



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI BARI
ALDO MORO**

**DIPARTIMENTO DI “SCIENZE AGRO AMBIENTALI E TERRITORIALI”
CORSO DI LAUREA IN “SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE”**

**Tesi di Laurea in
AGRONOMIA E COLTIVAZIONI ERBACEE**

**I sistemi di supporto decisionale (DSS) in campo agronomico:
importanza della qualità dei dati agrometeorologici per i
modelli di simulazione.**

**Relatore:
Chiar.mo Prof. Eugenio Cazzato**

**Tutor aziendale:
Dott. Erminio Efsio Riezzo**

**Laureanda:
Mariadomenica Corsi**

Anno Accademico 2016-2017

Indice

Introduzione.....	2
1. SCENARIO CLIMATICO	
1.1 Il clima sta cambiando.....	4
1.2 Sistema acqua.....	5
1.3 Acqua in agricoltura.....	6
1.4 Risorse idriche alternative.....	7
1.5 Uno sguardo al futuro.....	8
2. PROGRAMMAZIONE IRRIGUA	
2.1 Introduzione.....	9
2.2 Quando intervenire e come deciderlo.....	10
2.2.1 Evapotraspirazione.....	12
2.3 Caratteristiche di una stazione agrometeorologiche.....	16
2.4 Sistemi di supporto decisionale... una soluzione?.....	18
3. AGRICOLTURA DI PRECISIONE	
3.1 Cos'è l'agricoltura di precisione?.....	19
3.2 Modelli di simulazione in agricoltura di precisione.....	22
3.2.1 Tipologie di modelli di simulazione.....	24
3.2.2 Tecniche di utilizzo e potenzialità.....	25
3.3 Applicazione dei modelli di simulazione.....	28
3.4 Sistemi informativi aziendali.....	29
3.4.1 Componenti tecnologici di un sistema informativo.....	30
3.4.2 Cloud Computing.....	32
4. ESPERIENZA DI TIROCINIO	
4.1 L'azienda SYSMAN Progetti & Servizi.....	34
4.2 Il progetto Bluleaf.....	35
4.3 La qualità dei dati agrometeorologici.....	39
5. Conclusioni.....	41
BIBLIOGRAFIA.....	43

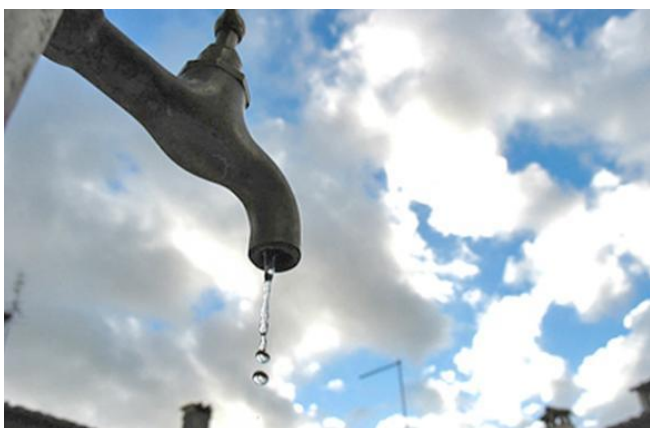
INTRODUZIONE

L'acqua è un bene insostituibile per la vita ed è considerato ormai limitato se associato all'alto incremento demografico a livello mondiale e alla crescente richiesta di acqua per diversi fini.

Come ben sappiamo l'acqua ricopre quasi il 70% della superficie terrestre della quale percentuale il 97,5% del totale è rappresentata dall'acqua di oceani e mari e il restante 2,5% è acqua dolce che troviamo come ghiacciai, acqua freatica e vapor d'acqueo in atmosfera.

La sua importanza viene riscontrata in campo industriale, civile, ambientale ed agricolo.

Soffermandoci sul campo di nostro interesse possiamo affermare che le quantità d'acqua utilizzate in agricoltura superano notevolmente gli altri ambiti, tenendo sempre presente che con acqua di utilizzo agricolo significa parlare *d'irrigazione*. Gli altri usi infatti (abbeveraggio animali, trattamenti fitosanitari e vari lavaggi) presentano richieste poco significative.



Il calcolo della quantità di acqua irrigua è uno dei maggiori problemi aziendali diffusi perché non si deve solo tener conto del sistema pianta-ambiente per un maggior profitto ma anche della disponibilità effettivamente fruibile considerando i cambiamenti climatici che

soprattutto nel periodo estivo possono portare alcune zone del territorio italiano e non solo verso periodi siccitosi.

In questo scenario problematico che vede da un lato un cambiamento climatico continuo con l'innalzamento della temperatura e un conseguente utilizzo della riserva idrica senza programmare una compensazione e dall'altro la scelta di uno dei differenti metodi di calcolo per il fabbisogno irriguo aziendale, classificati in metodi per la misura dello stato idrico delle piante, per la misura dello stato idrico del suolo e calcolo del bilancio idrico del sistema. Accorrono in ausilio i sistemi di supporto decisionale (DSS) in campo agronomico. Per sistema di supporto decisionale si intende un sistema-software interattivo che aiuta gli utenti a elaborare ma anche a rappresentare i dati e informazioni al fine di analizzare i problemi e prendere una decisione su di essi.

I dati ricevuti ed elaborati dal sistema derivano da stazioni agrometeorologiche montate in azienda o eventualmente si può usufruire di valori di stazioni pubbliche, per rendere sempre più preciso il dato finale si può incrementare le informazioni con sensori suolo (tensiometri, TDR, ecc.) e anche con sensori-pianta che permettono di acquisire indici di stress idrici della coltura.

Nella succursale dell'azienda Sysman di Bari ho potuto, attraverso l'esperienza di tirocinio, approfondire la conoscenza del funzionamento di questi sistemi con lo studio e l'utilizzo del software da loro progettato e programmato come supporto decisionale in ambito agronomico: *Bluleaf*.

Questo sistema basa la sua elaborazione di dati agrometeorologici di stazioni in campo e di dati derivanti da altre sonde. L'accuratezza del modello finale elaborato dipende da vari fattori come la configurazione del software e la qualità dei dati meteo recepiti dai sensori.



Ho realmente potuto vedere da vicino come questo sistema possa rivoluzionare ma specialmente semplificare i calcoli di volumi irrigui in medie-grandi aziende permettendo di incamminarsi verso la strada della sostenibilità attraverso solo valutazioni tecniche che trascendono la capacità di sintesi dell'esperienza personale.

1. SCENARIO CLIMATICO

1.1 Il clima sta cambiando

I diversi report dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) che si sono succeduti nel tempo in particolare l'ultimo del 2014, hanno evidenziato significativi incrementi della temperatura globale e soprattutto hanno segnalato che tali variazioni sono strettamente correlate all'aumento dei gas serra.

“Il periodo tra il 1983 e il 2012 è stato molto probabilmente il trentennio più caldo negli ultimi 800 anni nell'emisfero settentrionale”(IPCC Fifth Assessment Report 2014).

Si è infatti riscontrato come la temperatura combinata tra oceani e terra abbia aumentato il valore medio di 0,85°C fino al 2012, per poi culminare nel 2016, ritenuto da tutti i centri scientifici che studiano il clima, l'anno più caldo degli ultimi 137 anni, ovvero da quando sono cominciate le registrazioni meteorologiche.

L'attività antropica per quanto concerne questo fenomeno è un dato incontestabile, dato dall'aumento dell'emissione dei gas-serra dall'inizio del periodo pre-industriale che ha poi registrato il suo massimo picco storico nel primo decennio degli anni 2000.

Questo trend di emissioni può essere propedeutico a quanto viene predetto dai modelli di circolazione globale dell'atmosfera(GCM) che sostanzialmente confermano, o meglio, amplificano il riscaldamento dell'atmosfera che finisce per diventare l'elemento fondante delle previsioni climatiche dell'ultimo secolo.

Com'è noto gli effetti del riscaldamento globale possono essere diversificati: scioglimento dei ghiacciai e innalzamento del livello del mare con conseguenti inondazioni di città costiere e aree sotto il livello del mare, collasso di ecosistemi fino all'estinzione di specie a rischio, mancati raccolti per le temperature crescenti e questi sono solo alcuni esempi.

