



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dip. AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E AMBIENTE

Dip TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di laurea in SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**VALORIZZAZIONE DEL DIGESTATO TRAMITE IMPIEGO
DI IMPIANTI PIVOT**

RELATORE:

Dott. Francesco Marinello

LAUREANDO:

Alberto Pesce

Matricola n. 1220829

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

RIASSUNTO

Negli ultimi anni alcuni eventi hanno fortemente influenzato la produzione agricola: due fra tutti l'aumento dei prezzi del concime minerale e il surriscaldamento globale che ha provocato fenomeni di siccità anche sulla penisola italiana.

Il prezzo del concime minerale è oscillato più volte fino a raggiungere ad oggi il prezzo di una volta e mezza del suo valore all'inizio del 2022, questo ha interessato un potenziale ritorno alla concimazione organica che nel tempo era andata perduta.

Lo scopo della tesi è discutere il funzionamento degli impianti pivot tramite il digestato e altri reflui zootecnici e verificarne il confronto economico e agronomico. In questo lavoro di tesi si è iniziato con la descrizione del funzionamento degli impianti pivot per poterne carpire al meglio l'efficienza e la comodità, procedendo con le varie caratteristiche dei suoi organi meccanici e non, per poi arrivare ai suoi diversi impieghi oltre alla funzione di irrigazione classica, come fertirrigazione chimica e organica.

Infine, si è concluso la parte più "bibliografica" con la presentazione storica dei principali marchi produttrici di pivot e con la presentazione una nuova attrezzatura per il pescaggio di acqua da fiume.

Nel capitolo 3 abbiamo analizzato la "questione" posta all'inizio del progetto descrivendone il funzionamento, mettendo a confronto dei casi studio e traendo le conclusioni maturate dalle varie verifiche eseguite.

ABSTRACT

This thesis was conceived based on events in recent years related to the increase in prices of mineral fertilizer and global warming, which has caused drought phenomena even on the Italian peninsula. In recent years, the price of mineral fertilizer has fluctuated several times, reaching one and a half times its value at the beginning of 2022. This has sparked interest in a potential return to organic fertilization that had been lost.

The purpose of the thesis is to prove the operation of pivot systems using digestate or other livestock effluents, and to assess their economic and agronomic comparison. The thesis begins with a description of the operation of pivot systems, aiming to capture their efficiency and convenience. The thesis then covers various characteristics of their mechanical and non-mechanical components, exploring their different uses beyond traditional irrigation, such as chemical and organic fertigation.

Finally, the more "bibliographic" part concludes with a historical presentation of the main pivot manufacturers and introduces new equipment for water extraction from rivers. In Chapter 3, we analyse the initial question posed in the project, describing its operation, comparing case studies, and drawing conclusions from various checks performed.

SOMMARIO

RIASSUNTO	1
ABSTRACT	2
SOMMARIO	3
Capitolo 1	4
INTRODUZIONE	4
1.1 Introduzione	4
1.2 Il presente lavoro.....	6
Capitolo 2	8
I PIVOT	8
2.1 Marchi e tecnologie.....	8
2.2 Impieghi diversi dei pivot	26
Capitolo 3	31
CASO STUDIO.....	31
3.1 Motivazioni sulla conversione di un impianto	31
3.2 Modifiche necessarie per la conversione in fertirriguo	31
3.3 Modifiche necessarie per la conversione in fertirriguo organico	32
3.4 Analisi costi e benefici	34
3.4.1 Fertirrigazione organica	34
3.4.2 Aspersione sul tal quale	36
Capitolo 4	38
CONCLUSIONI	38
BIBLIOGRAFIA	39
Documenti scientifici.....	39
Siti web	40
RINGRAZIAMENTI	41

Capitolo 1

INTRODUZIONE

1.1 Introduzione

Negli ultimi anni, la scarsità di precipitazioni in generale e la ridotta presenza di acqua nei bacini idrici si stanno facendo sentire con ingenti cali di produzione delle colture primaverili-estive e con un conseguente aumento degli investimenti in termini di superfici. Si cerca di conseguenza di ottimizzare risorse idriche, soldi e tempo. È diventato quasi d'obbligo attrezzarsi con tecnologie 4.0 e connettersi a piattaforme digitali per la gestione delle colture, come ad esempio XFarm o ClimateFieldView. Il cambiamento climatico degli ultimi anni sta influenzando tutto il mondo con temperature che si stanno innalzando sempre di più, rendendo atipiche le condizioni di lavoro degli agricoltori costretti a modificare i piani di semina a causa delle inclemenze climatiche. Uno dei danni maggiori è sicuramente rappresentato dai periodi di siccità estivi che, se non gestiti tramite irrigazioni tempestive, possono portare a una perdita ingente di resa culturale.



Figura 1.1: irrigazione di soccorso del mais

Tra il 1850 e il 1900, durante il periodo preindustriale, si stima che le attività dell'essere umano abbiano provocato un aumento della media delle temperature globali della Terra di 1°C dato che è in continua crescita e ogni decennio la temperatura aumenta di 0,2 °C. Nell'ultimo rapporto della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti climatici (UNFCCC), viene dichiarato che il mondo, secondo gli ultimi dati, sarebbe

destinato ad un aumento di temperatura di 2,7 °C entro la fine del secolo. La concentrazione di gas serra (CO₂) nell'atmosfera sta progredendo a ritmi esponenziali, rappresentando un serio pericolo per la salute. Questo fenomeno è causato dall'utilizzo massiccio di combustibili fossili per l'approvvigionamento energetico; la combustione di questi combustibili fossili determina il 75% delle emissioni globali.

La frequenza dei fenomeni di siccità, per frequenza, durata ed intensità, è in costante crescita a causa del surriscaldamento globale e molti paesi ormai si ritrovano a dover patire le conseguenze di questi fenomeni. Nel 2020, il 19% della superficie terrestre è stata colpita dalla siccità estrema, valori da capogiro considerando che tra gli anni '50 e il 2000 non si sono mai verificati casi che raggiungessero il 13%. Ogni aumento di grado Celsius corrisponde a una diminuzione delle rese per le colture: grano -6%, riso -3%, e mais -7%.

I fenomeni di siccità, come ben sappiamo, hanno toccato anche il nostro paese prendendoci alla sprovvista, poiché in Italia si trattiene meno del 20% delle acque piovane. Questo perché storicamente parlando, il nostro paese è sempre stato caratterizzato da piovosità che permettono la crescita delle colture senza un necessario apporto di acqua da irrigazione.

Nel 2022, il fiume Po ha attraversato la secca più ingente dal dopoguerra, scendendo a -2,7 metri, valore che rende possibile l'avanzamento di acqua salmastra proveniente dal mare, rendendo così impossibile la coltivazione di colture nelle zone del delta del Po. Nel 2022, in Italia si è assistito ad un dimezzamento delle precipitazioni, portando alla scelta di numerosi risicoltori di convertire le proprie coltivazioni di riso in campi destinati alla coltivazione di soia; 10.000 sono gli ettari che sono stati soggetti a questa "conversione".



Figura 1.2: crepe sul terreno create dalla siccità

A causa dei cali delle rese subiti nel 2022, come ad esempio un -15% per il grano, si può affermare che il fenomeno della siccità è ormai da considerarsi strutturale. Dato che la maggior parte dell'acqua piovana viene persa, risulta sempre più importante imparare a utilizzare al meglio le nostre riserve idriche, limitando al minimo gli sprechi e cercando di ottenere un'alta efficienza nei metodi irrigui.

In aggiunta, la mancanza di neve come riserva idrica ha rappresentato nel 2022 un'ulteriore difficoltà nella gestione irrigua. Oltre alle scarsissime precipitazioni, molti agricoltori non sono stati in grado di irrigare i loro terreni a causa della mancanza di acqua di riserva. Alcuni comuni hanno dovuto applicare delle limitazioni nell'irrigazione dei terreni agricoli, causando perdite di resa, sia in quantità che in qualità, per gli agricoltori locali.

Per quanto riguarda la regione Veneto, analizzando i dati climatici raccolti da ARPAV degli ultimi cinque anni, è possibile confermare il trend positivo di innalzamento delle temperature. Ogni anno è risultato infatti mediamente più caldo della media storica, sia durante l'estate che durante l'inverno. In particolare, il 2017 e il 2019 sono state due tra le annate più calde degli ultimi 20 anni. Le precipitazioni sono state al di sotto della media, ad eccezione del 2019, con diminuzioni del 10-20% degli apporti idrici e picchi del 40% in alcune zone della regione.

A tutto ciò si cerca di far fronte agli aumenti di prezzo dei fertilizzanti e si cercano sempre nuove soluzioni, sia economiche che tecnologiche, per ottimizzare acqua, fertilizzanti e reflui zootecnici, motivo di studio di questa tesi.

1.2 Il presente lavoro

La possibilità di irrigare con concime organico o di apportare reflui sul tal quale tramite impianti di irrigazione, può essere una soluzione in qualche modo rivoluzionaria e capace di risolvere, se non del tutto, almeno in parte, alcuni problemi molto sentiti in agricoltura in questi anni. Questa tesi dunque discute la possibilità di dispersione del digestato tramite impianti pivot.

Il lavoro di tesi affronta dunque il tema della miscelazione delle biomasse con particolare attenzione alla possibilità di irrigare con esse, considerando la viscosità e la densità del prodotto e il loro ruolo nell'andare ad intaccare il normale funzionamento dell'impianto pivot. La tesi inoltre discute il funzionamento generale di queste macchine per poterne descrivere l'utilizzazione, le funzioni e l'efficienza.

