1} (pluviometria 40-45 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 3-4
Volume irriguo stagionale: 180 mm

Borgoluce Società Agricola S.s. – Impianto 11
Tipo di impianto: Irrigatore semovente a naspo (rotolone)
Coltura interessata: mais, frumento, orzo, erba medica
Località: Mandre, Susegana (TV)
Marca: Irriland
Anno di acquisto: 2017
Superficie coperta: 20 ha
Pressione di esercizio: 10 bar in pompa, 5-6 bar al boccaglio
Pompa: motopompa da 162 kW
Tubo – lunghezza: 350 m, diametro: 150 mm, gittata: 60-70 m, boccaglio: 40 mm
Velocità di rientro classica: 30 m h^{-1} (pluviometria 40-45 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 3-4
Volume irriguo stagionale: 180 mm

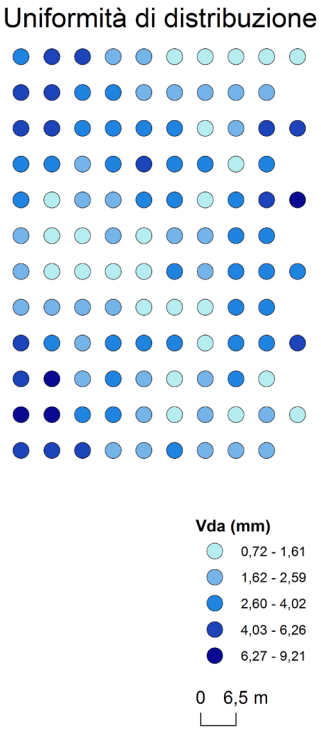
Azienda S.AGRI.V.IT. s.r.l – Impianto 1

Tipo di impianto: impianto fisso con irrigatori "a scomparsa"
Coltura interessata: mais, soia
Località: via Tagliamento, Spresiano (TV)
Marca: Cavarzan
Anno di acquisto: 1989-1992
Superficie coperta: 7.4 ha
Pressione di esercizio: 4.5 bar
Pompa: acqua in pressione dalla rete irrigua
Distanza irrigatori sulla fila: 36 m
Distanza irrigatori tra le file: 40 m
Tipo di ugello: 10-12 mm
Note: irrigazione sovrachioma, da effettuare accendendo una linea alla volta (5 irrigatori insieme)
Durata dell'adacquamento: 3.5 h (pluviometria 24 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 7
Volume irriguo stagionale: 168 mm



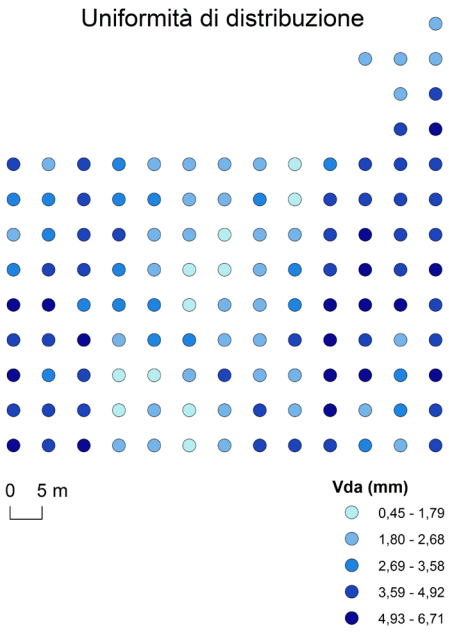
Azienda S.AGRI.V.IT. s.r.l – Impianto 2

Tipo di impianto: impianto fisso con irrigatori "a scomparsa"
Coltura interessata: mais e soia
Località: strada dei Murazzi, Spresiano (TV)
Marca: Cavarzan
Anno di acquisto: 1989-1992
Superficie coperta: 6.66 ha
Pressione di esercizio: 4.5 bar
Pompa: acqua in pressione dalla rete irrigua
Distanza irrigatori sulla fila: 36 m
Distanza irrigatori tra le file: 40 m
Tipo di ugello: 10-12 mm
Note: irrigazione sovrachioma, da effettuare accendendo una linea alla volta (5 irrigatori insieme)
Durata dell'adacquamento: 3.5 h (pluviometria 24 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 7
Volume irriguo stagionale: 168 mm



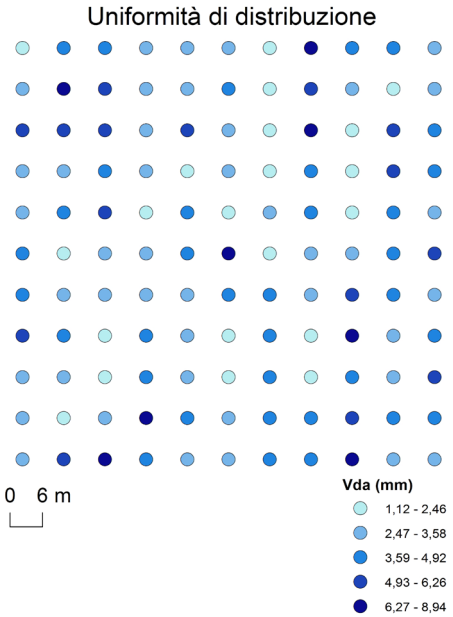
Azienda S.AGRI.V.IT. s.r.l – Impianto 3

Tipo di impianto: impianto fisso con irrigatori "a scomparsa"
Coltura interessata: mais e soia
Località: via Calessani, Spresiano (TV)
Marca: Cavarzan
Anno di acquisto: 1989-1992
Superficie coperta: 6.66 ha
Pressione di esercizio: 4.5 bar
Pompa: acqua in pressione dalla rete irrigua
Distanza irrigatori sulla fila: 36 m
Distanza irrigatori tra le file: 40 m
Tipo di ugello: 10-12 mm
Note: irrigazione sovrachioma, da effettuare accendendo una linea alla volta (5 irrigatori insieme)
Durata dell'adacquamento: 3.5 h (pluviometria 24 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 7
Volume irriguo stagionale: 168 mm



Azienda S.AGRI.V.IT. s.r.l – Impianto 4

Tipo di impianto: impianto fisso con irrigatori "a scomparsa"
Coltura interessata: mais e soia
Località: strada delle Fornaci, Spresiano (TV)
Marca: Cavarzan
Anno di acquisto: 1989-1992
Superficie coperta: 9 ha
Pressione di esercizio: 4.5 bar
Pompa: acqua in pressione dalla rete irrigua
Distanza irrigatori sulla fila: 36 m
Distanza irrigatori tra le file: 40 m
Tipo di ugello: 10-12 mm
Note: irrigazione sovrachioma, da effettuare accendendo una linea alla volta (5 irrigatori insieme)
Durata dell'adacquamento: 3.5 h (pluviometria 24 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 7
Volume irriguo stagionale: 168 mm

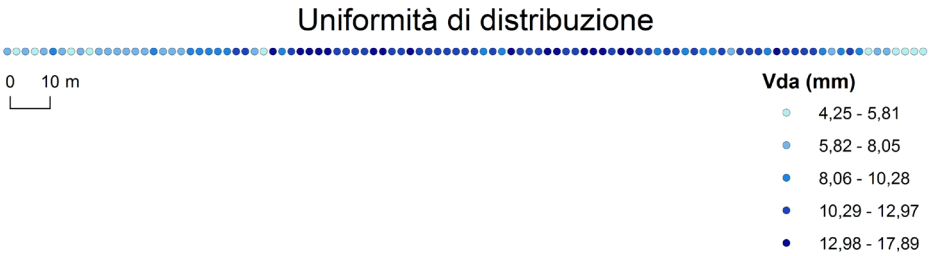


Azienda S.AGRI.V.IT. s.r.l – Impianto 5

Tipo di impianto: impianto fisso con irrigatori "a scomparsa"
Coltura interessata: mais e soia
Località: via Barcador, Lovadina di Spresiano (TV)
Marca: Cavarzan
Anno di acquisto: 1989-1992
Superficie coperta: 11 ha
Pressione di esercizio: 4.5 bar
Pompa: acqua in pressione dalla rete irrigua
Distanza irrigatori sulla fila: 36 m
Distanza irrigatori tra le file: 40 m
Tipo di ugello: 10-12 mm
Note: irrigazione sovrachioma, da effettuare accendendo una linea alla volta (5 irrigatori insieme)
Durata dell'adacquamento: 3.5 h (pluviometria 24 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 7
Volume irriguo stagionale: 168 mm

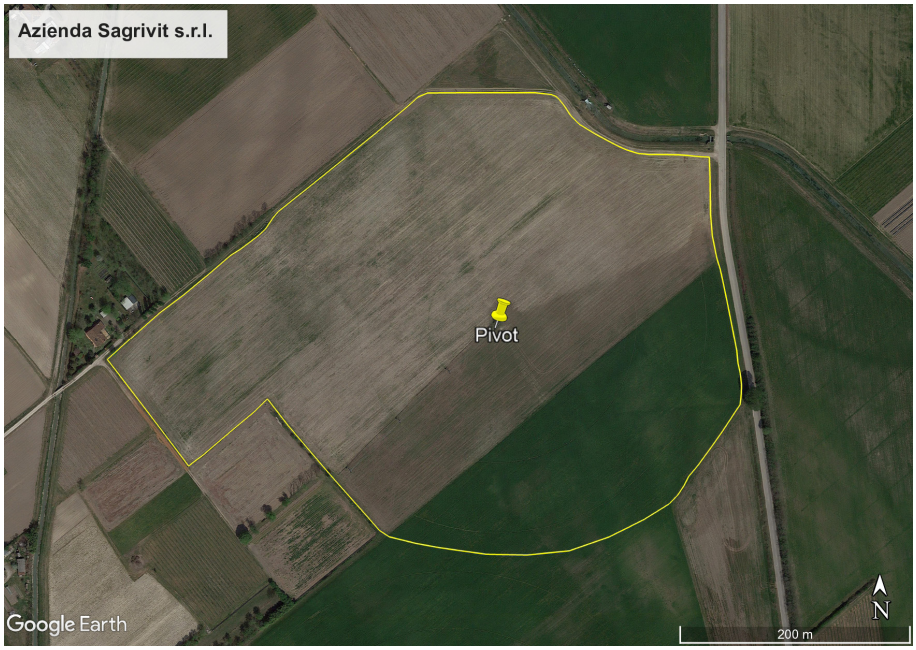
Azienda S.AGRI.V.IT. s.r.l – Impianto 6

Tipo di impianto: Pivot
Coltura interessata: mais, soia ed erba medica
Località: via Barcador, Lovadina di Spresiano (TV)
Marca: Valley
Anno di acquisto: 2001
Superficie coperta: 20 ha
Lunghezza lineare: 227 m (4 campate x 52 m, sbalzo 19 m)
Pressione di esercizio: 4-4.5 bar in pompa
Pompa: acqua in pressione fornita dal consorzio di bonifica
Pompa di rilancio: 7.5 kW
Tempo di rotazione a massima velocità: 10 h (pluviometria 10 mm)
Tempo di rotazione classico: 36 h (pluviometria 25 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 8
Volume irriguo stagionale: 200 mm



Azienda S.AGRI.V.IT. s.r.l – Impianto 7

Tipo di impianto: Pivot
Coltura interessata: mais, medica e soia
Località: via Barcador, Spresiano (TV)
Marca: Valley
Anno di acquisto: 2001
Superficie coperta: 13 ha
Lunghezza lineare: 192 m (3 campate x 60 m, sbalzo 12 m)
Pressione di esercizio: 4-4.5 bar
Pompa: acqua in pressione dalla rete irrigua
Pompa di rilancio: 7.5 kW
Tempo di rotazione a massima velocità: 10 h (pluviometria 10 mm)
Tempo di rotazione tipico: 30 h (pluviometria 30 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 8
Volume irriguo stagionale: 240 mm

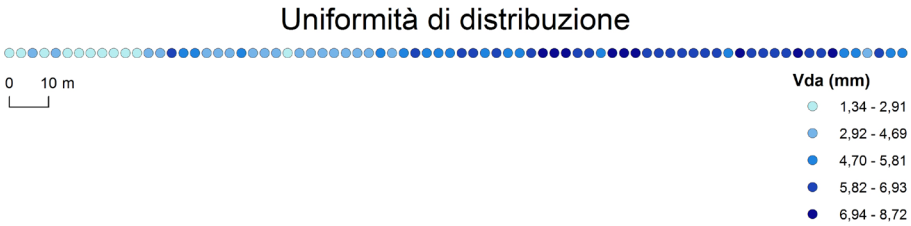


Azienda S.AGRI.V.IT. s.r.l – Impianto 8

Tipo di impianto: Pivot
Coltura interessata: mais, soia ed erba medica
Località: via Barcador, Spresiano (TV)
Marca: Valley
Anno di acquisto: 2001
Superficie coperta: 11 ha
Lunghezza lineare: 257 m (4 campate x 60 m, sbalzo 17 m)
Pressione di esercizio: 4-4.5 bar
Pompa: acqua in pressione dalla rete irrigua
Pompa di rilancio: 7.5 kW
Tempo di rotazione a massima velocità: 5 h (pluviometria 10 mm)
Tempo di rotazione tipico: 20 h (pluviometria 25 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 8
Volume irriguo stagionale: 200 mm

