



Classificazione Decimale Dewey:

630 (23.) AGRICOLTURA. SPECIFICHE TECNICHE, APPARECCHI, ATTREZZATURE, MATERIALI

TECNICA AGRONOMICA DELL'IRRIGAZIONE

Parte speciale

a cura di

**ANGELO CALIANDRO, PASQUALE STEDUTO
VITO CANTORE, CRISTOS XILOYANNIS**

contributi di

**ROSSELLA ALBRIZIO, FRANCESCA BOARI, FEDERICA CARUCCI, ANGELO CALIANDRO
PASQUALE CAMPI, KLEDJA CANAJ, VINCENZO CANDIDO, VITO CANTORE, MIRKO CASTELLINI
EUGENIO CAZZATO, GIOVANNA CUCCI, PAOLA D'ANTONIO, MICHELE DENORA, BARTOLOMEO DICHIO
GUIDO D'URSO, ARIANNA FACCHI, ANNA GAGLIARDI, CLAUDIO GANDOLFI, GIUSEPPE GATTA
MARCELLA MICHELA GIULIANI, ANITA IERNA, GIOVANNI LACOLLA, NICOLA LAMADDALENA
RITA LEGRANDE, VERONICA MANGANIELLO, PAOLO MANNINI, VITTORIO MARZI, DANIELE MASSA
MARIO ALBERTO MASTRO, MARCELLO MASTRORILLI, ANDI MEHMETI, GIUSEPPE MONTANARO
FRANCESCO FABIANO MONTESANO, VITALE NUZZO, MICHELE PERNIOLA, GIUSEPPE PROVENZANO
ERMINIO EFISIO RIEZZO, MARCO ROMANI, PIETRO RUBINO, MARIA ISABELLA SIFOLA
PASQUALE STEDUTO, ANNA MARIA STELLACCI, EMANUELE TARANTINO, MLADEN TODOROVIC
GIANPIETRO VENTURI, RAFFAELLA ZUCARO, CRISTOS XILOYANNIS**



ISBN
979-12-218-1335-7

PRIMA EDIZIONE
ROMA 28 GIUGNO 2024

RINGRAZIAMENTI

Gli autori di quest'opera sono sentitamente grati all'Istituto Agronomico Mediterraneo di Valenzano (CIHEAM-Bari), al Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti (DiSSPA) dell'Università degli Studi di Bari "Aldo Moro", e all'Istituto di Scienze delle Produzioni Alimentari del CNR di Bari (ISPA-CNR) che negli anni hanno promosso la continua collaborazione tra i propri docenti, esperti e ricercatori, permettendo così un ampliamento e approfondimento delle conoscenze più avanzate in ambito irriguo, che ha portato alla creazione di quest'opera sulla "Tecnica Agronomica dell'Irrigazione".

Inoltre, un particolare ringraziamento è rivolto al CIHEAM-Bari e all'ISPA-CNR per il contributo finanziario fornito per la pubblicazione.

Gli stessi autori sono altresì grati alla dottoressa Angham Abdelmageed per il suo brillante contributo grafico nel disegno e correzione dei grafici dell'opera, così come per l'elaborazione artistica delle copertine dei due Volumi.



INDICE

- 15 *Premessa*
di VITTORIO MARZI
- 21 Capitolo I
Introduzione
di ANGELO CALIANDRO, PASQUALE STEDUTO

PARTE GENERALE

- 29 Capitolo II
Evoluzione delle superfici irrigate
di VERONICA MANGANIELLO, RAFFAELLA ZUCARO
- 37 Capitolo III
Scopi dell'irrigazione
di ANGELO CALIANDRO, PASQUALE STEDUTO
- 43 Capitolo IV
Le fonti idriche ed organizzazione dell'irrigazione
di NICOLA LAMADDALENA, RAFFAELLA ZUCARO
- 61 Capitolo V
Qualità delle acque irrigue
di VITO CANTORE, ANGELO CALIANDRO, GIOVANNI LACOLLA,
ANNA MARIA STELLACCI