Infine la tesi descrive il risultato di un confronto con più aziende per quanto concerne il funzionamento dei pivot utilizzando il digestato. Dopo aver raccolto tutti i dati dalle aziende, è stata sviluppata una stima di massima con un confronto costi-benefici per verificare la convenienza economica e agronomica di tale operazione.

Capitolo 2

I PIVOT

2.1 Marchi e tecnologie

Gli impianti di irrigazione pivot sono impianti di irrigazione ad aspersione. Il loro funzionamento è mediato da pompe, motori elettrici, campate tubazioni in acciaio o in PVC, campate, gomme ed elettricità. Le pompe sono normalmente collegate a motori elettrici più o meno potenti in base alla grandezza dell'impianto. Il pivot è una struttura a perno centrale con movimento circolatorio della struttura che, di conseguenza, bagna una superficie circolare. A livello storico, l'irrigazione per aspersione è nata nei paesi più sviluppati inizialmente in colture specializzate ad alto reddito e rapidamente ha preso piede anche nelle colture erbacee. Di fronte alla necessità di meccanizzare il più possibile l'irrigazione e migliorare l'efficienza e le condizioni di lavoro, sono nati i primi sistemi di meccanizzazione semoventi come le ali piovane. Tuttavia, con i sistemi pivot si è riusciti a ottenere le superfici di impiego maggiori con minima richiesta di manodopera e capacità irrigante di decine di ettari per impianto.

I sistemi di queste "ali articolate" risalgono storicamente al 1920 con un'industria svedese, un'idea poi ripresa nel 1947 da un agricoltore statunitense di nome Frank Zyback. Il sistema fu brevettato nel 1952 e nel 1954 i diritti furono ceduti a un'industria nel Nebraska (USA) che ne iniziò la produzione.



Figura 2.1: primi pivot in produzione

I primi sistemi nacquero con trazione idraulica e un'altezza massima di 2 metri. Da qui partirono i primi miglioramenti e si arrivò al 1975, quando le superfici irrigate nel mondo raggiunsero già i 2 milioni di ettari. Attualmente, il maggior numero di questi sistemi è installato negli Stati Uniti, in Spagna e in Francia. In Italia, inizialmente, l'introduzione è stata sfavorevole per vari motivi, ma il mercato è in espansione soprattutto nel Nord Italia. Partendo dai pivot, sono sorte delle ramificazioni, diciamo, come tecniche di impianto o anche evoluzioni, se si può dire. Si parla di corner e di rainger.

I corner furono concepiti per occupare un'area maggiore rispetto a quella classica circolare. L'ala snodabile applicata sulla punta dell'ultima campata del classico pivot permette all'appendice corner di piegarsi ai lati del campo ed estendersi per irrigare agli angoli in modo da colmare i punti ciechi del cannone finale.

Un altro ammodernamento a livello tecnologico si ebbe tra gli anni '80 e '90 con l'introduzione della tecnologia GPS e il controllo da remoto, inizialmente su terminali e modem dedicati e successivamente da smartphone. Il controllo remoto è reputato di utilità relativa, poiché il sistema di filtraggio dell'acqua tende a sporcarsi facilmente e richiede una pulizia ogni 3 ore di esercizio della macchina, problema che non sussiste in caso di sistemi di alimentazione dell'acqua in pressione come si può avere nella regione del Friuli-Venezia Giulia.

A livello storico, favorì molto lo sviluppo di questi impianti la crisi energetica degli anni '70 che promosse lo sviluppo di impianti a bassa pressione, ammortizzando i costi dell'energia elettrica di utilizzazione dell'impianto dell'80%.

Ci sono tre tipologie di ali articolate:

- Imperniate: pivot, ruotano attorno al perno centrale comprendo un'area di irrigazione circolare e sono impianti fissi quindi non mobili.
- Linearli: rainger ali articolate con avanzamento frontale rettilineo, l'alimentazione dell'acqua è data da un gruppo pompa collegata ad un pescante che "corre" lungo il canale oppure alimentazione da manichetta. Una motopompa media il pompaggio dell'acqua e tramite un alternatore fornisce la corrente per la movimentazione dell'impianto.
- Trainabili: sono sistemi mobili e possono essere usati per irrigare su più postazioni.

L'oggetto di questa tesi sono le ali imperniate (pivot), e ora, dopo una breve introduzione generale, tratteremo le caratteristiche tecniche e impiantistiche. È il modello più diffuso, poiché possiede dei vantaggi unici come un'unità unica centrale di alimentazione, la

possibilità di irrigare anche su superfici non necessariamente pianeggianti (entro certi limiti) e maggiore stabilità rispetto ad altri impianti.



Figura 2.2: ala imperniata pivot

La larghezza dell'ala imperniata è in linea teorica illimitata, tuttavia, si cerca di stare tra i 100 e gli 800 metri. La più usata è la struttura a 400 metri suddivisa in 8 campate.

Ora passiamo ad aspetti più tecnici parliamo della torre centrale che fa da perno per il resto dell'impianto stesso.

esso può ospitare come no il pannello di controllo che in alternativa può essere installato a lato o anche angolo del campo magari anche in corrispondenza di: motore elettrico, gruppo pompa e quadri elettrici (contatore Enel e quadro controllo pompe).

Di forma piramidale, è costituita da quattro angolari piegati ed una serie di elementi a L bullonati sui quattro lati per conferirgli stabilità. Al centro della torre vi è presente il tubo di alimentazione dell'acqua collegato al giunto di rotazione che permette la trasmissione dell'acqua stessa dal tubo mdi mandata alle ali piovane e permette lo stesso movimento circolare dell'impianto. Il giunto rotante deve essere lubrificato periodicamente la presenza di una scaletta a lato della piramide può facilitarne l'operazione, la torretta è e ancorata al terreno tramite ad una platea di cemento è costituita da un armamento in calcestruzzo e gabbie di ferro, generalmente la misura è 4x4x0,25 m.

Passiamo alle campate, sono collegate alla torre centrale e sono di lunghezza variabile, dai 32 ai 62 metri circa. Costituite da tubi leggermente flessi in acciaio zincato (in rari casi anche leggera lega in alluminio), si collegano tra loro tramite giunti flangiati e bulloni, il tutto è sostenuto da tiranti in acciaio galvanizzato.



Figura 2.3: torre centrale di comando

Il diametro dei tubi varia a seconda della tipologia di impianto e, conseguentemente, delle esigenze dell'azienda. Ad ogni modo, si utilizzano diametri che vanno da 141mm a 254mm (in Italia sono importati 3 diametri: 141, 168, 219). Il diametro 168 è quello standardizzato e, a causa della sua diffusione, è stato anche utilizzato impropriamente. Maggiore è il diametro del tubo, maggiore è l'impatto stabilizzante che fornisce all'intera struttura.

Per calcolare la lunghezza delle campate e la portata dell'impianto, si cerca di studiare il sistema di tubazione delle campate cercando di massimizzare la portata e di minimizzare le perdite di carico, come se fosse una vera e propria ala piovana.

Per quanto riguarda l'altezza dell'impianto, le misure si aggirano intorno ai 3 metri in media. Indicativamente, si consigliano oltre i 4 metri nel caso sia indispensabile fare lavorazioni anche sotto al pivot, oppure in zone ventose 2/2,5 m per evitare il fenomeno del ribaltamento. Si definiscono sistemi a basso profilo quelli con altezza da terra che varia dai 1,5 ai 2,5 m, profilo alto quelli la cui altezza si aggira intorno ai 4 metri in su, e profilo altissimo (5 metri).

Qui in Italia si prediligono i sistemi a profilo alto per superare eventuali filari alberati a bordo campo e facilitare l'irrigazione del mais. Le giunzioni tra le campate sono snodabili e consentono di far sopportare all'impianto anche irregolarità del campo, ma soprattutto di avere una adattabilità alle pendenze in grado di sopportare anche un 30% negli appositi modelli e fino al 15% nei modelli a campata più lunga.



Figura 2.4: campate pivot

Il braccio terminale è un tubo installato in corrispondenza dell'ultima campata, ha lo scopo di allungare l'ultima campata per aumentare la superficie irrigabile. Quest'ultimo è sostenuto da tiranti in acciaio e l'ala non supera i 25 metri di lunghezza. All'estremità dell'apparato, vi è installato un irrigatore a settore a lunga gittata.

L'apparato erogatore è costituito da ugelli di vario tipo che possono essere statici (180/360°), dinamici, ad impatto o rotanti (media o bassa pressione). Gli erogatori vengono inseriti in una tubazione in PVC o PE che si collega direttamente al tubo della campata; di norma, hanno un diametro di 25mm.

Negli anni di innovazione, sono state progettate anche tipologie di irrigatori appositamente studiati per le ali piovane; tuttavia, in genere, si prediligono gli ugelli statici poiché favoriscono una bagnatura del terreno più omogenea. Gli irrigatori statici, tuttavia, hanno un costo più alto poiché il tubo di calata viene abbassato come per garantire un punto di erogazione ottimale, e questo influisce sul costo dei tubi che risulta essere maggiore.



Figura 2.5: apparato erogatore



Figura 2.6: irrigatore finale

Il cannone finale, all'estremità dello sbalzo o della campata corner, potrebbe richiedere una pompa di rigetto (booster pump) nel caso in cui non ci sia abbastanza pressione nell'impianto per farlo funzionare. Non va sottovalutata l'efficienza del cannone finale, poiché può aumentare l'area di irrigazione anche di 30-40 metri e, essendo modulabile, può essere programmato per essere utilizzato negli angoli di un campo quadrangolare e spento lungo i lati del campo.