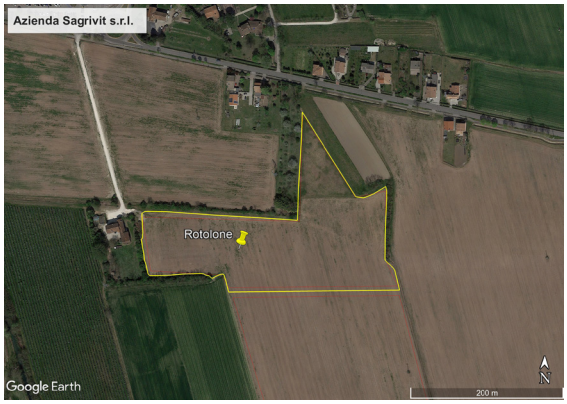
Azienda S.AGRI.V.IT. s.r.l – Impianto 9

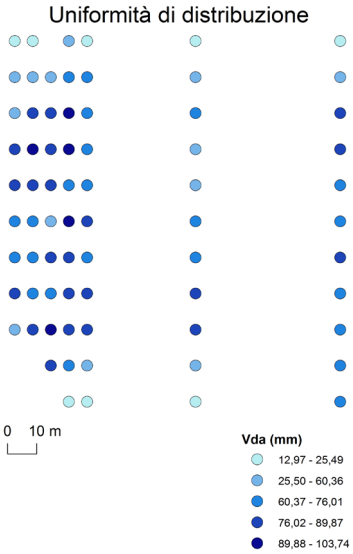
Tipo di impianto: Pivot
Coltura interessata: mais e soia
Località: via Busco, Spresiano (TV)
Marca: Linsay
Anno di acquisto: 1998
Superficie coperta: 10 ha
Lunghezza lineare: 150 m (3 campate x 48 m, sbalzo 6 m)
Pressione di esercizio: 4-4.5 bar
Pompa: acqua in pressione dalla rete irrigua
Pompa di rilancio: 7.5 kW
Tempo di rotazione a massima velocità: 8 h (pluviometria 8 mm)
Tempo di rotazione tipico: 24 h (pluviometria 25 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 8
Volume irriguo stagionale: 240 mm



Azienda S.AGRI.V.IT. s.r.l – Impianto 10

Tipo di impianto: irrigatore semovente a naspo (rotolone)
Località: via Rangers, Spresiano (TV)
Marca: Nettuno
Anno di acquisto: 2002
Superficie coperta: circa 4.5 ha
Coltura interessata: mais e soia
Pressione di esercizio: 11.5 bar in pompa
Pompa: motopompa Caprari da 132 kW
Tubo – lunghezza: 440 m, diametro: 125 mm, gittata: 54 m, boccaglio: 36 mm
Velocità di rientro classica: 28 m h^{-1} (pluviometria 40 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 8
Volume irriguo stagionale: 320 mm





Azienda S.AGRI.V.IT. s.r.l – Impianto 11

Tipo di impianto: irrigatore semovente a naspo (rotolone)
Coltura interessata: mais e soia
Località: via Rangers, Spresiano (TV)
Marca: Nettuno
Anno di acquisto: 2002
Superficie coperta: 5 ha
Pressione di esercizio: 11.5 bar in pompa
Pompa: motopompa Caprari da 92 kW
Tubo – lunghezza: 480 m, diametro: 125 mm, gittata: 54 m, boccaglio: 36 mm
Velocità di rientro classica: 28 m h^{-1} (pluviometria 40 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 8
Volume irriguo stagionale: 320 mm

Azienda S.AGRI.V.IT. s.r.l – Impianto 12

Tipo di impianto: Irrigatore semovente a naspo (rotolone)
Coltura interessata: mais
Località: Spresiano
Marca: Irritec
Anno di acquisto: 1980
Superficie coperta: 2 ha
Tubo – lunghezza: 300 m, diametro: 110 mm, gittata: 54 m, boccaglio: mm
Pressione di esercizio: 11.5 bar in pompa
Pompa: motopompa Caprari da 81 kW
Velocità di rientro tipica: 12 m h^{-1} (pluviometria 40 mm)
Pluviometria media: 40 mm $adacquata^{-1}$
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 8
Volumi idrici consumati per stagione: 320 mm

Azienda S.AGRI.V.IT. s.r.l – Impianto 13

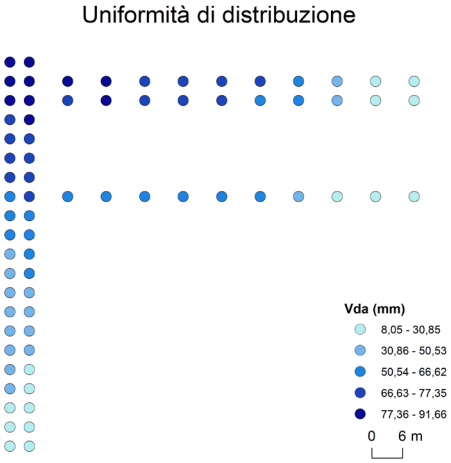
Tipo di impianto: Doppia ala gocciolante interrata a 0.30 m ai lati della coltura
Coltura interessata: noce e nocciolo
Località: via Brian, Cessalto (TV)
Anno di acquisto: 2019-2021
Superficie coperta: 40 ha
Pressione di esercizio: 4 bar, dopo il filtro 1.5 bar, picco minimo 0.7-0.45 bar
Portata: 2-2.2 L h^{-1}
Numero filtri: 3
Distanza tra fori sulla manichetta: 0.6 m
Distanza tra manichette: 2 m tra le due manichette sulla fila, 5 m tra le file in noce e 4 m tra le file in nocciolo
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 4-5
Durata dell'adacquamento: 8 h

Azienda S.AGRI.V.IT. s.r.l – Impianto 14

Tipo di impianto: mini sprinkler sotto chioma
Coltura interessata: noce
Località: via Brian, Cessalto (TV)
Marca: Rayn Bird
Anno di acquisto: 1995-1998
Superficie coperta: 40 ha
Pressione di esercizio: 4 bar, dopo il filtro 2 bar, picco minimo 1 bar
Numero filtri: 3
Gittata: 14 m
Distanza tra due mini sprinkler sulla fila: 14 m
Distanza tra due linee di mini sprinkler: 7 m
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 5
Durata dell'adacquamento: 6-8 h (pluviometria 20 mm)
Volume irriguo stagionale: 100 mm

Società Agricola Liasora S.s. – Impianto 1

Tipo di impianto: Irrigatore semovente a naspo (rotolone)
Coltura interessata: mais e soia
Località: Busco di Ponte di Piave (TV)
Marca: Pioggia Carnevali S.p.A.
Anno di acquisto: 2007
Superficie coperta: 35 ha
Tubo – lunghezza: 460 m, diametro: 125 mm, gittata: 45 m, boccaglio: 34 mm
Pressione di esercizio: 10 bar in pompa
Pompa: caprari MEC-MG 100/2
Velocità di rientro classica: 30 m h^{-1} (pluviometria 30 mm)
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 2 su mais, irrigazione di soccorso per soia
Volume irriguo stagionale: 60 mm



Società Agricola Liasora S.s. – Impianto 2

Tipo di impianto: Subirrigazione
Località: Busco di Ponte di Piave (TV)
Anno di acquisto: 1985
Superficie coperta: 26 ha
Coltura interessata: mais e soia
Pressione in pompa: 1 bar
Diametro dreno: 65 mm
Profondità dei dreni: 0.8 m
Distanza tra i dreni: 7 m
Lunghezza dreno: 180 m
Numero medio adacquate per stagione irrigua: 2 su mais, eventuale irrigazione di soccorso su soia

I costi

Pivot

Prezzo di acquisto: 3.000-6.000 € ha^{-1} a seconda del numero di campate
Costi di manutenzione: 50 € ha^{-1} $anno^{-1}$, circa 1 giorno l'anno di riparazioni ordinarie (ruote, ugelli, etc.)
Energia elettrica, se elettropompa: 30-50 kWh
Carburante: circa 10-15 L h^{-1} di gasolio
Ore uomo per stagione:

- inizio stagione: 2 operai per 4 h per manutenzione ordinaria (pulizia ruote, tubi, ingrasso dei meccanismi e controllo irrigatori) di un impianto di medie dimensioni (30 ha)
- in stagione: 2 h di sorveglianza per irrigazione con un impianto di medie dimensioni (30 ha)

Irrigatore semovente a naspo (rotolone)

Prezzo di acquisto: da 25.000 a 40.000 € (rotolone + pompa)
Costo medio annuo di manutenzione: 300-400 € $anno^{-1}$
Carburante: da 12 a 20 L h^{-1} gasolio
Ore uomo per stagione:

- preparazione all'intervento: 2 h di 2 operai
- intervento irriguo: 2 h di sorveglianza

Impianto fisso con irrigatori "a scomparsa"

Prezzo di acquisto: 10.000 € ha^{-1}
Costo medio annuo di manutenzione: 150 € ha^{-1} $anno^{-1}$
Carburante: 0 € (acqua in pressione fornita dal consorzio)
Acqua in pressione: maggiorazione di 90 € ha^{-1} del contributo al consorzio di bonifica
Ore uomo per stagione:

- installazione: circa 2.5 h ha^{-1} (inserimento aste irrigatori)
- in stagione: 2 h ha^{-1} per irrigazione
- disinstallazione: 1-1.5 h ha^{-1}

Ala gocciolante

1. Su noce e nocciolo (rigida e interrata)
Prezzo di acquisto: 4.000 € ha^{-1} (su noce un po' meno) + 10.000 € motopompa nuova + 8.000 € filtro
Costo medio annuo di gestione e manutenzione: 50 € ha^{-1}
Carburante: 2-3 L h^{-1} gasolio
Ore uomo per stagione: 1 h ha^{-1}

2. Su seminativo (leggera e parzialmente interrata)
Prezzo di acquisto: 150 € ha^{-1}collettore in testata, filtro 8.000 € (utile per 20 ha circa, quindi costo 400 € ha^{-1})
Costo stagionale: 340 € ha^{-1} $anno^{-1}$manichetta forata
Carburante: 0 € (acqua in pressione fornita dal consorzio)
Acqua in pressione: maggiorazione di 90 € ha^{-1} del contributo al consorzio di bonifica
Ore uomo per stagione:
- installazione: circa 1 h ha^{-1} (stesura di 4 file alla volta a 4-5 km h^{-1})
- in stagione: 4-8 h ha^{-1} totali
- disinstallazione: 1.5 h ha^{-1}

Produzioni di mais in irriguo e in asciutto nell'alta pianura veneta

Arianna Toffanin*, Lucia Bortolini**, Carmelo Maucieri***, Gabriele Furlanetto****, Fabio Morandin*****, Maurizio Borin***

Il contesto e le aziende

Una delle principali sfide per una maiscoltura competitiva e di qualità è la gestione idrica. Ciò è ancora più centrale in un contesto di cambiamento climatico e di un mutato contesto normativo che prevede la transizione da «Deflusso minimo vitale» ai più elevati valori soglia del «Deflusso ecologico». Inoltre, quando si approccia il tema dell'irrigazione va tenuta in considerazione l'estrema variabilità, sia del profilo pedologico sia dei metodi irrigui impiegati, anche all'interno della stessa azienda. Spesso questa eterogeneità di condizioni determina una gestione empirica dei tempi e dei volumi di adacquamento, con un riverbero negativo sui valori di efficienza d'uso dell'acqua irrigua.

I dati di seguito presentati sono relativi alle produzioni di mais dell'ultimo decennio (2009-2020) ottenuti nelle aziende Borgoluce e S.AGRI.V.IT. su terreni con diversa tessitura e adottando differenti metodi irrigui (tab. 1). Trovandosi entrambe le aziende vicino al fiume Piave, a circa 5 km di distanza l'una dall'altra, esse presentano condizioni pedoclimatiche molto

*Consorzio di Bonifica Veneto Orientale (CBVO) – San Donà di Piave (VE); arianna.toffanin@bonificavenetorientale.it
**Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TeSAF) – Università degli Studi di Padova; lucia.bortolini@unipd.it
***Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente (DAFNAE) – Università degli Studi di Padova; carmelo.maucieri@unipd.it; maurizio.borin@unipd.it
****Borgoluce Soc. Agricola s.s. – Susegana (TV); g.furlanetto@borgoluce.it
*****Società Agricola Vitivinicola Italiana (S.AGRI.V.IT.) – Spresiano (TV); villagiustiniani@sagrivit.it

simili e per questo motivo i dati sono stati combinati tra loro. Le varietà di mais coltivate nelle due aziende nel periodo considerato sono gialle e bianche appartenenti alle classi Fao 500 e/o 600. Le tipiche lavorazioni condotte dall'azienda Borgoluce per il mais prevedono un'aratura a 35 cm seguita da un preparatore combinato denti-rullo e un intervento di estirpatura solamente nei terreni più pesanti. Si fertilizza con letame aziendale e/o digestato prima dell'aratura e di nuovo digestato o urea in copertura. L'azoto complessivamente apportato è di 300 kg ha^{-1}. Le tipiche lavorazioni condotte dall'azienda S.AGRI.V.IT. per il mais prevedono un'aratura a 30 cm e successiva erpicatura. La semina viene seguita da una rullatura sui terreni con scheletro. La fertilizzazione del mais è effettuata solo con concimi di sintesi apportando un quantitativo complessivo di azoto tra i 220 e 275 kg ha^{-1} in relazione alla precessione colturale e all'andamento stagionale. La distribuzione viene effettuata in tre applicazioni di cui una alla semina e due in copertura. Entrambe le aziende hanno sempre accesso all'acqua d'irrigazione fornita dal Consorzio di bonifica Piave. I dati di resa di seguito riportati sono stati organizzati secondo tre categorie di terreno: terreno franco con scheletro, terreno franco senza scheletro e terreno pesante (argilloso, limoso) senza scheletro.

Tab. 1 -. Tipi di terreni e di impianti irrigui presenti nelle due aziende.