Sebbene da un lato l'IPCC ritenga l'uomo responsabile al 95% del corrente surriscaldamento globale, dall'altro sottolineano che abbiamo i mezzi per limitare il cambiamento climatico e i suoi rischi per continuare una crescita umana ed economica, altrimenti come ipotizzato dall'economista inglese Nicholas Stern nel 2006 il surriscaldamento globale potrebbe equivalere a più del 20% del PIL mondiale trasformandosi così nella più grande catastrofe economica della storia.

1.2 Il sistema acqua

L'acqua offre ragionevoli prospettive per l'incremento delle rese medie in molte aree agricole, e nel contempo, appare uno strumento non surrogabile per l'eventuale messa a coltura per ampie superfici del pianeta.

La quantità totale immessa, e rapportata all'intera popolazione, potrebbe riempire una piscina con base 100 ha e profondità 200 m per ogni essere umano. Anche se l'acqua dolce è solo il 2,5% del totale, l'ipotetica piscina di confronto avrebbe pur sempre una capienza di 5 milioni di m^3 . Ma la vera risorsa a cui attingere per soddisfare i nostri molteplici bisogni di acqua dolce, è quella che si rinnova col bilancio idrico annuale: circa $36 Tm^3$.

Si parla di "vera" risorsa rinnovabile quella quantità di acqua che rimane sulle terre emerse al netto dell'evapotraspirazione, come mostrato nella tabella del bilancio idrico annuale.

Tabella - **Bilancio idrico annuale medio del pianeta (Tm^3)**

Bilancio	Oceano e mari	Terre emerse	Totale
Precipitazioni (P)	398	106	504
Evapotraspirazione (ET)	433	71	504
P - ET	-35	35	0

Dobbiamo inoltre considerare che la quantità d'acqua utilizzata dall'uomo è notevolmente inferiore alla risorsa totale utilizzabile e rinnovabile nell'anno medio, perché: a) una parte si trova in zone di difficile accesso, b) le piogge sono soggette a consistenti variazioni annuali, stagionali e spaziali; c) sovente la richiesta di acqua è maggiore quando minore è la disponibilità; d) non sono stati approntati sistemi di captazione, conservazione e distribuzione capaci di raggiungere tale obiettivo.

"Se vogliamo continuare a mantenere l'agricoltura di qualità dobbiamo organizzarci per raccogliere l'acqua... non è possibile perdere ogni anno 9 litri di pioggia su 10" ha affermato il presidente Roberto Monclavo all'assemblea nazionale della Coldiretti del 2017, sottolineando così che una delle difficoltà è la mancanza di infrastrutture per la raccolta di acqua piovana e che per l'anno 2017 il problema siccità e incendi ha causato quasi 2 miliardi di danni al settore primario.

Stime riportate in GEO4 (Global Environment Outlook 4), riferite all'intero pianeta nell'anno 2000, ma attualizzate, indicano prelievi complessivi di acqua dolce pari a circa $3,65 Tm^3/anno$ (10,1% delle risorse rinnovabili) così ripartiti: 64% per l'impiego agricolo, 20% per uso domestico, 10% per uso industriale e 6% per navigazione e ambiente. Per

l'Italia, mediando stime di varia origine, i prelievi sembrano essere i seguenti ($Gm^3/anno$): agricoltura 23, civile 7 e industria 14.

Le differenti utilizzazioni possono comportare una sottrazione permanente dell'acqua (impropriamente chiamata "consumo") e/o un cambiamento qualitativo (positivo o negativo) e/o captazione temporanea.

Il conseguente impatto sulla risorsa è molto diverso e condiziona la possibilità di un eventuale successivo utilizzo.

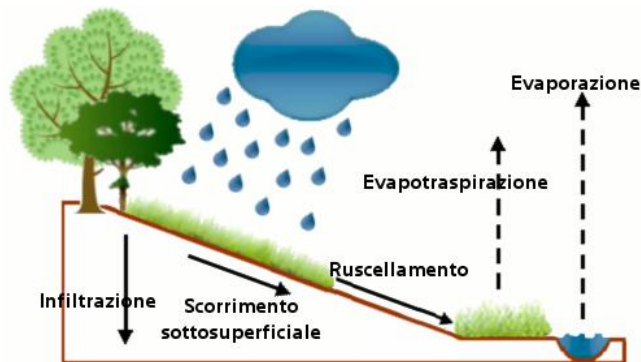


Figura - Ciclo idrologico

1.3 Acqua in agricoltura

Teniamo presente che quando parliamo di acqua in agricoltura parliamo d'irrigazione.

Gli scopi per i quali può essere richiesta un intervento irriguo sono molteplici e ognuno caratterizza un particolare tipo di irrigazione:

ammendante, antiparassitaria, correttiva, dilavante, termica e la più diffusa quella umettante.

Numerosi sono i fattori condizionanti lo sviluppo dell'irrigazione.

Innanzitutto occorrono adatte condizioni pedologiche (idoneità dei terreni a ricevere apporti artificiali di acqua), la possibilità di trovare adeguate risorse idriche disponibili, e questo dipende dal territorio e dalla disponibilità idrica ma anche dal clima e dalla temperatura senza dimenticare le esigenze aziendali e quindi dal tipo di sistema d'irrigazione e dalle esigenze colturali.

Tabella - Superficie irrigata in Italia nel 2007 (ha): sistemi di irrigazione e aree geografiche. Fonte ISTAT

Area	Totale	Scorrim. e Infiltraz.	Sommers.	Aspersione	microirrigazione totale	microirrigazione a goccia	Altro sistema
Nord	1.726.186	718.190	229.384	620.589	112.425	91.589	45.598
Centro	185.953	12.076	2.542	126.794	36.066	29.200	8.475
Mezzogiorno	798.037	84.569	11.404	233.638	421.190	331.736	47.236
Italia	2.710.176	814.835	243.330	981.021	569.681	452.525	101.309
%	100	30,1	9	36,2	21	[16,7]	3,7

Per quanto attiene alla quantità di acqua da utilizzare in agricoltura, in considerazione dell'insufficienza idrica diviene fondamentale saper calcolare con esattezza l'effettivo fabbisogno irriguo delle colture per evitare sprechi che si riflettono sia in campo economico, per gli elevati costi energetici che comporta l'irrigazione, sia in campo ambientale, per il rischio di lisciviazioni nelle falde di diverse sostanze a causa di eccessi idrici.

Inserendo tutti i tasselli nel nostro quadro storico: il clima con l'innalzamento della temperatura e l'allarme siccità, l'attività antropica con il suo contatto e utilizzo dell'acqua, specialmente nel settore primario, lo sguardo alle future generazioni e alla crescita della numerosità della popolazione; si evidenzia che bisogna conciliare le esigenze idriche dell'agricoltura con quelle dell'ambiente per conservare questa risorsa ai posteri ed è possibile solo se si assume coscienza dell'importanza di questo bene, disponibile in quantità sempre più limitate.

Per tanto all'agricoltura è richiesto di usarla con la maggior efficienza.

1.4 Risorse idriche alternative

Alla luce dei cambiamenti climatici, si prevede un aumento della competizione per la risorsa idrica fra i vari settori produttivi (agricolo, industriale, turistico) ed anche i centri urbani. Con buona probabilità, sarà il comparto agricolo ad essere penalizzato, pertanto è necessaria l'individuazione di fonti di acqua alternative da destinare all'irrigazione. L'uso dei reflui urbani (opportunosamente trattati) per fini irrigui è da

molto tempo una realtà in alcuni paesi del bacino del Mediterraneo (Israele, Cipro, Giordania, Tunisia) che soffrono una crisi idrica strutturale, mentre in Italia il riuso controllato dei reflui urbani ed industriali depurati per l'irrigazione è limitato ad alcune regioni (Emilia Romagna, Lombardia, Puglia, Sicilia e Sardegna) (Palese et al., 2008).

La legislazione italiana per l'uso di acque reflue nel comparto agricolo (DM n. 185 del 12 Giugno 2003) impone limiti più severi rispetto alle indicazioni della Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ostacolando così l'utilizzo di tale risorsa (Palese et al., 2008). I costi economici (elevati) per l'abbattimento della carica microbiologica entro i limiti di legge, sono con buona probabilità l'ostacolo principale ad una maggior diffusione dell'impiego dei reflui urbani in agricoltura.

L'attività di ricerca decennale condotta in Basilicata ha dimostrato il grande potenziale socio-economico legato all'uso di reflui trattati in agricoltura. Infatti, nel caso di un oliveto

normalmente in asciutto, l'uso di reflui trattati ha incrementato del 170% il valore della produzione di olive con un livello di contaminazione ampiamente al disotto dei limiti di legge (Palese et al., 2008).

