

PRIME VERIFICHE DEL LABORATORIO NAZIONALE DELL'IRRIGAZIONE NEL SETTORE DEGLI IRRIGATORI A PIOGGIA

Pier Gino Megale¹

RESUMEN: Se presenta una breve descripción del Laboratorio Nacional del Riego de Italia y su banco de ensayo cubierto de riego por aspersión, así como las especificaciones de los procedimientos de prueba utilizados para evaluar las prestaciones del sistema y de las unidades. El primer ensayo completo con los métodos descritos fue realizado con un pequeño aspersor de turbina de Rain Bird, utilizado en jardines y pequeñas zonas verdes. Los resultados se describen en términos de los parámetros de calificación propuestos por este Laboratorio, que son análogos a los que describen las normas ISO. La distribución del agua en el suelo se ilustra mediante diagramas espaciales e histogramas de frecuencia. Los polígonos de área húmeda acumulada proveen una representación bastante efectiva de la distribución del agua en el suelo, lo que permite una determinación inmediata del campo de variación del caudal del aspersor comparado con los valores medios, conforme aumenta el área bañada por el mismo.

Este primer ensayo confirma que la metodología utilizada, así como la capacidad operativa y funcional del banco de ensayos responden perfectamente a los requisitos que se buscaban en la fase de diseño.

PREMESSA

Con legge 1° luglio 1977, n. 403 è stato istituito il *Laboratorio Nazionale dell'Irrigazione destinato alla verifica, promozione ed omologazione ufficiale delle apparecchiature irrigue ed allo studio e divulgazione di nuove tecniche irrigue*. Il laboratorio, realizzato dall'Università di Pisa per conto del Ministero delle risorse agricole, alimentari e forestali, è affidato al Settore *idraulica agraria ed ingegneria del territorio* del Dipartimento di agronomia e gestione dell'agro-ecosistema della medesima università.

Alcune difficoltà burocratiche ne hanno ritardato la realizzazione fino al 1991 e soltanto di recente, dopo un periodo di scrupolosa messa a punto, il laboratorio ha iniziato a lavorare anche nel settore dell'irrigazione ad aspersione, grazie al banco di prova al coperto per irrigatori a pioggia di cui il laboratorio è dotato.

In questo articolo, dando notizia dell'inizio della nuova attività, si riferiscono le esperienze condotte su un piccolo irrigatore a scomparsa da giardinaggio, il primo sottoposto alla completa procedura di prova, illustrando nel contempo il funzionamento del banco ed i metodi di prova adottati.

IL LABORATORIO

Con il Laboratorio Nazionale dell'Irrigazione il ministero dell'agricoltura ha inteso realizzare un centro attrezzato e specializzato che, in stretta simbiosi col mondo universitario, può fornire un prezioso servizio all'agricoltura ed a tutto il mondo tecnico ed industriale legato all'irrigazione (Megale, 1993).

Il Laboratorio è stato realizzato nei dintorni di Pisa, in una zona già sede di altre strutture universitarie e di ricerca, ristrutturando un capannone agricolo del secolo passato (*Figura 1*). L'intervento di trasformazione, pur rispettando le peculiari caratteristiche architettoniche e costruttive del vecchio edificio, ha prodotto una struttura moderna, sufficientemente funzionale e ben articolata con qualche pretesa di sobria eleganza.

All'interno del fabbricato sono stati realizzati 460 m² di laboratori serviti da circa 260 m² di uffici e da 120 m² di locali accessori. Oltre i due terzi della superficie dei laboratori sono occupati dal laboratorio di idraulica e dal banco di prova degli irrigatori a pioggia, che si affianca al vecchio banco per gocciolatori, in via di smantellamento, ed a quello più recente per linee gocciolanti integrali fino a 200 m di lunghezza.

¹ Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agro-Ecosistema. Settore idraulica Agraria e Ingegneria del Territorio. Università degli Studi di Pisa. Via S. Michele degli Scalzi, 2 - 56124 - Pisa, Italia. Laboratorio Nazionale dell'Irrigazione - pgmegale@lni.unipi.it



Figura 1: Il capannone completamente ristrutturato sede del Laboratorio Nazionale dell'Irrigazione

IL BANCO AL COPERTO PER IRRIGATORI A PIOGGIA

L'elemento più rilevante del Laboratorio è rappresentato dal banco di prova per irrigatori che, ricollegandosi all'esperienza avviata nel 1953 dal Prof. Stefanelli a Bologna (Manfredi, 1954,1957,1961) (Stefanelli, 1954, 1955), viene a sanare una carenza inammissibile per un paese come l'Italia, tradizionalmente all'avanguardia nel settore dell'irrigazione (Stefanelli, 1952) (Centro Studi Irrigazione, 1958) (ANBI, 1964).

Il nuovo banco è concepito per avere una grande elasticità di utilizzazione, che ne fa un efficace strumento di ricerca oltre che di verifica ed omologazione. Per definirne adeguatamente i requisiti tecnici e funzionali, il progetto è stato preceduto da un'indagine sulle soluzioni (Culver, Sinkler, 1966) (Kohl, 1972) (Fiscer, Wallender, 1986) (Hodges *et al.*, 1990), sulle procedure (CTGREF, 1978), (DAE, 1983), (Tarjuelo *et al.*, 1992) e sulle norme di prova adottate dai laboratori di altri paesi (ASAE, 1989) (ISO, 1990) (Megale, 1992). I parametri e le proce-



Figura 2: Banco prova per irrigatori con gittata fino a 28m

dure esaminate scaturiscono da orientamenti sperimentali diversi, che pur non influenzando in modo decisivo sulle apparecchiature, determinano metodi di prova differenti. Infatti mentre in taluni casi si predilige un'indagine che consenta di indicare agli utenti le prestazioni degli irrigatori e che permetta ai costruttori di verificare dei risultati delle loro innovazioni (Van Zyl, 1986), in altri casi lo scopo principale è quello di verificare che le prestazioni dei prodotti di Serie rispettino le caratteristiche dichiarate dal costruttore (ISO, 1986). Sapendo che in Italia non sarebbe stato possibile sviluppare subito un vero e proprio servizio di omologazione, nel progettare il banco si è fatto riferimento a procedure più tipicamente sperimentali (Megale, 1994).