Azienda	**Tipo di terreno**	**Metodo irriguo**
Borgoluce	Franco	Scorrimento Rotolone
	Franco con scheletro	Scorrimento Rotolone Pivot Goccia
	Pesante (limoso/argilloso)	Scorrimento Rotolone
Sagrivit	Franco	Rotolone Pivot
	Franco con scheletro	Scorrimento Fisso
	Pesante (limoso/argilloso)	Rotolone

I risultati

Terreno franco con presenza di scheletro

Questa categoria include terreni franco sabbiosi e franco limosi con scheletro variabile che può essere presente solo su alcune fasce dell'appezzamento, così come essere preponderante. A questa categoria appartengono la maggior parte dei terreni aziendali. Con riferimento al mais da granella, Borgoluce ne coltiva annualmente dai 18 ha ai 137 ha, mentre S.AGRI.V.IT. dai 14 ai 53 ha. I metodi irrigui analizzati su questa tipologia di terreno sono: scorrimento, rotolone, pivot, impianti fissi e sistema di micro-irrigazione a goccia (d'ora in avanti chiamato solamente goccia). Il confronto delle rese ottenute con i differenti metodi irrigui dal 2009 al 2020 è riportato in fig. 1. Osservando il grafico si nota un minore livello di produttività nel 2012, nel 2013 e nel 2017, dovuti ad attacchi consistenti di diabrotica (*Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte) negli appezzamenti dell'azienda Borgoluce. Questo problema si è riscontrato anche nel triennio 2014-2016, ma con danni di minore entità.

Analizzando le rese complessive del periodo considerato, pur con i limiti derivanti dalla mancanza di un disegno sperimentale, esse non sono state significativamente influenzate dal metodo irriguo adottato (fig. 2). Tuttavia, si possono evidenziare alcune specificità tipiche dei differenti metodi. Nel corso degli anni lo **scorrimento** ha portato a rese altalenanti, come anche evidenziato in fig. 2 dalla superiore variabilità rispetto a quella degli altri impianti. Il **rotolone** ha sempre determinato buone rese, a rappresentazione del fatto che una sua buona gestione, nonostante più complessa rispetto ad

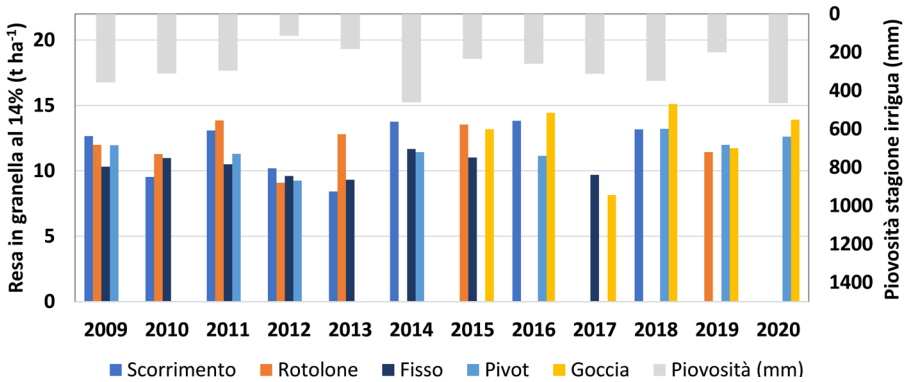


Fig. 1 - Resa in granella al 14% di umidità su terreno franco con notevole presenza di scheletro. La piovosità si riferisce alla stagione irrigua (giugno-agosto) ed è la media tra i due pluviometri più vicini agli appezzamenti delle due aziende.

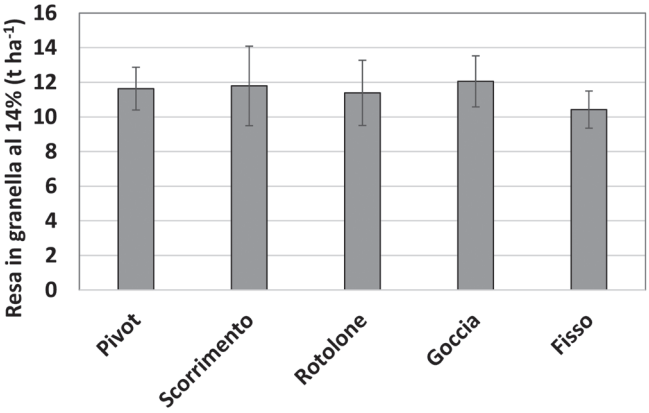


Fig. 2 - Resa media in granella al 14% di umidità su terreno franco con notevole presenza di scheletro in relazione al metodo irriguo (media anni 2009-2020).

altri impianti, può dare ottimi risultati. La produzione negli appezzamenti con **impianto fisso** non ha mai superato le 12,6 t ha^{-1}. Probabilmente questo è conseguenza del fatto che si tratta di impianti realizzati agli inizi degli anni '90 e riadattati alla fornitura d'acqua in pressione, quindi con bagnatura sub-ottimale. Ciò detto, è importante chiarire che questo genere di impianto fornisce potenzialmente buone rese con ridotti consumi d'acqua, ma richiede attenzione progettuale per distribuire l'acqua con corretta uniformità di bagnatura. Riguardo all'utilizzo dei **pivot**, alcune sue problematiche di gestione possono essere l'eccessiva bagnatura data dalla facilità d'intervento e l'effetto deriva del getto nei vecchi modelli con irrigatori posti direttamente sulla tubazione senza calate; generalmente, però, sono impianti ottimi per efficienza e uniformità di bagnatura, in grado di assicurare elevate rese. La **goccia** è stata introdotta solo nell'azienda Borgoluce nel 2015, su appezzamenti precedentemente irrigati a scorrimento o con rotolone. Si è notato un mantenimento delle rese e in alcuni casi un leggero aumento, a fronte però di un considerevole risparmio di risorsa idrica. Negli ultimi 5 anni, escluso il 2017 affetto da problematiche biotiche e abiotiche, i picchi di resa sono stati ottenuti proprio con questo metodo irriguo.

Terreni privi di scheletro, franco e pesante

In entrambe le aziende le superfici di terreno privo di scheletro sono ridotte e vengono irrigate principalmente per scorrimento o con rotolone. La scelta di questi metodi è diversificata: il rotolone è adatto a irrigazioni di

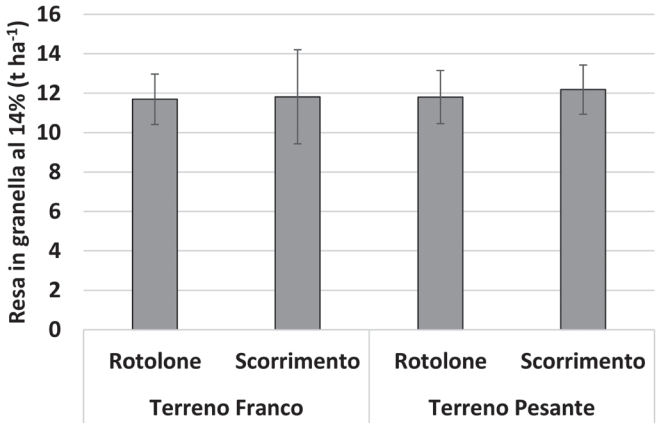


Fig. 3 - Confronto delle rese medie in granella al 14 % di umidità ottenute con rotolone e scorrimento su terreno franco e terreno pesante (media anni 2009-2020).

soccorso, più tipiche dei terreni con maggiore capacità di ritenuta idrica; lo scorrimento rappresenta il metodo storico utilizzato nelle aree di alta pianura. Le superfici medie degli appezzamenti irrigati con i due metodi irrigui sono molto simili (9,9-10,5 ha per appezzamento). La presenza contemporanea del mais che ha consentito il confronto tra i due impianti si è verificata in 3 anni su terreno franco e in 2 anni sul terreno pesante. In nessuno dei casi si sono ottenute differenze significative in termini di granella prodotta (fig. 3).

Metodi a confronto

Nessuno dei metodi analizzati ha mostrato una resa in granella significativamente differente dagli altri. Ciò dimostra che ogni metodo irriguo può potenzialmente fornire rese soddisfacenti e che quindi la scelta di un metodo piuttosto che un altro non può essere fatta soltanto confrontando le rese, ma deve prendere in considerazione anche gli aspetti economico-organizzativi e la gestione complessiva del territorio, senza sottovalutare i servizi ecosistemici derivanti dall'irrigazione. Va quindi evidenziato che tutti i metodi irrigui studiati sono risultati efficaci in termini produttivi, ma tra loro differiscono anche in modo rilevante in termini di efficienza d'uso dell'acqua irrigua, ovvero la resa di prodotto ottenuto per unità di acqua fornita con l'irrigazione.

Se da un lato i principali fattori discriminanti considerati per la scelta di un metodo irriguo a livello aziendale sono i costi dell'investimento iniziale e

la manodopera necessaria per l'intervento irriguo, dall'altro lato va però ricordato che in un contesto di cambiamento climatico e di normative sempre più stringenti, nella pianificazione dell'irrigazione e, quindi, della gestione dell'acqua, è fondamentale considerare il consumo di risorsa idrica totale.

Un metodo che viene sempre meno utilizzato è lo scorrimento, in quanto richiede elevati volumi irrigui e può essere causa di lisciviazione di nitrati. Da alcune parti si argomenta che l'irrigazione a scorrimento potrebbe avere un ruolo positivo nella ricarica della falda, specialmente nelle aree dell'alta pianura. Ciononostante, è opportuno che questa funzione sia ripensata, elaborando soluzioni per la ricarica nei periodi di maggiore disponibilità idrica, così da ottimizzarne l'uso quando vi è maggiore domanda e la risorsa scarseggia. Infatti, alla luce del fatto che si paventa una riduzione di disponibilità d'acqua irrigua nei mesi estivi in gran parte del territorio italiano, è strategico lavorare per aumentarne l'efficienza d'uso. Metodi efficienti alternativi sono quelli a pioggia, tra i quali il rotolone risulta particolarmente adatto per irrigazioni di soccorso. Ultima frontiera nel risparmio idrico è la microirrigazione, sistema che però risulta essere ancora in "fase sperimentale". Con il termine microirrigazione ci si riferisce a impianti fissi interrati, ancora da ottimizzare per i seminativi, oppure a impianti mobili con manichette monouso, con costi annuali piuttosto elevati che richiedono di predisporre l'impianto irriguo durante le prime fasi della coltura indipendentemente dall'andamento climatico stagionale. Ciononostante, questi impianti stanno conoscendo crescente diffusione, in quanto permettono di dosare efficacemente sia acqua che fertilizzante in modo più sincrono alle necessità della coltura. D'altra parte, la frequenza di intervento con turni stretti richiesta dalla microirrigazione richiederà un adeguamento dell'organizzazione della consegna da parte dei Consorzi.

Cambiamento climatico e produzioni del mais

Arianna Toffanin*, Carmelo Maucieri**, Davide Breda**,
Franco Cavaggioni***, Maurizio Borin**

Il contesto

Il cambiamento climatico rappresenta la più grande minaccia alla produttività delle colture (Parry et al., 2005). Ad eccezione delle regioni dove la temperatura ottimale non è stata raggiunta, l'aumento delle temperature può influenzare negativamente le produzioni agricole, accorciando la stagione colturale e quindi riducendo il tempo utile per l'accumulo di biomassa (Lobell e Field, 2007). In aggiunta, il verificarsi di fenomeni meteorologici estremi legati al riscaldamento globale può comportare in alcuni anni la completa perdita della produzione, vanificando gli effetti positivi derivanti dall'aumento della resa conseguite su base annuale attraverso il miglioramento genetico e una maggior efficienza delle tecniche agronomiche. Con riferimento ai valori misurati prima della rivoluzione industriale, la temperatura globale dell'aria è aumentata di oltre 1 °C (Siegmund et al., 2019) e si stima possa aumentare di 1.5 °C entro il 2050 (IPCC, 2018). In Italia nel periodo 1981-2020 è stato stimato un aumento della temperatura media di 0.39 °C per decade, con un incremento delle temperature massime 1.2 volte maggiore rispetto alle minime (ISPRA, 2021).

*Consorzio di Bonifica Veneto Orientale (CBVO) – San Donà di Piave (VE); arianna.toffanin@bonificavenetorientale.it
**Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente (DAFNAE) – Università degli Studi di Padova; carmelo.maucieri@unipd.it; davide.breda@studenti.unipd.it; maurizio.borin@unipd.it
***Società Agricola Liasora s.s. – Busco di Ponte di Piave (TV); cavaggionif@gmail.com

Il mais (*Zea mays L.*) è il cereale più produttivo per unità di superficie al mondo, secondo per estensione dopo il frumento, gioca quindi un ruolo chiave nella sicurezza alimentare mondiale (Shiferaw et al., 2011). In Italia, nonostante il trend in calo, rimane la coltura di maggiore importanza nel comparto cerealicolo, con un'estensione che nel triennio 2019-2021 è stata di circa 600.000 ha, localizzati per quasi l'80% in Nord Italia (ISTAT, 2021). È quindi di rilevante interesse valutare gli effetti del cambiamento climatico su questa coltura al fine di mitigare gli impatti negativi. Un recente studio (Webber et al., 2018), sulla base dei dati climatici europei del trentennio 1980-2010 ha concluso che il 25% della variabilità inter-annuale delle rese di mais è legata al valore della temperatura media che influenza la durata della stagione di crescita, l'attività fotosintesi e il tasso di respirazione della pianta. Lo studio prevede inoltre che mantenendo gli attuali genotipi, date di semina e date di raccolta, la produzione di mais a livello europeo si ridurrà del 20% nel 2050. Al contempo, altri studi (es. Yang et al., 2017) suggeriscono che il ricorso all'irrigazione potrebbe rappresentare un valido metodo per ridurre le perdite di resa. Si prevede infatti che nel trentennio a cavallo del 2050 la richiesta di acqua per l'irrigazione del mais aumenterà di circa il 13% (Masia et al., 2021).

Sebbene le relazioni tra variabili climatiche e resa sono piuttosto complesse, è tuttavia possibile individuare alcune tendenze. In considerazione di ciò una delle attività condotte all'interno del progetto GIAcAMI ha avuto come obiettivo quello di identificare trend climatici su scala locale e analizzare possibili effetti di questi su resa, data di semina e data di raccolta del mais. Nello specifico ci si è concentrati sull'analisi di una serie storica del periodo 2000-2020 dell'azienda Liasora di Ponte di Piave (TV).