I cannoni possono essere due, uno per una gittata maggiore e uno che copre l'area a ridosso dello sbalzo. Tuttavia, le ali imperniate presentano un problema: le campate si spostano seguendo una traiettoria circolare di ampiezza sempre maggiore rispetto al centro. Di conseguenza, a parità di irrigatori, la quantità di acqua che cade al suolo non è uniforme su tutta l'area circolare, ma diminuisce man mano che si arriva verso la fine dell'impianto.

Per affrontare questo problema, nel corso degli anni sono state sviluppate tecniche. I costruttori hanno progettato una vasta gamma di irrigatori in grado di ricoprire aree diverse. Vengono installati irrigatori ad area ampia nella zona finale dell'impianto e ugelli ad area minore all'inizio. In questo modo, gli ugelli ad area piccola e alta pressione che gli irrigatori ad area ampia, installati nella zona finale dell'impianto, girano più lentamente lungo l'asse circolare e irrigano la stessa quantità di acqua degli ugelli "veloci" ad area grande e bassa pressione. I bocchigli dei vari ugelli vengono disposti con apertura crescente lungo l'impianto.

Inoltre, si sono sviluppati programmi per calcolare le diverse portate al fine di garantire l'uniformità di distribuzione. È importante notare che l'acqua erogata sul campo non necessariamente rimane nel punto di applicazione. Può non penetrare nel suolo ed

evaporare, percolare in profondità a causa della scarsa capacità del terreno in alcune aree o essere allontanata dal vento.

Di conseguenza, i costruttori hanno progettato diversi tipi di ugelli in grado di operare in diverse condizioni ambientali e climatiche. Questi irrigatori sono in grado di produrre gocce d'acqua con differente finezza e getti diversi, al fine di evitare l'effetto deriva, l'evaporazione e l'effetto battente. Di conseguenza, verrà selezionato il tipo di irrigatore più adatto alle esigenze pedoclimatiche dell'azienda.

In generale, per evitare la deriva, si utilizzano calate più basse. Nei terreni argillosi, si preferiscono sprayer che nebulizzano l'acqua per eliminare l'effetto battente, prevenendo la formazione di crosta e mantenendo inerte la struttura del suolo. Nei terreni poco permeabili, si prediligono ugelli a getto allargato per aumentare l'area di aspersione e diminuire l'intensità dell'aspersione, favorendo così l'infiltrazione dell'acqua nel terreno.

Per i trattamenti chimici, si consigliano ugelli specifici e un impianto di aspersione separato. Riguardo alla portata dell'impianto, maggiore è la pompa e maggiore è il motore, più alta sarà la portata dell'impianto e più velocemente il pivot coprirà il ciclo di irrigazione.

Le ruote motrici, sebbene non facciano parte dell'impianto idrico, sono comunque fondamentali per il funzionamento di un pivot. Vengono scelte in base al tipo di terreno e alla sua conformazione, realizzate con materiali resistenti al sole e progettate per durare, spesso più di 20 anni. La forma e le dimensioni delle ruote possono variare a seconda delle esigenze specifiche, come illustrato nella tabella seguente.

Tabella 2.1: Caratteristiche costruttive di alcuni tipi di pneumatici

Tipo	Larghezza battistrada	Diametro	Area di contatto	Utilizzo
10,0 x 20	287 mm	1016 mm	1316 cm ²	Convenienti per piccoli impianti su terreni a grana media
11,2 x 24	264 mm	1092 mm	1561 cm ²	Indicati solo se l'affondamento non costituisce un problema
14,9 x 24	368 mm	1265 mm	232 cm ²	Raccomandati in terreni con problemi di affondamento
16,9 x 24	429 mm	1346 mm	3439 cm ²	Assicurano un buon galleggiamento con strutture più pesanti (campate lunghe o grosse tubazioni)
11,2 x 38	284 mm	1448 mm	2084 cm ²	Combinazione tra buon galleggiamento e tracce strette

Il battistrada delle ruote varia in base al tipo di coltura, ad esempio nelle aziende che producono prato in zolla si preferisce utilizzare un battistrada liscio per non danneggiare il prodotto finale. Il disegno delle gomme è spesso simile a quello dei trattori per le colture erbacee, poiché si cerca di ridurre l'adesività al suolo degli pneumatici. Questa scelta è volta a evitare il compattamento del terreno, e per farlo si possono adottare diverse misure e optional.

Gli accorgimenti possono includere la riduzione del 50% della portata degli irrigatori in corrispondenza delle ruote, l'installazione di irrigatori a 180° ai lati delle ruote motrici e l'uso di braccia posteriori che spostano gli irrigatori dietro alle ruote. Questo assicura che la zona appena attraversata dalle ruote sia adeguatamente irrigata. Per migliorare la trazione, si possono applicare cingoli o cerchi a trazione incrementata con ganci che affondano nel terreno, una soluzione adatta a terreni più difficili.

L'avanzamento della macchina è mediato da motori elettrici posizionati al centro del traliccio e collegati alle ruote tramite cardani. Storicamente, il sistema di avanzamento era azionato idraulicamente, ma dal 1975 si è passati al sistema elettrico, conferendo maggiore affidabilità al funzionamento complessivo. I motori sono collegati a riduttori ad ingranaggi cilindrici ed elicoidali. Gli ingranaggi elicoidali assicurano silenziosità durante l'azionamento e una maggiore efficienza meccanica, riducendo l'usura sulla macchina.

Quanto alla potenza dei motori, ci sono misure standardizzate, come ad esempio motori da 0,6cv e 34 giri/min, o da 0,75cv e 43 giri/min, che vengono utilizzati per impianti a medie velocità (100m/s). Esistono anche motori a "potenza doppia" (1,2-1,5cv) in grado di generare una "doppia velocità" (200m/s), pensati per il ritorno a vuoto delle macchine. L'alimentazione dell'impianto può avvenire tramite un gruppo elettrogeno o attraverso la rete elettrica pubblica. La stessa energia può essere utilizzata per alimentare il motore elettrico della pompa dell'acqua, contribuendo al funzionamento complessivo dell'impianto di irrigazione. Questa flessibilità consente di adattarsi alle diverse disponibilità di energia in diverse aree o situazioni specifiche.



Figura 2.7: avanzamento pivot mediato da motori elettrici

La potenza motrice dei motori elettrici viene trasmessa dai motori alle ruote con degli alberi cardanici, quest'ultimi partono dal motoriduttore centrale alla coppia di ruote usando un riduttore di giri.

La lubrificazione dei motori avviene mediante delle camere di espansione che si espandono e si contraggono in modo tale che non ci possano essere infiltrazioni di condensa, molto importante considerando che sono sistemi che rimangono all'aria aperta per tutta la durata della loro vita lavorativa.

I sistemi di lubrificazione a camera di espansione sono una novità degli ultimi anni

Negli anni anche i sistemi di ingranaggi hanno subito migliorie per renderli più affidabili, l'angolo di pressione dei denti è stato portato da 14° a 25° così facendo si è incrementato del 40% il carico che il sistema riesce a sopportare.

Pure l'albero di uscita dal riduttore ha subito delle modifiche: aumentando il diametro da 50,8 mm a 57,2 mm.

La distanza dal centro riduttore al centro ruota può determinare rotture se è troppo lunga, di conseguenza, negli anni si è cercato di ridurla.

Per quanto concerne i motori oleodinamici prendono l'energia che gli serve per la pompa idraulica da dei motori elettrici che forniscono il la corrente elettrica per far girare la pompa idraulica, pompa che porta l'olio in dei tubicini che si collegano ai motoriduttori nelle campate.

L'avanzamento del pivot non è più sequenziale ma continuo, di conseguenza si fornisce una dinamicità di movimento che elimina gli arresti e le ripartenze tipiche dei motori elettici.

L'avanzamento ad "olio" garantisce un a migliore durata della componentistica dedicata la movimento del pivot ma ad un prezzo di una maggiore manutenzione d'impianto.

Il funzionamento del pivot come già detto in precedenza è sequenziale ossia il movimento dell'impianto è dettato da partenze e arresti programmati e scalari tra loro.

La velocità di avanzamento è in genere uguale per tutte le campate, e i tempi di movimentazione sono differenti tra loro.

Il pannello di controllo temporizza il moto dell'ultima campata e le altre si adeguano al movimento di quest'ultima tramite delle percentuali calcolate sul tempo massimo di rotazione.

La velocità d'avanzamento delle varie campate viene regolata tramite un sistema di controllo automatico collegato a dei sensori posti sui giunti, i quali mandano l'allarme di disallineamento e fanno riportare in asse il sistema facendoti partire i vari motori.

Nei casi più gravi posso anche decidere di arrestare la macchina.

Il sistema di movimentazione non agisce mai all'unisono poiché tramite un "gioco di disallineamenti" le torri che precedono la torre esterna tornano in asse in maniera scalare facendo sì che l'avanzamento sia determinato dalla torre più esterna che tramite il disallineamento dei sensori fa tronare in asse tutte le altre torri.

Mi sento in dovere di specificare che ad occhio nudo il disallineamento non si nota e si ha l'impressione che l'impianto lavori perfettamente allineato per tutta la durata della sua messa in opera.

La rotazione completa dell'impianto pivot può richiedere delle tempistiche varie, si va dalle 12 alle 120 ore per un pivot da 400m.

Entrano in gioco più fattori a determinare la velocità di avanzamento: l'impianto può essere fatto girare a vuoto, i motori possono non avere diverse potenze, la grandezza dell'pivot può influire e il peso stesso della macchina può essere determinante.

Come già anticipato in precedenza il sistema pivot lavorando in una superficie circolare lascia in asciutto buona parte di terreno (anche un 20%), per ovviare a questo problema si sono sviluppati dei sistemi per compensare questa mancanza.

