

**NICOLA MATARRESE**

# **L'EFFICIENZA DELL'IRRIGAZIONE**

---

Estratto dagli  
ANNALI DELLA FACOLTA' DI AGRARIA DELL'UNIVERSITA' DI BARI  
Volume XV - Anno 1961

---

**EDITORE CRESSATI - BARI**

Edizione digitale, Bari 2010

## L'EFFICIENZA DELL'IRRIGAZIONE

### PREMESSA

E' noto che le disponibilità di acque convenientemente utilizzabili per l'irrigazione sono molto limitate rispetto alle vastissime aree ancora insufficientemente valorizzate nelle zone aride o sub-aride.

Tale circostanza, connessa con il sempre più esteso inserimento dell'irrigazione tra i più efficaci strumenti di sviluppo dell'agricoltura, ha indotto sperimentatori e tecnici di tutto il mondo ad intensificare le ricerche ed a trovare, soprattutto in questi ultimi decenni, più razionali e spesso del tutto nuove soluzioni ai vari problemi che interessano l'irrigazione, dalla captazione alla somministrazione dell'acqua al terreno.

Il risultato fondamentale a cui mirano tali sforzi è senza dubbio quello di consentire ad ogni singola impresa agraria di irrigare i propri terreni nel modo più agevole possibile realizzando, nel contempo, la massima economia nella utilizzazione dell'acqua. Si tratta cioè di realizzare impianti i quali, unitamente ad una adeguata *funzionalità* ed a un economico esercizio, consentano alla massima parte possibile dell'acqua immessa nel comprensorio di raggiungere le zone radicali delle colture per integrarne il bilancio idrico. Occorre cioè che l'impianto irriguo dia anche il più elevato *coefficiente di rendimento* consentito.

Tale necessità non scaturisce solamente dal bisogno di ottenere sempre maggiori economie di esercizio, peraltro già di per sé molto importanti, ma anche da ragioni di ordine sociale ed economico generale di interesse pubblico che impongono, soprattutto dove le risorse idriche sono scarse, di estendere i benefici della irrigazione a più territori.

Nell'ambito di queste importanti finalità sembra doversi inquadrare la opportunità di una più approfondita conoscenza dei

problemi attinenti *l'efficienza della irrigazione*. Questa va qui intesa come la percentuale dell'acqua di irrigazione, derivata da una qualsiasi fonte di approvvigionamento, che può essere attribuita al soddisfacimento del fabbisogno idrico delle colture durante un determinato periodo di tempo.

L'efficienza così definita non si riferisce, quindi, solamente a quella realizzabile in ciascuna parcella ma riguarda l'intero complesso irriguo, sia esso autonomo che collettivo. Dato però che i problemi relativi agli impianti autonomi possono benissimo rientrare tra quelli, ben più complessi, degli impianti collettivi, è su questi ultimi che sarà riferito l'esame di cui al presente lavoro.

#### FATTORI CHE COMPONGONO L'EFFICIENZA TOTALE

Le considerazioni avanti esposte traggono la loro ragione di essere dal fatto che l'efficienza totale degli impianti irrigui è, nella generalità dei casi, ancora molto bassa, soprattutto nell'irrigazione per espansione superficiale.

Israelesen (Israelsen, 1958) afferma che in un buon esercizio irriguo il 40% dell'acqua derivata è perduto nel trasporto e nelle consegne agli utenti. Tale valore raggiunge addirittura il 60% nell'esercizio di un impianto poco accurato.

Inoltre, sempre secondo il suddetto Autore, il 30% dell'acqua consegnata alle aziende è perduto per ruscellamento e per percolazione profonda ed, a sua volta, il 20% dell'acqua immagazzinata nel terreno è perduto per evaporazione.

Perciò, indicando con:

$E_i$  = l'efficienza totale dell'irrigazione in %;

$W_r$  = il volume di acqua derivato dalla fonte di approvvigionamento;

$W_f$  = il volume di acqua consegnato all'azienda;

$W_s$  = il volume di acqua accumulato nella zona radicale;

$W_c$  = il volume di acqua utilizzato dalle piante;

si ha:

$$E_i = 100 \frac{W_c}{W_r}$$

ossia, con i valori avanti indicati:

$$\begin{aligned} W_f &= 0,60 W_r \\ W_s &= 0,70 W_f = 0,42 W_r \\ W_c &= 0,80 W_s = 0,34 W_r \\ E_i &= 34\% \end{aligned}$$

Tali valori, nel caso di impianti poco accurati, diventano:

$$\begin{aligned} W_f &= 0,40 W_r \\ W_s &= 0,50 W_f = 0,20 W_r \\ W_c &= 0,60 W_s = 0,12 W_r \\ E_i &= 12\% (1). \end{aligned}$$

In altre parole, in un complesso irriguo la quantità di acqua utilizzata dalle piante coltivate può raggiungere appena 1/3 di quella immessa nel comprensorio ed in taluni casi abbassarsi al disotto di 1/6.

Tali dati, riferiti anche da altri Autori, rimarcano la grande importanza che il grado di efficienza dell'irrigazione ha per l'economia dei complessi irrigui collettivi, soprattutto quando si dispone di poca acqua e molta terra da irrigare.

L'efficienza totale dell'irrigazione è quindi strettamente dipendente dalla misura delle perdite di acqua che si verificano nel trasporto, nella consegna agli utenti e negli adacquamenti. Queste interessano quindi sia l'utente che l'Ente preposto alla gestione dell'impianto. Conviene perciò tenere distinti i fattori che determinano l'efficienza totale nei seguenti due gruppi principali:

a) quelli inerenti alla derivazione, al trasporto ed alla consegna dell'acqua fino all'azienda;

b) quelli dipendenti dall'applicazione dell'acqua ai terreni.