L'impiego di tali acque ha permesso l'apporto di nutritivi (in particolare azoto) contribuendo alla riduzione degli input esterni ed all'aumento sia della biomassa prodotta e quindi anche del carbonio atmosferico immagazzinato nel suolo.

Sono stati condotte dal *Dr. Howell*, ricerche anche negli Stati Uniti, precisamente in Florida, dove è ricorrente il problema della scarsità dell'acqua in l'agricoltura. Gran parte della carriera del Dr. Howell si è basata sull'irrigazione delle colture ma anche sullo studio delle stazioni meteorologiche e il calcolo dell'evapotraspirazione, nella sua attività ha potuto riscontrare come potremmo risparmiare dal 50% al 100% dell'acqua destinata all'irrigazione se si attuassero attività di raccolta dell'acqua e anche riutilizzo delle acque reflue che con i giusti accorgimenti si potrebbero migliorare le condizioni chimico/fisico del terreno.

1.5 Uno sguardo al futuro

Il cambiamento climatico influenzerà negativamente la produttività delle colture e in particolare per quelle primaverili – estive, per le quali è previsto un incremento di uso di acqua per l'irrigazione.

Questo tema può essere affrontato da diversi aspetti: attraverso la genetica e l'agronomia. In primo luogo, lavorando su colture arido resistenti e su pratiche agronomiche meglio compatibili con fenomeni di siccità.

Questo può essere unito a un uso più razionale dell'acqua attraverso l'utilizzo di strumenti informativi in grado di ottimizzare i momenti e i quantitativi delle singole irrigazioni, come ad esempio i software Irrinet, Irriframe e si unisce a loro il progetto di Bluleaf, ma anche al livello di consorzio o di bacino attraverso modelli previsionali basati su dati climatici. L'uso di satelliti, droni, modelli, sensori permette sempre più di avere una cognizione chiara di come intervenire in modo efficiente, anzi migliorando le esigenze di qualità e resa delle colture.

Alla luce della nuova programmazione 2014-2020 dell'Unione Europea si riscontra come l'impiego razionale dell'acqua sia un obiettivo imprescindibile per coniugare produttività e sostenibilità.

“La regione Puglia ha individuato la necessità di attivare interventi mirati a una gestione sostenibile delle superfici agricole per contenere i fattori di pressione ambientale che l'agricoltura genera.”(PSR Puglia 2014-2020)

Per raggiungere un traguardo europeo sono stati previsti degli strumenti nei nuovi Programmi di sviluppo rurale che puntano a promuovere la diffusione di tecniche di agricoltura sostenibile.

2. PROGRAMMAZIONE IRRIGUA

2.1 Introduzione

Per ottimizzare le produzioni, è necessario incrementare l'efficienza d'uso dell'acqua irrigua definendo i criteri di programmazione irrigua e stimando, con accuratezza, il volume d'adacquamento, il volume stagionale irriguo, il momento di intervento irriguo e le modalità di somministrazione (metodi irrigui).

La programmazione irrigua è un processo decisionale teso a determinare “quando” irrigare e “quanta” acqua fornire alla coltura ad ogni intervento irriguo. La prima scelta implica la corretta definizione del momento d'intervento irriguo attraverso criteri oggettivi basati sulle interazioni suolo, pianta ed atmosfera riconducibili alle seguenti tre categorie: metodi basati sul monitoraggio dello stato idrico del terreno, metodi basati sul monitoraggio dello stato idrico della pianta, metodi basati sul continuo aggiornamento del bilancio idrologico del suolo, ovvero metodo evapotraspirometrico. La seconda scelta riguarda la definizione del volume areico specifico di adacquamento ottimale da applicare ad ogni intervento irriguo, considerando che volumi irrigui superiori alla quantità d'acqua trattenuta nello strato radicale si perdono per percolazione, abbassando l'efficienza dell'acqua e favorendo la perdita di sostanze nutritive.

Decidere quando e quanto irrigare richiede una profonda conoscenza dei fattori che contribuiscono a determinare lo stato idrico di una coltura erbacea o arborea, dei consumi idrici durante le varie fasi fenologiche di ciclo colturale e degli effetti che le varie strategie di gestione dell'acqua hanno sulla produttività della stessa.

Gli interventi irrigui, inoltre, devono tener conto delle caratteristiche fisiche e idrologiche del terreno.

Complessivamente le scelte tecniche inerenti la programmazione irrigua determinano l'incremento produttivo conseguente al livello di acqua applicata.

Per manifestare a pieno le sue potenzialità ed essere adottata dalla maggior parte degli imprenditori, la programmazione irrigua deve risultare di semplice esecuzione con una ridotta ed economica strumentazione, dimostrandosi sufficientemente versatile per potersi adattare alle più diversificate tipologie aziendali.

2.2 Quando intervenire e come deciderlo

La programmazione irrigua si basa sul principio di intervenire con l'irrigazione ogni volta nello strato di terreno interessato dalla coltura si esaurisce la riserva idrica disponibile (RFU). A questo punto deve essere distribuita una quantità d'acqua pari a riportare tale volume di terreno alla capacità idrica di campo, il volume d'acqua in questione è il volume d'adacquamento che dovrebbe essere pari alle perdite per evapotraspirazione verificatesi dall'ultimo intervento irriguo, al netto dell'eventuale pioggia utile caduta nell'intervallo tra due adacquate.

È importante individuare il momento per riuscire sempre a soddisfare gli obiettivi irrigui prefissati, pertanto la programmazione irrigua può essere realizzata riferendosi ai seguenti criteri:

- Metodi basati su monitoraggio dello stato idrico del terreno;
- Metodi basati sulla determinazione dello stato idrico della coltura;
- Metodi basati sul bilancio idrico.

Ciascuna metodologia per quanto equivalente può presentare vantaggi e svantaggi a causa dei loro limiti a cogliere solo alcuni aspetti del sistema ambiente-pianta-suolo, se opportunamente integrate fra loro porterebbero a risultati migliori.

Per monitorare lo stato idrico sono disponibili diversi metodi.

Il più comune è il termo-gravimetrico, un metodo semplice e diretto che ha bisogno di poche apparecchiature ma allo stesso tempo è un metodo distruttivo che richiederebbe più campionamenti per suoli eterogenei.

I metodi indiretti sono più vantaggiosi per l'immediatezza delle informazioni e la ripetibilità delle misure, basandosi su proprietà fisiche o fisico-chimiche del suolo fortemente



Figura - Posizionamento delle sonde suolo

influenzate dal contenuto idrico. Tra questi troviamo: TDR (Time Domain Reflectometry), FDR (Frequency Domain Reflectometry), Tensiometri.

Nel complesso questi sistemi sono di facile applicazione e con una buona precisione (alcuni sensori possono essere anche integrati in sistemi di automazione), fattore più importante possono dirti quanto irrigare lo svantaggio è che non tengono conto della domanda evapotraspirativa della coltura quindi non è calcolato un suo eventuale stress.

I metodi basati su misure dello stato idrico della pianta rappresentano un approccio più moderno ed innovativo, potenzialmente in grado di fornire stime accurate per una migliore gestione, sulla base dei progressi conseguiti sulle conoscenze del sistema continuo suolo-atmosfera-pianta e dell'influenza dello stato idrico del terreno e della domanda evapotraspirativa ambientale sullo stato idrico della pianta.



Figura - Camera a pressione di Scholander

Allo stato attuale delle conoscenze, non è possibile individuare in senso assoluto un indicatore che si addica meglio di altri all'individuazione dello stato idrico della pianta, esistendo una notevole incertezza sui limiti entro i quali può variare e su come le sue variazioni riflettono sulla produzione areica e sulla qualità dei prodotti. La loro reale possibilità di utilizzo deve tener conto della specie e

varietà, delle condizioni ambientali e problematiche di carattere pratico come il costo dei sensori e la possibilità di essere utilizzati da personale non specializzato.

Il calcolo del bilancio idrico, invece, consiste nel calcolare l'evapotraspirazione della coltura (ET_c), che rappresenta ai fini irrigui il termine più importante nell'equazione. Essa consente a sua volta di contabilizzare nello stato di terreno esplorato dalle radici gli apporti idrici dovuti alle piogge reali e all'eventuale risalita capillare e alle perdite dovute dall'evapotraspirazione della coltura (ET_c).