Partendo dal presupposto che si può anche decidere di lasciare la zona non irrigata o non coltivata bisogna anche valutare la convenienza dal punto di vista economico dell'irrigare la parte mancante oppure no perché ogni dislocamento di risorse in un impianto di irrigazione più completo comporta un incremento economico maggiore e per esempio si è visto che su piccole superfici a seminativo non conviene.

Ad ogni modo si può ridurre la percentuale di superficie non irrigata con: un cannone finale di rilancio che può essere programmato per funzionare agli angoli e non ai lati, risolve solo parzialmente il problema.

Un sistema supplementare di irrigazione per le zone non servite dal pivot.

Inserire aree a boschetti o coltivazioni arboree da legno o biomassa (sarebbe in linea con le ultime direttive PAC 2023-2027).

Dislocare edifici rurali in quelle zone (dislocamento cubature e creazioni abitazioni per poi rivenderle).



Figura 2.8: esempio di sistema corner

Visto relativamente poco in precedenza, ora parliamo in maniera un po' più approfondita dei sistemi corner. Come già detto, il corner è un "prolungamento" dell'impianto pivot ed è costituito da un dispositivo che si apre a compasso per irrigare areali non necessariamente di forma circolare. Costruito con gli stessi materiali delle campate classiche, è dotato di irrigatori che si attivano quando il corner arriva in posizione di messa in opera dell'impianto. La lunghezza massima che può raggiungere un corner è di circa 80 metri; se alla fine si aggiunge anche un cannone di rilancio, si può arrivare a una lunghezza massima di 100 metri di bagnatura applicabile dopo l'ultima campata. Il corner si piega in posizione trasversale al resto dell'impianto quando il pivot raggiunge l'ostacolo. Si piega su sé stesso tramite un giunto rotante e un'unità motrice a ruote sterzanti posta verso la fine della campata del corner. Per esempio, se l'appezzamento è costruito in corrispondenza di una casa, l'impianto, quando raggiunge il punto limite della casa, può far ruotare il corner per irrigare i terreni dietro l'ostacolo. Oppure il corner (tramite lo stesso principio dell'esempio precedente) può essere usato per aumentare la superficie irrigata nei campi di forma quadrata o rettangolare, facendolo piegare su sé stesso ai lati del campo e attivandolo in prossimità degli angoli. Il sistema a ruote sterzanti viene guidato tramite un cavo sotterraneo posato lungo il perimetro dell'area irrigante. Questo cavo consente al corner di essere guidato in ogni fase di manovra durante l'utilizzazione dell'impianto o durante i ritorni a vuoto.

Il funzionamento del cavo in rame avviene tramite degli appositi segnali per la marcia avanti e la marcia indietro, segnali che vengono recepiti da delle antenne poste sul corner. Il cavo inoltre deve essere protetto dalle sovratensioni.

Il corner ha una sua centralina di controllo che misura costantemente l'angolo di apertura della macchina, consentendogli di comandare e controllare la portata per aprire di conseguenza l'apertura e la chiusura delle idrovalvole di ogni irrigatore. Il sistema ripiegato è stato proposto in primis dalla Valley e poi successivamente riproposto dalle altre ditte che commerciano e producono questi sistemi di irrigazione; può essere installato anche su impianti già esistenti.



Figura 2.9: sistema drop span

Può arrivare ad avere un angolo di 165° massimo. Tramite una funzione specifica, il corner ha la capacità di irrigare anche in fase di accelerazione della macchina. In tempi recenti è stato inventato un sistema chiamato drop span che permette di staccare e attaccare in maniera automatica il corner in prossimità dell'ostacolo. Quindi, di conseguenza, lo si utilizza per irrigare nelle zone utili, e quando si arriva al capolinea, il pivot procede con l'irrigazione e il corner lo "aspetta" fino alla fase del ritorno a vuoto, dove verrà riagganciato automaticamente. Le strutture appena descritte hanno un costo non indifferente, e prima di mettere mano al portafoglio, si deve valutare la convenienza economica dell'impianto. Spesso si sente di dire che purtroppo in agricoltura le buone pratiche agronomiche non combaciano con la convenienza economica delle pratiche stesse. Arriviamo dunque alla fase finale della descrizione tecnica dell'impianto, si parla di terminali di controllo, controllo remoto da smartphone e valutazione del volume d'adacquamento efficiente tramite varie tecnologie.

Per cominciare il sistema di controllo del pivot è solitamente posto in parte alla piramide, ad esso è collegato un sistema di collettore rotative che comunicano con le scatole di ogni campata.

Le scatole delle campate provvedono alla regolazione dell'avanzamento della macchina, prendendo come riferimento la posizione della campata più esterna. Il quadro è posto all'interno di una cassetta stagna. Le centraline possono essere di tipo elettromeccanico o elettronico; la differenza sostanziale sta nel controllo da remoto e nella tecnologia GPS, che nella centralina elettronica si può utilizzare, mentre nella centralina elettromeccanica no. Le prime centraline messe in commercio sono quelle di più facile manutenzione e utilizzazione. Sono semplici, offrono una diagnostica limitata, ma possiedono ugualmente tutte le funzioni necessarie per la messa in opera della macchina. Le più avanzate centraline elettroniche forniscono un comparto diagnostico avanzato e possibilità di varie tipologie di programmazioni, in modo tale da soddisfare anche le più specifiche esigenze dell'operatore. Possono essere anche touch screen. Le centraline sono sensibili agli sbalzi di tensione e quindi anche alle scariche durante i temporali.



Figura 2.10: pannello di controllo pivot

Disponibili in commercio ci sono diverse funzioni mediate da sensori che possono fornire comodità in più per l'utilizzo della macchina: arresto impianto in caso di pioggia, arresto in caso di pressione troppo bassa, arresti programmati linearmente per l'irrigazione a settori, misuratore di portata per calcolare il volume di acqua utilizzata, luce in cima alla piramide (ne indica il funzionamento), comando funzionamento cannone di rilancio, controllo posizione in gradi e funzione protettiva al controllo di fase (protegge l'impianto da eventuali rotture).

Chi compra oggi un pivot ha accesso alle ultime tecnologie di telecomunicazione all'impianto e di conseguenza ha accesso a tutta una serie di controlli da remoto, il

software viene installato, in un computer di possesso dell'agricoltore o fornito dall'impiantista.

In alternativa al programma al computer, da qualche anno sono disponibili anche applicazioni da installare su tablet o smartphone. I dati vengono trasmessi dalla centralina al software tramite radio, Internet o telefono. Nella teoria, il controllo da remoto azzerava la necessità di recarsi sul campo. Sono d'accordo per l'attivazione, ma per il funzionamento degli impianti attuali sosteniamo che ci sia comunque la necessità di un occhio vigile che controlli. Questo perché il rischio e gli imprevisti sono sempre dietro l'angolo e i sensori non possono comunicare tutto.

I pivot non si limitano all'utilizzo delle grandi superfici. Ci sono delle soluzioni irrigue economiche che forniscono questo tipo di tecnologia anche alle piccole aziende. Sono disponibili sul mercato pivot che coprono piccole dimensioni, partendo da 2 ettari, pensate per il mercato europeo, anche italiano, dove risiede il fenomeno delle piccole aziende. L'impianto di per sé è molto più semplice. Ci sono modelli dotati di motore a benzina o ad azionamento idraulico che riescono a far ruotare il pivot con la sola forza dell'acqua.

Una piccola parentesi sulle torri a tre ruote: sono state concepite per i terreni difficili, dove il pivot rischia di impiantarsi o di ribaltarsi. Caricando peso sulla terza ruota, si favorisce una maggiore stabilità, trazione e, inoltre, una migliore distribuzione del peso crea carreggiati di minor impatto sulla struttura del terreno.

Sempre per i piccoli appezzamenti sono disponibili campate a 5" di diametro. Questo consente di risparmiare su torri e tiranti, grazie alla possibilità di usare campate da 60m. Questi risparmi sui costi sono possibili perché questa tipologia deve resistere a sollecitazioni molto minori rispetto agli impianti "grossi". La guida GPS viene utilizzata nei sistemi più avanzati e permette di eliminare i cavi interrati per i corner. Fornisce informazioni precise sulla posizione dell'impianto durante il suo funzionamento e consente l'impiego della irrigazione (e fertirrigazione) a dose variabile per l'agricoltura di precisione. Il sistema VRI (irrigazione a dose variabile) consente di effettuare un'irrigazione di precisione. Ovvero, dà la possibilità all'agricoltore di apportare dosi variabili di acqua e fertilizzante in base alle necessità del terreno. Il suo funzionamento è mediato da un software che gestisce le mappe degli appezzamenti dove sono indicati tessitura, capacità di campo, fertilità del terreno e conducibilità elettrica. Il quadro di controllo aziona ogni singola elettrovalvola collegata agli irrigatori dell'ala articolata, applicando a dosi variabili acqua e fertilizzanti per ogni zona.

Un argomento rilevante è quello dei costi di questi impianti: si distinguono i costi che riguardano l'investimento iniziale e quelli di esercizio.

Il costo di investimento è molto variabile poiché, come abbiamo visto nel corso della descrizione tecnica, la variabilità ingente dell'impianto pivot in ogni sua caratteristica, come per esempio grandezza, optional e tipologie di materiali, va a modificare in modo significativo il prezzo che la macchina può avere a parità di prestazioni. Indicativamente, come ogni macchinario, il costo unitario è inversamente proporzionale alla superficie coperta. In quanto a parità di grandezza d'impianto, rimangono sempre i costi fissi: della torre centrale, il pannello di controllo, lo sbalzo finale e il cannone di rilancio. Indicativamente, però, si può dire che l'investimento iniziale può oscillare tra i 200 e i 300 euro per metro di lunghezza d'ala. Il prezzo varia anche a seconda del diametro del tubo. Circa tra i 5 e i 15 mila euro per il quadro di comando e 40 mila euro per il sistema corner. Ci tengo a precisare che investire in un impianto del genere è comunque meno costoso di investire soldi in impianti di altro genere (microirrigazione e impianti fissi automatizzati) a parità di superficie irrigata.