VIII *Indice*

- 125 Capitolo VI
Elementi di idrologia del continuo suolo-pianta-atmosfera
di PASQUALE STEDUTO, ANNA MARIA STELLACCI, PIETRO RUBINO,
RITA LEOGRANDE, MIRKO CASTELLINI
- 155 Capitolo VII
Metodi di determinazione del potenziale idrico totale (Ψ_w) e delle sue
componenti (ψ_m , ψ_π e ψ_p)
di PASQUALE STEDUTO
- 169 Capitolo VIII
Il moto dell'acqua e dei soluti nel terreno agrario e la qualità fisica del
suolo
di ANNA MARIA STELLACCI, RITA LEOGRANDE, PIETRO RUBINO,
ANGELO CALIANDRO, MIRKO CASTELLINI
- 195 Capitolo IX
Idoneità dei terreni all'irrigazione
di ANGELO CALIANDRO
- 201 Capitolo X
La scelta degli ordinamenti colturali in irriguo
di ANGELO CALIANDRO, PASQUALE STEDUTO
- 207 Capitolo XI
Evapotraspirazione, fabbisogno idrico e fabbisogno irriguo delle colture
in pieno campo
di PASQUALE STEDUTO, ANGELO CALIANDRO
- 265 Capitolo XII
La gestione irrigua in ambiente protetto
di FRANCESCO FABIANO MONTESANO, DANIELE MASSA
- 329 Capitolo XIII
Risposta produttiva delle colture agrarie all'irrigazione
di PIETRO RUBINO, MARIO ALBERTO MASTRO, ANNA MARIA
STELLACCI

- 347 Capitolo XIV
Interazioni tra irrigazione ed altri fattori della produzione
di ANGELO CALIANDRO, PIETRO RUBINO, ANNA MARIA STELLACCI,
PASQUALE STEDUTO
- 363 Capitolo XV
Le variabili irrigue
di ANGELO CALIANDRO
- 383 Capitolo XVI
I metodi irrigui e criteri di scelta
di ANGELO CALIANDRO
- 445 Capitolo XVII
La programmazione irrigua: criteri e metodi per stabilire il momento
dell'intervento irriguo
di ANGELO CALIANDRO, PASQUALE STEDUTO, MARCELLO
MASTRORILLI
- 469 Capitolo XVIII
Irrigazione con risorse idriche limitate
di ANGELO CALIANDRO
- 489 Capitolo XIX
Allocazione ottimale delle risorse idriche
di PIETRO RUBINO, ANGELO CALIANDRO, ANNA MARIA STELLACCI
- 499 Capitolo XX
Il drenaggio
di ANGELO CALIANDRO
- 515 Capitolo XXI
Dimensionamento idraulico di impianti irrigui aziendali in pressione
di GIUSEPPE PROVENZANO, NICOLA LAMADDALENA
- 569 Capitolo XXII
Nozioni di tecnica della fertirrigazione minerale
di PASQUALE STEDUTO

X *Indice*

- 583 Capitolo xxiii
L'agricoltura irrigua in un contesto di politica-economica, ambiente e società
di RAFFAELLA ZUCARO
- 603 Capitolo xxiv
Impronta idrica, energetica e del carbonio in irrigazione
di ANDI MEHMETI, KLEDJA CANAJ , PAOLA D'ANTONIO, MLADEN TODOROVIC
- 639 Capitolo xxv
Prospettive e scenari futuri dell'irrigazione
di MLADEN TODOROVIC, ERMINIO EFISIO RIEZZO, GUIDO D'URSO, PASQUALE STEDUTO
- 665 *Autori*

PARTE SPECIALE

- 671 Capitolo xxvi
Irrigazione delle principali colture erbacee
di AUTORI VARI
- 671 26.1. Aspetti generali delle coltivazioni erbacee in relazione all'irrigazione
di VITO CANTORE, ANGELO CALIANDRO
- ERBACEE DI PIENO CAMPO
- 690 26.2. L'irrigazione della barbabietola da zucchero
di GIOVANNI LACOLLA, GIOVANNA CUCCI, MARIO ALBERTO MASTRO, FRANCESCA BOARI
- 704 26.3. L'irrigazione delle colture foraggere: l'erba medica
di EUGENIO CAZZATO, VITO CANTORE
- 722 26.4. L'irrigazione del frumento
di PIETRO RUBINO, VITO CANTORE, ANNA MARIA STELLACCI