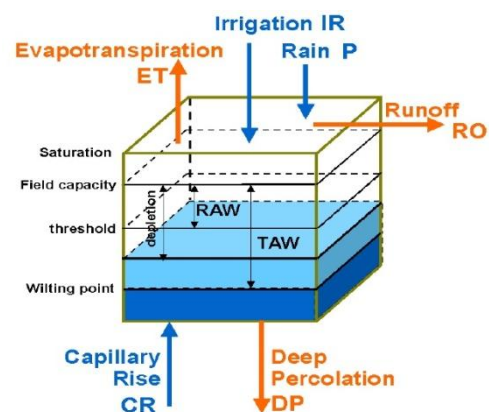


Figura - Schema del bilancio idrico

$$(VI \times 10) = (ET_c + D + R - Pu - Af - RU)/Eff \quad (m^3 \text{ ha}^{-1}) \text{ mm}$$

In cui:

VI = volume irriguo da restituire ($m^3 \text{ ha}^{-1}$) mm

10 = fattore di conversione da mm a ($m^3 ha^{-1}$)

ET_c = evapotraspirazione della coltura (mm)

D = perdite per drenaggio e percolazione (mm)

R = perdite per ruscellamento superficiale (mm)

RU = apporto idrico della riserva idrica del suolo (mm)

Pu = apporti idrici naturali da pioggia utile per la coltura (mm)

Af = apporti idrici naturali da falda (mm)

Eff = efficienza del metodo irriguo (0,3 - 0,95)

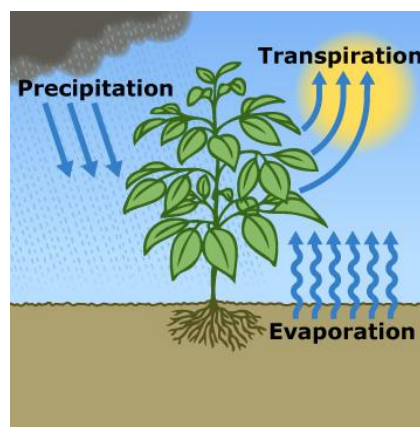
Questa equazione può essere calcolata per brevi e lunghi periodi dipende dalla possibilità di misurare i singoli termini dell'equazione.

Questo metodo è relativamente semplice da applicare e fornisce un'informazione diretta su quanto irrigare.

La sua precisione si basa sulla qualità dei dati meteo recepiti ed una buona stima dei parametri e dei coefficienti colturali, sebbene la misura fondamentale da calcolare rimanga l'evapotraspirazione di riferimento (ET_0) dalla quale poi parte il calcolo dell' ET_c .

2.2.1 Evapotraspirazione

L'acqua è un elemento vitale per le piante, ma paradossalmente una pianta ritiene solo 1% dell'acqua assorbita, restituendone il 99% attraverso gli stomi sotto forma di vapore. L'evaporazione dell'acqua attraverso gli stomi sotto forma di vapore si chiama *traspirazione* (T) ed è un processo necessario perché attraverso l'apertura stomatica penetra l'anidride carbonica (CO_2) responsabile della fotosintesi e della conseguente produzione di materia di crescita. Inserendo la pianta nel suo ambiente di campo, alla traspirazione bisogna aggiungere l'*evaporazione* (E) propria del suolo, per questo Thornthwaite (1944) propose l'espressione "*evapotraspirazione*" (ET), che ingloba E e T, è rappresentata in realtà il consumo totale di acqua da parte di una coltura e, dunque, la sua esigenza idrica.



Le perdite d'acqua, però in questo caso, sono sottoposte a delle restrizioni che variano secondo quattro fattori: il contenuto idrico del suolo, il controllo stomatico delle piante, l'architettura della parte epigea delle piante e le caratteristiche dell'apparato radicale.

L' espressione "utilizzo efficiente dell'acqua", meglio noto come Water Use Efficiency, WUE, designa in generale il rapporto tra produzione di una coltura ed evapotraspirazione cumulata durante in ciclo culturale. Il termine "efficienza" è usato per descrivere il rapporto fra output ed input dell'acqua per la produzione di biomassa ed è, evidentemente, l'indice a cui guardare per incrementare e migliorare la sostenibilità dell'uso della risorsa acqua in agricoltura.

Da questo si può facilmente dedurre che l'ET costituisce il termine più importante del ciclo dell'acqua e va dunque determinato con la massima accuratezza possibile.

In realtà, ancora oggi, la determinazione dell'ET è difficile da realizzare, nonostante i costanti progressi tecnici e teorici sull'argomento. Prima di tutto perché è una variabile che raramente viene misurata direttamente, poi perché la sua valutazione, sia per misura che per stima con modelli a diverse scale di tempo (ora, giorno, ciclo culturale) e di spazio (pianta, campo, territorio), si basa su conoscenze teoriche metodologiche spesso difficilmente gestibili da chi pratica la gestione dell'acqua in maniera operativa.

L'ET può essere misurata, direttamente o indirettamente, e stimata, attraverso modelli diretti e indiretti.

Convenzionalmente, se il valore dell'attributo è dato da un singolo strumento, si parla di "misura diretta", se è dato da una relazione tra parametri si parla "misura indiretta".

Attualmente, si può contare su una grande variabilità di metodi di misura dell'ET, diversificati per precisione e costi, in alcune applicazioni l'ET è necessario stimarla con un modello.

I *metodi diretti* fanno riferimento a un'accurata analisi del bilancio idrico:

$$T + E = Ni + I - Pr \pm U$$

dove T ed E rappresentano rispettivamente l'acqua traspirata ed evaporata, Ni gli apporti idrici naturali, I gli apporti idrici artificiali, Pr perdite per ruscellamento e percolazione, $\pm U$ la differenza fra il contenuto idrico iniziale e quello finale del terreno e della vegetazione. A tale scopo si possono impiegare evapotraspirometri, lisimetri di vario tipo (a pesata o a percolazione) oppure si può operare in pieno campo.

In generale, queste metodologie non sono di facile applicazione e servono più ai ricercatori che all'agricoltore.

I *metodi indiretti* sono numerosi, di varia complessità e precisione, e richiedono la conoscenza di uno o più fattori climatici.

Una delle prime formule è stata concepita proprio da Thornthwaite, per studi di carattere climatico. Essa forniva una stima dell'Evapotraspirazione potenziale con un algoritmo che utilizzava la temperatura media mensile, un indice annuo di calore e un altro indice derivato dalle ore di illuminazione giornaliera.

I risultati ottenuti non erano soddisfacenti ai fini agronomici, perché l'ET si dimostrò essere una sovrastima dei fabbisogni ottimali di acqua delle colture e a parità di periodo di coltivazione, la formula non evidenziava le diverse esigenze colturali.

Successivamente il problema fu affrontato da Blaney-Criddle che propose di aggiungere k , ovvero un coefficiente colturale che varia in funzione della coltura e del suo stadio vegetativo ma risente anche di altri fattori come il grado di copertura del terreno, le disponibilità idriche del suolo, l'umidità relativa dell'aria, la ventosità, eccetera. Questo però portava a reperire questi dati in funzione dell'ambiente e del periodo possibilmente più simile all'ambiente in cui si operava.

Un altro sistema molto semplice è quello *evapotraspirometrico* che stima la ET massima della coltura attraverso la misura dell'evaporazione (E_e) da una superficie idrica libera:

$$TE_{mc} \text{ (mm} \times \text{d}^{-1}\text{)} = C_e \times E_e$$

dove C_e è un coefficiente che varia in funzione della coltura e del suo stadio vegetativo, ma risente anche di altri fattori. Per misurare E_e si può ricorrere a evaporimetri di vario tipo, quello più usato è il Classe A.

Negli anni '70, in ambito FAO, un primo tentativo per agevolare la stima dell'ET con i due metodi precedenti è stato fatto da Doorenbos e Pruitt (1977) con l'intento di rendere possibile l'applicazione in varie situazioni climatiche e per tutte le specie coltivate. Rimane un procedimento indiretto perché parte dal calcolo dell'ET di riferimento ET_0 (prato ben irrigato con vegetazione alta tra gli 8-15 cm, uniforme e fitta, non sottoposto a stress idrico).