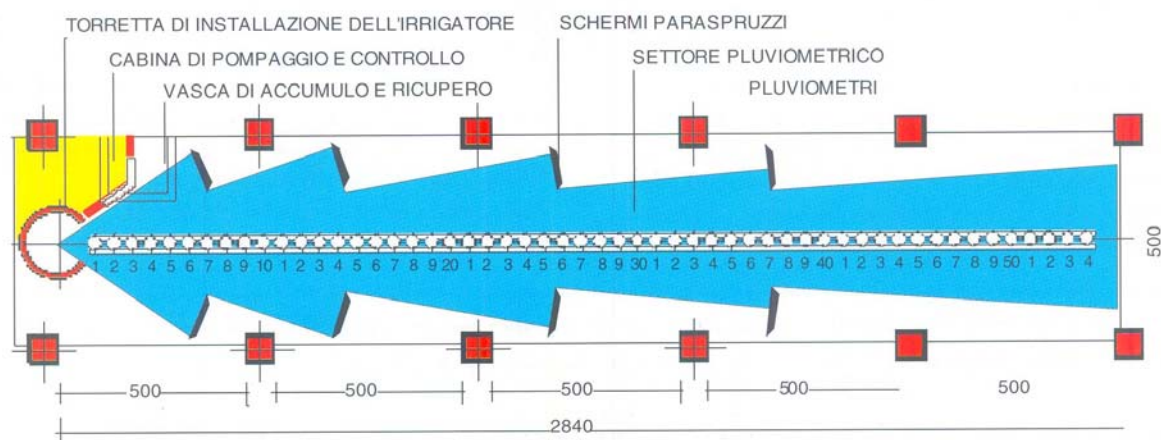


Figura 3: Schema planimetrico del banco al coperto per irrigatori a pioggia

Il banco è costituito essenzialmente da 54 punti mobili di misura, realizzati da pluviometri circolari di $0,1 \text{ m}^2$ di superficie, che, tramite altrettante celle di carico, rilevano la pluviometria dell'irrigatore lungo un raggio dell'area bagnata in asse ad un settore circolare di ampiezza variabile con la distanza dall'irrigatore (Figura 2). La contrazione del settore bagnato è ottenuta con schermi in rete che, senza produrre interferenze sulla misura della pluviometria, ne riducono l'apertura da 70° , in prossimità dell'irrigatore, a 10° in corrispondenza dei pluviometri più lontani (Figura 3). Il complesso dei pluviometri e quello dei relativi elementi di misura sono montati su telai di sostegno indipendenti, per impedire la trasmissione alle celle di carico delle vibrazioni delle parti investite dal getto degli irrigatori. I pluviometri sono posti normalmente ad interasse di $0,5 \text{ m}$ e coprono una gittata massima di 28 m .

L'irrigatore, installato all'interno di una torretta di schermatura, è montato su un sostegno tubolare registrabile col centro del boccaglio principale 60 cm sopra della bocca dei pluviometri. Un sistema servomeccanizzato permette di modificare la posizione dell'irrigatore, ruotando il sostegno con incrementi programmabili. La velocità di rotazione dell'irrigatore è rilevata da un sistema a cellula fotoelettrica mosso dall'irrigatore stesso tramite un accoppiamento meccanico (Figura 4).

L'irrigatore è alimentato da una elettropompa tramite una condotta con by-pass che scarica la portata in eccesso nella vasca di ricircolo. Attraverso due regolatori digitali, comandati da altrettanti trasmettitori di pressione, due due valvole di regolazione con attuatore pneumatico regolano la pressione all'irrigatore. La portata è misurata con due misuratori elettromagnetici di precisione con differenti campi di misura montati in parallelo sulla mandata (Figura 5).



Figura 4: Torretta di installazione dell'irrigatore.

Tutto il complesso è controllato da un sistema elettronico che provvede a regolare la pressione all'irrigatore, a ruotarne il sostegno, a comandare il vuotamento dei misuratori di pioggia ad ogni fase di prova ed a misurare e registrare la portata e la velocità di rotazione

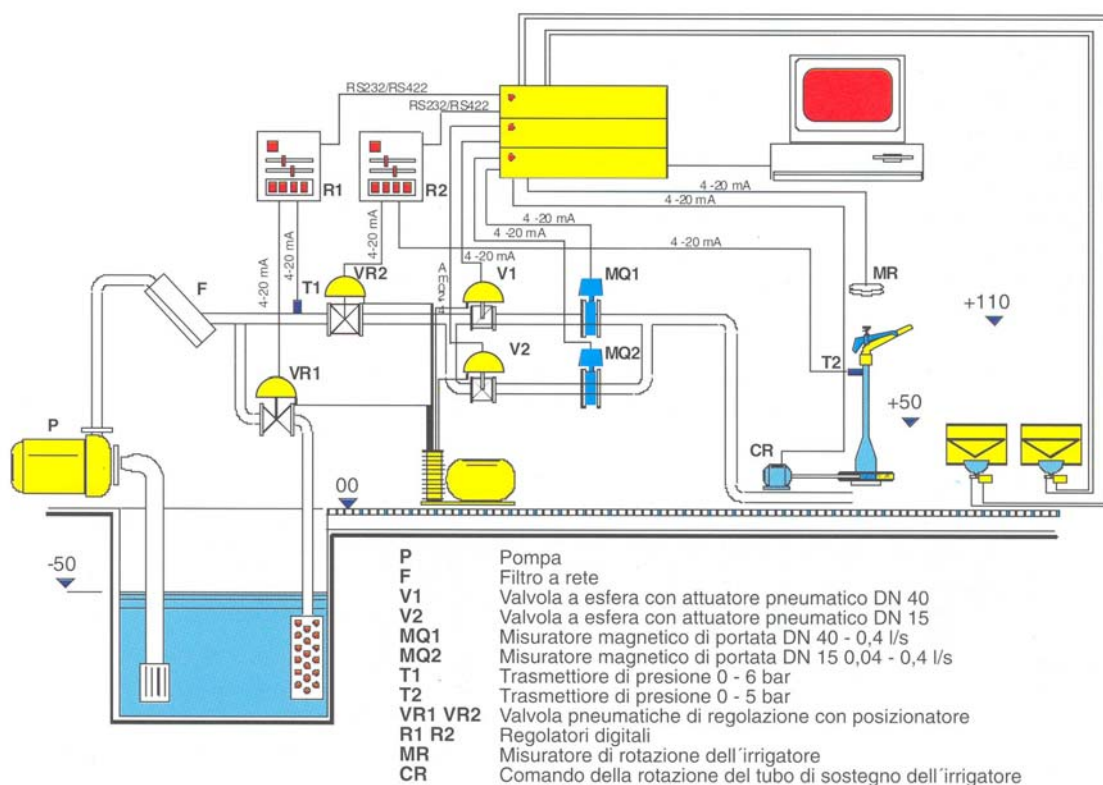


Figura 5: Schema del sistema di alimentazione e di misura del banco prova irrigatori