- 741 26.5. L'irrigazione del girasole
di MICHELE PERNIOLA, MICHELE DENORA
- 757 26.6. L'irrigazione del mais
di MARCELLO MASTRORILLI, MICHELE DENORA
- 776 26.7 L'irrigazione del riso
di MARCO ROMANI, CLAUDIO GANDOLFI, ARIANNA FACCHI
- 797 26.8. L'irrigazione della soia
di GIANPIETRO VENTURI, PAOLO MANNINI
- 808 26.9. L'irrigazione del sorgo
di PASQUALE CAMPI
- 821 26.10. L'irrigazione del tabacco
di MARIA ISABELLA SIFOLA
- ORTICOLE
- 835 26.11. L'irrigazione dell'asparago
di GIUSEPPE GATTA, ANNA GAGLIARDI, FEDERICA CARUCCI,
MARCELLA MICHELA GIULIANI
- 844 26.12. L'irrigazione del carciofo
di VITO CANTORE, VINCENZO CANDIDO, FRANCESCA BOARI
- 860 26.13. L'irrigazione del cavolfiore e del cavolo broccolo
di PIETRO RUBINO, ANNA MARIA STELLACCI
- 877 26.14. L'irrigazione delle cicorie
di GIUSEPPE GATTA, ANNA GAGLIARDI, FEDERICA CARUCCI,
MARCELLA MICHELA GIULIANI
- 886 26.15. L'irrigazione del fagiolo
di PIETRO RUBINO, VITO CANTORE, ANNA MARIA STELLACCI
- 903 26.16. L'irrigazione del finocchio
di ROSSELLA ALBRIZIO, VITO CANTORE, FRANCESCA BOARI

XII *Indice*

- 916 26.17. L'irrigazione della fragola
di PAOLO MANNINI
- 929 26.18. L'irrigazione della lattuga
di VITO CANTORE, FRANCESCA BOARI
- 944 26.19. L'irrigazione della melanzana
di EMANUELE TARANTINO, PIETRO RUBINO
- 964 26.20. L'irrigazione del melone
di MICHELE PERNIOLA, MICHELE DENORA
- 978 26.21. L'irrigazione della patata
di ANITA IERNA
- 989 26.22. L'irrigazione del peperone
di EMANUELE TARANTINO, PIETRO RUBINO
- 1009 26.23. L'irrigazione del pomodoro da industria
di PIETRO RUBINO, EMANUELE TARANTINO, ANNA MARIA STELLACCI
- 1030 26.24. L'irrigazione della rucola
di VITO CANTORE, VINCENZO CANDIDO
- 1047 26.25. L'irrigazione del sedano
di FRANCESCA BOARI, VITO CANTORE, ROSSELLA ALBRIZIO
- 1059 Capitolo xxvii
Irrigazione delle principali colture arboree
di CRISTOS XILOYANNIS, BARTOLOMEO DICHIO, VITALE NUZZO,
GIUSEPPE MONTANARO
- 1059 27.1. Aspetti generali delle coltivazioni arboree in relazione all'irrigazione
di CRISTOS XILOYANNIS, BARTOLOMEO DICHIO, VITALE NUZZO,
GIUSEPPE MONTANARO
- 1094 27.2. L'irrigazione dell'Actinidia
di CRISTOS XILOYANNIS, BARTOLOMEO DICHIO, VITALE NUZZO,
GIUSEPPE MONTANARO