Precipitazioni piovose e temperature nel periodo 2000-2020

Dall'analisi della piovosità in tutto l'anno solare (fig. 1) e durante il ciclo colturale del mais (fig. 2), negli ultimi 20 anni si nota un trend positivo con un aumento della piovosità pari a 10,2 mm anno^{-1} e 4,4 mm anno^{-1} rispettivamente per il primo e per il secondo parametro. Con riferimento alla stagione estiva, quella di maggior interesse per il mais, la piovosità è aumentata in media di circa 3 mm anno^{-1} (fig. 3). Dall'analisi dei dati si osserva inoltre che l'influenza del cambiamento climatico si è manifestata sulla distribuzione della pioggia e non sulla quantità cumulata, rendendo indispensabile il ricorso all'irrigazione negli anni sotto media.

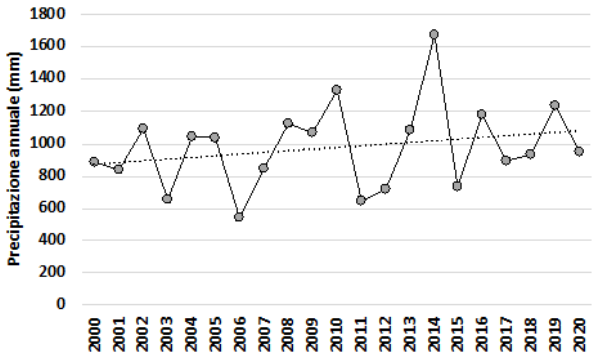


Fig. 1 - Andamento delle precipitazioni annue nel periodo 2000-2020 e relativo trend lineare stimato con il modello di regressione lineare semplice.

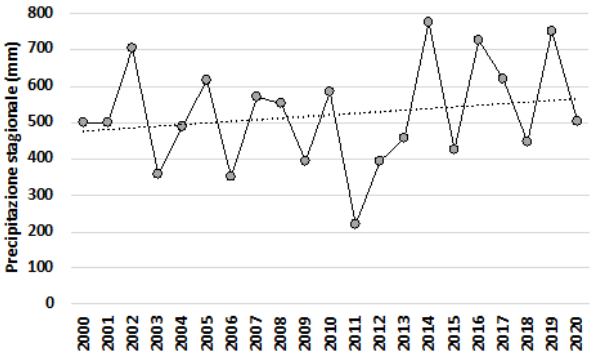


Fig. 2 - Andamento delle precipitazioni stagionale (ciclo colturale del mais - da aprile a settembre) nel periodo 2000-2020 e relativo trend lineare stimato con il modello di regressione lineare semplice.

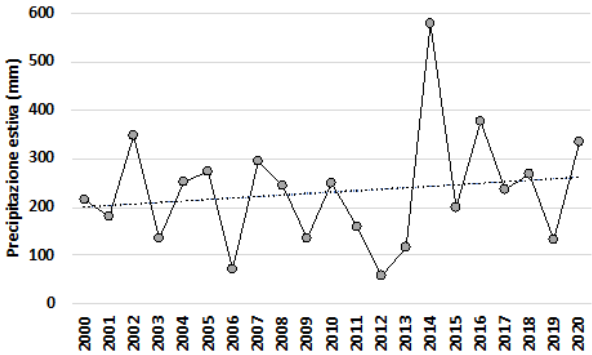


Fig. 3 - Piovosità estiva (da giugno ad agosto) registrata nel periodo 2000-2020 e relativo trend lineare stimato con il modello di regressione lineare semplice.

Oltre alla pluviometria, nello stesso arco temporale, si è anche riscontrato un aumento della temperatura. La tendenza all'incremento della temperatura media annua ha mostrato valori pari a 0.033 °C anno^{-1}, in accordo con il trend rilevato di recente dall'ISPRA sul territorio nazionale (+0.38 °C ± 0.05 in 10 anni) (ISPRA, 2020). Con riferimento alla stagione colturale del mais, i dati mostrano invece un incremento della temperatura media tra il 2000 e il 2020 di 0.58 °C. Su base annua la temperatura massima è aumentata di 0.044 °C, in linea con i dati forniti dall'ISPRA (+0.42 ± 0.06 °C in 10 anni) (ISPRA, 2020). Considerando solo i mesi in corrispondenti al ciclo colturale del mais il trend di incremento è stato pari a 0.015 °C anno^{-1}. Prossimo allo zero è invece l'incremento delle temperature massime nei mesi estivi (da giugno ad agosto). L'andamento delle temperature minime ha mostrato invece un incremento di 0,52 °C su base decennale, più alto di circa il 53% rispetto alla tendenza stimata dall'ISPRA (+0,34 ± 0,04 °C in 10 anni) (ISPRA, 2020). Con riferimento alla stagione colturale del mais le temperature minime sono cresciute nell'ultimo ventennio mediamente di 0,047 °C anno^{-1}. A differenza delle temperature massime, un significativo incremento durante il periodo estivo è stato registrato per le temperature minime con un incremento medio di 0,055 °C anno^{-1}. Dall'analisi dei dati di temperatura risultata che nell'areale in cui è sita l'azienda Liasora le temperature minime sono aumentate con un tasso di circa 1.2 volte più veloce rispetto a quelle massime. Questo risultato è in linea con quanto osservato in altri contesti pedoclimatici quali ad esempio quelli degli Stati Uniti medio-occidentali (Basso et al., 2021) dove l'incremento delle temperature medie giornaliere è dovuto soprattutto all'aumento delle temperature minime, che aumentano 1.4 volte più velocemente rispetto alle temperature massime.

Durata del ciclo colturale e rese del mais nel periodo 2000-2020

Le tendenze climatiche possono avere ripercussioni importanti sulla durata del ciclo colturale (Tao et al., 2006), risulta quindi utile stimarne il trend per valutare la relazione con le variabili climatiche. Dall'analisi dei dati disponibili emerge un'elevata variabilità inter-annuale della lunghezza del ciclo colturale del mais e, applicando un approccio lineare, un trend negativo con una riduzione pari a 6,22 giorni ogni 10 anni. La resa media nel periodo 2000-2020 è stata di 11.0 t ha^{-1}, con una rilevante variabilità tra gli anni. Dall'analisi temporale dei dati non emergono marcate tendenze. Si evidenzia un trend leggermente positivo, con un incremento pari a 0.37 t ha^{-1} ogni 10 anni.

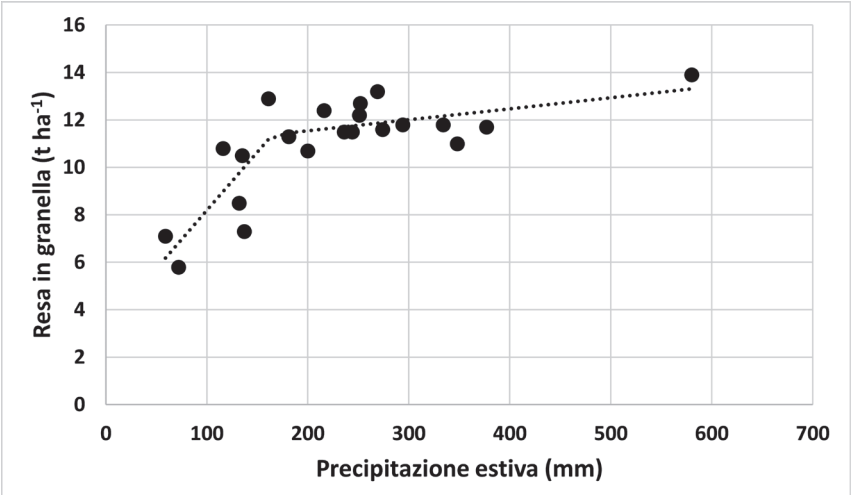


Fig. 4 - Regressione con metodo piecewise tra resa e precipitazione estiva (da giugno ad agosto) nel periodo 2000-2020; breakpoint (xk) a x=165.

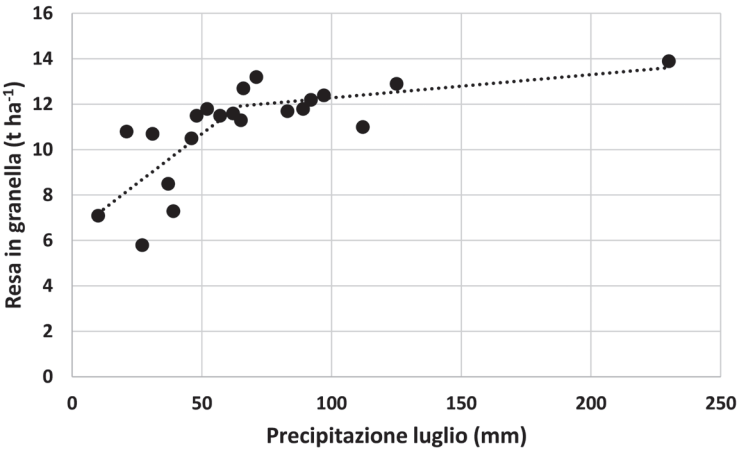


Fig. 5 - Regressione con metodo piecewise tra resa e precipitazione nel mese di luglio nel periodo 2000-2020; breakpoint (xk) a x=64.

Relazioni tra variabili climatiche e resa

La precipitazione stagionale (durante il ciclo colturale) non influenza significativamente la resa in granella del mais a differenza di quella estiva e di quella registrata durante il mese di luglio. Infatti, applicando un approccio piecewise, si nota come la piovosità estiva influenza significativamente la resa in granella (fig. 4) con un aumento di 0,49 t ha^{-1} ogni 10 mm di precipitazione fino a 165 mm. Oltre questa soglia, la resa in granella aumenta di solo 0,046 t ha^{-1} ogni 10 mm di pioggia. Focalizzandosi sul mese di luglio (fig. 5) l'incremento di resa ottenuto ogni 10 mm di pioggia è pari a 0.88 t ha^{-1} fino a 64 mm e 0.10 t ha^{-1} per valori di pioggia maggiori.

Come per la pioggia, anche le temperature minime e massime stagionali (da aprile a settembre) non hanno influenzato la resa del mais (tab. 1). Considerando invece i valori estivi in generale e del mese di luglio in particolare si evidenziano ripercussioni significative sulla resa. Nello specifico, nel periodo estivo, si osserva un decremento di resa di 1.2 t ha^{-1} e 1.1 t ha^{-1} per ogni grado di aumento rispettivamente delle temperature massime e minime. Anche in questo caso, sono le temperature del mese di luglio quelle che più influenzano la resa. Infatti, sulla base dei dati disponibili si stima nel solo mese di luglio una riduzione della resa di 1.1 t ha^{-1} e 0.9 t ha^{-1} per ogni grado di aumento rispettivamente delle temperature massime e minime. Ancora più influente è l'escursione termica, con un calo di resa pari a 1.5 t ha^{-1} e 1.3 t ha^{-1} per ogni grado di aumento rispettivamente nel periodo estivo e nel mese di luglio.

Tab. 1 - Tabella riassuntiva delle regressioni tra temperature e resa. (*regressione statisticamente significativa).

Variabile	**Trend (Δ t ha^{-1} °C^{-1})**	**R^2**
T_{max} stagionale	-0.485	0.040
T_{max} estiva	-1.176	0.400*
T_{max} luglio	-1.082	0.466*
T_{min} stagionale	-0.737	0.035
T_{min} estiva	-1.071	0.177*
T_{min} luglio	-0.915	0.209*
Escursione termica stagionale	-0.340	0.012
Escursione termica estiva	-1.508	0.264*
Escursione termica luglio	-1.299	0.264*

Analizzando contemporaneamente l'effetto di pioggia e temperatura sulla resa del mais attraverso una regressione multipla si osserva nel periodo estivo un effetto significativo limitato alla sola pioggia. L'effetto limitato al periodo estivo è da ascrivere al fatto che le fasi di sviluppo della coltura più sensibili alle variabili climatiche corrispondono al periodo di fioritura e maturazione che hanno luogo nei mesi estivi. Sebbene gli impatti della precipitazione sulla resa del mais siano maggiori rispetto a quelli della temperatura (Akpalu e Hassan, 2009) esiste una relazione negativa tra la resa del mais e l'accumulo di temperature superiori ai 30 °C (Lobell et al., 2013). Ciò viene chiaramente dimostrato dalla correlazione negativa tra resa e temperature massime estive, con cali di resa fino a 1.2 t ha^{-1} $°C^{-1}$. In aggiunta, associati ad un aumento delle temperature massime vi sono gli aumenti di escursione termica che determinano un aumento dello stress idrico e un calo del tasso di fotosintesi netta (Dhakhwa e Campbell 1998). Ciò emerge chiaramente anche dai dati raccolti con il progetto GIAcAMI, la regressione tra escursione termica estiva e la resa ha stimato un forte trend negativo, con cali di produzione nell'ordine di 1.5 t ha^{-1} per ogni °C di aumento.

Bibliografia

Akpalu, W., & Hassan, R. M. (2009). *Climate variability and maize yield in South Africa: results from GME and MELE methods*. Intl Food Policy Res Inst.

Basso, B., Martinez-Feria, R. A., Rill, L., & Ritchie, J. T. (2021). Contrasting long-term temperature trends reveal minor changes in projected potential evapotranspiration in the US Midwest. *Nature communications*, *12*(1), 1-10.

Dhakhwa, G. B., & Campbell, C. L. (1998). Potential effects of differential day-night warming in global climate change on crop production. *Climatic Change*, *40*(3), 647-667.

IPCC (2018) Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. (eds Masson-Delmotte, V. P. et al.)

ISPRA (2020). Gli indicatori del clima in Italia nel 2019.

ISPRA (2021). Gli indicatori del clima in Italia nel 2020.

Lobell, D. B., & Field, C. B. (2007). Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental research letters*, *2*(1), 014002.

Lobell, D. B., Hammer, G. L., McLean, G., Messina, C., Roberts, M. J., & Schlenker, W. (2013). The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nature climate change*, *3*(5), 497-501.