Questo valore di ET_0 è adattato alla reale evapotraspirazione della coltura in studio mediante il prodotto di ET_0 per un coefficiente semi-empirico chiamato "coefficiente colturale", K_c . Per cui:

$$ET_{coltura} = K_c \times ET_0$$

Il K_c si trova in esaurienti tabelle per un gran numero di colture, per le principali fasi fenologiche, descritta in dettaglio nel Irrigation and Drainage Paper quaderno FAO n.24;

sono necessari solo tre valori per costituire la curva del K_c . La forma più accettata di curva si determina con i seguenti passaggi:

1) (a) si divide il periodo di crescita della coltura in tre stadi (iniziale, sviluppo, finale), (b) si determina la lunghezza di questi stadi, (c) si identificano i tre valori di K_c (tabella 12 nel quaderno FAO 56).

2) Si correggono i valori del K_c per l'altezza delle piante e le condizioni climatiche (vento e umidità relativa).

3) Si costituisce la curva vera e propria tracciando delle linee rette tra un punto e l'altro.

Il K_c cambia per ogni fase fenologica della pianta in base alla crescita, può essere corretto sia per le condizioni ambientali ma anche per migliorare la risposta produttiva della pianta stessa.

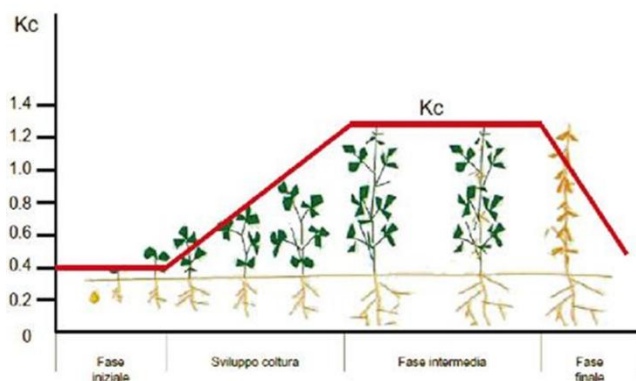


Figura - Rappresentazione della curva di crescita

In quest'ultimo caso possiamo parlare di coefficiente di stress k_s , se opportunamente stimato, per alcune colture si è notato come la resa massima si è raggiunta a ET inferiori di quella effettiva della coltura. La risposta qualitativa alla disponibilità idrica si contrappone alla risposta produttiva. Pertanto, per una programmazione irrigua sostenibile è necessario conciliare il livello produttivo con la qualità desiderata, perciò, condizioni di limitato rifornimento idrico possono migliorare diversi attributi qualitativi, in relazione alla specie e alla fase fenologica in cui la limitazione idrica si verifica.

Studi successivi approvati dagli esperti FAO hanno ridefinito il calcolo di ET_0 , è basato sul *modello di Penman-Monteith*, che ha sostituito tutti i metodi precedenti, applicato ad una superficie coltivata con prato, ben irrigato, di altezza 0,12 m, albedo di 0,23 e resistenza colturale costante è posta uguale a $70 s m^{-1}$.

L'equazione proposta, tenendo presente che la misura dei parametri meteorologici deve essere eseguita all'altezza di 2 metri, è la seguente:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{c_n}{T + 273} u_2 [e_a - e_d]}{\Delta + \gamma (1 + C_p u_2)}$$

Dove i simboli assumono i simboli seguenti:

ET_0 = evapotraspirazione di riferimento ($mm \times d^{-1}$)

R_n = radiazione netta alla superficie della coltura ($MJ \times m^{-2} \times d^{-1}$)

G = il flusso del calore del suolo ($MJ \times m^{-2} \times d^{-1}$) (tiene conto del raffreddamento o riscaldamento dello stesso e si può trascurare)

T = temperatura media dell'aria ($^{\circ}C$)

u_2 = la velocità del vento a 2 m di altezza ($m \times s^{-1}$)

e_a = tensione di vapore saturo alla temperatura media dell'aria (kPa)

e_d = valore medio della tensione di vapore dell'aria (kPa)

Δ = pendenza della curva di saturazione del vapore ($kPa \times ^{\circ}C^{-1}$)

γ = costante psicrometrica ($kPa \times ^{\circ}C^{-1}$)

C_n = fattore di conversione che vale 900 e 37 per applicazioni orari e giornaliere

C_p = fattore di conversione che vale 0,27 e 0,34 per applicazioni orarie e giornaliere.

A fronte della complessità della formula, che ne limita indubbiamente l'applicazione, si deve evidenziare che questo approccio è sicuramente il più corretto, dal punto di vista teorico, delle precedenti metodologie.

2.3 Caratteristiche di una stazione agrometeorologica

Lo studio dell'evapotraspirazione richiede la conoscenza della misura di grandezze fisiche dei fenomeni naturali che si deve basare sull'osservazione di dati, questo porta alla necessità di utilizzare la giusta strumentazione per rendere queste osservazioni oggettive.

Lo strumento può essere molto semplice o decisamente complesso, quello che è importante, sia in genere che nel monitoraggio delle grandezze meteorologiche, è seguire una metodologia standard. Questo serve ad avere dati oggettivi, ma anche permette di confrontare tra loro dati prelevati in più stazioni meteorologiche.

Il sito in cui installerà la stazione deve essere rappresentativo delle condizioni ambientali (climatiche, vegetazionali e colturali) dell'area per la quale si vogliono far valere i dati raccolti. Per un rilievo standard non è opportuno quindi collocare la stazione in piccole valli, troppo vicina a corsi d'acqua (distanza minima 100-200 m) a laghi (distanza minima 1-2 km, a seconda dell'estensione dello stesso). Deve essere inoltre lontano da ostacoli, ad una distanza di almeno 2-10 volte l'altezza dell'ostacolo stesso (abitazioni, siepi, frangivento, ecc.). La posizione ideale della stazione agrometeorologica è un'area sgombra di ostacoli.

La sua ampiezza viene scelta in dipendenza dal numero degli strumenti che vi saranno installati. La misura minima accettata è di $10 \times 10 \text{ m}^2$, ma sono preferibili aree più estese. Il terreno all'interno della stazione deve essere ricoperto da un prato, preferibilmente polifita, costituito con le specie tipiche del luogo, che consentono il mantenimento della copertura del verde con il minimo di interventi agronomici. Esso va tenuto sfalcato ad altezza di 5-10cm. Qualora fosse necessario, durante la stagione asciutta, è bene irrigarlo, annotando data e durata dell'intervento, con un metodo irriguo che perturbi meno possibile le condizioni meteorologiche.

L'area della stazione deve essere delimitata da una rete a maglie larghe, verniciata, di altezza 1,2 m.

È buona norma tenere un diario della stazione meteorologica, su cui verranno annotati gli interventi di manutenzione degli strumenti, gli interventi irrigui e lo sfalcio del prato ed ogni altro evento particolare che possa aver influito sui dati rilevati.

Le grandezze base che devono essere rilevate in una stazione agrometeorologica per la caratterizzazione climatica della zona, sono:

- Precipitazione,
- Temperatura dell'aria,
- Umidità relativa,
- Radiazione solare,
- Vento.

Vengono talvolta installati anche altri strumenti, atti ad esempio alla misura di grandezze utili in campo agronomico ed ecologico, quali:

- Evaporazione,
- Temperatura del terreno,
- Umidità del terreno,
- Profondità del livello di falda.

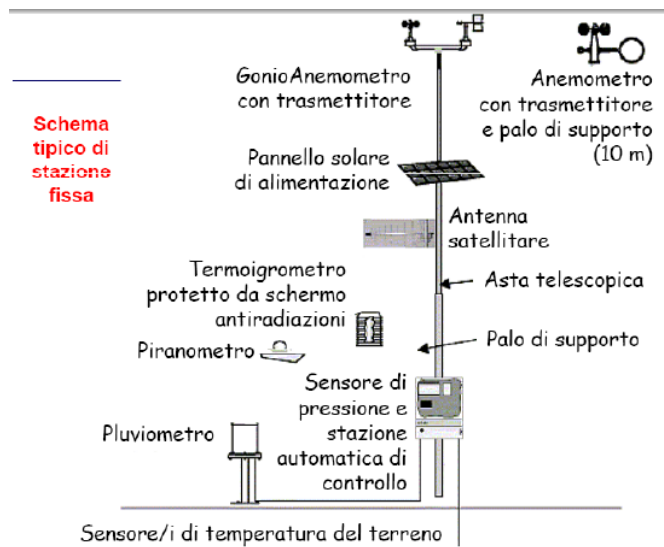
All'interno della stazione gli strumenti devono essere posti in modo da non influenzarsi l'un l'altro, evitando che si ombreggiano o coprano a vicenda.