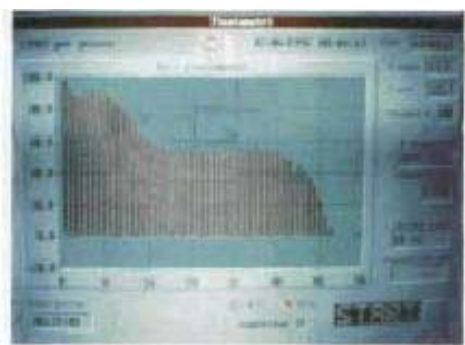


Figura 6: Schermo di controllo del sistema di comando ed acquisizione del banco prova per irrigatori.

dell'irrigatore, la temperatura dell'acqua, la temperatura e l'umidità dell'aria, nonché la quantità di pioggia raccolta da ogni pluviometro con una frequenza pari a quella di rotazione dell'irrigatore (Figura 6).

I dati rilevati e registrati temporaneamente nella memoria locale, sono elaborati secondo procedure impostate dall'operatore ed i risultati sono definitivamente memorizzati nella memoria di massa della rete del Laboratorio, per successive ulteriori indagini ed elaborazioni.

PROCEDURA DI PROVA E PARAMETRI DI QUALIFICAZIONE

Sfruttando l'alto livello di automazione del banco, la procedura vuole individuare le prestazioni dell'irrigatore nelle migliori condizioni di esercizio, dando una stima delle relative variabilità e verificare come tali prestazioni e dispersioni si modificano al variare delle condizioni di funzionamento (Megale, 1995).

Il campione è costituito da 5 esemplari dell'irrigatore, tutti dotati del medesimo bocaglio. Di norma la prova è effettuata escludendo, là dove vi sia, il rompigetto. Ad uno ad uno tutti gli esemplari del campione sono sottoposti alla medesima procedura di prova.

Procedura di prova

Dopo un'ora di rodaggio alla pressione indicata dal costruttore come quella a cui corrispondono le migliori prestazioni dell'irrigatore, viene effettuata la prova di rotazione, che consiste nel determinare su 10 giri consecutivi la media del periodo di rotazione e del tempo impiegato dall'irrigatore per compiere ciascun quarto di giro.

Il più alto valore assoluto degli scarti relativi rispetto alla media dei tempi di percorrenza di ciascuno dei 4 quadranti è assunto come elemento di valutazione dell'uniformità di rotazione tramite il seguente parametro:

$$Ur = 100 \left(1 - \frac{4 \left| t_{j\mu} - \frac{T_{\mu}}{4} \right|_{\max}}{T_{\mu}} \right) \quad (1)$$

dove Ur = uniformità di rotazione del singolo elemento del campione; $t_{j\mu}$ = media su 10 giri dei tempi impiegati per percorrere il quadrante j ; T_{μ} = periodo di rotazione medio calcolato su 10 giri.

Terminata questa fase ha inizio la misura della distribuzione della pioggia; ad ogni giro dell'irrigatore il sistema rileva l'acqua intercettata dai pluviometri e ne registra il valore cumulato. La prova dura normalmente 1 h ed ogni quarto d'ora l'irrigatore è ruotato di 90°, così che al termine della prova stessa i valori cumulati dell'acqua raccolta dai pluviometri forniscono l'andamento medio radiale della pioggia nelle 4 direzioni. Naturalmente durante la prova vengono rilevate con la stessa frequenza di rilevamento della pluviometria anche la pressione all'irrigatore, la sua portata e le temperature dell'acqua e dell'aria.

La medesima procedura, rodaggio a parte, è ripetuta ad altre due pressioni l'una superiore e l'altra inferiore del 10% rispetto alla precedente.

Parametri di qualificazione

Al termine delle prove, conoscendo il funzionamento di cinque irrigatori a tre diverse pressioni centrate sul campo di esercizio, è possibile descrivere le prestazioni dell'irrigatore in diverse condizioni di funzionamento attraverso i seguenti parametri.

a) Portata

Per la portata è fornita la *portata media* del campione a ciascuna pressione di prova ed il relativo *coefficiente di variazione*.

b) Rotazione

Per la rotazione è fornito il *periodo medio* del campione a ciascuna pressione di prova ed il relativo *coefficiente di variazione*.

Anche la valutazione dell'uniformità di rotazione avviene tramite il *valore medio delle uniformità di rotazione* dei singoli irrigatori, come definite in precedenza, e tramite il loro *scarto quadratico medio*. In relazione alla grande importanza dell'uniformità di rotazione si ritiene opportuno che sia rispettato un limite minimo del 90% con un frattile dell'uno per cento, ovvero che con un campione di 5 esemplari sia soddisfatta la condizione:

$$Sq = \frac{Ur_m - 90}{s} \geq 1,53 \quad (2)$$

dove Sq = statistica di qualità secondo ISO 3951; Ur_m = uniformità di rotazione del campione; s = scarto quadratico medio.

c) Gittata

Per ciascuna pressione di prova la gittata è definita dalla *media delle gittate* del campione, intesa come la massima distanza dall'irrigatore a cui si verifica un'intensità di pioggia non inferiore a 0,2 mm/h.

d) Distribuzione dell'acqua

La distribuzione dell'acqua è rappresentata fondamentalmente dal *diagramma pluviometrico medio* del campione.