Per quanto riguarda i costi di esercizio, la manodopera è praticamente assente nei pivot a differenza delle ali trainabili e frontali.

Per quanto riguarda i costi energetici, si aggirano tra 1/2 e 1/5 rispetto a quelli di rotoloni. Il metodo migliore per utilizzare il minor quantitativo di energia è utilizzare l'acqua in pressione fornita dal consorzio in maniera di ammortizzare il costo del pompaggio dal canale irriguo, disponibile purtroppo solo in determinate zone.

Per quanto riguarda la manutenzione ordinaria, è pressoché nulla se la qualità dei materiali e la qualità costruttiva dell'impianto sono alte. Comunque si parla di un 1,5-2% sul costo d'acquisto dell'impianto.

Negli anni '80 è stata sviluppata una tecnologia in grado di convertire un impianto pivot in un impianto ad ala gocciolante. Permetteva tramite delle modifiche e una lavorazione a solchi del terreno di utilizzare il pivot come se fosse un microirrigatore semovente irrigando a rasoterra o in solchi formati tramite le lavorazioni (es: patate). L'impianto si utilizza a bassa pressione. Tramite queste modifiche si migliora la modalità di apporto idrico, si eliminano l'evapotraspirazione dell'acqua e si incrementa l'efficienza idrica fino al 98%. Il sistema appena descritto prende il nome di LEPA, ossia Low Energy Precision Application. Oltre all'LEPA sono state studiate in passato altre tipologie di applicazione del sistema: il LESA e il MESA.

Nel LESA, l'acqua viene erogata a un'altezza di circa 30-60 cm e bagna parzialmente la vegetazione, mentre nel MESA viene erogata a 1,5-3 metri e bagna totalmente la vegetazione.

Arrivati a questo punto della tesi, direi che abbiamo finito di descrivere il funzionamento e le tecnologie degli impianti. Ora vorrei descrivere brevemente una novità sul pescaggio dell'acqua e finire parlandovi dei vari marchi e aziende che commercializzano pivot, ugelli e cannoni di rilancio. Come già accennato più volte, il problema dell'acqua sporca può andare ad intaccare i sistemi di pompaggio che prelevano l'acqua dai fiumi per poi pomparla ai pivot. Il problema si verifica quando le griglie presenti nei fossi si sporcano (accade all'incirca ogni 3 ore), così facendo non arriva abbastanza acqua alla pescante della pompa che sta all'interno del pozzettone.

Solitamente, quando succede e non c'è un operatore disponibile per pulire la griglia, l'intero sistema va in blocco: la pompa si spegne e i pivot bloccano la loro marcia. Una soluzione identificata nell'ambito di questo lavoro di tesi è il sistema innovativo riportato in Figura 2.11.



Figura 2.11: disegno fatto al computer del filtro Riverscreen

Il sistema si chiama Riverscreen ed è stato inventato da un agricoltore americano di nome Bob Wietharn che si imbatté nel problema anni orsono e decise di ingegnarsi per risolverlo. Il sistema Riverscreen consiste in una pescante a valvole di fondo che sta a pelo dell'acqua circondato da una maglia di forma cilindrica che funge da filtro. La valvola di fondo viene utilizzata per riempire la linea di aspirazione della pompa. Il tutto è supportato da dei galleggianti (detti pontoni) e insieme costituiscono un'isola che galleggia a pelo dell'acqua. Insieme a questi elementi è presente anche un sistema di ugelli che spruzzano acqua sulla griglia che ruota essendo di forma circolare. Così facendo, la griglia stessa si mantiene pulita per tutta la durata dell'irrigazione senza l'accumulo di sporcizia o sabbia, e non c'è bisogno di un operatore che pulisce la griglia

ogni 2/3 ore. Gli ugelli che spuzzano l'acqua sulla griglia possono essere azionati dalla pressione stessa dell'acqua pescata o supportati da un motorino elettrico (12V/230V/400V) che viene applicato solo nei filtri di grandezza maggiore. A livello tecnico, il filtro Riverscreen galleggia sul pelo dell'acqua e può pescare a soli 10 cm di profondità.

Il Riverscreen è costituito da un vaglio a forma di tamburo di misura variabile, che può essere di dimensioni comprese tra 16"x 24" e 32"x48", realizzato in acciaio inox. Il telaio che sostiene il vaglio è robusto ed è realizzato in alluminio, mentre i galleggianti, noti come "pontoni", possono essere realizzati in alluminio o in materiale plastico.

Il vaglio cilindrico è composto da una maglia con potere filtrante variabile, adattabile alle esigenze dell'azienda agricola, con una gamma che va da 8 a 120 mesh (da 2380 a 125 micron). Esistono modelli con diametri del tubo post-pescante di 4, 6, 8, 10 e 12 pollici, e la scelta della dimensione dipende dalla linea di aspirazione e dalla quantità di acqua necessaria per far funzionare l'impianto. La seguente tabella riporta ulteriori dettagli.

Tabella 2.2: varie dimensioni dei filtri in base alla portata

Riverscreen dimensioni	FLUSSO MASSIMO		Pontone	Linea di aspirazione non supportata m
	l/min	m ³ /h		
4"	1,000	60,0	3+1	9,0
6"	3.033	182	3+1	9,0
8"	4.750	285	3+1	9,0
10"	9.517	571	3+1	9,0
12"	15.250	915	3+1	9,0

Il sistema andrebbe tolto per il periodo invernale, di conseguenza, è stato pensato un braccio in alluminio per sollevarlo collegato ad un argano elettrico per sollevarlo.

Adesso siamo arrivati alla fase finale di questo capitolo e fornirò un breve infarinatura storica dei tre principali marchi produttori di impianti pivot a livello globale partendo dalla Valmont (Valley).

La Valmont Industries è stata fondata nel 1946 a Valley in Nebraska da Robert B. Daugherty, Mogens C. Bay e Harold C. Cottrell.

Inizialmente l'azienda produceva torri per l'illuminazione ad uso agricolo ed industriale, ci fu una crescita in questo settore negli anni '40/'50 dove espanse le sue operazioni fino a diventare un importante produttore di: strutture metalliche, pali per l'illuminazione e pali

per la corrente. Successivamente entrano nel settore dell'irrigazione negli anni 50' diventando rapidamente parte importante dell'azienda che inizia già a produrre impianti irrigazione pivot diventando ben presto una delle loro specialità.

Tra gli anni '60 e '70 si ha una espansione dell'azienda anche fuori dal territorio nazionale e investe denaro comprando aziende terze per espandere la sua gamma di prodotti da proporre al pubblico. Sempre negli anni '70 la Valmont amplia il proprio ventaglio di prodotti proponendo: soluzioni per l'ingegneria, prodotti per la costruzione e strutture per la comunicazione ed energia.

Un anno da tenere in considerazione è il 1974, anno in cui l'impresa effettua acquisizioni strategiche includendo al suo interno le operazioni di galvanizzazione industriale e la gestione delle risorse idriche di Westeel.

La Valmont in quest'ultimi anni si è impegnata nello sviluppo sostenibile e nell'innovazione, inoltre, si impegna a sviluppare soluzioni che rispondano alle sfide ambientali.

Attualmente la Valmont è leader globale nei settori dell'agricoltura e delle infrastrutture, tra cui sistemi di irrigazione avanzati torri di trasmissione strutture per l'illuminazione e prodotti correlati.

Passiamo ora alla Lindsay Corporation, la Lindsay Corporation è stata fondata nel 1955 da Paul Zimmerer a Lindsay in Nebraska. Già dalla fondazione l'azienda era già concertata sull'innovazione nel settore dell'irrigazione.

Negli anni 60 la Lindsay Corporation ha introdotto il marchio Zimmatic, diventando uno dei primi produttori di impianti di irrigazione pivot.

I sistemi Zimmatic hanno contribuito a rivoluzionare l'irrigazione e fecero fare un salto di qualità all'azienda.

Negli anni '70 e '80 la Lindsay ha attraversato un periodo dettato dalla innovazione tecnologica per migliorare la gestione delle risorse idriche e ottimizzare l'irrigazione, arrivando anche alla creazione di sistemi di controllo automatico.

Le soluzioni Zimmatic arrivano nei mercati globali nel corso degli anni 80' facendo sentire la propria presenza anche a livello internazionale.

Attraversando gli anni '90 e primi anni 2000 l'azienda effettuò delle acquisizioni strategiche per incrementare la gamma di prodotti e servizi offerti dal marchio.

Dal 2010 in poi l'azienda si concentra sempre più sullo sviluppo sostenibile e sull'efficienza delle risorse idriche e concentrandosi sulla gestione intelligente di quest'ultime. Successivamente l'azienda si è concentrata sulla gestione da remoto

tramite l'Internet of Things (IoT) per consentire un monitoraggio comodo e preciso agli agricoltori.

Allo stato attuale la Lindsay è riconosciuta come uno dei principali produttori di sistemi di irrigazione pivot a livello mondiale, ciò che la caratterizza a livello storico è la sua continua innovazione e impegno sulla fornitura di soluzioni irrigue innovative ed efficienti.