Masia, S., Trabucco, A., Spano, D., Snyder, R. L., Sušnik, J., & Marras, S. (2021). A modelling platform for climate change impact on local and regional crop water requirements. *Agricultural Water Management*, *255*, 107005.

Parry, M., Rosenzweig, C., & Livermore, M. (2005). Climate change, global food supply and risk of hunger. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *360*(1463), 2125-2138.

Shiferaw, B., Prasanna, B. M., Hellin, J., & Bänziger, M. (2011). Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food security*, *3*(3), 307-327.

Siegmund, P., Abermann, J., Baddour, O., Canadell, P., Cazenave, A., Derksen, C., Garreau, A., Howell, S., Huss, M., Isensee, K., Kennedy, J., Mottram, R., Nitu, R., Ramasamy, S., Schoo, K., Sparrow, M., Tarasova, O., Trewin, B., Ziese, M. (2019). The Global Climate in 2015-2019 (Deutscher Wetterdienst, 2019).

Tao, F., Yokozawa, M., Xu, Y., Hayashi, Y., & Zhang, Z. (2006). Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981-2000. *Agricultural and forest meteorology*, *138*(1-4), 82-92.

Webber, H., Ewert, F., Olesen, J. E., Müller, C., Fronzek, S., Ruane, A. C., ... & Wallach, D. (2018). Diverging importance of drought stress for maize and winter wheat in Europe. *Nature communications*, *9*(1), 1-10.

Yang, C., Fraga, H., Van Ieperen, W., & Santos, J. A. (2017). Assessment of irrigated maize yield response to climate change scenarios in Portugal. *Agricultural Water Management*, *184*, 178-190.

Fertirrigazione

Lucia Bortolini*

La fertirrigazione o irrigazione concimante è una tecnica che prevede l'aggiunta di sostanze nutritive all'acqua e la loro distribuzione mediante l'impianto d'irrigazione. Per evitare inutili sprechi di concime è preferibile adottare questa pratica in presenza di impianti microirrigui localizzati, soprattutto sistemi a goccia anche in subirrigazione; non mancano comunque interessanti applicazioni nell'aspersione su tappeto erboso per sopperire velocemente a gravi carenze di azoto.

Presupposti importanti per un efficiente e razionale impiego della fertirrigazione sono la conoscenza delle esigenze idriche e nutrizionali della coltura, della fertilità del suolo o dei substrati di coltivazione e delle caratteristiche dell'acqua di irrigazione; il tutto deve essere supportato da un impianto correttamente progettato in grado di assicurare una buona uniformità di distribuzione della soluzione fertirrigua.

Tra i principali vantaggi della fertirrigazione si possono annoverare:

- elevata efficienza della concimazione legata all'applicazione localizzata e precisa delle dosi di fertilizzante, particolarmente importante per gli apporti azotati che posso essere frazionati in base alle esigenze delle piante;
- riduzione del rischio di esposizione alle sostanze chimiche e di contaminazione ambientale;
- bassa manodopera per le operazioni di applicazione del concime;

*Università degli Studi di Padova, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TeSAF); lucia.bortolini@unipd.it

– assenza di calpestamento del terreno con le macchine e possibilità di intervento anche in momenti in cui il terreno non è praticabile per i mezzi meccanici;
– migliore utilizzazione dell'impianto irriguo.

Per contro gli aspetti negativi sono collegati principalmente alla necessità di un impianto di irrigazione più sofisticato e costoso, alla possibilità di occlusione degli erogatori per formazione di precipitati e alla possibile variazione del pH e della conducibilità elettrica (EC) della soluzione circolante nel caso di sovradosaggio.

Per prevenire fenomeni di inquinamento della risorsa idrica è opportuno inoltre che il sistema irriguo adottato assicuri una elevata uniformità distributiva e siano contenuti al massimo gli sprechi per ruscellamento e percolazione profonda verso la falda.

La distribuzione di elementi nutritivi può essere:
– continua e proporzionale all'intervento irriguo: più semplice, consente di aumentare la distribuzione dei fertilizzanti all'aumento della domanda di acqua di irrigazione. Si effettua controllando l'EC e il pH della soluzione circolante;
– suddivisa per ciascuna fase fenologica: la redazione di un bilancio dei nutrienti permette di considerare gli apporti e le perdite, le asportazioni da parte delle piante, le immobilizzazioni e le disponibilità nel suolo o nel substrato di coltura; il quantitativo totale da somministrare viene frazionato considerando i rapporti ottimali fra gli elementi per ciascuna fase fenologica.

I prodotti impiegati nella fertirrigazione devono essere completamente solubili in acqua per evitare occlusioni negli erogatori e molto mobili nel terreno per poter raggiungere facilmente l'apparato radicale.

Per quanto riguarda i principali elementi nutritivi è bene ricordare che:
– Azoto: in caso di azoto nitrico, poiché è soggetto nel suolo a forti lisciviazioni, è opportuna la somministrazione frazionata a ogni irrigazione e alla dose ottimale per la coltura. È da preferire la fertirrigazione con forme ammoniacali e/o ureiche.
– Potassio: è poco mobile e la sua distribuzione nel volume di terreno umido interessato dall'apparato radicale è più uniforme mentre i sali più solubili si concentrano verso il fronte esterno del volume di terreno bagnato dall'impianto irriguo.
– Fosforo: si sposta con difficoltà nel suolo; tuttavia, la sua mobilità aumenta notevolmente se distribuito mediante impianti microirrigui a goccia. I fertilizzanti contenenti fosfato possono reagire con il calcio

o il magnesio dell'acqua d'irrigazione formando precipitati. In questo caso è opportuno mantenere acidificata la soluzione circolante.

Quando si effettua la fertirrigazione è importante preventivamente aver chiari alcuni punti di seguito elencati:

- conoscere le esigenze nutrizionali della coltura in termini di macro e micro-nutrienti;
- conoscere le caratteristiche idrauliche e chimico-fisiche del terreno per tarare gli apporti nutritivi;
- conoscere le caratteristiche dell'acqua di irrigazione (EC, pH);
- conoscere la profondità delle radici ed il contenuto di umidità del terreno al momento dell'irrigazione;
- non distribuire volumi di adacquamento maggiori di quelli necessari a portare alla capacità di campo il volume di terreno esplorato dalle radici;
- immettere il fertilizzante nell'acqua con l'impianto irriguo in funzione;
- completare la fertirrigazione quando è stato somministrato l'80% del volume di adacquamento;
- la portata e il numero di erogatori devono essere scelti per bagnare in maniera continua il terreno lungo tutta l'ala distributrice;
- impiegare fertilizzanti solubili per evitare possibili ostruzioni degli erogatori;
- fare attenzione a non superare la salinità massima consentita dalla coltura fertirrigata;
- mantenere il pH della soluzione fertilizzante fra 5 e 6;
- l'impiego di fertilizzanti a reazione acida riduce la possibilità di ostruzione dei gocciolatori rendendo più assimilabili i microelementi presenti nel suolo;
- non apportare contemporaneamente fertilizzanti che contengono calcio e/o magnesio con altri che contengono zolfo o fosforo;
- non apportare contemporaneamente microelementi con i fertilizzanti che contengono fosforo;
- la frequenza degli interventi di fertirrigazione nei terreni sabbiosi, almeno per quanto riguarda l'azoto, dovrebbe coincidere con l'intervento di irrigazione a goccia;
- nei terreni di medio impasto la fertirrigazione può essere praticata con frequenza pari ad 1/2 di quella dell'irrigazione a goccia;
- nei terreni argillosi la fertirrigazione può essere praticata con frequenza pari ad 1/3 di quella dell'irrigazione a goccia.

Tecnologie digitali per migliorare la gestione dell'irrigazione

Arianna Toffanin*, Elisa Dal Maso**, Davide Daccordo*,
Carmelo Maucieri***, Maurizio Borin***

App GIAcAMI, sistema di supporto decisionale per la gestione dell'irrigazione del mais

Descrizione e risultati di utilizzo

In GIAcAMI è stata sviluppata un'applicazione per smartphone, sia android che IOs, con la funzione di sistema di supporto decisionale per la gestione dell'irrigazione del mais nell'areale della pianura veneta. La base concettuale dell'applicazione risiede in un bilancio idrico semplificato (fig. 1) seguendo parzialmente il metodo esposto nel Paper-56 della FAO "Irrigation and drainage paper" (Allen et al., 1998).

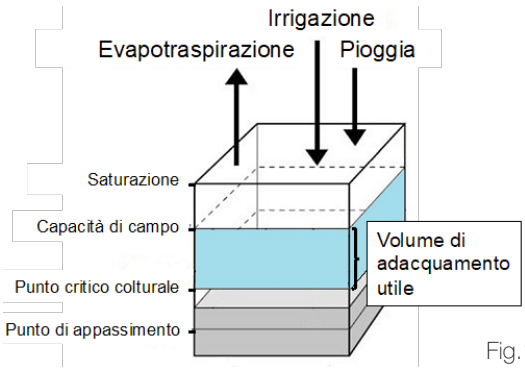


Fig.1 - Razionale dell'applicazione GIAcAMI.

*Consorzio di Bonifica Veneto Orientale (CBVO) – San Donà di Piave (VE); arianna.toffanin@bonificavenetorientale.it;
**Piante Acqua Natura srl (PAN) – Padova; dalmaso@drp.bio
***Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente (DAFNAE); carmelo.maucieri@unipd.it; maurizio.borin@unipd.it; davide.daccordo@studenti.unipd.it

Il modello stima lo sviluppo fenologico della pianta e l'evapotraspirazione massima, ricavando la disponibilità d'acqua nel terreno in tempo reale. L'applicazione permette di monitorare il bilancio idrico di ogni appezzamento inserito dall'utilizzatore ai fini della gestione irrigua del mais e fornisce indicazioni circa il momento di intervento irriguo.

Nella sua formulazione più completa, il bilancio idrico è rappresentato dalla seguente equazione:

$$P + F + I = ET + Perc + R + Ru$$

dove: P = precipitazioni, F = apporti di falda, I = Irrigazione, ET = evapotraspirazione, Perc = percolazione, R = ruscellamento superficiale, Ru = variazioni della riserva idrica utilizzabile del terreno.

In relazione alla disponibilità di informazioni in entrata, alle finalità perseguite e alle realtà locali in cui il bilancio viene applicato, si potranno adottare, come per l'applicazione GIAcAMI, anche formulazioni più semplificate o tralasciando alcune voci (ad esempio le variazioni di riserva idrica facilmente utilizzabile o gli apporti da falda) o utilizzando particolari criteri per la stima di alcune componenti (ad esempio scegliendo le maniere più semplici per stimare la ET). Va tenuto in considerazione che sebbene le voci di base del bilancio sono di carattere meteorologico (pioggia, evapotraspirazione di riferimento -ET0), il risultato finale tiene conto di aspetti colturali (coefficiente colturale per trasformare l'ET0 in ET colturale, profondità delle radici, tensione dell'acqua nel terreno tollerabile senza che si abbia stress idrico) e pedologici (capacità di trattenuta idrica, presenza e profondità di falde superficiali). L'applicazione aggiorna con cadenza giornaliera il bilancio idrico e invia messaggi all'utente sull'opportunità di irrigare il mais. In particolare, elemento caratterizzante dell'applicazione è il preavviso anticipato sul momento d'intervento: l'agricoltore riceve un messaggio di allerta 2-3 giorni prima dell'inizio dello stress idrico, giorno previsto per l'irrigazione. In questo modo l'agricoltore ha la possibilità di organizzare al meglio la preparazione dell'intervento irriguo.

L'applicazione implementata, per facilitare l'utilizzo del modello, è caratterizzata da una grafica semplice e intuitiva; l'utilizzatore può monitorare lo stato dell'appezzamento attraverso una segnalazione "a semaforo" posta a lato del nome identificativo del campo e viene guidato con facilità attraverso le varie funzioni della applicazione. Si inizia con l'inserimento dei dati di un appezzamento e una volta acquisito quanto richiesto in input l'applicazione scarica automaticamente i dati meteorologici e calcola la riserva

idrica facilmente utilizzabile dalla pianta. L'applicazione funziona sempre in background e le notifiche permettono all'utente di rimanere aggiornato sugli andamenti dell'umidità del suolo anche senza aprire attivamente l'applicazione. Grazie alla chiara simbologia, dalla schermata generale l'utente può avere una veloce anteprima della situazione generale dei suoi campi.

Di seguito viene descritto il funzionamento dell'applicazione con il supporto degli screenshot delle varie schermate.

Guida per l'utilizzatore e cancellazione degli appezzamenti

Nella schermata iniziale, in alto sulla destra sono presenti due pulsanti rispettivamente per l'accesso alla guida all'utilizzo e per la cancellazione di tutti gli appezzamenti. Nella guida operativa vengono spiegate con semplicità le procedure per utilizzare al meglio l'applicazione. L'icona con il cestino permette invece di cancellare tutti gli appezzamenti, previa ulteriore conferma.

Inserimento di un nuovo appezzamento

Cliccando su "INSERISCI APPEZZAMENTO" nella schermata principale si entra nella prima schermata di inserimento dati. Come prima cosa viene richiesto di trovare il proprio campo su una mappa e di associargli un nome identificativo (fig. 2.1). La localizzazione sarà utile all'immediata identificazione della stazione meteo regionale più prossima. Premendo "avanti" appare una schermata per la selezione delle caratteristiche del campo attraverso dei menu a tendina, in particolare relativi al tipo di terreno (tessitura) e al sistema irriguo di cui è dotato l'appezzamento (fig. 2.2). La tessitura del suolo può essere scelta tra 8 opzioni, mentre i metodi irrigui sono organizzati in 3 categorie: scorrimento, aspersione (pivot, rotolone, impianto fisso) e microirrigazione. Il volume di irrigazione standard, ossia l'acqua distribuita in un normale intervento irriguo, è un valore che viene richiesto al momento del set-up dell'appezzamento per velocizzare la procedura di inserimento di un intervento irriguo durante la stagione.