Per valutare la dispersione dei dati pluviometrici intorno ai valori medi si ricorre ad un parametro, indicato come *scostamento dal diagramma pluviometrico*, definito dalla seguente espressione:

$$S = 100 \frac{\sum_{i=1}^n r_i \delta i_i}{\sum_{i=1}^n r_i i_{m,i}} \quad (3)$$

in cui n = numero dei pluviometri; r_i = distanza dall'irrigatore del pluviometro i ; δi_i = scarto medio assoluto dalla media $i_{m,i}$ delle intensità di pioggia rilevate per i 5 esemplari del campione dal pluviometro i .

e) Rendimento dell'irrigatore

Per rendere possibile una valutazione dell'efficienza idromeccanica dell'irrigatore è stato introdotto un parametro energetico, il *rendimento globale*, dato dal rapporto tra la potenza del getto libero e la potenza della corrente all'ingresso dell'irrigatore:

$$\eta = 100 \frac{\gamma U_u^2}{2gP + U_e^2} \quad (4)$$

dove P = pressione all'irrigatore; U_e = velocità media dell'acqua nel tubo portairrigatore; U_u = velocità dell'acqua all'uscita del bocaglio; g = accelerazione di gravità; γ = peso specifico dell'acqua.

f) Uniformità di irrigazione

L'uniformità di irrigazione è valutata col metodo di Christiansen. Per ogni pressione di prova sono calcolati i *coefficienti di uniformità* C_u per vari schemi di avanzamento, simulando la sovrapposizione dei solidi di pioggia ottenuti dalla rotazione intorno all'irrigatore dei diagrammi pluviometrici medi:

$$C_u = 100 \left(1 - \frac{\sum |i_i - i_m|}{n i_m} \right) \quad (5)$$

in cui n = numero dei punti di misura; i_i = intensità di pioggia nel punto i ; i_m = valor medio delle intensità rilevate.

PRIMA VERIFICA SPERIMENTALE

Ultimata la messa a punto del banco, fatta con un irrigatore di media grandezza, tale da coprire praticamente tutto il campo di misura disponibile, si è affrontata una prova completa sotto ogni aspetto, così come indicato dalle procedure previste.

Diametro dei pluviometri	cm	35.7
Distanza tra i pluviometri	m	0.5
Tubo porta irrigatore UNI 3824	inch	3/4
Altezza del bocaglio	m	0.6
Temperatura dell'aria	°C	13
Temperatura dell'acqua	°C	14.5

Tabelle 1: Condizioni generali di prova

,soddisfacente. Si nota poi che le uniformità aumentano al diminuire della pressione e che lo schema di avanzamento in triangolo dà luogo ad uniformità migliori di quelle in quadrato con una densità di irrigatori assai più bassa.

Stando ai risultati delle prove, che però non tengono conto dell'azione del vento, sembra ingiustificato avvicinare troppo gli irrigatori tra loro, specialmente se la gestione dell'impianto non pone limitazioni all'orario.

Nelle Figure 11 e 12 sono rappresentati i solidi di pioggia per gli schemi di avanzamento in quadrato ed in rettangolo, che permettono, meglio di ogni altro strumento, di apprezzare l'andamento dell'altezza di pioggia. La pressione considerata è quella più bassa, che ha dato luogo ai più alti valori di uniformità. Fatta eccezione per i picchi che si verificano in aree limitatissime intorno all'irrigatore, le variazioni di intensità di pioggia sono graduali e contenute, così che per i casi presi in esame i coefficienti di Christiansen risultano effettivamente rappresentativi dell'uniformità di irrigazione.

In fine la rappresentazione più dettagliata della distribuzione della pioggia è fornita dagli istogrammi di frequenza relativa e dalle ogive percentuali. Nelle Figure 13 e 14 sono riportati tali diagrammi con riferimento agli schemi di avanzamento, in quadrato ed in triangolo, che danno luogo alla massima uniformità. Da essi sono stati esclusi i picchi di intensità di pioggia che si verificano nell'immediato intorno degli irrigatori.

Si può notare come per lo schema di avanzamento in triangolo al più alto valore del coefficiente di uniformità C_u corrisponda anche una minore ampiezza del cam-

Pressione	mc.a.	26.3	29.3	32.3
Portata	l/min	12.87	13.63	14.35
Coefficiente di variazione		0.049	0.051	0.054
Coefficiente di efflusso medio			0.82	
Periodo	s	68.48	67.05	67.40
Coefficiente di variazione		0.075	0.076	0.080
Uniformità di rotazione	%	99.3	99.2	99.0
Scarto quadratico medio	%	0.29	0.33	0.61
Statistica di qualità		32.14	27.45	14.75
Gittata	m	10.1	10.0	9.9
Scostamento dal diagramma pluviometrico	&	12.1	11.9	12.3
Rendimento globale	&	66.7	67.2	67.9

Tabelle 2: Rapporto di prova

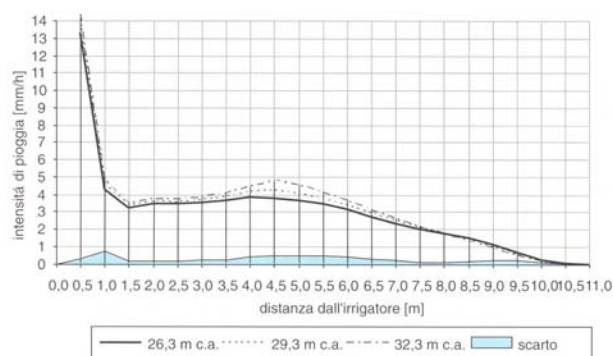


Figura 7: Diagramma pluviometrico e diagramma degli scarti medi assoluti dalla media delle intensità di pioggia dell'irrigatore Rain Bird T40 alla pressione di 26,3 m c.a.

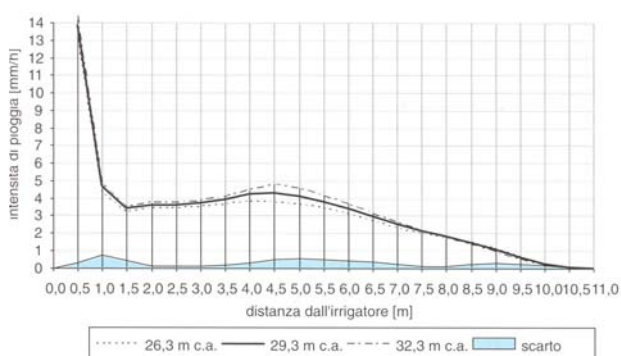


Figura 8: Diagramma pluviometrico e diagramma degli scarti medi assoluti dalla media delle intensità di pioggia dell'irrigatore Rain Bird T40 alla pressione di 29,3 m c.a.