E finiamo con l'ultima la Reinke Manufacturing Company, azienda fondata nel 1954 a Deshler in Nebraska da Richard Reinke, nella sua fase iniziale l'azienda si concentra sulla produzione di attrezzature agricole.

Negli anni 60' ci furono i primi sviluppi ci si inizia a concentrare sui pivot entrando piano piano nel mercato dell'irrigazione. Negli anni 70' la Reinke introduce nel mercato la sua personale linea di impianti di irrigazione pivot.

Durante gli anni '80-'90 si investe su innovazioni tecnologiche per migliorare l'efficienza dei suoi impianti e vengono introdotti i primi sistemi di automatizzazione.

L'espansione a livello globale si ha negli anni 90' portando la propria presenza in più parti del mondo.

Dagli anni 2000 l'azienda ha la volontà di ricercare sull'innovazione cercando di mantenere un focus sulla sostenibilità ed efficienza delle risorse idriche.

Negli ultimi anni la Reinke ha continuato ad innovare incorporando tecnologie più avanzate come il controllo da remoto e l'integrazione dei dati per ottimizzare l'irrigazione in agricoltura.

2.2 Impieghi diversi dei pivot

I pivot possono avere ulteriori utilizzi oltre alla semplice irrigazione umettante uno di questi può essere la fertirrigazione, prima di descriverne le applicazioni sul pivot introduciamo la fertirrigazione con una descrizione di questa tecnica irrigua.

La fertirrigazione o irrigazione concimante è una tecnica che consiste nell'aggiunta di fertilizzante (solitamente tramite una soluzione liquida) ad un sistema di irrigazione che sostanzialmente apporterà acqua con l'aggiunta in una determinata percentuale di soluzione fertilizzante, è molto usata in ambito orticolo più specificatamente nelle serre e anche in ambito florovivaistico.

Tecnica che trova un impiego preferibile negli impianti di microirrigazione localizzati o di subirrigazione in ogni caso è anche possibile trovare impiego negli impianti ad aspersione.

I presupposti per il suo utilizzo sono ovviamente la conoscenza delle esigenze idriche di e nutrizionali della coltura, fertilità del suolo o substrati di coltivazione e delle caratteristiche dell'acqua di irrigazione.

La fertirrigazione deve essere applicata tramite un impianto appositamente studiato anche in base alle esigenze aziendali per garantirne il corretto impiego e ottimizzare l'efficacia della pratica colturale stessa.

I principali vantaggi della fertirrigazione sono:

- Elevata efficacia della concimazione, specialmente nelle applicazioni localizzate.
- Riduzione del rischio di esposizione di sostanze chimiche e di contaminazione ambientale.
- Riduzione costi manodopera per le operazioni di concimazione.
- Azzeramento compattamento terreno dato dai passaggi per la concimazione
- Ottimizzazione utilizzo impianto irriguo

Gli aspetti negativi purtroppo sono collegati ai costi di spesa per impianti irrigui più costosi e sofisticati, c'è anche da dire che un uso scorretto della soluzione concimante può portare a: occlusione erogatori, modifica pH del terreno, formazione di precipitati e cambiamento di valori di conducibilità elettrica del terreno.

In questo contesto ovviamente vanno calcolati bene gli apporti in fertilizzante per prevenire fenomeni di ruscellamento e percolazione in falda.

La distribuzione degli elementi nutritivi può essere: continua e proporzionale all'intervento irriguo oppure suddivisa per ciascuna fase fenologica.

La prima ci dà la possibilità di aumentare il quantitativo di concime in relazione anche all'aumento di esigenza idrica e viene calcolata verificando la conducibilità elettrica e pH della soluzione circolante.

Per la seconda invece si esegue un bilancio dei nutrienti e in base a quello è possibile quantificare i dosaggi delle varie fasi fenologiche.

I prodotti utilizzabili per la fertirrigazione devono essere solubili in acqua e devono avere circa la stessa densità dell'acqua per potergli permettere di raggiungere le radici altrettanto facilmente.

I principali elementi nutritivi usati per la fertirrigazione sono:

- Azoto: da usare con cautela la forma nitrica poiché soggetta a lisciviazioni quindi se viene usata viene utilizzata tramite dei frazionamenti. Si consiglia perlopiù l'utilizzo di forme ammoniacali o ureiche.

- Potassio: è meno mobile rispetto all'azoto e la sua distribuzione anche in terreni umidi che interessano gli apparati radicali delle piante è più uniforme.
- Fosforo: è un elemento poco mobile, tuttavia, grazie alla sua distribuzione mediata dall'acqua la sua mobilità aumenta notevolmente. Presenta il difetto dei precipitati creatosi tramite le interazioni con il calcio e il magnesio, per evitare questo effetto si aggiungono acidificanti alla soluzione.

Per poter applicare la fertirrigazione è necessario essere a conoscenza di determinate nozioni:

- Conoscere le esigenze nutrizionali della coltura in termini di macro e micronutrienti.
- Conoscere le caratteristiche pedologiche del terreno per determinare gli apporti nutritivi.
- Conoscere pH e conducibilità elettrica dell'acqua di irrigazione.
- L'apporto in fertilizzante va ridotto di un 30% rispetto alla concimazione solida.
- Conoscere profondità radici e quantità d'acqua nel terreno prima di eseguire l'apporto fertirriguo.
- Non eseguire eccessi idrici per quanto riguarda il volume l'adacquamento
- All'80% del volume d'adacquamento va completata la fertirrigazione
- Bisogna garantire un'omogeneità di distribuzione dell'acqua per ottimizzare gli apporti di fertilizzante
- Tenere d'occhio la salinità massima consentita in base alla tipologia di coltura in atto
- I valori ottimali per la distribuzione sono tra 5 e 6
- L'ostruzione dei gocciolatori può essere evitata grazie all'impiego di fertilizzanti a reazione acida.
- Evitare assolutamente l'apporto di fertilizzanti contenuti calcio e magnesio con altri contenuto zolfo o fosforo.
- Non apportare microelementi in insieme al fosforo.

La fertirrigazione applicata alle colture, come il mais, permette di massimizzarne il potenziale genetico, aumentando la permanenza del colore verde (staygreen) e la sostanza secca. Inoltre, consente apporti più tardivi rispetto alla concimazione minerale, aumentando l'efficienza della concimazione per ogni stadio fenologico della pianta.

Per quanto riguarda la tecnica di immissione delle varie sostanze nell'impianto pivot, solitamente viene utilizzata una cisterna in corrispondenza del pompaggio principale

dell'acqua. Alla cisterna è collegato un tubo che si connette a una pompa dedicata; il sistema comunica con una centralina, a sua volta collegata a un contalitri, che in base ai litri di acqua immessi nell'impianto fa erogare la quantità preimpostata di soluzione fertilizzante. La potenza assorbita dalla pompa per il fertilizzante vanno dai 0,37 ai 0,55 kW. Il fertilizzante solitamente viene iniettato a circa 5 litri per ogni metro cubo di acqua che entra nell'impianto.

Gli impieghi dei pivot in agricoltura non si fermano qui. Da qualche anno si sta considerando l'idea di utilizzare gli impianti per spargere concime organico liquido tal quale o per uso fertirriguo. In questo contesto, vediamo insieme i vantaggi generali degli apporti di sostanza organica e i tipi di prodotti che possono essere usati in abbinamento a pivot.

La fertilizzazione organica consiste nell'apporto di sostanze organiche atte al miglioramento della struttura e della fertilità del terreno. Le matrici organiche che possiamo andare ad apportare possono essere di origine vegetale, animale o mista. Le matrici vegetali comprendono residui colturali, piante verdi da sovescio, vinacce, residui di potatura, foglie, alghe e digestato. Le matrici animali comprendono deiezioni solide o liquide, residui di cuoio, sangue, ossa e digestato.

Le matrici miste comprendono letame, compost, terriccio e digestato. La fertilizzazione organica consente un miglioramento delle proprietà fisiche e chimiche del terreno, come il miglioramento della struttura, l'aumento della capacità di campo e l'aumento della capacità di scambio cationico. Oltre ad apportare nutrienti, favorisce l'accrescimento radicale, stimola la proliferazione della fauna microbica del terreno e ricarica la quantità di carbonio all'interno del suolo.

L'origine delle matrici organiche in agricoltura è solitamente legata alla lettiera degli animali presenti in azienda, ma non solo; sono considerate matrici anche i residui colturali e i materiali provenienti da un ipotetico digestato presente in azienda. Va precisato che queste cosiddette matrici possono essere sia aziendali che extra-aziendali. I residui extra-aziendali possono provenire da agroindustria, compost, digestati e fanghi di depurazione.

Gli effluenti utilizzabili in un impianto pivot devono essere per forza di cose liquidi. Procediamo ora a descrivere dal punto di vista chimico ed organolettico solamente i liquami e i digestati.

I liquami, definiti effluenti di allevamento non potabili dal decreto interministeriale n. 5046 del 25 febbraio 2016, sono costituiti da miscele di stallatico, residui alimentari, perdite di

abbeverata e acque di veicolazione delle deiezioni. Sul tal quale, assumono valori diversi a seconda della tipologia di animale in azienda. Ad esempio, nei bovini, l'umidità varia dall'85% al 95%, mentre la sostanza organica varia dall'8% all'8,5%. Per quanto riguarda gli apporti in nutrienti, siamo a 0,4 per l'azoto (N), 0,3 per il fosforo (P₂O₅) e 0,4 per il potassio (K₂O) su valori percentuali.