Alcuni strumenti non vanno posti direttamente all'aperto, ma riparati da una capannina o da appositi schermi. Si tratta dei misuratori di temperatura e di umidità dell'aria; ciò per evitare l'esposizione diretta alla radiazione, solare o riflessa.

La capannina di legno deve avere pareti e fondo costruite da persiane, tali da far circolare liberamente l'aria; dipinta di bianco, con vernice non igroscopica; posta a 1,5 – 2 m dal suolo; con apertura rivolta al Nord.

Oltre a contenere i sensori può contenere strumenti di registrazione (es. data logger), e all'esterno di essa spesso viene attaccato l'imbuto del pluviografo.

Solitamente la capannina è posta nella parte più settentrionale dell'intera stazione.



Attualmente sono sempre più diffusi schermi protettivi in sostituzione alla capannina, tali da far circolare l'aria e proteggere dalle precipitazioni.

2.4 Sistemi di supporto decisionale... Una possibile soluzione?

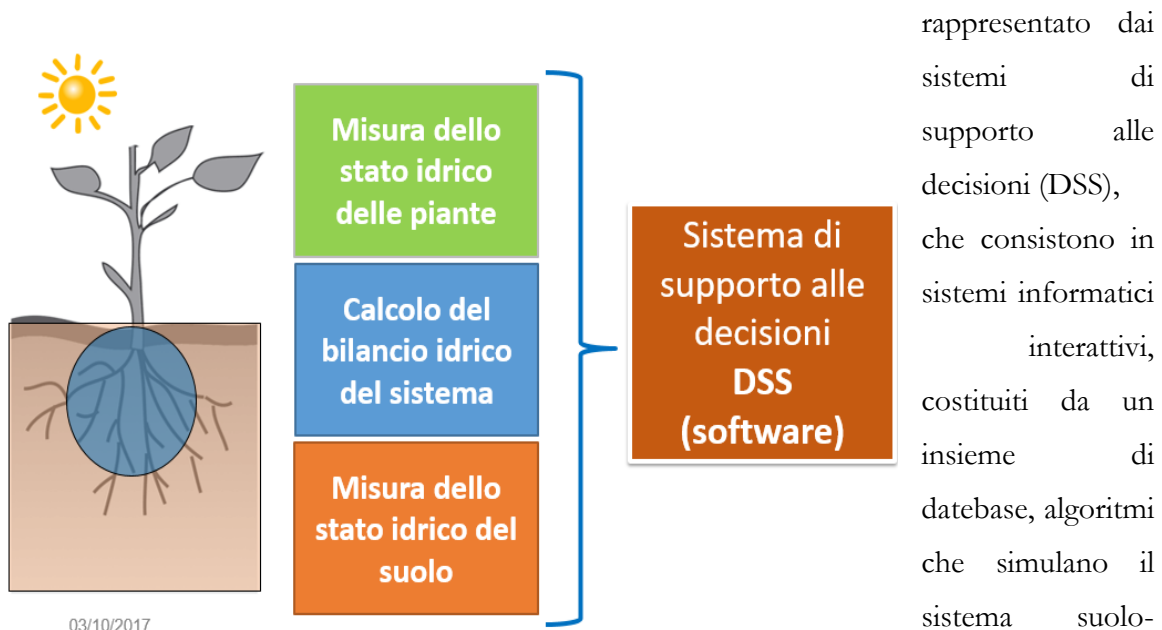
Le ricerche sulle metodologie per la programmazione irrigua sono in continuo progresso; in particolare alle conoscenze necessarie per migliorare dal punto di vista pratico ed applicativo gli strumenti di misura.

Sicuramente la corretta determinazione dell'evapotraspirazione occupa un ruolo fondamentale. Questa grandezza è fondamentale per il dimensionamento delle variabili irrigue e per evitare i rischi derivanti da condizioni di stress idrico (perdita di resa) o dal sovraddosaggio dei volumi di adacquamento (spreco d'acqua). Più in generale, la resa ottenuta per unità di acqua evapotraspirata (WUE) è l'indicatore indispensabile per valutare dal punto di vista economico (produttività dell'acqua) ed ecologico (water footprint) una coltura o un sistema colturale.

I tre gruppi di metodologie per la definizione del momento d'intervento irriguo per quanto equivalenti (monitoraggio dello stato idrico del terreno, della pianta e criterio evapotraspirometrico), usati singolarmente, per i limiti di ciascuno di esse, possono fornire indicazione errate, al contrario l'uso integrato di anche solo due metodologie, può dare luogo a risultati soddisfacenti.

La complessità e le incertezze delle metodologie che si avvalgono di sensori per stabilire il momento d'intervento irriguo e la riluttanza degli operatori ad utilizzarli come una normale pratica agricola, determinano ancora a livello aziendale la larga diffusione dei metodi empirici.

Uno strumento di grande utilità per la gestione intelligente e sostenibile dell'irrigazione è



pianta-atmosfera, eventuali sistemi di monitoraggio dello stato idrico della pianta e/o del terreno (es. sensori wireless) e un'interfaccia utente. Essi possono aiutare gli operatori agricoli nelle decisioni relative alla gestione irrigua (es. il momento dell'intervento irriguo, il volume di adacquamento), anche sulla base di scala di vincoli (es. soglie di stress idrico, colture) assegnate a livello aziendale.

3. AGRICOLTURA DI PRECISIONE

3.1 Cos'è l'agricoltura di precisione?

Sono state proposte diverse definizioni negli ultimi decenni, ma una delle più conosciute è quella di un approccio alla gestione del processo produttivo agricolo che consenta di “fare la cosa giusta, al momento giusto, al punto giusto” (Gebbers e Adamchuk, 2010). Questa definizione riassume in maniera efficace i principi e gli obiettivi dell'Agricoltura di Precisione: tener conto della variabilità nel tempo e nello spazio dei fattori che influiscono sul processo produttivo agricolo, per migliorare l'efficienza degli input nella gestione dinamica del processo. Migliorare l'efficienza significa utilizzare meno risorse per ottenere lo stesso risultato, od ottenerne uno migliore a parità di utilizzo di input (es. acqua,

fertilizzanti, prodotti fitosanitari, ecc.). Quindi, vi è uno stretto legame tra i fondamentali fattori su cui si basa l'agricoltura di precisione e lo sforzo che viene fatto, sotto diversi aspetti, per aumentare la sostenibilità e ridurre l'impatto ambientale dell'agricoltura. A prima vista sembrerebbe dunque l'obiettivo dell'agricoltura di precisione non si discosti dalle normali finalità di una buona gestione agronomica, ad esempio per quanto riguarda le produzioni vegetali. Tuttavia, le buone pratiche agricole comunemente proposte, non tengono adeguatamente in considerazione la dinamicità dei sistemi agricoli, all'origine di una forte variabilità temporale delle risposte ai fattori produttivi. Questa variabilità temporale fa sì che, ad esempio, lo stesso intervento agronomico (ad es. concimazione, trattamenti fitosanitari) sortisca degli effetti differenti nei diversi anni. Ancora più netta è la scarsa considerazione generalmente data, nella gestione convenzionale, alla variabilità nello spazio dei fattori che influiscono sulle produzioni, in particolare alla variabilità presente all'interno degli appezzamenti coltivati. L'Agricoltura di Precisione si pone come obiettivo la comprensione di questa variabilità spaziale e temporale e la modulazione degli interventi, in funzione della variabilità, per ottimizzare i risultati del processo produttivo in termini economici e/o ambientali.

Per realizzare questo obiettivo, l'Agricoltura di Precisione si avvale di quanto di meglio la tecnologia possa offrire in termini di capacità di monitoraggio della variabilità e di attuazione di una gestione idonea a tener conto di questa variabilità, spesso si chiama gestione sito-specifica. Tuttavia, l'uso della tecnologia, in particolare della sensoristica, elettronica e mecatronica non è necessariamente sinonimo di Agricoltura di Precisione, anche se spesso non si può prescindere dall'uso di queste tecnologie.

I primi concetti base dell'Agricoltura di Precisione, in particolare riguardanti la conoscenza della variabilità spaziale dei fattori produttivi, nello specifico suolo, appaiono fin dagli anni '20 del secolo scorso. I concetti base della metodologia di sperimentazione agraria, riguardanti i disegni sperimentali su piccole parcelle, poi sviluppati da Fisher nella stazione sperimentale di Rothamsted (UK), sono infatti principalmente indirizzati a cercare di eliminare l'effetto della variabilità spaziale del suolo nella sperimentazione agronomica (Mercer e Hall, 1991).