Nella schermata successiva (fig. 2.3) l'utente può scegliere la fonte dei dati meteorologici tra l'ente pubblico (ARPA Veneto – ARPAV) o la stazione aziendale se fornita dalla NESA Srl. Nel primo caso l'applicativo identifica automaticamente la stazione meteorologica più vicina all'appezzamento e l'utente può comunque modificarla utilizzando il menu a tendina. Nel caso della stazione NESA, l'utente deve inserire i dati identificativi necessari per

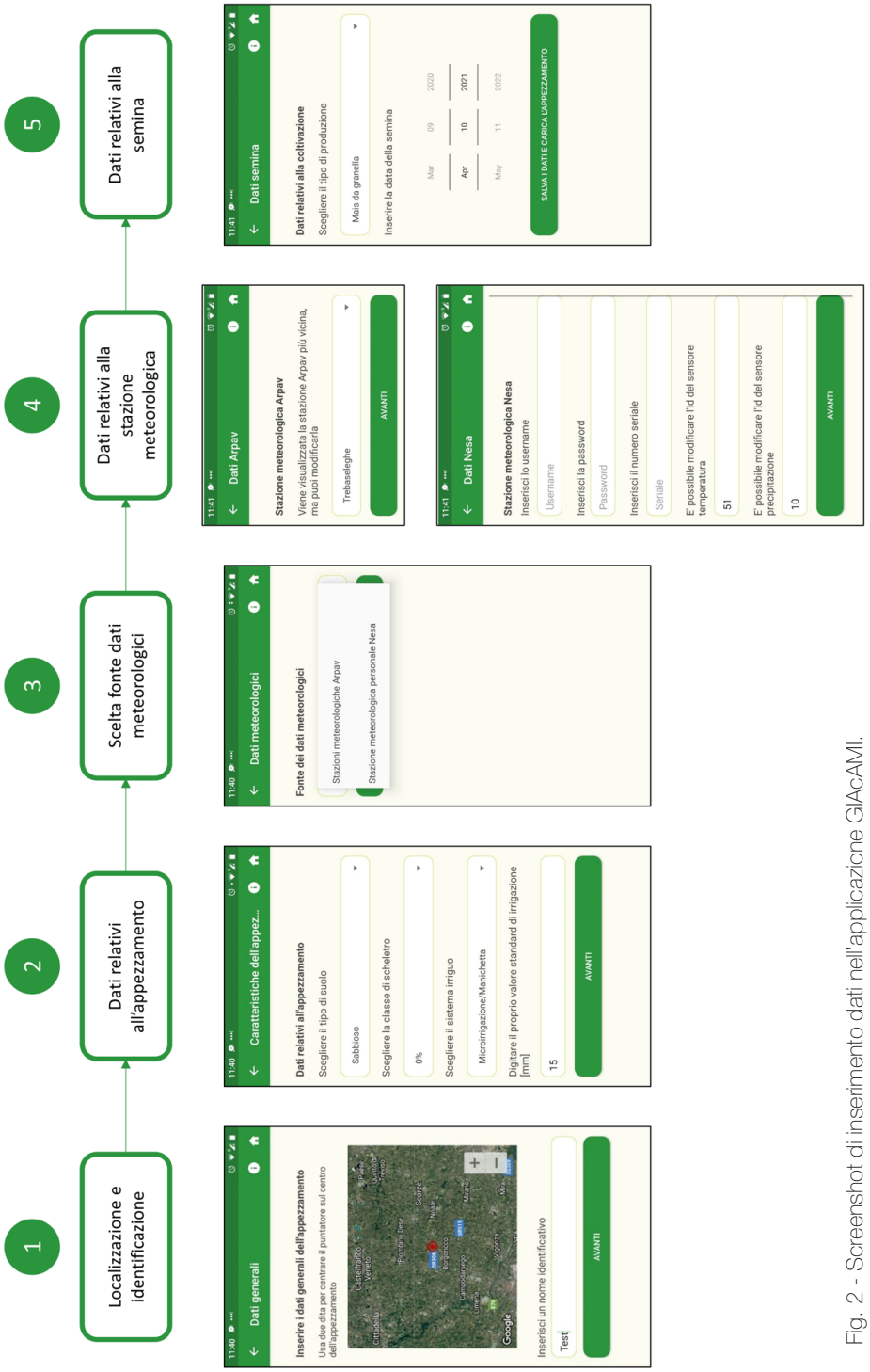


Fig. 2 - Screenshot di inserimento dati nell'applicazione GIAcAMI.

la creazione della chiave Api per lo scaricamento del dato (fig. 2.4). Ogni giorno l'applicazione prenderà dalla stazione i dati più recenti di pluviometria e temperatura utili all'aggiornamento del bilancio idrico.

L'ultimo passaggio è la selezione della tipologia di produzione (mais da granella o da trinciato) e la selezione della data di semina (fig. 2.5). Cliccando sul pulsante di salvataggio, vengono scaricati i dati meteo, elaborati nel modello del bilancio e l'appezzamento viene inserito nel database. Una volta inserito, l'appezzamento appare all'interno della lista nella schermata principale.

All'inserimento del singolo appezzamento, il bilancio è aggiornato all'ultimo giorno disponibile (in funzione della fonte dei dati meteo). Giornalmente vengono scaricati automaticamente i dati meteo del giorno precedente dal sito ARPAV (se oltre le ore 12:00) o dalla stazione NESA (se oltre le ore 8:00); con tali dati il modello ricalcola automaticamente la riserva idrica facilmente utilizzabile dalla pianta.

Dettagli dell'appezzamento

Ad ogni apertura dell'applicazione, lo *splashscreen* mostra il logo e rimane per pochi secondi in base al tempo di caricamento. La schermata principale riporta la lista e lo status (bollino) degli appezzamenti inseriti (fig. 3.1). La legenda in basso spiega la simbologia adottata. A colpo d'occhio si capisce se l'appezzamento ha bisogno di essere irrigato o meno.

Premendo sul singolo appezzamento è possibile visionarne la scheda riepilogativa (fig. 3.2) che include: la data di ultimo aggiornamento del bilancio, l'acqua ancora disponibile nel profilo radicale, l'acqua utilizzata ossia il deficit irriguo e le precipitazioni registrate nella data dell'ultimo aggiornamento.

Aggiunta di un intervento irriguo

Dalla scheda riepilogativa è possibile aggiungere il singolo evento di irrigazione, indicando la data e modificando, eventualmente, il valore d'irrigazione se diverso da quello standard inserito inizialmente (fig. 3.3). Una volta salvato l'evento di irrigazione, esso viene visualizzato in una lista apposita all'interno della scheda del singolo appezzamento da dove è possibile cancellare eventuali eventi inseriti erroneamente. Nel momento in cui viene inserito l'evento di irrigazione, il modello si ricalcola automaticamente. Qualora la data di irrigazione sia successiva alla data dell'ultimo aggiornamento

Fig. 3 - Screenshot dei risultati dell'applicazione GIAcAMI.

del modello, viene visualizzato il simbolo di «update» fino al momento in cui verranno scaricati i dati meteo relativi alla specifica data di irrigazione.

Modifica del dato di precipitazione

Nel caso si possedesse un pluviometro aziendale, premendo su "CRONOLOGIA PRECIPITAZIONI" sulla schermata dei dettagli dell'appezza-

mento è possibile modificare il valore di precipitazione di ogni giorno dalla data di semina. Il salvataggio avviene cliccando sull'icona del floppy alla destra del valore e ne viene data conferma dalla comparsa di un simbolo di check verde (fig. 3.4).

Notifiche e possibili modifiche dei dati

Le notifiche dell'applicazione (fig. 3.5) permettono di ricevere aggiornamenti tempestivi in preparazione all'irrigazione.

Vengono inviate delle notifiche all'operatore nei seguenti casi:

- al primo passaggio in fase «gialla». La notifica viene inviata quando la riserva facilmente utilizzabile di acqua presente nel terreno è inferiore alla quota di acqua evapotraspirata dalla coltura nei quattro giorni precedenti;
- al primo passaggio in fase «rossa». La notifica viene inviata quando la riserva facilmente utilizzabile di acqua presente nel terreno è terminata; la pianta è già entrata in una prima fase di stress idrico;
- al primo passaggio in fase «bandierina». La notifica viene inviata quando la stagione irrigua è terminata. Il mais è ad uno stadio di maturazione tale che il ciclo può essere completato con l'acqua residua nel terreno.
- se rilevata precipitazione superiore a 5 mm il giorno precedente (nel caso di scelta di ARPAV come fonte dei dati meteo) per dare la possibilità all'utente di modificarla manualmente nel caso si avesse un pluviometro aziendale.

I dati della validazione

I dati raccolti durante le due stagioni di calibrazione e validazione della *app* hanno mostrato bilanci idrici differenti tra le tre aziende (tab. 1). Nello specifico, presso l'azienda Borgoluce dove era impiegato un metodo irriguo ad elevata efficienza l'impiego della app non ha determinato un risparmio idrico in un anno piovoso (2020) mentre ha permesso di ridurre il volume irriguo del 22,8% nel secondo anno (2021) caratterizzato da una più bassa piovosità. Una riduzione dei volumi irrigui da circa il 26% al 40% è stata invece registrata impiegando la *app* nell'azienda S.AGRI.V.IT. dove l'irrigazione per aspersione era fatta mediante impianto fisso. Comportamento completamente opposto è stato quello ottenuto applicando la *app* nell'azienda Liasora che impiegava come metodo irriguo l'aspersione effettuata con rotolone. In

questo caso, infatti, l'irrigazione da bilancio ha determinato un aumento dei volumi irrigui dal 76% a circa il 140%. Questo dato in contrasto con quelli in precedenza riportati trova giustificazione sia nella gestione irrigua aziendale che essendo gestita mediante rotoloni viene perlopiù basata su irrigazioni di soccorso accettando apriori un limitato stress idrico per la pianta che nei possibili apporti da falda che non sono considerati dalla *app* GIAcAMI.

Tab. 1 - Apporti idrici al mais nel 2020 e nel 2021.

Anno	Azienda	Metodo irriguo	Apporto idrico			Variazione (%)
			Pioggia (mm)	Irrigazione aziendale (mm)	Irrigazione da bilancio (mm)	
2020	Borgoluce	Microirrigazione	634	75	75	0
	S.AGRI.V.IT.	Aspersione - Impianto fisso	571	191	141	-26,2
	Liasora	Aspersione - Rotolone	416	76	182	+139,5
2021	Borgoluce	Microirrigazione	479	180	139	-22,8
	S.AGRI.V.IT.	Aspersione - Impianto fisso	571	250	150	-40,0
	Liasora	Aspersione - Rotolone	426	100	176	+76,0

Con riferimento agli aspetti produttivi, nelle aziende Borgoluce e S.AGRI.V.IT. le rese in granella non sono state differenti tra le aree gestite con irrigazione aziendale e le aree gestite con la *app*, con valori medi di 16,3 t ha^{-1} e 10,6 t ha^{-1} rispettivamente per la prima e per la seconda azienda. Di conseguenza, una razionalizzazione della gestione irrigua in queste aziende ha portato ad un aumento dell'efficienza d'uso dell'acqua senza riverberi negativi sulla produzione. La resa registrata nell'azienda Liasora è stata nella media dei due anni il 5% maggiore nelle aree gestite con bilancio irriguo. Ciò ha determinato un aumento di produzione pari a 700 kg ha^{-1} rispetto all'irrigato aziendale (13.9 t ha^{-1}). Sulla base dei prezzi medi disponibili per il biennio considerato (0,22 € kg^{-1}) la maggiore produzione si tradurrebbe in un guadagno medio annuo di 154 € ha^{-1}. Considerando i costi derivanti dall'aumento degli interventi irrigui (50 € irrigazione), il guadagno medio annuo è stato di 29 € ha^{-1}. I dati appena presentati offrono la possibilità di una duplice lettura, da un lato c'è un aumento della resa con bilancio economico lievemente positivo mentre dall'altro c'è una diminuzione dell'efficienza d'uso dell'acqua a fronte di un aumento della resa.

Gestione da remoto di un rotolone

I rotoloni possono essere facilmente spostati da un appezzamento all'altro dopo la fine dell'intervento irriguo e consentono, quindi, di servire adacquare superfici elevate (Vedi Irrigazione e metodi irrigui, p. 25).

Per quanto versatile possa essere, questo sistema presenta alcune criticità, tra cui la variazione di velocità di recupero dall'inizio dell'adacquamento alla fine dell'evento irriguo. Questo fenomeno è da attribuire alla graduale riduzione dello sforzo (attrito tubo-suolo) che il rotolone deve compiere per il riavvolgimento oltre che al progressivo aumento del diametro del naspo, dovuto all'accumulo di sempre più avvolgimenti, e conseguente incremento della velocità tangenziale. Eventi di questo tipo comporterebbero una distribuzione disforme dell'acqua lungo l'appezzamento. Per evitare questo inconveniente i rotoloni possono essere muniti di un sistema di motori elettrici ed elettrovalvole centralizzate per far variare continuamente il flusso d'acqua destinato alla movimentazione degli organi meccanici e garantire sempre la stessa velocità di avanzamento (Ghinassi, 2010).

Un ulteriore miglioramento delle prestazioni distributive e gestionali può essere ottenuto attraverso l'adozione di semplici soluzioni, quali l'utilizzo di centralina elettronica per la regolazione della velocità di riavvolgimento.

Di seguito si riporta l'esperienza diretta di un'azienda che ha dotato un proprio rotolone (Orma della serie '90) della centralina Startec rain 260. Il rotolone era equipaggiato con tubo in polietilene avente diametro interno di 110 mm e lunghezza di 400 metri e irrigatore serie explorer del 2011. La pressione dell'acqua all'ingresso della bobina è di 7,5-8 bar mentre è di 4 bar all'ugello dell'irrigatore. La gittata utile in assenza di vento è di circa 55 metri mentre quella massima si attesta a circa 65 m.