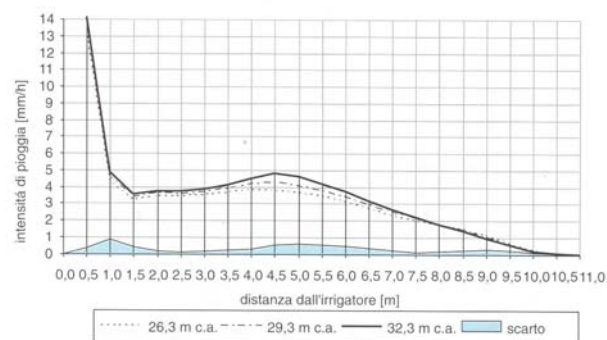


Figura 9: Diagramma pluviometrico e diagramma degli scarti medi assoluti dalla media delle intensità di pioggia dell'irrigatore Rain Bird T40 alla pressione di 32,3 m c.a.

po di variazione dell'intensità di pioggia.

Una rappresentazione più efficace della distribuzione dell'acqua sul terreno e forse fornita dai poligoni delle superfici bagnate cumulate riferite ad intervalli relativi crescenti dell'intensità di pioggia rispetto al valor medio (Figure 15 e 16). Tali curve consentono di individuare immediatamente il campo di variazione della pioggia rispetto al valor medio al crescere della superficie bagnata. Mentre nel caso esaminato di irrigatori in quadrato (Figura 15) soltanto il 55% della superficie è investita da un'intensità di pioggia variabile tra il 10% in meno ed il 10% in più del valor medio, nel caso di irrigatori in triangolo (Figura 16) tali limiti sono rispettati su almeno il 90% dell'intera superficie bagnata.

CONCLUSIONI

Per quanto gli intralci burocratici abbiano ritardato di quasi 13 anni la realizzazione del Laboratorio, riducendo a circa un quarto il potere di acquisto del finanziamento, quello che è stato possibile realizzare è sufficiente per avviare un'attività qualificata che potrà contribuire a migliorare la qualità dell'irrigazione. Resta comunque Famarezza di aver visto bruciare 13 anni di svalutazione e soprattutto di aver dovuto perdere 13 anni di attività, di ricerca e di esperienza che non sarà facile recuperare.

Fin dalle prime battute il banco di prova al coperto per irrigatori a pioggia si è dimostrato uno strumento

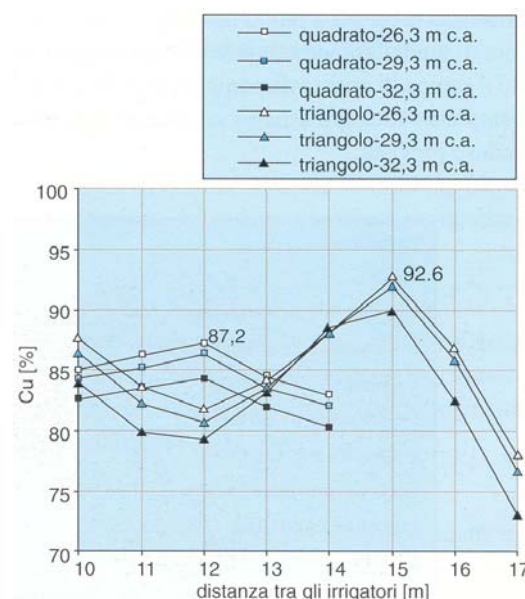


Figura 10: Uniformità di irrigazione per vari schemi di avanzamento alle tre pressioni di prova dell'irrigatore Rain Bird T40.