Tra quelli attribuibili al gruppo a) si possono annoverare:

*per canali non rivestiti* (Burgess - Roe, 1950):

- struttura del terreno attraversato dalla rete di trasporto;
- quantità di materiale colloidale in sospensione e relativo deposito nei canali;
- altezza e velocità dell'acqua nei canali;
- relazione tra il perimetro bagnato e la portata;

---

(1) BURGESS-ROE, (1950) la eleva al 15%.

- movimenti capillari nelle sponde;
- prossimità della falda freatica.

*per canali rivestiti:*

- tipo di rivestimento;
- caratteristiche e sviluppo dei giunti;
- tipi di manufatti speciali e loro frequenza lungo la rete (ponti-tubo, ponti-canale, botti a sifone, ecc.);
- altezza del franco;
- modalità di misura e di consegna e quindi caratteristiche dei relativi manufatti.

*per condotte:*

- tipo di condotta in riferimento al materiale che la costituisce;
- profondità di interrimento e caratteristiche del letto di posa;
- tipo e tenuta dei giunti;
- qualità dell'acqua d'irrigazione in rapporto alle possibilità di corrosione o di incrostazione;
- possibilità di evitare i colpi d'ariete.

Questi fattori determinano le perdite per infiltrazione dalla superficie bagnata, ma soprattutto le dispersioni dai giunti, dai manufatti speciali (principalmente dai sifoni e dagli stivi) e quelle per tracimazione nel caso di insufficiente franco connesso ad un eventuale imperfetto profilo altimetrico della rete. Nel caso del trasporto in pressione, alle perdite si aggiunge il rischio di rotture dei tubi e quindi la inefficienza idraulica dell'impianto o di una parte di esso.

Tra i fattori modificabili attinenti il gruppo b), cioè quelli relativi all'applicazione dell'acqua ai terreni si possono elencare:

- metodo di irrigazione;
- preparazione del terreno per l'irrigazione;
- umidità contenuta dal terreno prima dell'adacquamento;
- corpo d'acqua parcellare in relazione alla struttura del terreno ed al dimensionamento dei campi;
- durata dell'adacquamento e relativo volume specifico impiegato, in relazione alla coltura irrigata;
- frequenza degli adacquamenti;
- misura del ruscellamento superficiale;
- abilità dell'acquiolo di campo.

## EFFICIENZA DEL TRASPORTO E CONSEGNA D'ACQUA

E' rappresentata dal rapporto percentuale tra la quantità di acqua consegnata alle aziende e quella immessa nella rete di trasporto (Israelsen, 1958).

Ossia:

$$Ec = 100 \frac{Wf}{Wr}$$

in cui  $Ec$  è l'efficienza, in %, del trasporto e consegna d'acqua,  $Wr$  e  $Wf$  sono rispettivamente la quantità d'acqua derivata ed immessa nella rete di trasporto e la quantità d'acqua consegnata alle aziende ricadenti nel comprensorio, al netto cioè delle perdite dalle condotte, per tracimazione dei canali, per insufficienza dei giunti, ecc. ecc.

Le perdite che condizionano l'efficienza del trasporto dell'acqua, come già accennato, dipendono, in massima parte, dalle modalità costruttive della rete adottate in sede di esecuzione dell'impianto irriguo. Pur ammettendo che è quasi impossibile trasportare l'acqua dall'opera di captazione o derivazione alle singole aziende del comprensorio senza che si verifichino delle dispersioni, bisogna riconoscere che sovente non si dà al *sistema trasporto* quell'importanza che l'entità del fattore perdite richiederebbe. Ciò, naturalmente, considerando oggi come superato, almeno nella generalità dei casi, il trasporto di acqua irrigua collettiva in canali non rivestiti.

Secondo Israelsen (Israelsen, 1958) nel 1939, nei 190.375 km di canali di irrigazione (ripartitori e dispensatori) di 17 Stati dello Ovest degli U.S.A., furono trasportati 111.025.000 m<sup>3</sup> di acqua: di questi ben il 38% fu perduta tra i punti di derivazione e consegna, dando così una  $Ec = 62\%$ . Burgess-Roe, (Burgess-Roe, 1950) dal canto suo, rileva che studi dell'U.S. Department of Agriculture danno un campo di variazione di  $Ec$  tra il 28 ed il 77%, con una media del 50%.

A parere di Houk (Houk, 1951) le perdite d'acqua irrigua durante il trasporto possono essere riassunte nel modo seguente:

— acqua derivata per grandi impianti: m<sup>3</sup>/ha 6.000 ÷ 30.000 (2)

(2) I 30.000 m<sup>3</sup>/ha sembrano esagerati; evidentemente si riferiscono a particolari colture, per es. risaia.

- evaporaz. dalla superf. dei canali: trascurabile
- evapo-trasporaz. dalle scarpate dei canali: »
- percolazione dai canali non rivestiti: 15÷45% della quant. der.
- » » » rivestiti: 5÷15% » » »
- perdite conseguenti alla utilizzazione della rete di distribuzione:
- per impianti con grande disponibilità d'acqua: 5÷30% » » »
- per impianti con limitata disponibilità d'acqua: 1÷10% » » »

Per il calcolo delle perdite dovute alla percolazione nei canali, Ingham, citato da Bauzil (Bauzil, 1952), suggerisce la seguente formula:

$$P = 0,55 C \frac{WL}{1.000.000} \sqrt{d}$$

in cui:

$P$  = perdite per percolazione (in  $m^3/sec$ ) su una lunghezza  $L$  (in m) di canale;

$d$  = altezza (in m) dell'acqua nel canale;

$W$  = larghezza (in m) della lama d'acqua nella sezione trasversale del canale;

$C$  = coefficiente, trovato dallo stesso Ingham ed uguale, in media, a 3,5.