In una pubblicazione del 1929 (Linsley e Bauer, 1929) vengono fornite istruzioni per effettuare un campionamento del pH del suolo secondo una griglia regolare (contando i passi, non essendoci ancora i GPS!) ed ottenere una mappa di precisione con zone di applicazione di dose diverse di correttivo (calcare), che veniva distribuito a mano.



Figura - Probabilmente il primo esempio di mappa di precisione

La ricerca in questo settore negli

anni ha portato avanti varie ricerche per arrivare nell'1988 a mettere sul mercato il primo spandiconcime a rateo variabile e negli anni '90 fu messo appunto l'utilizzo dei GPS per scopi civili, in agricoltura permisero un sistema di mappatura installati sulle mietitrebbiatrici. Sempre in questa direzione per permettere un monitoraggio spaziale più accurato; in Francia furono sviluppate tecniche basate sui dati satellitari, mediante un grande progetto di ricerca nazionale che coinvolgeva i centri dell'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) l'agenzia spaziale francese, società private e organizzazioni di produttori agricoli (Guerif et King, 2007).

Nell'ultimo decennio vi è stato lo sviluppo delle tecnologie di monitoraggio, in particolare modo attraverso l'esplosione nella diffusione dei droni con sensori multispettrali, con costi relativamente bassi e l'introduzione di sensori iperspettrali appositamente miniaturizzati per essere trasportati su un drone.

Le ultime innovazioni riguardanti l'Agricoltura di Precisione riguardano lo sviluppo di piattaforme di gestione delle grandi moli di dati tipicamente raccolti e prodotti in Agricoltura di Precisione, che hanno suscitato il grande interesse da parte di multinazionali quali Google, Microsoft, Monsanto e John Deere, che hanno investito ingenti risorse in questo ambito.

Nuove infrastrutture e servizi dedicati faranno largo uso di tecnologie di precisione con supporto digitale, interconnesse a piattaforme previsionali e decisionali (basate su osservazioni, analisi ed elaborazione interattiva), appositamente programmate per migliorare la gestione spaziale e temporale delle filiere, con particolare riguardo a quelle

unicità esclusive dall'elevato grado di specializzazione e valore aggiunto. In questo nuovo ambito operativo, le tecnologie di precisione sono in grado di fornire accurate diagnosi e supporto gestionale ottimizzato, sia in termini di produzione agricola sia di redditività globale, includendo quella correlata alla prescrizione dei fattori di produzione (macchine, manodopera, fertilizzanti, acqua, energia, ecc.) dai prevedibili benefici economici, unitamente al rispetto delle più stringenti norme ambientali e climatiche.

3.2 Modelli di simulazione in agricoltura di precisione

Tra le discipline che hanno rivoluzionato maggiormente l'approccio alle problematiche esistenti in agricoltura, lo sviluppo e l'utilizzo dei modelli di simulazione di crescita e sviluppo delle colture occupa sicuramente un ruolo di primaria importanza. Un modello di simulazione delle colture può essere definito come un sistema capace di descrivere i processi che regolano l'interazione tra suolo, pianta ed atmosfera mediante l'utilizzo di equazioni matematiche, che spesso vengono formalizzate all'interno di un software (Basso e Ritchie, 2015). I modelli rappresentano un valido strumento conoscitivo ed interpretativo dei processi dinamici legato al movimento dell'acqua lungo il profilo del suolo esplorato dalle radici, alla dotazione nutrizionale del terreno ed alla crescita e lo sviluppo della pianta. Questi modelli, tramite l'integrazione di apposite funzioni ed algoritmi relativi alle caratteristiche genetiche della pianta, le informazioni sulle variabili legate al suolo e i dati climatici storici della zona in oggetto, possono efficacemente simulare per ciascun giorno del ciclo colturale i processi di sviluppo e crescita delle piante, tale possibilità ha trovato un'ampia diffusione in varie discipline scientifiche, permettendo di estendere la conoscenza ad altri luoghi, archi temporali, varietà e tecniche colturali.

L'uso dei modelli di simulazione si sta diffondendo sempre più dal campo della ricerca a quello dell'insegnamento, in quanto si tratta di strumenti in grado di fornire una visione molto più ampia delle problematiche studiate, indipendentemente dalle specifiche condizioni iniziali.

L'approccio sistematico può contribuire sia ad aumentare il reddito agricolo attraverso la riduzione dei costi aziendali o l'incremento produttivo unitario, sia a ridurre l'impatto ambientale derivante dalle pratiche agricole messe in atto, con una maggiore conservazione delle risorse naturali (Basso et al., 2005).

In Italia, il primo tentativo che permettesse di trasferire le conoscenze sulla pianificazione irrigua agli agricoltori fu effettuato dal CER, Consorzio per il Canale emiliano-romagnolo, nel 1984, quando il concetto di agricoltura di precisione nel paese era ancora lontano.

Il servizio esteso a 100 agricoltori prevedeva l'utilizzo di una casella di controllo del metodo di pianificazione, basato sull'evapotraspirazione mensile. Nel 1985, per necessità dei dati meteo venne installata la prima stazione meteorologica e agli agricoltori venne affidato un pluviometro e una vasca evapotraspirometrica di classe A, posti



Figura - Videotext di Irrinet

aree omogenee. I dati venivano misurati dagli agricoltori e trasmessi al sistema d'irrigazione, attivo su Videotext.

Cercarono come primo approccio di ottenere una larga diffusione del servizio, si riscontrò però che non tutti i contadini erano in grado di utilizzare alcune tecnologie. Nell'1999, il CER con il cofinanziamento della Regione Emilia-Romagna migliora ulteriormente il modello del bilancio idrico e porta il servizio su internet abbandonando il videotext, col nome di IRRINET. Negli anni il servizio è andato sempre più perfezionandosi permettendo dei calcoli del suolo e dell'irrigazione più accurati fornendo agli agricoltori informazioni giorno per giorno in tempo reale, con l'utilizzo di mappe GIS, gestite in una Geodatabase, collegate alle informazioni delle stazioni meteorologiche e consentendo anche agli utenti di poter accedere al servizio in modi diversi e gestire le informazioni.



Il CER è riuscito nel tempo a concretizzare il concetto di irrigazione di precisione, coprotagonisti di questa "rivoluzione" tecnologica sono i sistemi di supporto decisionale, che grazie all'evoluzione tecnologica dei sensori e alla diffusione di tablet e smartphone sono sempre più utilizzati in campagna, a patto che siano semplici da utilizzare e di immediata ricaduta pratica per le colture.

“La ricerca scientifica dei laboratori del CER è la forza per guardare avanti con ottimismo verso il risparmio idrico come pratica che genera reddito, un reddito generato dal risparmio”, parole di Massimiliano Pederzoli, presidente del CER, che esprimono la fiducia

per il futuro e sulla stessa idea di cambiamento che sono nati altri progetti come IRRINET in Italia.

3.2.1 Tipologie dei modelli di simulazione.

I modelli di simulazione utilizzati in agricoltura possono essere *deterministici* o *stocastici*. I modelli deterministici forniscono risultati specifici basati sulle esatte condizioni ambientali, con il presupposto che le piante e il suolo all'interno dello spazio simulato siano uniformi. Al contrario, i modelli stocastici elaborano risultati che includono una certa misura di incertezza dovuta alla variabilità delle caratteristiche pedologiche (variabilità spaziale), delle condizioni atmosferiche (variabilità temporale) e dei fattori biotici e abiotici, oltre all'imposizione di un grado di incertezza dovuto all'impossibilità di stabilire l'assoluta correttezza delle funzioni matematiche interne al modello. I modelli deterministici possono essere di tipo *statico*, *meccanicistico* o *funzionale*. Tra questi, i modelli statistici, ad esempio l'elaborazione di funzioni basate su osservazioni storiche di dati climatici e di produzione, sono stati i primi ad essere utilizzati su larga scala per stimare l'entità delle produzioni agrarie. Il maggior limite dei modelli statistici è che i risultati di tali modelli non possono essere estrapolati all'esterno dell'area geografica o dell'arco temporale utilizzati per la loro calibrazione, in quanto le diverse condizioni pedologiche, morfologiche e climatiche dei nuovi ambiti non sono state utilizzate per derivare le relazioni statistiche su cui si basa il modello. Nonostante queste limitazioni, i modelli statistici possono comunque fornire risultati utili ad interpretare gli andamenti storici delle produzioni colturali.