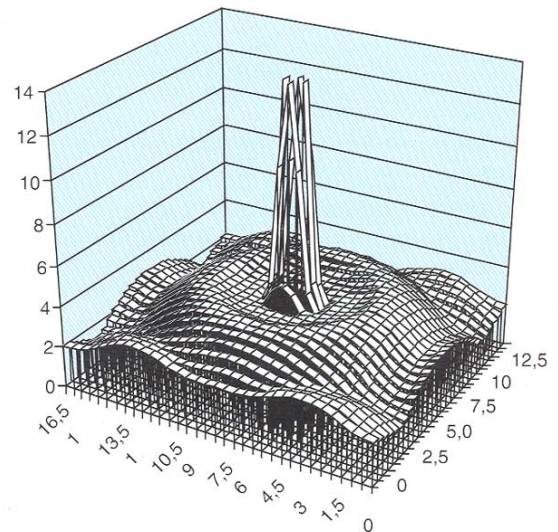
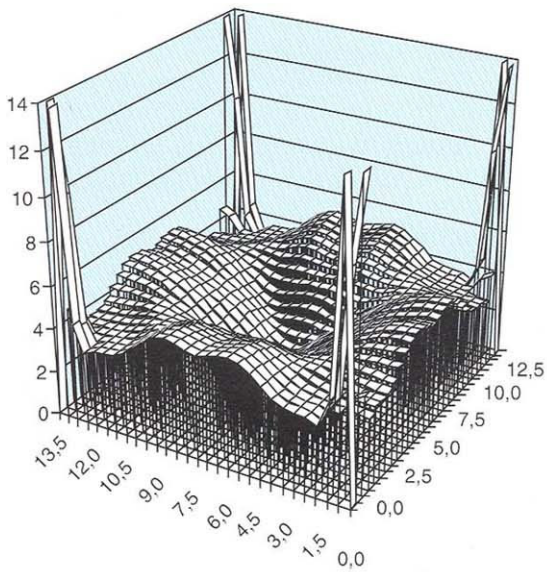
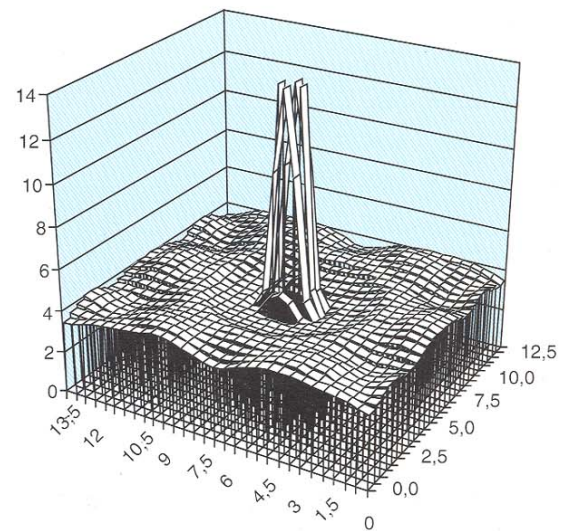
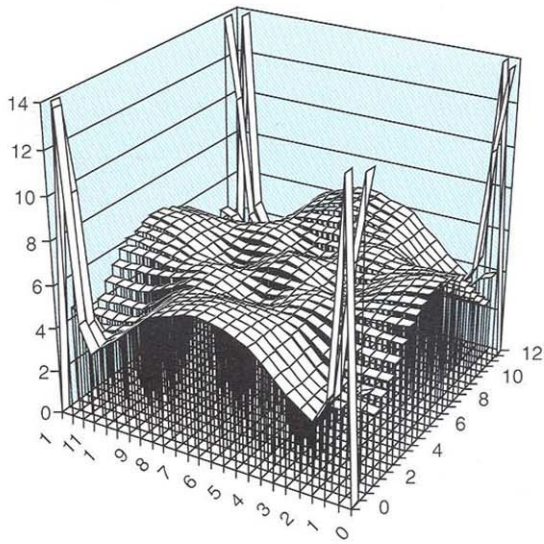
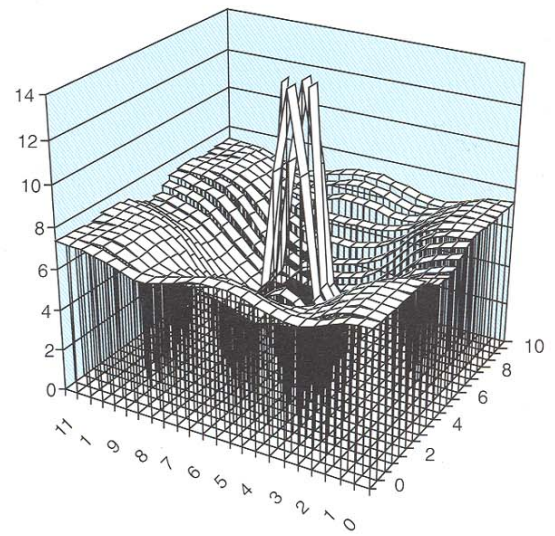
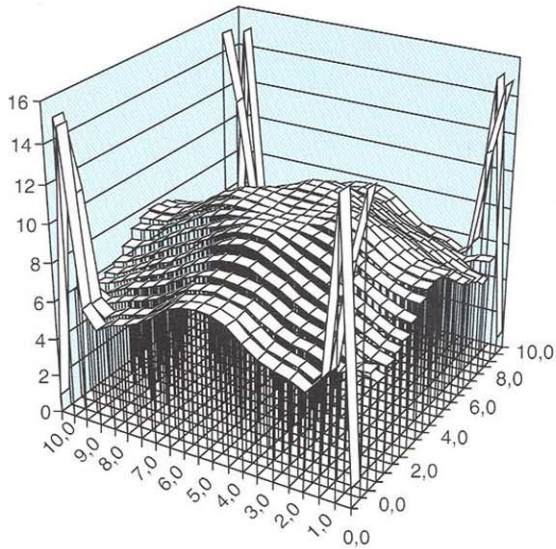


Figura11: Solidi di pioggia dell'ir rigatore Rain Bird T40 alla pressione di 26,3 m c.a. disposto in quadrato alla distanza di 10, 12 e 14 m

Figural2: Solidi di pioggia dell 'ir rigatore Rain Bird T40 alla pressione di 26,3 m c.a. disposto in triangolo 12x10,5, 15x13 e 17x14,5 m.

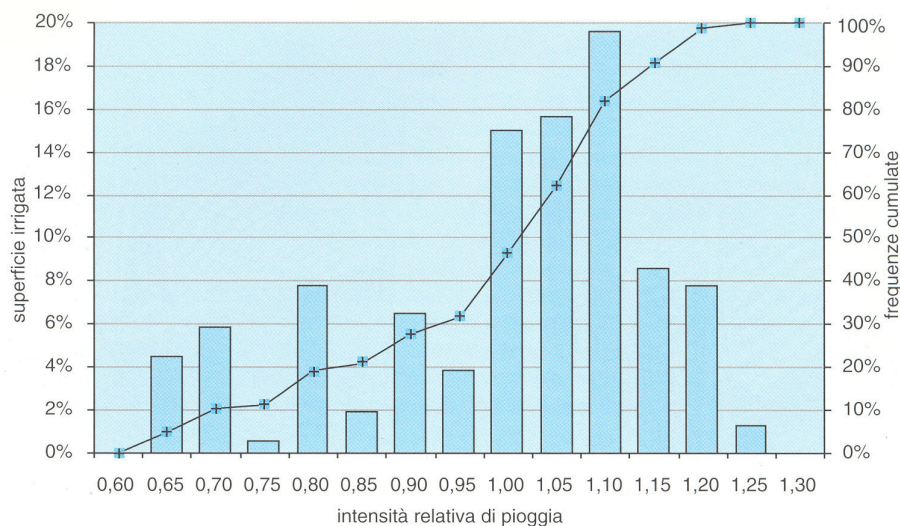


Figura13: Istogramma di frequenza relativa ed ogiva percentuale della distribuzione di pioggia dell'irrigatore Rain Bird T40 in quadrato 12x12 alla pressione di 26.3 m c.a.