David e Wilson, citati anch'essi da Bauzil (Bauzil, 1952) ne indicano, invece, la seguente:

$$P = 0,45 C \frac{\chi L}{4.000.000 + 3.650 \sqrt{V}} \sqrt[3]{d}$$

dove:

$P$  = perdite per percolazione (in  $m^3/sec$ ) su una lunghezza  $L$  (in m.) di canale;

$d$  = altezza dell'acqua (in m);

$\chi$  = perimetro bagnato (in m) della sezione trasversale del canale;

$V$  = velocità media della corrente (in m/sec);

$C$  = coefficiente trovato, variabile da un minimo di 1, per rivestimenti in calcestruzzo da 75 a 100 mm di spessore ad un massimo di 70 per canali non rivestiti, in terreno di sabbia e ghiaia.

Delle due formule, la seconda, oltre a tener in più adeguato conto il materiale costituente il canale, dà risultati meno approssimativi e generalmente più bassi rispetto alla prima.

E' evidente, comunque, che le perdite per percolazione, pur nell'incertezza della loro esatta determinazione, raggiungono, nei canali non rivestiti, valori rilevanti.

Misure effettuate nell'Idaho e riportate da Bauzil, (Bauzil, 1952) indicano che per corpi d'acqua intorno ai 30 l/sec e su una lunghezza di canale in terra di 1.500 metri le perdite raggiungono persino il 50% del corpo d'acqua stesso.

Altre misure indicano perdite per km variabili tra 0,07 e 7% per portare tra i 280 l/sec e gli 80 m<sup>3</sup>/sec. Nei canali della Salt River Valley sono state misurate perdite raggiungenti i 100 litri per m<sup>2</sup> di superficie bagnata e per 24 ore; nei canali rivestiti tali perdite si riducono al 5-15%.

In Puglia, su alcuni modesti impianti irrigui collettivi, aventi una rete di ripartizione e di dispensa rivestita di complessivi km 108,330, è stata calcolata, nel triennio 1958-'60, una efficienza nel trasporto e consegna d'acqua ( $E_c$ ) pari all'87%. Si ha motivo di ritenere però che per medi e grandi impianti, cioè per quelli aventi una rilevante lunghezza di rete, tale efficienza debba essere notevolmente più bassa soprattutto nei casi in cui il numero delle bocchette di consegna annualmente in esercizio è piuttosto limitato nei confronti di quello totale del comprensorio, così come generalmente avviene nei primi anni di esercizio quando cioè la superficie irrigata è scarsa ed irregolarmente distribuita nel comprensorio.

Oltre alla efficienza del trasporto, occorre ricordare quella dipendente dalle modalità di consegna dell'acqua a ciascun utente. E' evidente infatti che il sistema organizzativo previsto in sede di costruzione dell'impianto e gli eventuali accorgimenti adottati dallo Ente gestore nel corso della distribuzione assumono notevole importanza oltre che nella funzionalità dell'impianto nei confronti degli utenti, anche nella economia generale nell'uso dell'acqua.

Trascurando di considerare il vecchio sistema, detto a *bocca*



*libera*, legato ad antiche concessioni, è opportuno ricordare che la consegna ad *erogazione continua* od a *bocca tassata*, sia pure con modesti corpi d'acqua, nella generalità dei casi induce a notevoli sprechi d'acqua. Così il sistema di consegna *a turno* quando non è adeguatamente adattato, sia nel turno stesso che nel corpo d'acqua, alle effettive esigenze medie del comprensorio, o meglio di ogni singolo distretto, porta a far usare l'acqua in maniera non aderente ai reali bisogni delle colture dando così basse efficienze. Di contro, sembra che il sistema cosiddetto *a domanda* si presenti come quello che possa consentire, probabilmente, la maggiore efficienza nella consegna d'acqua.

#### EFFICIENZA DELL'ADACQUAMENTO

L'efficienza dell'adacquamento (water-application efficiency) è stata definita come il rapporto percentuale tra la quantità di acqua accumulata con l'irrigazione nella zona radicale (e successivamente consumata per evaporazione e traspirazione) e la quantità di acqua consegnata all'azienda, in uno stesso periodo.

L'efficienza così enunciata è quindi una entità fisica adimensionale, indipendente dai risultati produttivi conseguibili dalle colture irrigue.

Secondo Fuhriman (Fuhriman, 1951) le prime misure sulla efficienza dell'irrigazione (intesa anche come efficienza dell'applicazione dell'acqua) sono state effettuate nel 1926-27 da Becket et al. in California. Successivamente nel 1937-41, Israelsen et al. eseguirono 145 determinazioni di efficienza nell'Utah. Sono seguiti poi, nel 1942, 14 determinazioni di Blaney et al. a Pecos Valley nel Nuovo Messico; nel 1948, 10 misure di Diebold e Willians sempre nel Nuovo Messico, ecc.

Indicando con:

- $R_f$  = le perdite di campo per ruscellamento superficiale;
  - $D_f$  = le perdite per percolazione profonda sotto la zona radicale;
- e ricordando che  $W_f$  è l'acqua consegnata all'azienda e  $W_s$  è l'acqua immagazzinata nella zona radicale, Israelsen (Israelsen, 1958), trascurando le perdite per evaporazione durante ed immediata-

mente dopo l'adacquamento, ha rappresentato l'efficienza della applicazione di acqua,  $E_a$ , con la seguente espressione:

$$E_a = \frac{100 W_s}{W_f} ; \text{ e siccome } W_f = W_s + R_f + D_f,$$

$$E_a = 100 \frac{W_f - (R_f + D_f)}{W_f} \quad [1]$$

Il volume d'acqua consegnato all'azienda ( $W_f$ ) è di semplice determinazione anche da parte dello stesso agricoltore, meno semplice è invece la determinazione delle perdite di campo per ruscellamento superficiale ( $R_f$ ), così come non sembra sufficientemente preciso, anche se appare facile, il calcolo sulle perdite per percolazione ( $D_f$ ) attraverso misure dirette. In ogni modo la parte più complicata dell'equazione è essenzialmente la determinazione del valore dell'acqua immagazzinata nella zona radicale ( $W_s$ ) con gli ordinari metodi della campionatura, prima e dopo l'irrigazione.