- 1105 27.3. L'irrigazione dell'Olivo
di CRISTOS XILOYANNIS, BARTOLOMEO DICHIO, VITALE NUZZO,
GIUSEPPE MONTANARO
- 1109 27.4. L'irrigazione delle drupacee (Pesco, Albicocco, Susino, Ciliegio,
Mandorlo)
di CRISTOS XILOYANNIS, BARTOLOMEO DICHIO, VITALE NUZZO,
GIUSEPPE MONTANARO
- 1117 27.5. L'irrigazione della vite da vino e da tavola
di CRISTOS XILOYANNIS, BARTOLOMEO DICHIO, VITALE NUZZO,
GIUSEPPE MONTANARO
- 1139 27.6. L'irrigazione delle Pomacee (Pero, Melo)
di CRISTOS XILOYANNIS, BARTOLOMEO DICHIO, VITALE NUZZO,
GIUSEPPE MONTANARO
- 1146 27.7. L'irrigazione degli agrumi
di CRISTOS XILOYANNIS, BARTOLOMEO DICHIO, VITALE NUZZO,
GIUSEPPE MONTANARO
- 1151 Riferimenti Bibliografici relativi all'irrigazione delle principali colture
arboree
di CRISTOS XILOYANNIS, BARTOLOMEO DICHIO, VITALE NUZZO,
GIUSEPPE MONTANARO
- 1157 *Autori*

PARTE SPECIALE

CAPITOLO XXVI

IRRIGAZIONE DELLE PRINCIPALI COLTURE ERBACEE

AUTORI VARI

26.I. Aspetti generali delle coltivazioni erbacee in relazione all'irrigazione

Vito Cantore e Angelo Caliandro

26.I.I. Introduzione

Per la maggior parte delle colture erbacee, particolarmente per quelle a ciclo estivo-autunnale e primaverile-estivo, l'irrigazione è una pratica indispensabile durante le prime fasi del ciclo colturale (dalla semina o trapianto all'inizio dell'accrescimento). Durante le fasi successive, quando le radici si sono sufficientemente approfondite, oltre che dal regime pluviometrico, l'indispensabilità dell'irrigazione dipende dai risultati produttivi che si intendono conseguire. Tuttavia, indipendentemente da questo aspetto, durante il ciclo colturale delle specie erbacee esistono fasi critiche nei riguardi dell'acqua durante le quali l'eventuale carenza idrica influenza in modo determinante la produzione, per cui l'irrigazione diventa necessaria per scongiurare significative perdite di reddito. Tali periodi, per colture che producono frutti, in generale coincidono con la fioritura, l'allegagione e l'accrescimento dei frutti. Limitazioni idriche durante queste fasi determinano cascola dei fiori o aborti florali, ridotta allegagione, cascola dei frutticini e fisiopatie diverse che possono tradursi sia nella riduzione della produzione che nel peggioramento della qualità.

Per colture che non producono frutti, come le orticole da foglia e le foraggere, invece, la carenza di acqua si traduce soprattutto in una riduzione della biomassa e, quindi, della produzione.

26.1.2. *Raggruppamenti delle colture erbacee*

Le colture erbacee sono raggruppabili in base al loro ciclo di coltivazione (annuali e poliennali), al tipo di coltura (cerealicole, industriali, foraggere, orticole), al periodo di coltivazione (autunno-invernale, autunno-primaverile, primaverile-estivo, estivo-autunnale).

Le esigenze irrigue dei diversi raggruppamenti variano, anche di molto, in base: a) all'ampiezza del ciclo colturale ed al periodo dell'anno in cui esso si compie; b) alla modalità di coltivazione: se in pieno campo o in ambienti protetti, queste ultime se coltivate in terreno o senza suolo; c) all'evoluzione temporale del manto vegetale; d) alla profondità degli apparati radicali e alla loro evoluzione nel tempo; e) alla sensibilità allo stress idrico; f) alla presenza o meno durante il ciclo colturale di fasi critiche nei riguardi dell'acqua; g) alla sensibilità alla salinità.

Le colture poliennali, come carciofo, asparago, erba medica ed altre foraggere, relativamente alle esigenze idriche non sono molto dissimili dalle colture arboree. Esse presentano periodi di dormienza e periodi vegetativi. Durante il periodo di dormienza le esigenze idriche sono limitate, mentre aumentano con il risveglio vegetativo. Risveglio che può essere indotto, come il caso del carciofo, per anticipare il periodo di raccolta dei capolini, oppure legato all'andamento termico, come il caso dell'asparago, della medica e di altre foraggere. Durante il ciclo vegetativo le esigenze idriche ed irrigue variano in funzione dell'evoluzione dell'indice di copertura (IC), dell'indice di area fogliare (LAI), dell'inizio del risveglio e dell'andamento climatico.