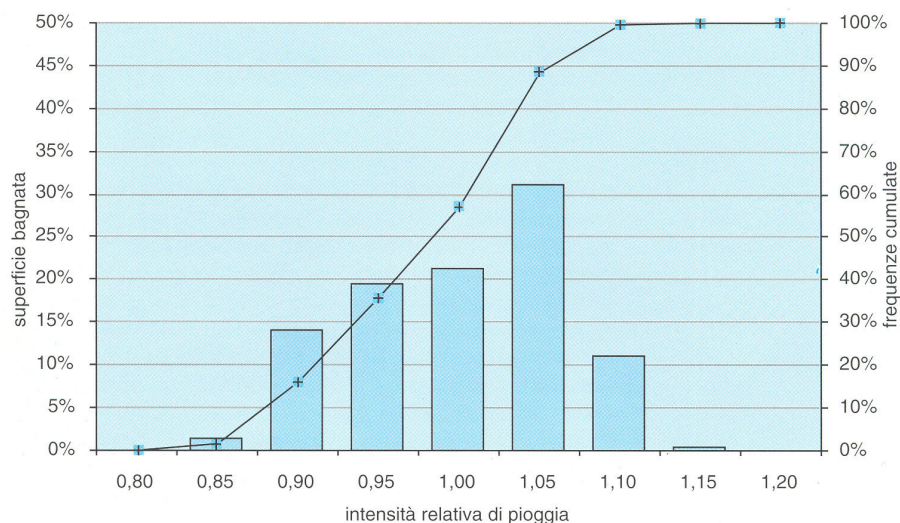


Figura14: Istogramma di frequenza relativa ed ogiva percentuale della distribuzione di pioggia dell'irrigatore Rain Bird T40 in triangolo 15x13 alla pressione di 26,3 m c.a.

formidabile che apre nuovi orizzonti nel panorama dell'irrigazione italiana e, forse, europea.

Le prime prove compiute secondo i metodi descritti, lasciano ritenere che tanto le metodologie adottate quanto le capacità operative e funzionali del banco rispondano perfettamente ai requisiti auspicati in fase di progetto.

Non è qui il caso di mettere in discussione le prestazioni dell'irrigatore Rain Bird con cui ha debuttato il banco, in quanto l'oggetto della prova non era l'irrigatore, bensì il banco stesso. Certo è che in base ai risultati ottenuti questo irrigatore potrà essere impiegato al meglio, probabilmente in disaccordo con la prassi di installazione più frequente.

Al termine di questa esperienza, che ha impegnato per la prima volta in maniera organica la struttura del Laboratorio nel settore dell'irrigazione a pioggia, è apparso chiaro

che il lavoro sin qui fatto ha rappresentato soltanto una piccola tappa di un cammino che è ancora tutto da percorrere.

NOTAZIONE

- C_u coefficiente di uniformità di distribuzione secondo Christiansen
- δi_i scarto medio assoluto dalla media delle intensità di pioggia prodotte dai 5 elementi del campione in corrispondenza del pluviometro i
- g accelerazione di gravità
- γ peso specifico dell'acqua
- i indicatore di un generico pluviometro
- i intensità di pioggia
- $i_{m,i}$ media delle intensità di pioggia prodotte dai 5 elementi del campione in corrispondenza del pluviometro i
- $i_{x,i}$ intensità di pioggia prodotta dall'elemento x del campione in corrispondenza del pluviometro i

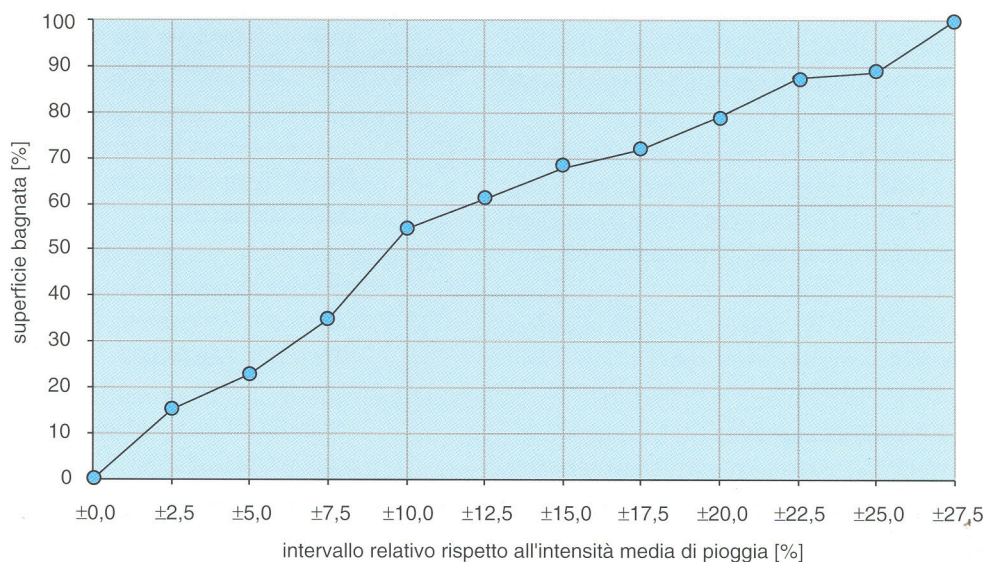


Figura15: Poligono delle superfici bagnate cumulative dell'irrigatore Rain Bird T40 in quadrato 12x12 alla pressione di 26,3 m c.a.

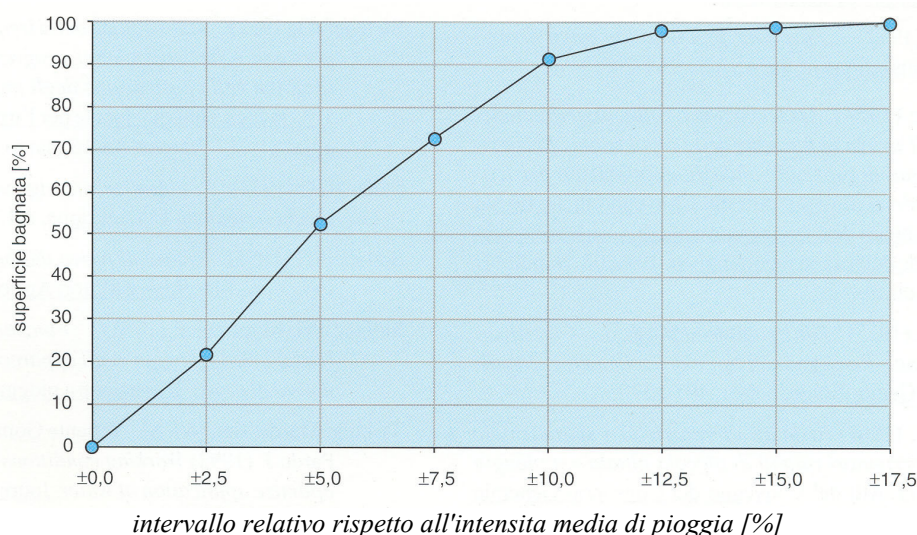


Figura16: Poligono delle superfici bagnate cumulative dell'irrigatore Rain Bird T40 in triangolo 15x13 alla pressione di 26,3 m c.a.