La misura delle variazioni dell'umidità del terreno a mezzo dei tensiometri può comunque facilitare la misura dell'efficienza ( $E_a$ ) (Israelsen, 1958).

Fuhriman, (Fuhriman, 1951) in relazione alla necessità di tener conto anche dei consumi per evapo-traspirazione della coltura nel periodo compreso fra il prelevamento dei campioni prima e dopo l'adacquamento, ha modificato la formula [1] integrandola secondo una espressione che ridotta al sistema metrico decimale diventa:

$$E_a = \frac{\frac{(Pw_2 - Pw_1) A_s D}{100} + u_a + u_b}{0,03629 \frac{Qt}{A} + r} \times 100 \quad [2]$$

in cui:

- $A$  = superficie dell'appezzamento (in ha);
- $A_s$  = peso specifico apparente del terreno nella zona radicale;
- $D$  = profondità della zona radicale (in cm);
- $Pw_1$  = percentuale di umidità (base secca) nella zona radicale prima dell'irrigazione;

- $Pw_2$  = idem c. s. ma dopo l'irrigazione;
- $Q$  = corpo d'acqua parcellare (in l/sec);
- $r$  = intensità di pioggia (in cm) nel periodo fra le campionature;
- $t$  = tempo richiesto per l'adacquamento (in ore);
- $u_a$  = consumo per evapo-traspirazione nell'intervallo di tempo fra il momento della campionatura prima dell'irrigazione e l'inizio di questa (in cm);
- $u_b$  = idem c. s. nell'intervallo di tempo fra l'inizio dello adacquamento e la campionatura eseguita dopo l'adacquamento (in cm).

E' evidente che con l'aggiunta al numeratore della [2] dei valori di  $u_a$  ed  $u_b$ , aumenta il valore di  $Ea$ .

La definizione di efficienza,  $Ea$ , come avanti detto, è stata ulteriormente riveduta (Hansen, 1953) con la introduzione del concetto dell'efficienza dell'accumulo dell'acqua nella zona radicale ( $E_s$ ) (Water-storage efficiency). E' stato ritenuto infatti che il coefficiente  $Ea$  pur rappresentando una soddisfacente indice del grado di bontà degli adacquamenti, non dà un'adeguata misura della eventuale insufficienza di questi. Tale conoscenza, invece, sarebbe particolarmente utile nell'irrigazione a pioggia su terreni topograficamente irregolari o quando non vi è sufficiente controllo dell'irrigazione, oppure nel caso, assai frequente, di necessità di distribuire l'acqua in misura uniforme nei vari punti del campo, soprattutto laddove si opera su terreni salati.

Il valore dell'accumulo di acqua ( $E_s$ ) si avrebbe quindi con:

$$E_s = 100 \frac{W_s}{W_n} \quad [3]$$

in cui:  $W_s$  rappresenta l'acqua accumulata nella zona radicale durante l'irrigazione e  $W_n$  il fabbisogno d'acqua nella zona radicale prima dell'irrigazione.

$W_n$ , quindi, non riguarda l'acqua accumulata nella zona radicale ma quella occorrente, determinata « a priori ».

L'equazione [3] può essere perciò modificata nel modo seguente:

$$E_s = 100 \frac{A - ae}{A} = 100 \left( 1 - \frac{ae}{A} \right) \quad [4]$$

in cui:  $A$  = superficie totale del campo irrigato;  
 $a$  = superficie della parte del campo che riceve un deficiente adacquamento;  
 $e$  = parte dell'umidità deficiente nella zona radicale, a seguito dell'irrigazione, rispetto al fabbisogno calcolato « a priori ».

Allora, se  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_i, \dots, a_n$ , rappresentano le superfici di quelle zone del campo irrigato che ricevono un insufficiente adacquamento e  $e_1, e_2, e_3, \dots, e_i, \dots, e_n$ , le rispettive parti dell'umidità deficitaria rispetto a quella calcolata per tutto il campo, l'equazione [4] diventa:

$$E_s = 100 \left( 1 - \sum_1^n \frac{e_i}{A} \right) \quad [5]$$

Per esempio, posta la superficie del campo irrigato uguale ed ha 2 ed il fabbisogno calcolato, espresso in cm, uguale ad 8. Se ha 0,50 dei 2 hanno ricevuto solamente 2 degli 8 cm occorrenti, l'efficienza di accumulo ( $E_s$ ) sarebbe con la [3]

$$E_s = 100 \left( \frac{W_s}{W_n} \right) = 100 \frac{(8 \times 1,50 + 0,50 \times 2)}{2 \times 8} = 81\%$$

uguale risultato si ottiene con la [4] <sup>(3)</sup>.

#### ALCUNI VALORI DELL'EFFICIENZA DELL'ADACQUAMENTO

Nel periodo 1937-41 nell'Utah furono eseguiti da Israelsen et al. (Israelsen, 1950) 145 determinazioni su tre gruppi di aziende: nel primo gruppo (a) i terreni erano superficiali ed altamente permeabili, con falda freatica profonda; nel secondo gruppo (b) i terreni erano di media permeabilità; infine, nel terzo gruppo (c) i terreni erano a grana fina e quindi a bassa permeabilità, con falda freatica a m 0,90 ÷ 1,50 sotto il piano di campagna.

$$(3) \quad E_s = 100 \left( 1 - \frac{ae}{A} \right) = 100 \left( \frac{1 - 0,50 \times \frac{6}{8}}{2} \right) = 81\%$$

Le prove di efficienza dell'adacquamento ( $Ea$ ) dettero i seguenti risultati:

— sul gruppo a): 39 prove eseguite in 4 aziende, l'efficienza media  $Ea$  risultò del 38%; per 30 dei 39 casi, il valore di  $Ea$  fu inferiore al 50%. Su queste ultime 30 prove, la bassa efficienza fu dovuta:

- agli eccessivi volumi di adacquamento per . . . . . 14 casi;
- ad ineguale distribuzione dell'acqua sul terreno . . . . . 7 »
- all'eccessiva umidità contenuta dal terreno prima dell'irrigazione . . . . . 5 »
- alla combinazione dei suindicati 3 fattori . . . . . 4 »

— sul gruppo b): 90 prove, l' $Ea$  media fu del 44%. In 60 di tali casi l'efficienza fu minore del 50%.