L'ampiezza del ciclo colturale varia di molto tra le diverse specie erbacee e, per la stessa specie, in base alla cultivar e al periodo di coltivazione, pertanto i fabbisogni idrici ed irrigui variano di conseguenza. In merito alla grande variabilità della durata del ciclo colturale che si riscontra tra le cultivar, si possono annoverare specie orticole appartenenti alle brassicacee come il cavolfiore e la cima di rapa il cui ciclo può variare da 50-60 giorni ad oltre 200 giorni; tra i cereali da granella, invece, si ricorda il mais

il cui ciclo produttivo può variare da circa 70 giorni delle cultivar precoci ad oltre 180 giorni di quelle tardive.

I fabbisogni idrici delle colture in pieno campo, rispetto a quelli delle colture in ambiente protetto, sono sensibilmente maggiori (anche superiori al 50%) a causa della minore umidità relativa dell'aria e della maggiore influenza della componente aerodinamica sul processo evapotraspirativo che si manifestano in pien'aria. Per quanto riguarda i fabbisogni irrigui, invece, la situazione può invertirsi tra i due tipi di coltivazione in quanto, mentre in pieno campo la coltura può beneficiare delle acque meteoriche, in ambiente protetto il fabbisogno idrico è soddisfatto esclusivamente dall'irrigazione, ad eccezione di rari casi in cui è presente la falda superficiale raggiungibile dagli apparati radicali.

Il manto vegetale e gli apparati radicali si evolvono nel tempo, soprattutto in relazione all'andamento termico e alle caratteristiche intrinseche della specie. In generale, la velocità di sviluppo della parte aerea e delle radici è tanto più rapida quanto più breve risulta il ciclo colturale. Di conseguenza le fasi iniziali e di accrescimento risultano molto brevi, i coefficienti colturali e l'intensità evapotraspirativa raggiungono valori massimi in breve tempo, come pure il volume di terreno colonizzato dalle radici ed i volumi specifici di adacquamento raggiungono anch'essi i valori massimi in poco tempo. Tuttavia, ai fini di una corretta gestione irrigua, è necessario tenere in considerazione che, per la stessa specie, la capacità di sviluppo degli apparati radicali può essere sensibilmente influenzata dalle condizioni edafiche del terreno.

Le colture sensibili allo stress idrico, come la maggior parte delle orticole, richiedono potenziali matriciali o umidità limite di intervento irriguo elevati. Inoltre, i volumi stagionali di irrigazione di massima convenienza economica sono molto prossimi a quelli corrispondenti alla completa restituzione dell'evapotraspirazione massima della coltura.

In merito al periodo di coltivazione, passando dalle colture a ciclo autunno-invernale a quelle a ciclo autunno-primaverile, primaverile-estivo ed estivo-autunnale, con il variare dell'ampiezza temporale e dell'intensità dei fattori climatici che determinano l'evapotraspirazione (radiazione, temperatura, umidità dell'aria, ecc.), si registra un'ampia variabilità dei valori dei consumi idrici e, quindi, dei fabbisogni irrigui.

Le colture sensibili alla salinità, richiedendo acqua con valori elevati di potenziale totale, hanno fabbisogni idrici ed irrigui più elevati rispetto

a quelli delle colture resistenti alla salinità. Queste ultime, infatti, si adattano a situazioni di potenziale totale dell'acqua nel terreno molto basse, ossia a situazioni di acqua meno disponibile per la pianta.

26.1.3. *Evoluzione della copertura vegetale e del LAI*

La copertura vegetale e il LAI, influenzati principalmente dalla fase fenologica, dalla modalità di coltivazione (es.: a file, a spaglio), dalla densità di piante, dall'architettura della comunità vegetale e dallo stato idrico e nutrizionale della coltura, sono i principali fattori colturali a condizionare l'evapotraspirazione e, quindi, il fabbisogno irriguo.