j	indicatore di un generico quadrante del cerchio coperto dall'irrigatore
μ, m	indicatori di media
v	rendimento globale
P	pressione all'irrigatore
r_i	distanza del pluviometro i dall'asse di rotazione dell'irrigatore
s	scarto quadratico medio
Sq	statistica di qualità secondo ISO 3951
T	periodo di rotazione di un irrigatore
U_e	velocità media dell'acqua nel tubo portairrigatore
U_r	uniformità di rotazione del singolo irrigatore
U_{r_m}	uniformità di rotazione del campione
U_u	velocità media dell'acqua all'uscita del boccaglio
x	indicatore del generico elemento del campione

BIBLIOGRAFIA

- Aleoti A(1955) *Un indicatore istantaneo di portata per apparecchi irrigatori*. L'irrigazione. IV:
- ASAE Standars(1989) ASAE S330.1. Procedure for sprinkler distribution testing for research purposes. 518-520.
- ASAE Standars.(1989) ASAE S398.1. Procedure for sprinkler testing and performance reporting.
- Centro Internazionale di Studi sul L'irrigazione a Pioggia (1958) *Schema di norme sugli impianti di irrigazione a pioggia*. Atti del VI Convegno regionale su L'irrigazione a pioggia in Val Padana. Milano.
- Commisione d'Indagine Promossa dalla Associazione Nazionale delle Bonifque e dal Centra per gli Studi sulla Irrigazione a Pioggia de Verona (1964) *Relazione finale: La irrigazione a pioggia in Italia*. La bonifica integrale. XI.

- CTGRF (1978) *Bulletin d'essai n°20. Aix en Provence.*
- Culver r. Sinker R. F. (1966). *Rapid assessment of sprinkler performance. Journal of the Irrigation and Drainage Division*, march: 1-17.
- Division of Agricultural Engineering, Department of Agri-culture .(1983) *Test procedure for sprinklers - Con-ditions for official testing of agricultural machines and equipment in commercial production.* Sil-verton.
- Fiscer G.R., Wallender W. W.. (1986) *Influence of collectors on measuring sprinkler water distribution. ASAE Paper* n.86-2105. St. Joseph, MI.
- Hodges K. J, Evans R. G., James L. G., Kroeger M. W., LeyT. W. (1990) *Automated facility for sprinkler performance testing. Transactions of the ASAE* 6(4): 437-440.
- ISO.(1976) ISO/DIS 3951. *Règles et tables d'echantillonnage pour les controles par mesures des pour-centages de defectueux.*
- KohlR.A.(1972) *Sprinkler precipitation gage errors. Transactions of the ASAE*: 264-265.
- Manfredie.(1954) *Osservazioni sulla distribuzione dell'acqua infunzione della regolazione. Primi risultati di prove al banco di orientamento per irrigatori a pioggia.* Atti del Convegno di studio sui problemi dell'irrigazione a pioggia nelle zone sub-aride del bacino mediterraneo: 193-205. Napoli 11-12 dicembre.
- Manfredie.(1957) *Gli irrigatori a pioggia. - Classificazione - Rassegna dei tipi e orientamenti costruttivi. Genio Rurale*, n.4-5: 497-537.
- Manfredie. (1961) *Risultati di una ricerca sperimentale su irrigatori rotanti di piccola gittata e a pioggia lenta.* Atti del Convegno del Consorzio Generale per la bonifica della Capitanata. Foggia.
- Megale P.G.(1992) *Progetto del banco di prova al coperto per irrigatori a pioggia del Laboratorio Nazionale dell'Irrigazione. Nota 1 - Indagine preliminare. Irrigazione e drenaggio*, IV: 39-46.
- MegaleP.G.(1993) *Il Laboratorio Nazionale dell'Irrigazione.* Intervento alla XX Giornata dell'Irrigazione" Irrigazione e drenaggio, III: 67-70.
- MegaleP.G.(1994) *Situazione e problemi della normazione nel campo dell 'irrigazione. Giornata di studio AIGR su Aspetti legislativi e normativi nella ingegneria agraria.* Firenze, 20 giugno.
- MegaleP.G.(1995) *Progetto del banco di prova al coperto per irrigatori a pioggia del Laboratorio Nazionale dell 'Irrigazione. Nota 2 - Metodi di prova. Irrigazione e drenaggio*, 1: 49-58.
- Organisation Internationalle de Normalisation (1986)ISO7749-1. Matériel d'irrigation - Asperseurs rotatifs - Partiel: Exigences de conception et de fonctionnement.
- Organisation Internationale de Normalisation (1990)ISO7749-2. Matériel d'irrigation - Asperseurs rotatifs - Partie2: Unifermitté de la distribution et méthodes d'essai.
- StefanelliG.(1952) *Stato attuale della irrigazione per aspersione e fertirrigazione: progressi meccanici e idraulici nella costruzione degli impianti.* Atti del 1° Convegno internazionale per l' irrigazione a pioggia: 81-117. Verona, 15-16 marzo.
- StefanelliG.(1954) *Pr oblemi tecnici riguardanti gli appa-recchi irrigatori. L'irrigazione*, n.1.
- StefanelliG.(1955) *Norme di prova del banco UMA per irrigatori. Macchine e Motori Agricoli*, n.5: 47-49.
- StefanelliG.,Manfredi E.(1955) *Funzionalità e distribuzione della pioggia negli apparecchi irrigatori e norme di prova. Irrigazione a pioggia*, II: 195-201.
- Tarjuelo Martin-Benito J. M., Valiente Gómez M., Lozoya Pardo J. (1992) *Working conditions of sprinkler to optimize application of water. Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, n.6: 895-913.
- Van ZylL.A.(1986) Sprinklers. Department of Agriculture and Water Supply. Directorate: Agricultural En-gineering and Water Supply. Silverton.