I fattori che determinarono la bassa efficienza nei 60 casi surrichiamati furono i seguenti:

- ineguale distribuzione dell'acqua sul terreno per . . . . . 20 casi;
- eccessiva umidità contenuta dal terreno prima dell'irrigazione . . . . . 15 »
- eccessivi volumi d'adacquamento . . . . . 13 »
- alta umidità ed eccessivo volume assieme . . . . . 12 »

— sul gruppo c): 16 prove, l' $Ea$  media fu del 34%. In 12 di tali casi l' $Ea$  fu inferiore al 50%. Anche in queste prove i fattori di bassa efficienza riscontrati furono gli stessi dei gruppi a) e b).

Dai dati sopra riportati si rivela che uno dei principali fattori di bassa efficienza è l'eccessivo volume di adacquamento adottato, fattore di notevole importanza poichè è determinante agli effetti dell'economia di acqua soprattutto laddove questa, per ragioni di captazione e sollevamento, raggiunge costi rilevanti.

L'importanza della misura del volume di adacquamento nei riguardi dell'efficienza  $Ea$  è mostrata nella fig. 1 il cui diagramma è stato ricavato dai risultati delle 133 prove effettuate da Israelsen et al. nell'Utah.

La curva mostra che ove l'altezza dell'acqua somministrata al terreno ha ecceduto i 254 cm il più alto valore di  $Ea$  è stato soltanto del 30% ed in 5 dei 9 appezzamenti è stato addirittura meno del 20%.

Dalle prove eseguite nel 1942, nel Pecos Valley, Nuovo Messico, da Blaney et al. (Houk, 1951) si ebbero le seguenti efficienze:

ALTEZZA D'ACQUA APPLICATA mm	NUMERO DELLE PROVE DI EFFICIENZA	EFFICIENZA DI APPLICAZIONE D'ACQUA		
		max	min.	media
0	1	87	-	87
50.78	26	93	13	55
101.56	40	81	11	45
152.34	26	80	16	40
203.12	17	55	9	38
253.9	8	57	8	30
304.68	1	18	-	18
355.46	5	40	6	23
406.24	2	13	11	12
457.02	2	22	21	22
507.08	1	26	-	26
558.58	1	15	-	15
609.36	0	-	-	-
660.14	2	18	16	17
761.7	1	18	-	18
863.6				

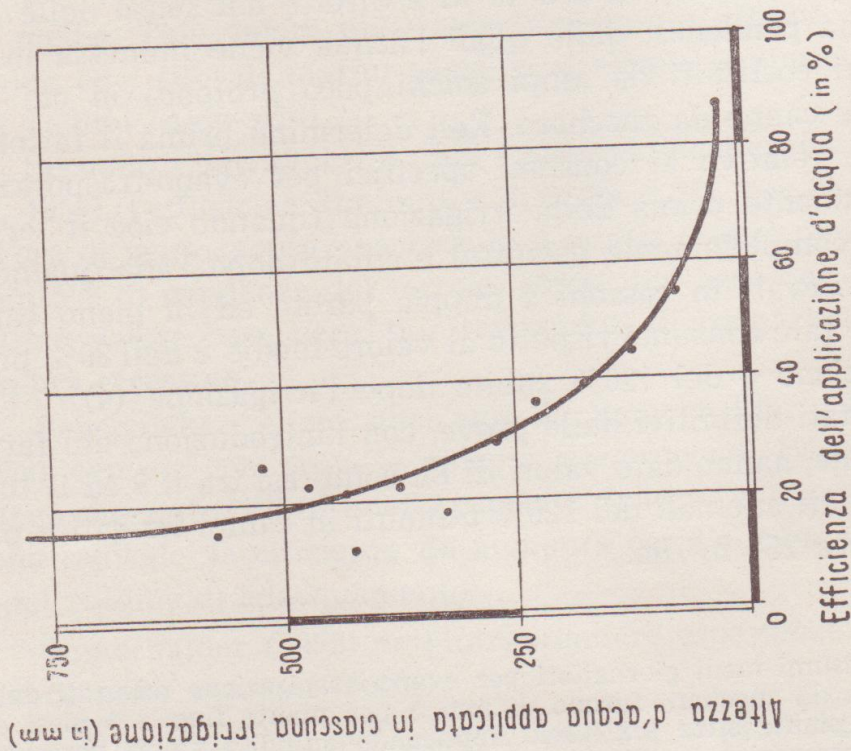


Fig.1 - EFFICIENZE DELL'APPLICAZIONE D'ACQUA A DIVERSE ALTEZZE APPLICATE IN CIASCUNA IRRIGAZIONE  
(traduz. da Israelsen, Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 311)

Questi ultimi dati denotano, evidentemente, che nei casi di adacquamenti con modesti volumi specifici, gli errori sperimentali, nella misura dell'umidità presente nel terreno e del fattore di correzione, sono tali che i risultati della misura dell'*Ea* con il metodo integrato dal Fuhrman risultano non significativi.

In ogni modo la introduzione del fattore correttivo, che tien conto, come si è detto, dei consumi di evapo-traspirazione nel periodo compreso tra i due prelievi dei campioni di terra immediatamente prima e dopo l'adacquamento, mette a disposizione una ulteriore quantità positiva di umidità con l'effetto di fornire valori di *Ea* più elevati di quelli ottenibili con il metodo Israelsen già descritto e comunque più aderenti alla situazione reale a cui si riferisce ciascuna determinazione.