L'azione della centralina è svolta mediante l'interazione costante con tutti i dispositivi ad essa connessi (fig. 4). In particolare, tutte le funzioni possono essere eseguite da remoto permettendo un minor impiego di manodopera per l'intervento irriguo e una maggiore tempestività nella regolazione dei parametri operativi (es. ampiezza dell'angolo di bagnatura). L'ultima versione della centralina ha inoltre un localizzatore GPS per seguire il percorso del rotolone. Nel caso di malfunzionamenti la centralina invia allarmi utili per una tempestiva manutenzione (es. allarme pressione nel caso ci sia stata la rottura o distacco di un tubo e l'acqua non può essere messa in pressione). Nello specifico, volendo intervenire sulla portata e sulla velocità di avanzamento vanno prese in considerazione le elettrovalvole regolanti il flusso d'acqua alla trasmissione e il sensore di rilevazione della velocità. Per quanto attiene la portata, due elettrovalvole una in ingresso (fig. 4.1a) e una in uscita

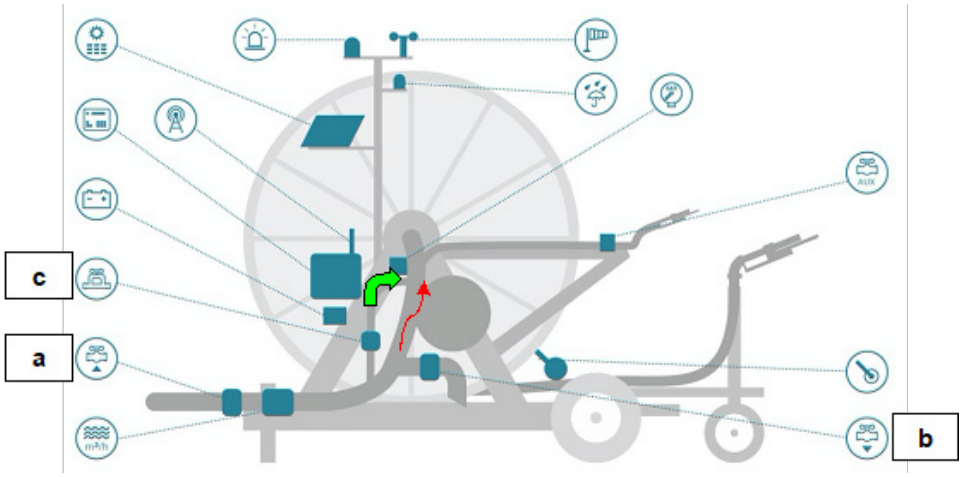


Fig. 4 - Schema raffigurante i punti in cui "Startec rain260" svolge le sue funzioni.

(fig. 4.1b) permettono di mantenere il flusso d'acqua durante l'adacquata e di interromperlo al termine del riavvolgimento. Una terza elettrovalvola (fig. 4.1c), invece, permette di gestire la velocità di avanzamento variando la sezione del tubo che alimenta il rotolone. Infatti, il flusso in ingresso nel rotolone può riversarsi direttamente nel tubo in polietilene (freccia verde), oppure confluire ugualmente nel medesimo tubo, previo passaggio attraverso una turbina a sua volta collegata con gli organi di trasmissione del mezzo (freccia rossa). Il movimento attraverso gli organi di trasmissione comporta una perdita di energia del fluido che viene convertita in forza motrice variando la velocità di avanzamento. Tanto più l'elettrovalvola ridurrà la sezione del tubo di adduzione dell'acqua tanto più l'acqua sarà forzata ad azionare la trasmissione, al contrario, tanto più sarà aperta e tanto più l'acqua bypasserà la turbina con effetti diretti sulla velocità di recupero che nel primo caso aumenterà mentre nel secondo diminuirà.

Dalle prove condotte è emerso che il rotolone equipaggiato con il sistema Startec rain 260 ha rispettato il tempo previsto per il completo riavvolgimento; al contrario il sistema tradizionale, quando non regolato periodicamente dall'intervento umano, ha mostrato uno scarto notevole rispetto al tempo calcolato in partenza sulla base della velocità impostata. Questo scostamento, come era stato ipotizzato, è dovuto all'aumento della velocità di avvolgimento in m h^{-1} pari a circa il doppio della velocità desiderata ed impostata ad inizio irrigazione.

Il secondo aspetto considerato è stato quello relativo all'uniformità di distribuzione, rilevata mediante l'impiego di pluviometri posti in zone diverse

dell'appezzamento. I dati ottenuti hanno mostrato un volume di adacquamento omogeneo sull'intera superficie con il sistema centralizzato mentre il sistema tradizionale (senza l'intervento umano) mostrava disformità legata alla variazione di velocità. Una velocità costante di riavvolgimento dell'aspo e la conseguente uniformità di distribuzione hanno effetti benefici sui principali aspetti agronomici. Infatti, in assenza di regolazione della velocità, una ridotta velocità iniziale comporta l'applicazione di volumi più elevati, il contrario avviene quando la velocità aumenta. La coltura, di conseguenza, riceve volumi irrigui differenti all'interno dello stesso appezzamento.

Gli aspetti operativi, produttivi ed economici delle due diverse soluzioni testate su una coltura di mais sono riassunti nella tab. 2.

Con l'obbiettivo di migliorare ulteriormente la gestione dell'irrigazione è possibile muoversi verso un'organizzazione dell'irrigazione a settori. La stessa centralina sopra descritta permette infatti di suddividere l'evento irriguo in più fasi fino ad un massimo di 8. Ogni fase può essere caratterizzata da una diversa velocità di avvolgimento che, in conseguenza di una portata

Tab. 2 - Effetto dell'adozione di Startec rain 260 sugli aspetti operativi, produttivi ed economici in un'azienda maidicola di medie dimensioni.

	ROTOLONE TRADIZIONALE	ROTOLONE E STARTEC RAIN 260
ASPETTI OPERATIVI		
Uniformità distribuzione	Bassa	Elevata
Ore uomo	5 ore ha^{-1} $intervento^{-1}$	2 ore ha^{-1} $intervento^{-1}$
Consumo gasolio	45 L ha^{-1} $intervento^{-1}$	45 L ha^{-1} $intervento^{-1}$
ASPETTI PRODUTTIVI		
Resa (14 % umidità)	13 t ha^{-1}	15 t ha^{-1}
ASPETTI ECONOMICI		
Costo manodopera	60 € ha^{-1} $intervento^{-1}$	24 € ha^{-1} $intervento^{-1}$
Costo gasolio	30 € ha^{-1} $intervento^{-1}$	30 € ha^{-1} $intervento^{-1}$
Quota reintegra (15 anni-20 ha)	83 € ha^{-1} $anno^{-1}$	100 € ha^{-1} $anno^{-1}$
Quota manutenzione (20 ha)	75 € ha^{-1} $anno^{-1}$	87,5 € ha^{-1} $anno^{-1}$
Costo 1 Ha mais	1150 € ha^{-1}	1150 € ha^{-1}
Imposte	120 € ha^{-1}	120 € ha^{-1}
Totale costi	**1518 € ha^{-1}**	**1511 € ha^{-1}**
Ricavi	2696 € ha^{-1}	3111 € ha^{-1}
PAC	300 € ha^{-1}	300 € ha^{-1}
Totale ricavi	**2996 € ha^{-1}**	**3411 € ha^{-1}**
Reddito netto	**1478 € ha^{-1}**	**1900 € ha^{-1}**

costante, permetterà di diversificare il volume di adacquamento nelle diverse aree del campo irrigato. Funzioni di questo tipo possono essere impiegate per correggere errori verificatisi negli adacquamenti precedenti (zone irrigate meno di altre) ma anche per meglio gestire l'irrigazione in funzione della variabilità delle costanti idrologiche del terreno all'interno dello stesso appezzamento. Il tutto si tradurrà in un ulteriore aumento dell'efficienza irrigua con conseguente riduzione dei volumi d'acqua impiegati.

Bibliografia

Ghinassi, G. (2010). Advanced technologies applied to hose reel rain-gun machines: New perspectives towards sustainable sprinkler irrigation. In *Proceedings of the XVIIth World Congress of CIGR. Section I: Land and Water Engineering, June* (pp. 13-17).

Mais, micotossine e gestione irrigua

Carmelo Maucieri*

Un problema di rilevante importanza che riguarda il mais è quello delle micotossine, metaboliti secondari di alcune specie fungine prodotti in determinate condizioni ambientali in grado di avere effetti tossici sull'uomo e sugli animali. Sono prodotte da oltre 300 specie di funghi ma le micotossine di maggiore preoccupazione per la salute umana sono prodotte principalmente dai generi: *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium*. I principali gruppi di micotossine sono le aflatossine, le fumonisine, il deossinivalenolo, le ocratossine e lo Zearalenone. La presenza di micotossine riduce il valore della granella e, se oltre certe concentrazioni, ne preclude la commerciabilità. Tale problematica, quindi, non ha solo risvolti sanitari ma è anche di interesse economico per i maiscoltori.

Il mais prodotto nelle regioni temperate può essere contaminato da fumonisine, deossinivalenolo, zearalenone, aflatossine e altre micotossine a seguito di infezione da funghi principalmente appartenenti ai generi *Fusarium* e *Aspergillus* (Munkvold, 2014). L'infezione da funghi e lo sviluppo di micotossine può avvenire in tre fasi cruciali della produzione del mais: in campo durante il ciclo vegetativo, alla raccolta e durante la fase di gestione post-raccolta della granella. Durante ognuna di queste fasi le condizioni ambientali hanno una forte influenza sull'entità del problema e le specie dei funghi tossigeni coinvolti sono caratteristici di ognuna delle fasi. Alcune specie sono più aggressive come fitopatogeni e possono causare malattie pre-raccolta in campo (funghi di campo), possono continuare a crescere e

*Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente (DAFNAE) – Università degli Studi di Padova; carmelo.maucieri@unipd.it

produrre micotossine durante la fase di raccolta e di essiccazione, ma il loro sviluppo di solito non continua durante lo stoccaggio perché la loro attività è limitata dal basso contenuto di umidità della granella (Payne e Widstrom, 1992). Nel mais, le specie appartenenti al genere *Fusarium* sono i funghi di campo più comuni mentre le specie dei generi *Aspergillus* e *Penicillium* sono tipicamente descritte come "funghi da deposito" perché non sono agenti patogeni aggressivi e generalmente non infettano le piante in campo, tranne quando le cariossidi non presentano un danno fisico (Munkvold et al., 2019). La capacità dei funghi di svilupparsi al di sopra o al di sotto del 18% di umidità delle cariossidi è spesso riportata come limite per dividere i funghi di campo dai funghi di stoccaggio.

Micotossine e variabili agronomiche

Con riferimento alla fase di campo molti sforzi sono stati profusi per individuare delle buone pratiche in grado di ridurre il problema delle micotossine nel mais tra le quali la gestione dell'irrigazione e della nutrizione. Altri aspetti da considerare sono: la scelta dell'ibrido, la gestione aziendale, la data e la densità di semina, le lavorazioni e la gestione dei residui colturali, la rotazione colturale, la gestione delle infestanti, il controllo dei patogeni e la data di raccolta.

Gestione irrigua

Il mais è una specie poco resistente allo stress idrico che è considerato il più importante fattore nel determinare la contaminazione da micotossine. Nello specifico, lo stress idrico rende il mais più suscettibile alla contaminazione da aflatossine e fumonisine (Bruns, 2003; Battilani et al., 2008; Roucou et al., 2021). Per l'infezione da *Aspergillus flavus* (fungo responsabile della contaminazione da aflotossine), lo stress idrico è particolarmente critico durante la comparsa delle sete e il riempimento della cariosside, per cui in queste fasi è consigliato irrigare calcolando i volumi di adacquamento sulla base del bilancio idrico (Palumbo et al., 2020).

Una maggiore contaminazione di fumonisine è stata riscontrata da Ariño et al. (2009) in mais sottoposto a stress idrico nelle prime fasi di sviluppo mentre gli stessi autori non hanno riscontrato un effetto significativo del metodo irriguo (scorrimento vs. pioggia). In considerazione di ciò, nelle aree in cui la disponibilità idrica può essere un fattore limitante si dovrebbero

preferire semine precoci di ibridi tolleranti allo stress idrico. Un maggior rischio di contaminazione da deossinivalenolo nelle cariossidi di mais come conseguenza a condizioni di stress idrico prolungato è stato riscontrato da Oldenburg e Schittenhelm (2012).

Sebbene una gestione irrigua del mais che eviti periodi di stress è comunque consigliata, sono da evitare irrigazioni eccessive e prolungate in prossimità della maturazione lattea (Palumbo et al., 2020). Infatti, l'eccessiva umidità è un noto fattore di rischio per l'infezione da *Fusarium graminearum* (Schaafsma e Hooker 2007) e la successiva contaminazione da deossinivalenolo e zearalenone (Logrieco et al., 2021). Un aumento della contaminazione da fumonisine è stato invece osservato da Abbas et al. (2012) all'aumentare dei volumi irrigui in anni siccitosi mentre nessuna influenza significativa è stata riscontrata in anni con precipitazioni moderate o buone, suggerendo che per questa micotossina non è applicabile un semplice approccio dose-risposta.

Con particolare riferimento al mais in irriguo, i volumi di adacquamento e la tempistica dell'irrigazione gestiti mediante bilancio idrico riduce al minimo lo stress idrico e massimizzare le rese in relazione ai costi di irrigazione. Nella maggior parte dei casi, questa strategia riduce i rischi di contaminazione da aflatossine o fumonisine collegate allo stress idrico e di solito non provoca una presenza eccessiva di umidità che potrebbe aumentare il rischio di contaminazione da deossinivalenolo o zearalenone (Munkvold, 2014).