Il digestato è il residuo del processo di digestione anaerobica di matrici organiche, che avviene nei digestori degli impianti di biogas. Le matrici utili per il corretto funzionamento di un impianto di biogas sono effluenti zootecnici, biomasse di origine vegetale, scarti dell'agroindustria, sottoprodotti di origine agricola, sottoprodotti animali, frazione organica dei rifiuti solidi urbani e scarti delle lavorazioni delle biomasse. Il digestato, pur essendo un prodotto palabile, contiene comunque una frazione solida separata dopo il processo di digestione, che genera gas. La frazione liquida, chiamata anche chiarificata, contiene una buona dose di azoto prevalentemente sotto forma ammoniacale e un rapporto N/P elevato. La frazione solida concentra la maggior parte della sostanza organica, contiene un'elevata percentuale di azoto sotto forma organica, conserva buona parte del fosforo e ha una funzione ammendante. Siccome il digestato proviene da diverse fonti, può assumere percentuali di sostanze molto diverse, ad esempio, l'azoto può variare dal 3,1% al 14% sul tal quale, mentre gli altri elementi hanno range molto variabili, come il fosforo (0,3-3,5) e il potassio (1,9-4,3).

Capitolo 3

CASO STUDIO

3.1 Motivazioni sulla conversione di un impianto

I motivi per la conversione di questi impianti sono principalmente di natura agronomica, mirando a sfruttare e valorizzare al massimo l'impiantistica disponibile e a utilizzare il più possibile materie prime e sottoprodotti presenti in azienda. In un'ottica di agricoltura circolare e sostenibile, diventa essenziale considerare queste applicazioni. È importante notare che riscoprire la concimazione organica, dopo anni di predominanza dei fertilizzanti chimici, è un beneficio. Con la chiusura progressiva delle stalle negli ultimi anni, anche i terreni hanno subito una perdita significativa di sostanza organica.

La concimazione organica presenta anche un minore impatto ambientale. Alcuni concimi chimici azotati sono suscettibili a dilavamento e perdite per evaporazione di ammoniaca.

3.2 Modifiche necessarie per la conversione in fertirriguo

Per quanto riguarda le modifiche, l'aspetto più "complesso" è l'inserimento nei tubi di alimentazione del pivot. Di solito, questo viene realizzato creando un nuovo filetto nella tubatura già esistente o applicando una presa a staffa se possibile. Dato l'estremamente bassa concentrazione del fertilizzante e la resistenza delle tubature zincate a caldo, che non lasciano soluzione concimante all'interno dell'impianto, i tubi esistenti sono adatti a questa applicazione.

Quando si effettua questa modifica, è importante lavare i tubi con acqua normale o eseguire l'ultima fase di irrigazione solo con acqua. Inoltre, ai costi associati a questa modifica vanno aggiunti: la pompa del fertilizzante, la cisterna, la centralina della fertirrigazione e il flussimetro per il fertilizzante.

A titolo puramente indicativo, si stima che le spese complessive per materiali, nuove attrezzature e manodopera possano aggirarsi intorno ai 5000 euro.

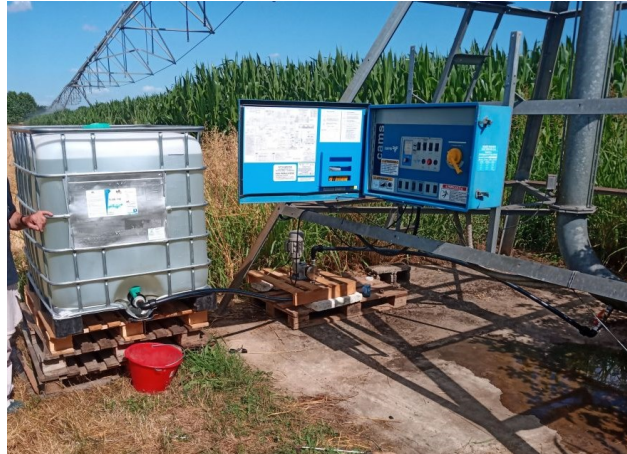


Figura 3.1: fertirrigazione chimica con pivot

3.3 Modifiche necessarie per la conversione in fertirriguo organico

Come già accennato in precedenza, il digestato può essere distribuito al suolo tramite il pivot sia attraverso la fertirrigazione che sul tal quale.

Per il metodo sul tal quale, si utilizza un tubo esterno alle campate realizzato in materiale plastico. Questo tubo attraversa l'intera lunghezza del pivot e raggiunge la piramide centrale. Da lì, il tubo può continuare sottoterra fino al luogo di pompaggio del digestato o terminare vicino all'impianto, dove è presente una pompa per il digestato insieme a un contenitore per il rilascio dei reflui. Se l'azienda dispone di una quantità significativa di terreno nelle vicinanze del centro aziendale, è possibile pompare il digestato dal biogas fino al tubo esterno. In alternativa, è necessario posizionare una pompa dedicata per il digestato vicino alla torre centrale, con collegamento diretto al container.

Il tubo che percorre le campate è collegato a diversi tubi di calata, i quali distribuiscono il liquame a pochi centimetri dal suolo in modo uniforme, utilizzando la tecnologia LEPA (Low Energy Precision Application).



Figura 3.2: trattore con botte che porta il digestato all'impianto

Dopo l'utilizzazione di questo sistema si esegue una pulizia dei tubi pompando acqua al loro interno per consentirne un'adeguata conservazione e la possibilità di essere riutilizzato in futuro, se non venisse eseguita la pulizia già dopo una applicazione diventerebbe inutilizzabile a causa del processo di essiccazione del digestato che formerebbero croste costituite di materia organica solida (ormai priva di acqua) che otturerebbe le tubazioni e sarebbe quasi impossibile rimediare al danno creatosi.

I principali vantaggi su questo sistema di aspersione sono: la diminuzione del fenomeno di compattamento del terreno (creato dal passaggio delle botti) e di conseguenza la riduzione del danno che viene creato alla suola di lavorazione e un utilizzo meno marcato di attrezzature quindi meno spesa in manodopera e consumi generali delle macchine.

Per quanto concerne la fertirrigazione con il digestato il processo è più o meno il medesimo citato sulla fertirrigazione chimica viene quindi installato il sistema già citato e viene collegata una pompa più o meno grande in base alla quantità di metricubi/ettaro desiderata, il tutto viene gestito da un pressostato collegato ad una centralina, per questo lavori si utilizza una centralina della Galcon il modello GSI.



Figura 3.3: Galcon GSI pro

Ovviamente, anziché il serbatoio in plastica, la pompa viene collegata a un container con un continuo via vai di botti che portano il digestato in campo. Il digestato deve essere chiarificato tramite un processo di filtrazione e separazione liquido-solido in uscita centrale (ad esempio, la tecnologia Sepcom). Sono state effettuate prove utilizzando un filtro della Saveco in grado di filtrare il prodotto a 25 micron, in modo da non ostruire gli ugelli.



Figura 3.4: filtro Saveco che chiarifica il digestato

È possibile eseguire fertirrigazioni in modo da non apportare concime granulare con il trattore, che, inutile dire, anche se minimo, porta comunque a compattamento, costo orario dei dipendenti e consumi delle macchine. Si devono considerare gli apporti azotati tenendo conto della possibilità di scottatura delle piante. Come già detto, la fertirrigazione consente di apportare concime anche dopo che la pianta "chiude le file", rendendo impossibili le lavorazioni o, più semplicemente, quando la pianta diventa troppo alta o grande (ad esempio, mais).

A differenza della fertirrigazione chimica, i costi di conversione degli impianti descritti in questo capitolo sono più ingenti, tra i 15 e i 20 mila euro. Si deve considerare che non vengono apportate migliorie "minime", ma si hanno delle modifiche più marcate.

3.4 Analisi costi e benefici

In questo paragrafo prenderemo in analisi due casi studio: uno sarà incentrato sulla fertirrigazione organica e una sullo spargimento del digestato sul tal quale.

3.4.1 Fertirrigazione organica

Ipotizziamo un terreno coltivato a mais "coperto" da un pivot che comprende un'area di 39 Ha, facciamo un confronto di apporti usando concime solido e concime organico liquido apportato in fertirriguo. Riferimento 3 km da centrale biogas a loco distribuzione.

Prendo in riferimento un ipotetico contenuto azotato del digestato, riferita in unità, del 0,4%. Ipotizziamo che 1 singola botte possa portare 24 m³ (come nella norma).

Calcoliamo il confronto economico prendendo in considerazione i costi su un ettaro.

Fertirrigazione organica: il costo del prodotto in uscita equivale a 0, il costo della distribuzione con 30 mm di acqua e 24 m³ di digestato equivale a 1,22 kW/ha per il pivot e 0,6 kW/ha per la pompa del digestato per un prezzo della corrente equivale a 0,6 euro/kW, il costo del trasporto delle botti è di 50 € all'ora e per apportare 24 m³ è necessaria 1 botte all'ettaro; quindi, il costo è di 50 € per ettaro.

Tabella 3.1: calcolo costi fertirrigazione organica

Costi	Quantità	Costo unitario	Costo totale
prodotto in uscita	24 m ³	0 €/m ³	0 €/ha
distribuzione	1,22 kW/ha +0,6 kW/ha	0,6 euro/kW	1,092 €
trasporto botti	1 botte/ha	50 €/ha	50 €
TOTALE	/	/	51,092 €

Ipotizziamo un costo complessivo di 55 € includendo variabili non considerate, per un apporto di 30mm di acqua e 96 unità di azoto.

Fertilizzazione chimica (2q/ettaro urea): Ipotizziamo un costo del prodotto in uscita di 30 euro/q, Ipotizzando un costo medio di distribuzione di 30 €/ha (sarchiatore o spandiconcime pneumatico) e un costo del trasporto del prodotto in loco di 0,6 €/q.