Schwalen et al., citati da Somerhalder (Somerhalder, 1958) in prove eseguite nel 1953 nell'Arizona con l'irrigazione a pioggia, trovò che le perdite dovute all'evaporazione della pioggia nelle giornate calde ed all'azione del vento, potevano raggiungere il 30% dell'acqua applicata.

Per l'irrigazione a pioggia, infatti, il 70% può ritenersi una *Ea* media. Tale valore può essere aumentato all'80% per le zone umide ed i litorali marini soggetti a nebbie e diminuita al 60% per i climi caldo-aridi.

Secondo i dati dell'U.S. Soil Conservation Service (Frevort et al., 1959), l'efficienza diminuisce di circa il 5% per ciascun miglio all'ora di vento, sopra una base di 5 miglia orarie, oppure per ciascun 5% di pendenza del terreno sopra una base del 12%. Questo ultimo valore base però, pur trattandosi di irrigazione a pioggia, sembra eccessivo.

Schoenleber, citato anch'egli da Somerhalder (Somerhalder, 1958), sempre con prove a pioggia, eseguite nel 1958 nel Kansas, rilevò che, entro i limiti della capacità di accumulo dell'acqua nella zona radicale, la efficienza *Ea* aumenta con l'aumentare del turno e del volume di adacquamento.

Somerhalder (1958) nell'intraprendere esperienze dirette parti invece dalle seguenti ipotesi:

- a) se l'umidità del terreno è uguale la produzione dovrebbe essere la stessa in tutti i punti del campo;
- b) se esiste una differenza nei quantitativi d'acqua richiesti

I risultati delle prove sono riportati nella tab. I.

TABELLA I

*Efficienza dell'irrigazione con i sistemi a pioggia e ad espansione superficiale, su campi coltivati a medica nel North Platte Experiment Station (da Somerhalder).*

Anno	Acqua applicata alle parcelle cm	Acqua aggiunta nella zona radicale cm	Efficienza dello adacquamento %
<i>a pioggia</i>			
1952	72,13	60,96	84
1953	74,16	61,21	82
1954	65,27	55,88	86
media	70,52	59,35	84
<i>per infiltrazione da solchi</i>			
1952	82,55	62,23	75
1953	87,88	59,43	68
1954	75,18	55,11	73
media	81,87	58,93	72

Da essi si deduce che il metodo ad espansione superficiale richiede cm 11,35 d'acqua in più all'anno rispetto a quello a pioggia. Di contro, l'efficienza media,  $E_a$ , fu dell'84% per l'irrigazione a pioggia e del 72% per quella ad espansione superficiale. La differenza di efficienza tra i due sistemi fu attribuita per gran parte al maggior ruscellamento sui campi irrigati con il metodo per infiltrazione da solchi; infatti nei 3 anni di prove l'acqua perduta per ruscellamento fu l'8% di quella applicata.

Da osservazioni effettuate nell'Idaho e nell'Utah su due tipi di terreno con diversi volumi di adacquamento sono risultate perdite per ruscellamento, in % dei volumi di adacquamento (Bauzil, 1952), riportate nella tab. II.



TABELLA II

*Perdite per ruscellamento superficiale in % dei volumi di adacquamento applicati (Bauzil, 1952).*

Colture	Sud Idaho		Servier Valley Utah		
	Terreno limo-argilloso	Terreno ghiaioso	Volumi di adacquamento		
			deboli	medi	forti
Erba medica	19,1	1,8	6 ÷ 28	6 ÷ 24	11 ÷ 25
cereali	25,3	2,3	—	—	—
patate	—	—	1 ÷ 17	9 ÷ 28	19 ÷ 28
barbabietole da zucchero	—	—	3 ÷ 26	17 ÷ 33	20 ÷ 35

TABELLA III

*Perdite di acqua ed efficienza dell'irrigazione aziendale valutate nell'Oregon in diverse condizioni (6).*

Coltura	Perdite in %			Efficienza aziendale dell'irrig. %
	fossi aziendali	ruscellamento superficiale	percolaz.	
a) terreni di medio impasto con sottosuolo a grana fina; buona profondità, giacitura piana; pendenze inferiori al 5%				
foraggiere	5	5	20	70
grano	5	15	20	60
sarchiate	5	20	20	55
b) terreno leggero a tessitura tendente al medio impasto su un sottosuolo molto profondo e grossolano, giacitura piana con pendenze minori del 5%				
foraggiere	7	5	25	63
grano	7	15	25	53
sarchiate	7	20	25	48

(6) Tavole adattate da fogli ciclostilati « Water Requirements and Irrigation frequencies (Oregon), di D. A. WILLIAMS, Portland, Oregon, riportati da G. O. WOODWARD in « Water application efficiencies », « La irrigazione a pioggia » n. 4, Verona, 1957.

## L'EFFICIENZA DELL'IRRIGAZIONE

Coltura	Perdite in %			Efficienza aziendale dell'irrig. %
	fossi aziendali	ruscellamento superficiale	percolaz	
c) terreni simili ad (a) ma ondulati, con pendenza del 15%				
foraggiere	5	20	25	50
grano	5	25	25	45
sarchiate	5	30	25	40
d) terreni a profondità moderata su crosta e terreni sabbiosi ricoprenti substrati a grana fina; giacitura piana; pendenze moderate				
foraggiere	5	5	30	60
grano	5	15	30	50
sarchiate	5	20	30	45
e) terreni a profondità moderata su sabbia grossolana o ghiaia; giacitura piana; pendenze inferiori al 5%				
foraggiere	10	5	40	45
grano	10	15	40	35
sarchiate	10	20	40	30
f) terreni superficiali su crosta o terreni sabbiosi su substrato a tessitura fina; giacitura piana; pendenze inferiori al 5%				
foraggiere	10	5	40	45
grano	10	15	40	35
sarchiate	10	20	40	30
g) terreni superficiali su sabbia grossolana o ghiaia o su terreni di medio impasto a struttura sciolta; profondità moderata per sabbia o ghiaia; giacitura piana, pendenze inferiori al 5%				
foraggiere	12	5	40	43
grano	12	15	40	33
sarchiate	12	20	40	28

## CONCLUSIONI

Dall'esame dei risultati delle prove di efficienza dell'irrigazione fatte da numerosi Autori si rileva:

a) le perdite che si verificano durante il trasporto e la consegna dell'acqua agli utenti raggiungono valori medi oscillanti tra il 40 ed il 60% della quantità di acqua derivata; in alcuni casi di canali rivestiti tali valori possono scendere al 10-30%;

b) le perdite che si verificano nell'ambito aziendale in dipendenza degli adacquamenti possono variare tra il 28 ed il 55% della quantità d'acqua consegnata all'azienda stessa; nel caso di irrigazione a pioggia tali valori si abbassano al 16-30%.