Fertilizzazione

La suscettibilità del mais alla contaminazione da micotossine può essere influenzata dai livelli di fertilità del terreno, sebbene gli effetti non sono costanti e possono dipendere anche da altri fattori (Munkvold, 2014). Molti studi si sono in particolare concentrati sulla fertilizzazione azotata, riportando che un equilibrato apporto (200 kg N ha^{-1}) in genere sembra garantire una minore contaminazione da micotossine (Blandino et al., 2008). Infatti, sebbene da un lato un elevato apporto in azoto riduce il contenuto in aflatossine (Jones e Duncan, 1981) dall'altro aumenta il contenuto in zearalenone (Blandino et al., 2008). Risultati contrastanti sono stati invece ottenuti valutando il contenuto di fumonisine (Blandino et al., 2008; Marocco et al., 2008; Ariño et al., 2009).

Anche la formulazione del concime azotato (urea vs. lenta cessione) potrebbe influenzare il contenuto di alcune micotossine nella granella di mais. In una prova triennale (Blandino et al., 2008) non è stata infatti osservata nessuna differenza tra i due tipi di fertilizzante per deossinivalenolo e afla-

tossina B1 mentre in alcuni anni l'impiego del lenta cessione aumentava significativamente il contenuto di zearalenone, fumonisina B1 e ochratossina A. In considerazione di ciò particolare attenzione deve essere rivolta all'uso di fertilizzanti a lenta cessione che, prolungando la permanenza allo stato verde della pianta anche nell'ultimo periodo di maturazione, potrebbero determinare una migliore condizione per lo sviluppo dei funghi.

In fine, anche il metodo di applicazione del fertilizzante ha un'influenza sul contenuto in micotossine della granella (Bocianowski et al., 2020). Nello specifico, comparando una distribuzione del fertilizzante (100 kg N ha^{-1}, 70 kg P_2O_5 ha^{-1}, 130 kg K_2O ha^{-1}) omogenea su tutta la superfice prima della semina con una distribuzione localizzata sulla fila alla semina è stato osservato che questo secondo metodo riduce il contenuto di zearalenone e fumonisine mentre non ha effetto sul deossinivalenolo.

Micotossine e fase di stoccaggio

Con riferimento alla fase di stoccaggio dei cereali, i principali fattori che influenzano lo sviluppo di micotossine sono l'umidità e la temperatura. In particolare, favoriscono la crescita dei funghi e la biosintesi delle micotossine nei cereali conservati l'umidità elevata della granella (16-30%), l'elevata temperatura della massa stoccata (25–32 ° C) e l'elevata umidità relativa dell'aria (80–100%). Le perdite post-raccolta dovute alle micotossine sono un problema emergente del globo. A livello mondiale, circa il 25% delle colture alimentari è soggetto al problema delle micotossine che causano annualmente una perdita di quasi 1 miliardo di tonnellate di prodotti alimentari. Il controllo dell'umidità e della temperatura è quindi un elemento chiave per mitigare le micotossine nei cereali. Bisogna però ricordare che le buone pratiche di gestione della granella per ridurre il problema delle micotossine iniziano con la raccolta della granella quando essa ha livelli di umidità sufficientemente bassi da impedire la crescita di funghi o la sua più rapida possibile essiccazione dopo la raccolta per raggiungere tali livelli.

I dati del progetto GIAcAMI

La granella prodotta con entrambi i tipi di gestione irrigua testati nel progetto ha avuto una contaminazione da aflatossine nulla o quasi nulla. In particolare, non sono state riscontrate nella granella dell'azienda Borgoluce ed erano ad una concentrazione di 0,3 ppb per entrambe le gestioni nell'a-

zienda Liasora. Nell'azienda S.AGRI.V.IT. la presenza di aflatossine era di 0,9 e 1,2 ppb nella granella raccolta rispettivamente nel trattamento irrigato con gestione aziendale e in quello irrigato seguendo le indicazioni della *app*. Nell'azienda Liasora si è anche confrontato il contenuto in fumonisine nella granella di mais prodotto con irrigazione gestita con *app* e mais in asciutto. Nel primo caso la contaminazione era di 149.3 ppb mentre nel secondo caso di 2361,5 ppb. Ciò a dimostrazione del fatto che una attenta gestione irrigua contribuisce anche al miglioramento qualitativo della granella prodotta.

Bibliografia

Abbas, H. K., Mascagni Jr, H. J., Bruns, H. A., & Shier, W. T. (2012). Effect of planting density, irrigation regimes, and maize hybrids with varying ear size on yield, and aflatoxin and fumonisin contamination levels. American Journal of Plant Sciences Vol.3 No.10, Article ID:24030

Ariño, A., Herrera, M., Juan, T., Estopañan, G., Carramiñana, J. J., Rota, C., & Herrera, A. (2009). Influence of agricultural practices on the contamination of maize by fumonisin mycotoxins. Journal of food protection, 72(4), 898-902.

Battilani, P., Barbano, C., & Piva, G. (2008). Aflatoxin B1 contamination in maize related to the aridity index in North Italy. World Mycotoxin Journal, 1(4), 449-456.

Blandino, M., Reyneri, A., & Vanara, F. (2008). Influence of nitrogen fertilization on mycotoxin contamination of maize kernels. Crop protection, 27(2), 222-230.

Bocianowski, J., Szulc, P., Waśkiewicz, A., & Cyplik, A. (2020). The Effect of agrotechnical factors on fusarium mycotoxins level in maize. Agriculture, 10(11), 528.

Bruns, H. A. (2003). Controlling aflatoxin and fumonisin in maize by crop management. Journal of Toxicology: Toxin Reviews, 22(2-3), 153-173.

Hooker, D. C., & Schaafsma, A. W. (2005). Agronomic and environmental impacts on concentrations of deoxynivalenol and fumonisin B1 in corn across Ontario. Canadian Journal of Plant Pathology, 27(3), 347-356.

Jones RK, Duncan HE. 1981. Effect of nitrogen fertilizer, planting date, harvest date on aflatoxin production in corn inoculated with Aspergillus flavus. Plant Dis. 65:741–44

Logrieco, A., Battilani, P., Leggieri, M. C., Jiang, Y., Haesaert, G., Lanubile, A., ... & Munkvold, G. (2021). Perspectives on global mycotoxin issues and management from the MycoKey Maize Working Group. Plant disease, 105(3), 525-537.

Marocco, A., Gavazzi, C., Pietri, A., & Tabaglio, V. (2008). On fumonisin incidence in monoculture maize under no-till, conventional tillage and two nitrogen fertilisation levels. Journal of the Science of Food and Agriculture, 88(7), 1217-1221.

Munkvold, G. P. (2014). Crop management practices to minimize the risk of mycotoxins contamination in temperate-zone maize. Mycotoxin reduction in grain chains, 59-75.

Munkvold, G. P., Arias, S., Taschl, I., & Gruber-Dorninger, C. (2019). Mycotoxins in corn: Occurrence, impacts, and management. In Corn (pp. 235-287). AACC International Press.

Oldenburg, E., & Schittenhelm, S. (2012). Effect of plant water deficit on the deoxynivalenol concentration in Fusarium-infected maize kernels. Mycotoxin research, 28(4), 229-236.

Palumbo, R., Gonçalves, A., Gkrillas, A., Logrieco, A., Dorne, J. L., Dall'Asta, C., ... & Battilani, P. (2020). Mycotoxins in maize: mitigation actions, with a chain management approach. Phytopathol. Mediterr, 59, 5-28.

Payne, G. A., & Widstrom, N. W. (1992). Aflatoxin in maize. Critical Reviews in Plant Sciences, 10(5), 423-440.

Roucou, A., Bergez, C., Méléard, B., & Orlando, B. (2021). A Fumonisin Prevention Tool for Targeting and Ranking Agroclimatic Conditions Favoring Exposure in French Maize-Growing Areas. Toxins, 13(3), 214.

Conclusioni e prospettive future

Carmelo Maucieri*, Arianna Toffanin**, Maurizio Borin*

Nei prossimi anni saranno sempre maggiori gli sforzi per far fronte agli effetti del cambiamento climatico. Le azioni che si stanno mettendo in atto possono essere raggruppate secondo due approcci alternativi: 1) adattamento al cambiamento climatico, ossia azioni volte ad aumentare la resilienza e ridurre la vulnerabilità degli agrosistemi e 2) mitigazione del cambiamento climatico, ovvero misure volte a ridurre le emissioni di gas climalteranti dagli agrosistemi.

Tra le strategie di adattamento al cambiamento climatico rientrano gli investimenti per un'irrigazione più efficiente. Quest'ultima è conseguibile intervenendo a livello impiantistico impiegando metodi irrigui sempre più efficienti (es. microirrigazione) o implementando le strumentazioni già in possesso (es. aggiunta di una centralina ad un rotolone) e/o a livello tecnologico gestendo l'irrigazione sulla base dei dati ambientali.

Per quanto attiene il primo approccio, i risultati del progetto GIAcAMI, indicano che negli ultimi dieci anni sebbene con metodi irrigui molto diversi tra loro (da scorrimento a microirrigazione), nelle aziende partner, le rese in granella per il mais non sono state differenti. Ciò a dimostrazione che ogni metodo irriguo può potenzialmente fornire rese soddisfacenti e che quindi la scelta di un metodo piuttosto che un altro non può essere fatta soltanto confrontando le rese, ma deve prendere in considerazione anche gli aspetti

*Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente (DAFNAE) – Università degli Studi di Padova; carmelo.maucieri@unipd.it; maurizio.borin@unipd.it

**Consorzio di Bonifica Veneto Orientale (CBVO) – San Donà di Piave (VE); arianna.toffanin@bonificavenetorientale.it

economico-organizzativi e la gestione complessiva del territorio, senza sottovalutare i servizi ecosistemici derivanti dall'irrigazione. Tutti i metodi irrigui studiati sono risultati efficaci in termini produttivi, ma tra loro differiscono anche in modo rilevante in termini di efficienza d'uso dell'acqua irrigua. Nei prossimi anni, in un contesto di minor disponibilità idrica, ci si dovrà probabilmente rifare alla resa in prodotto ottenuto per unità di acqua fornita con l'irrigazione piuttosto che alla resa per unità di superfice.

Nel secondo approccio rientra invece la *smart irrigation*, che ha l'obiettivo di soddisfare appieno le esigenze idriche colturali sulla base delle reali esigenze determinate sulla base dei dati ambientali (es. pioggia, temperatura, umidità del terreno). In questo filone si sono inserite la maggior parte delle attività del progetto GIAcAMI che hanno permesso lo sviluppo e la validazione di una *app* per la gestione razionale dell'irrigazione del mais. I risultati ottenuti con l'*app* mostrano come in due delle tre aziende partner non ci siano state variazioni di resa in granella ma allo stesso tempo si sia stato una riduzione del volume irriguo che è arrivato fino al 40%. Nella terza azienda, la gestione da app ha da un lato aumentato i volumi irrigui ma ha al contempo determinato un incremento di resa.

Le relazioni pianta-acqua sono altamente suscettibili al cambiamento climatico. I risultati del terzo filone di attività del progetto GIAcAMI, sulla base dei dati storici disponibili presso le aziende partner, suggeriscono che le rese del mais da granella sono, e si prevede saranno, fortemente influenzate più che dall'andamento della piovosità e delle temperature (massima e minima) durante l'intero ciclo colturale da quello registrato nel mese di luglio. Sarà quindi in questo periodo che, in un contesto di minor disponibilità idrica, le aziende dovranno preferire l'uso della risorsa disponibile.

L'agricoltura è stata ed è la principale fonte di cibo per la popolazione mondiale. Negli anni l'affinamento delle tecniche agronomiche ha reso possibile lo sviluppo della società per come oggi la conosciamo. Un ruolo determinante nell'aumento delle produzioni per unità di superficie è stato svolto dall'irrigazione, pratica sempre più diffusa e indispensabile per garantire rese elevate e costanti nel tempo. Contestualmente, la crescita demografica e la sempre minor disponibilità di terra aumentano il divario tra domanda e offerta di materie prime e risorse, tra cui l'acqua. Il tutto pone nuove sfide che aggiungono pressione alla filiera agricola che sta già vivendo una fase di espansione di tecnologie che hanno avuto elevata velocità di sviluppo (sensori, mappe di prescrizione, etc.) ed è oggi chiamata ad un passo successivo. La nuova frontiera in agricoltura è la *smart agriculture*, caratterizzata da tecnologie integrate, spesso ancora emergenti, che mirano ad un aumento nell'efficienza d'uso delle risorse a beneficio dei costi di produzione e della

complessiva sostenibilità del sistema, incrementando dove possibile le rese. In questo contesto la *smart irrigation* giocherà un ruolo chiave. L'app GIAcAMI, sebbene migliorabile in alcuni aspetti, vuole contribuire alle future prospettive dell'agricoltura digitale puntando sulla semplicità d'uso e sulla ridotta richiesta di input necessari per il suo funzionamento. Ci aspettano grandi sfide e sta a noi trovare strumenti e modalità per affrontarle.

TerrEvolute

01_*Archivi 4.0 e Paesaggio. La digitalizzazione del patrimonio culturale* a cura di Mario Brogi, Elisabetta Novello, Remy Simonetti

02_*Archeologi nelle terre di bonifica. Paesaggi stratificati e antichi sistemi da riscoprire e valorizzare* a cura di Maria Stella Busana, Elisabetta Novello, Alice Vacilotto

03_*Cent'anni di Veneto Agricoltura. Dall'Istituto di ricostruzione e rinascita agraria all'Agenzia veneta per l´innovazione nel settore primario (1920-2020)*, Elisabetta Novello

04_*Esperienze irrigue su mais in Veneto*, a cura di Maurizio Borin

Stampato nel mese di marzo 2022
presso C.L.E.U.P. “Coop. Libraria Editrice Università di Padova”
via G. Belzoni 118/3 - 35121 Padova (t. +39 049 8753496)
www.cleup.it - www.facebook.com/cleup

BORIN_Esperienze irrigue su mais in Veneto_2022.indd 126 22/02/2022 12:42:56