Tabella 3.2: calcolo costi fertilizzazione chimica

Costi	Quantità	Costo unitario	Costo totale
prodotto in uscita	2 q	30 €/q	60
distribuzione	1	30 €/ha	30
trasporto in loco	2	0,6 €/q	1,2
TOTALE	/	/	91,2 €

Come si è dimostrato l'utilizzo del materiale organico in uscita dalla centrale genera un'economia di $91,2 - 55 = 36,2$ €/ha che moltiplicato ai 39 ha di superficie interessata producono un totale di $36,2 \times 39 = 1411,8$ €

Conclusioni confronto:

Considerazioni agronomiche:

- Utilizzo di materiale autoprodotta
- Beneficio agronomico dovuto al non compattamento meccanico
- Importante risparmio economico documentato

- Apporto di sostanza organica al terreno con riequilibrio della microflora batterica
- Attenuazione di fenomeni di impatto ambientale dovuto a: dilavamento sostanza chimica e al noto fenomeno dell'ureasi
- Le perdite sono minime considerando che le calate distribuiscono a pochi cm dal suolo.

3.4.2 Aspersione sul tal quale

Ipotizziamo un terreno "coperto" da un pivot che comprende un'area di 39 ha, facciamo un confronto di efficienza agronomica ed economica sullo spargimento del liquame usando il pivot e sullo spargimento usando le botti, si ipotizza un apporto di 50 m³ ettaro, prendendo sempre in considerazione 3 km di distanza tra la centrale e il loco di distribuzione. Prendo in riferimento un ipotetico contenuto azotato del digestato, riferita in unità, del 0,4%. Ipotizziamo che 1 singola botte possa portare 25 m³ (come nella norma). Calcoliamo il confronto economico prendendo in considerazione i costi su un ettaro. Spargimento con botti: il costo delle botti è di 50 € all'ettaro e ne servono 2, il costo del prodotto in uscita è pari a 0.

Tabella 3.3: calcolo costi spargimento con le botti

Costi	Quantità	Costo unitario	Costo totale
prodotto in uscita	50 m ³	0 €/m ³	0
botti	2 botti/Ha	50 €/ha	100
TOTALE	/	/	100 €

Spargimento con pivot: il costo del prodotto in uscita è pari a 0, il Costo del trasporto con la botte è di 50 € all'ettaro considerando i tempi di carico e scarico, il Costo energetico dello spargimento è di 0,77 kW/ha per il pivot e 1,25 kW/ha per la pompa del digestato ad un prezzo per la corrente di 0,6 €/kW.

Tabella 3.4: calcolo costi spargimento pivot tal quale

Costi	Quantità	Costo unitario	Costo totale
prodotto in uscita	50 m ³	0 €/ m ³	0
botti	1 botti/ha	50 €/ha	100
spargimento pivot	2,2 kW/ettaro	0,6 €/kW	1,21
TOTALE	/	/	51,21 €

Come si è mostrato l'utilizzo del pivot per lo spargimento rispetto alla distribuzione con botti genera un'economia di circa $100 - 51,21 = 48,8$ €/ha che moltiplicato per i 39 ha di superficie interessata producono un totale di $48,8 \times 39 = 1903,2$ €

Concludendo quindi la soluzione consente:

- Benefici agronomici dovuti al minor compattamento meccanico
- Perdite minime considerando che le calate distribuiscono a pochi cm dal suolo
- Un vantaggio economico.

Capitolo 4

CONCLUSIONI

Il presente lavoro è stato ispirato dalla necessità di affrontare le sfide agricole odierne, in particolare la siccità e i crescenti costi legati alla concimazione minerale. La tesi si propone di offrire una descrizione approfondita degli impianti esistenti e di presentare nuove applicazioni, dimostrandone l'efficacia e il funzionamento. Gli argomenti trattati comprendono la siccità, l'incremento dei costi dei concimi a seguito della guerra in Ucraina, il funzionamento generale di un pivot, la componentistica di un pivot, la disamina dettagliata di ogni parte meccanica di un pivot, le storie dei principali produttori di pivot e l'analisi delle nuove applicazioni del digestato con la tecnologia LESA. Infine, è stato condotto un confronto agronomico ed economico delle nuove applicazioni.

Da notare che la distribuzione di digestato per via aerea è attualmente vietata dalle normative vigenti a causa delle maleodoranze, dell'incremento dei pronubi e di altri fattori negativi. La tecnologia LESA potrebbe rappresentare una prospettiva futura in linea con le normative esistenti.

Questo studio è stato reso possibile grazie alla collaborazione con varie aziende del settore agricolo, fornendo informazioni pratiche essenziali. Il lavoro ha anche affrontato le sfide nel reperire dati su un argomento ancora relativamente nuovo, enfatizzando l'importanza delle informazioni provenienti dal contesto aziendale per completare in modo esaustivo la tesi.

BIBLIOGRAFIA

Documenti scientifici

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation Drainage Paper 56, FAO, Rome.
- ASCE. 1978. Describing irrigation efficiency and uniformity. Journal of irrigation and drainage Engineering, 104 (1), 35-41
- Burt C. M., Clemments A. J., Strelkoff T. S., Solomon K. H., Bliesner R. D., Hardy L. A., Howell T.A., Eisenhauer D. E. 1997. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. Journal of irrigation and drainage engineering, 123(6), 423-442.
- Cavazza D. 1990. L'impianto fisso di pluvirrigazione. Edagricole, Bologna.
- Christiansen J. E. 1942. Irrigation by sprinkling. California Agric. Experiment Station Bulletin. Berkeley, CA (USA).
- Constantinidis C. 1998. Idraulica applicata. Edagricole. Bologna.
- Friso D., Bortolini, L. 2012. Influence of trajectory angle and nozzle height from the ground on water distribution radial curve of a sprinkler. Journal of Agricultural Engineering, 43(1), 15-25.
- Keller J., Bliesner R. D. 2000. Sprinkler and trickle irrigation. Blackburn press. Caldwell, New Jersey (USA).
- Leopardi A. 2005. Le resistenze al moto. Appunti del corso idraulica e meccanica dei fluidi. Università di Cassino.
- Matarrese N. 1986. Idraulica agraria. Edizioni Fratelli Laterza, Bari.
- Pagniello L. 1981. Impianti irrigui. Reda, Roma.
- Bortolini L. 2019. Tecniche e impianti per l'irrigazione. Coop. Libreria Editrice Università di Padova, Padova.
- William E. Splinter 1976. Scientific American, Vol. 234, No. 6 (June 1976), pp. 90-99. Scientific American, a division of Nature America, Inc.
- A.H. El Nahrya, R.R. Ali b, A.A. El Baroudyc. 2011. An approach for precision farming under pivot irrigation system using remote sensing and GIS techniques. Agricultural Water Management 98 (2011) 517–531. (USA).
- M. Omary, C. R. Camp, E. J. Sadler. 1997. Center Pivot Irrigation System Modification to Provide Variable Water Application Depths. ASAE University of Georgia.

R. Sui, D. K. Fisher. 2015. Field Test of a Center Pivot Irrigation System. American Society of Agricultural and Biological Engineers (USA).

B. A. King, R. W. Wall, T. F. Karsky. 2009. Center-Pivot Irrigation System for Independent Site-Specific Management of Water and Chemical Application. American Society of Agricultural and Biological Engineers (USA).

D. H. Rogers, J. Aguilar, I. Kisekka, F. R. Lamm. 2017. Center Pivot Irrigation System Losses and Efficiency. Proceedings of the 29th Annual Central Plains Irrigation Conference, Burlington, Colorado, Feb. 21-22, 2017. Available from CPIA, 760 N. Thompson, Colby, Kansas.

B. D. S. Barbosa, A. Colombo, J. G. N. de Souza, V. B. da S. Baptista, A. C. S. de Araújo. 2018. Energy Efficiency of a Center Pivot Irrigation System. Engenharia Agrícola.

M. Saraiva, É. Protas, M. Salgado, C. Souza, Jr. 2020. Automatic Mapping of Center Pivot Irrigation Systems from Satellite Images Using Deep Learning. Remote sensing.

Siti web

https://en.wikipedia.org/wiki/Valmont_Industries

<https://www.valleyirrigation.com/>

<https://www.lindsay.com/euas/en/irrigation/brands/zimmatic/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Lindsay_Corporation

<https://www.reinke.com/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Center-pivot_irrigation

<https://www.riverscreen.com/>

<https://www.euromacchine.it/en/irrigation/filtro-riverscreen/>

<https://www.consorzioagrariocremona.it/fertirrigazione-con-pivot-scopri-tutti-i-vantaggi/>

<https://www.acquafertagri.it/irrigazione-agricola/fertirrigazione/>

https://sosaguae.crpa.it/media/documents/sosaguae_www/documenti/Pubblicazioni/IA_11_2022_Mantovi_Sos_Aquae.pdf?v=20220420

RINGRAZIAMENTI

Desidero esprimere la mia profonda gratitudine a tutti i miei parenti e amici, con un ringraziamento speciale rivolto ai miei genitori. Il loro costante sostegno in ogni difficoltà ha contribuito in modo significativo al mio percorso e al conseguimento di questo importante traguardo. Essere uno studente dislessico ha reso la mia strada più impegnativa, ma grazie all'aiuto degli insegnanti, ho superato le sfide.

Un ringraziamento particolare al professor Marinello per il suo sostegno fin dall'inizio di questo progetto, che ha portato alla realizzazione di questa tesi. Infine, desidero ringraziare tutte le aziende che hanno gentilmente fornito i dati necessari per lo sviluppo della tesi, con un riconoscimento speciale a Irrinova e al suo staff, alla Doda, all'Irrigazione Veneta ed Euromacchine.