Ne consegue che il coefficiente di efficienza totale dell'irrigazione oscilla tra il 12 ed il 74%, rispettivamente nei casi di impianti aventi canali non rivestiti con irrigazione per espansione superficiale ed in quelli tubati con irrigazione a pioggia.

Di contro l'importanza di ottenere sempre più alti coefficienti di efficienza è oggi notevole, sia nei riguardi di una economia di esercizio, soprattutto laddove l'acqua è sollevata, e sia nei confronti dell'intensificarsi dei bisogni di estendere il beneficio della irrigazione a sempre più vasti territori.

Si prospetta quindi la necessità di attribuire più adeguata importanza ai fattori che costituiscono l'efficienza totale in maniera da realizzare:

1) *da parte dell'Ente gestore:*

— una più alta efficienza del trasporto e consegna dell'acqua agli utenti attraverso l'adozione, principalmente in sede di costruzione dell'impianto, dei più efficaci ritrovati capaci di ridurre il più possibile le perdite e le dispersioni di acqua (dai giunti, dai manufatti speciali, ecc.);

2) *da parte degli agricoltori:*

— una più elevata efficienza dell'adacquamento, o meglio dello accumulo di acqua nello strato radicale interessato, con la riduzione delle perdite per percolazione profonda e per ruscellamento; a tal fine occorre una sempre più intensa e coordinata atti-

vità di assistenza tecnica irrigua capace di esercitare una efficace divulgazione capillare dei dati sperimentali di cui già si dispone ed inerenti la scelta e l'adozione delle più appropriate variabili irrigue in relazione al dimensionamento piano-altimetrico dei campi e delle relative caratteristiche idro-pedologiche.

## RIASSUNTO

### *L'efficienza dell'irrigazione*

L'Autore, considerando che le continue e crescenti esigenze della agricoltura delle zone aride e sub-aride portano necessariamente ad una intensificazione dello sfruttamento delle risorse idriche utilizzabili soprattutto per l'irrigazione collettiva, pone lo accento sui problemi attinenti l'efficienza dell'irrigazione; ossia del rapporto percentuale tra la quantità d'acqua utilizzata delle colture e quella derivata da una qualsiasi fonte di approvvigionamento.

L'esame dei risultati delle prove finora eseguite da numerosi Autori ha confermato che in un comprensorio irriguo la quantità di acqua accumulata nelle zone radicali delle colture, per l'integrazione del bilancio idrico, è relativamente bassa rispetto a quella immessa, per tale scopo, nel medesimo comprensorio.

Le perdite che determinano le basse efficienze vengono distinte in due gruppi principali:

a) quelle relative alla derivazione, al trasporto ed alla consegna dell'acqua fino all'azienda;

b) quelle dipendenti dall'applicazione dell'acqua ai terreni.

Le prime portano l'efficienza nel trasporto e consegna al 40-90%, le seconde riducono l'efficienza dell'adacquamento al 45-84%.

L'A. prospetta, quindi, la necessità che gli Enti concessionari di impianti irrigui collettivi attribuiscono maggiore importanza ai fattori del gruppo a), mentre gli agricoltori - utenti curino in maniera più adeguata quelli del gruppo b).

L'adozione di più efficaci ritrovati capaci di ridurre il più possibile le perdite dall'impianto e l'applicazione delle più appropriate variabili irrigue, idonee a contenere al minimo la perco-

lazione profonda ed il ruscellamento superficiale, non solo contribuiscono, talvolta in misura determinante, ad un più economico esercizio irriguo, ma consentono di poter estendere a più vasti territori i benefici dell'irrigazione.

## SUMMARY

### *Irrigation efficiency*

The continuous and increasing needs of agriculture in arid and sub-arid areas, leading to a more intensified exploitation of water sources for collective irrigation, are considered. The Author emphasizes the problem relating the irrigation efficiency, particularly the percentage ratio between the quantity of water utilized for crops and that derived from any water sources.

The results of the tests carried out by many Authors have confirmed that the quantity of water stored in the root-zone of a crop — to the purpose of integrating the water balance — is relatively low compared to the quantity let to this purpose.

The losses which determine low efficiencies are divided into two main groups:

a) losses relating the conveyance and delivery of water to the farm;

b) losses due to the application of water to the soil.

The former leads to an efficiency of 40-90% in water transportation and delivery, whilst the latter reduces the watering efficiency to 45-84%.

Hence, the Author points out the necessity for the Irrigation Agencies, which dispose of collective irrigation plants, to attach much importance to the first group as well as farmers to the second group.

The adoption of more efficient means, capable of reducing the losses of a water plant as much as possible, and the use of a more appropriate water-variable, capable of reducing to a minimum the deep percolation and the surface run-off, not only contribute, and sometimes in a very determining manner, to a more economic water-working, but also permit larger districts to benefit from the irrigation.