La prima fase del ciclo colturale delle specie erbacee è caratterizzata da nullo o scarso IC e LAI. Pertanto, in questa fase prevale la componente di evaporazione del terreno rispetto alla traspirazione, salvo i casi in cui viene impiegata la pacciamatura. Con il progredire del ciclo vegetativo si verifica l'aumento più o meno repentino dell'IC, del LAI e dell'altezza del manto vegetale a cui corrisponde la riduzione della componente evaporativa (fino a quasi annullarsi nelle colture dense) e l'aumento della traspirazione, il cui picco generalmente viene raggiunto nella fase riproduttiva (fioritura, allegagione). Durante la maturazione, invece, la traspirazione si riduce proporzionalmente al progredire della senescenza delle foglie, fino a raggiungere valori trascurabili nel caso di colture raccolte alla maturazione fisiologica come per i cereali e le leguminose da granella.

Per le colture di cui si utilizza la biomassa epigea come nel caso delle orticole da foglia o delle foraggere, generalmente la raccolta coincide con i valori massimi di IC e di LAI. Inoltre, per alcune colture il cui ricaccio dopo la raccolta dà luogo ad un nuovo ciclo produttivo (es.: rucetta selvatica, erba medica), il LAI diventa trascurabile a seguito della raccolta, ma poi riprende ad aumentare con il nuovo ciclo produttivo. Tuttavia, in questi casi la componente di evaporazione del suolo all'inizio del nuovo ciclo produttivo rimane più contenuta rispetto al primo ciclo per la presenza della porzione basale delle piante dopo lo sfalcio e dei residui di biomassa che possono avere un effetto pacciamante.

Come accennato nel precedente paragrafo, l'IC il LAI di quasi tutte le colture erbacee si evolve in tempi più o meno brevi a seconda dell'ampiezza del ciclo colturale. L'ampiezza temporale delle singole

fasi fenologiche, quindi, è piuttosto limitata ed è tale da rendere difficile modificare il regime irriguo in corrispondenza di fasi fenologiche critiche o poco sensibili alle disponibilità idriche; a differenza delle colture arboree, pertanto, si rende poco praticabile l'adozione della tecnica dello stress idrico controllato. Tuttavia, quest'ultima tecnica è applicabile a colture a ciclo relativamente ampio, come mais, sorgo, girasole, ecc.

26.1.4. *Gli apparati radicali*

Gli apparati radicali delle colture erbacee assumono forma e profondità diversa a seconda della specie. Le forme possono essere a fittone, come per carota, girasole, bietola e medica; ramificate con radici laterali, come patata; fascicolate ramificate, come mais; fascicolate, come frumento. La morfologia di apparati radicali adulti di alcune specie erbacee cresciute in terreno fertile, profondo e senza impedimenti al loro accrescimento è riportata nella figura 26.1.1, da cui si osserva che, variando il tipo di radice, varia i) la colonizzazione spaziale del terreno (tendenzialmente in profondità le radici a fittone, lateralmente ed in profondità le radici fascicolate ramificate, in profondità le radici fascicolate), ii) la densità radicale, ossia la quantità di radici per unità di volume del terreno (cm cm^{-3}).

La densità radicale è di importanza notevole ai fini della capacità estrattiva dell'acqua dal terreno da parte delle piante. La capacità di una pianta di assorbire acqua dal terreno aumenta all'aumentare della densità radicale. Al fine di meglio comprendere questo aspetto si ricorda che nel continuo 'terreno-pianta-atmosfera' l'acqua si muove lungo un gradiente di potenziale idrico decrescente, ossia da zone a potenziale più elevato, più umide, a zone a potenziale più basso, meno umide (cfr. capitolo 6). Lungo tale continuo si possono isolare diversi tratti, tra cui: terreno-radice; radici-foglie; foglie-atmosfera. Relativamente al percorso dal terreno alle radici, l'acqua si muove dalla zona più lontana, dove il potenziale idrico è più elevato, a queste ultime, tenendo conto che all'interfaccia terreno radice il potenziale idrico è più basso.

In un terreno ad umidità iniziale uniforme (es.: alla capacità idrica di campo, CIC), l'assorbimento di acqua da parte di una radice tende a