## BIBLIOGRAFIA

1. - ALFANI A., 1952. « *L'irrigazione per infiltrazione a solchi* », L'Italia Agricola, LXXXIX, 701-710.
2. - BAUZIL V., 1952, « *Traité d'irrigation* », vol. I, Éditions Eyrolles, Paris, 413 pp.
3. - BERTÈ M., 1940. « *Criteri di progetto delle reti irrigue, in Manufatti tipici per canali distributori nel comprensorio irriguo del canale Villoresi* », ed. Centro Studi per le applicazioni dell'ingegneria all'agricoltura, Milano, 144 pp.
4. - BOTTINI O., 1957. « *L'acqua del suolo e l'approvvigionamento idrico delle colture* », L'Italia Agricola, XLIV, estr. di 15 pp.
5. - BURGESS-ROE H., 1950. « *Moisture Requirements in agriculture. Farm irrigation* », 1<sup>a</sup> Ed., Mc Graw-Hill, New York, 413 pp.
6. - CANCELLARA E., 1944. « *Idraulica Tecnica* ». REDA, Roma, 460 pp.
7. - CONSOLO F., 1957. « *Aspetti tecnici dell'esercizio* », Cassa per il Mezzogiorno - Atti del 4<sup>o</sup> Convegno Tecnico: giornate di studi sui problemi dell'esercizio irriguo collettivo nel Mezzogiorno, 55-119.
8. - DEGAN A., 1958. « *La classifica ufficiale delle irrigazioni della Associazione Nazionale Bonifiche Irrigazioni e Miglior. Fond.* », Genio Rurale, Vol. XXI, 297 e segg.
9. - DIEBOL C. H., J. A. WILLIAMS, 1948. « *Irrigation trals in New Mexico* », U.S.D.A. Soil Conservation Service Reg. Bul 106, Soil Series 11.
10. - DI RICCO G., 1951. « *Le irrigazioni dei terreni* ». 4<sup>a</sup> Ed., Edizioni Agricole, Bologna, 326 pp.
11. - GRINOVERO G., 1959. « *Distribuzione e consegna dell'acqua - il binomio: reti in pressione - metodi nuovi di irrigazione con erogazione alla domanda* », L'Italia Agricola, XCVI, 843-854.
12. - FALCHI P., ZAPPA R., 1958. « *La dinamica dell'acqua negli strati del terreno* ». Centro Studi sull'irrigazione e la fertirrigazione, Atti 1957, Suppl. a La Ricerca Scientifica, Roma, Anno 28<sup>o</sup>, 57-83.
13. - FREVERT R. K., G. O. SCHWAB, T. W. EDMINSTER, K. K. BARNES, 1959. « *Soil and water conservation Engineering* », 1<sup>a</sup> Ed., Wiley & Sons, New York, 479 pp.
14. - FUHRIMAN D. K., 1951. « *Measuring water-application efficiency of Irrigation* ». Agr. Eng., XXXII, 430-433.
15. - HANSEN V. E., 1953. « *Water-storage efficiency* », Agr. Eng., XXXIV, 835-836.
16. - HALL W. A., 1960. « *Design of irrigation border checks* », Agr. Eng., XLI, 439-442.
17. - HOUK I. E., 1951. « *Irrigation Engineering* », vol. 1<sup>o</sup>, Wiley & Sons, New York, 545 pp.
18. - ISRAELSEN O. W., 1939. « *Water application efficiencies* », Agr. Eng., XX, 55-56.
19. - ISRAELSEN, O. W., 1958. « *Irrigation principles and pratices* », 2<sup>a</sup> Ed., Wiley & Sons, New York, 405 pp.
20. - ISRAELSEN O. W., V. D. CRIDDLE, O. K. FUHRIMAN, V. E. HANSEN, 1944. « *Water-application efficiencies in Irrigation* », Utah Agr. Exp. Sta., Bul. 311.
21. - MATARRESE N., 1959. « *Aspetti organizzativi dell'esercizio degli impianti irrigui collettivi* », Genio Rurale, XXII, 121-136.
22. - PANTANELLI E., 1951. « *Ricerche su la percolazione dell'acqua nel terreno* », Annali della Sperimentazione agraria (nuova serie), Roma, V, estr. di 26 pp.
23. - ROMANO E., LAUCIANI E., 1958. « *Sui rapporti acqua-terreno nella pratica irrigua* », L'irrigazione, n. 3-4, 206-217.

24. - ROMANO E., PAGLIUCA C., 1959. « *L'intensità istantanea della pioggia ed il suo valore agronomico* », *L'irrigazione*, n. 3, estr. di 4 pp.
25. - ROSS P. E., N. P. SWANSON, 1957. « *Level Irrigation* », *J. Soil and water Conservation*, XII, 209-214.
26. - SCARDACCIONE D., 1960. « *Irrigazione e sviluppo dell'Agricoltura meridionale* », *Genio Rurale*, XXIII, 515-520.
27. - SCHOENLEBER, L. H., 1943. « *A study of garden irrigation* », *Agr. Eng.*, XXIV, 75-78.
28. - SCHWALEN H. C., K. R. FROST, W. W. HINZ, 1953. « *Sprinkler irrigation* », *Agr. Exp. Sta. University of Arizona, Tucson, Bull.* 250.
29. - SOMERHALDER B. R., 1958. « *Comparing efficiencies in irrigation Water application* », *Agr. Eng.*, XXXIX, 156-159.
30. - U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1951. « *Irrigation, Advisers' Guide* », 216 pp.
31. - U.S. Soil Conservation Service, 1959. « *Regional Engineering Handbook* », Chap. VI, Conservation irrigation, Portland.
32. - VELATTA M., 1954. « *L'irrigazione nell'Africa settentrionale e nel Medio Oriente* », *Atti del 3° Convegno tecnico su « I problemi della irrigazione a pioggia nelle zone sub-aride del bacino del Mediterraneo »*, Centro Internazionale per gli Studi sull'irrigazione a pioggia. Verona, 99-133.
33. - WOODWARD G. O., 1957. « *Water application efficiencies* », *L'irrigazione a pioggia*, IV, 407-420.
34. - ROHWER C. S., O. V. P. STOUT, 1948. « *Seepage losses from irrigation channels* », *Colo. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull.* 36 .