I modelli meccanicistici sono basati su formule matematiche che descrivono i processi fisici, chimici e biologici che avvengono nel sistema suolo-pianta-atmosfera. Tali modelli descrivono processi che avvengono entro scale temporali ridotte (es. processo di fotosintesi e traspirazione), ma richiedono grandi quantità di dati ed input per essere eseguiti. Inoltre, l'entità delle incertezze di alcune assunzioni fatte durante la creazione del modello ne rende i risultati meno attendibili e spesso ne riduce l'utilizzo del modello al di fuori del gruppo di ricerca. Per tali motivi, metodi meccanicistici sono raramente utilizzati per risolvere problemi agronomici; al contrario, sono spesso utilizzati per scopi scientifici al fine di raggiungere una migliore comprensione di specifici processi o interazioni biochimiche.

I modelli funzionali sono basati su funzioni empiriche relativamente semplici, concepite per riprodurre processi complessi. I modelli funzionali di fatto utilizzano equazioni e logiche semplificate per suddividere la produzione totale in biomassa nei vari organi della pianta e

stimare la produzione di prodotto commerciabile. Per determinare la quantità di acqua disponibile della pianta tali modelli utilizzano concetti legati alla “capacità” di incamerare acqua (es. capacità di campo), al contrario dei modelli meccanicistici che utilizzano tassi istantanei basati su principi fisici. Seguendo tale principio, per ciascun suolo vengono definiti i limiti inferiori e superiori di capacità dello stesso di trattenere l’acqua. Vengono poi calcolati gli input idrici (es. precipitazioni, irrigazioni, ecc.) e gli output (es. evapotraspirazione, percolazione, ecc.) per determinare la disponibilità idrica della pianta. I modelli funzionali tipicamente elaborano variazioni dei parametri climatici (es. precipitazioni, radiazione solare, temperatura, ecc.) e di gestione della coltura (es. fertilizzazioni, irrigazioni, lavorazioni del terreno) su base giornaliera. Questi modelli possono fornire livelli di dettaglio richiesti per valutare i vari aspetti delle produzioni agricole. I bassi requisiti in termini di input richiesti rendono inoltre questi modelli molto interessanti nei casi in cui dati dettagliati sui processi biofisici non siano disponibili. Per tali motivi i modelli funzionali vengono attualmente molto utilizzati come strumento di supporto alle decisioni agronomiche.

Questi modelli permettono anche di analizzare migliaia di interazioni tra gli elementi di input e di output e sono quindi in grado di identificare le cause che hanno condotto ad una certa situazione, oppure prevedere una certa casistica futura attraverso l’analisi di diversi tipi di intervento o possibili scenari. Una volta che si dispone dei dati relativi al suolo, dei dati climatici (storici) e della caratterizzazione genetica della cultivar da valutare, si potranno confrontare, in modo veloce ed affidabile, diverse strategie agronomiche e determinare la relativa convenienza. Si potrà operare sia in modo da ottimizzare statisticamente gli interventi, pianificandoli con anticipo, sia monitorando lo sviluppo della coltura compiendo analisi in tempo reale che permettano interventi tattici mirati.

3.2.2 Tecniche di utilizzo e potenzialità

Uno dei passaggi fondamentali dell’agricoltura di precisione è quello di quantificare la variabilità spaziale presente all’interno di un appezzamento coltivato e determinare quali sono le cause di tale variabilità, quantificare e determinare queste variabili permette di delineare dei modelli di simulazione.

La simulazione di un sistema viene definita come l’imitazione nel tempo di un processo dinamico e permette la valutazione di uno scenario per operare inferenze concernenti il comportamento del sistema reale. I modelli necessitano di determinati input per essere

utilizzati nelle simulazioni del sistema suolo-pianta-atmosfera. In generale, molti dei modelli utilizzati richiedono un set minimo di dati (Minimum Data Set), ovvero un certo di dati minimo senza i quali non si potrebbe rielaborare una simulazione.

Il *Minimum Data Set* per la maggior parte dei modelli comprende:

- dati meteorologici: dati giornalieri di radiazione solare, temperatura massima e minima, e precipitazione;
- suolo: i dati suolo che possono essere richiesti per le diverse profondità sono: tessitura, densità apparente, sostanza organica, pH.

In merito alle informazioni sul suolo, sono necessari altri dati come ad esempio le *costanti idrologiche* (capacità di campo, punto di appassimento e saturazione). Tuttavia, tali informazioni non sono sempre disponibili ed alcuni modelli incorporano delle funzioni dette *pedo-transfer* per poterli stimare in caso non siano stati misurati.

- *gestione agronomica*: i sistemi hanno bisogno alle volte informazioni riguardanti la data di semina, la profondità di semina, il numero di piante/semi, ecc.
- *genotipo*: al livello internazionale tali parametri possono essere definiti coefficienti genetici (genetic coefficients). I parametri descrivono la crescita e sviluppo di una data specie o cultivar attraverso, ad esempio, la fenologia della coltura, la somma termica per giungere a fioritura e maturazione, l'accrescimento della biomassa e la produzione agronomica.

Nella sua forma più semplice, la simulazione di un sistema agronomico per il supporto decisionale in agricoltura di precisione consiste essenzialmente nei seguenti passaggi:

1) Calibrazione e parametrizzazione del modello: determinazione dei valori da assegnare ai “cultivar coefficients” utilizzando dati misurati o reperiti in bibliografia. Questa fase è quella più delicata, poiché l'accuratezza del risultato, poiché l'accuratezza del risultato (output) ottenuto dal modello è funzione sia della qualità del modello, sia della qualità dei dati introdotti come parametri e variabili in ingresso (input). Per poter effettuare delle simulazioni separate nelle zone di appezzamento sarà necessario disporre di variabili georeferenziate relativi a ciascuna dei dati input (es. tessitura, caratteristiche idrologiche, ecc.). Il numero minimo di input da inserire nel sistema è stato oggetto di alcune ricerche, ad esempio Basso et. al. (2011) hanno dimostrato che il numero di input necessari può essere notevolmente ridotto se la scelta del campionamento si effettua seguendo le informazioni spaziali ottenute con il telerilevamento.

2) Validazione generale del modello: confronto dei valori delle variabili simulate dal modello calibrato con quelli misurati per verificare la qualità della previsione del modello.

3) Validazione temporale delle zone omogenee: una volta che si è sicuri che il modello riproduca in maniera convincente i dati osservati, è possibile far eseguire il modello per le diverse zone omogenee, determinate utilizzando ad esempio procedure geo- statistiche. In questo caso, il modello verrà eseguito utilizzando come input una serie storica di dati meteorologici giornalieri di almeno 30 anni. Ciò permette di capire se le zone stabili dal punto di vista temporale. Ad esempio, si possono individuare due zone all'interno di un appezzamento coltivato una a bassa produttività (Low Yielding Zone – LYZ) ed una con alta produttività (High Yielding Zone – HYZ). Eseguendo il modello con 30 anni di dati climatici storici è possibile capire se la zona LYZ sia sempre stata a bassa produttività, oppure, se in alcuni anni la HYZ risulta meno produttiva della LYZ.

4) Simulazione degli scenari differenti: una volta determinata la stabilità spaziale e temporale delle aree omogenee è possibile utilizzare il modello per generare scenari ipotetici. Questa procedura consente:

- valutare l'effetto di scelte operative sulle diverse variabili di output del modello per individuare quali scelte appaiono economicamente o agronomicamente più rischiose.
- Analizzare sistemi che hanno interazioni multiple e non lineari, come sistemi ecologici e fisiologici.
- Permettere a ricercatori di eseguire “esperimenti” con il modello del sistema in condizioni estreme o esterne agli intervalli normalmente utilizzati per le variabili in gioco. In questo modo possono essere attuate previsioni sul successo o fallimento di una determinata scelta di input o di gestione agronomica in rapporto ad un determinato obiettivo.

E' importante precisare che, nell'ambito della ricerca agraria, i modelli non sono da considerarsi come sostituti alle sperimentazioni in campo. Piuttosto i modelli devono essere intesi come un utile strumento a completamento di tali esperimenti. Infatti, i modelli permettono di ottenere delle informazioni che solo con anni di sperimentazione condotti sul luogo specifico potrebbero essere disponibili. In aggiunta, la possibilità di simulare diversi scenari agronomici permette di valutare i compromessi tra l'impatto ambientale di certe pratiche agronomiche e i benefici economici che gli agricoltori ne potrebbero ricavare.

3.3 Applicazione dei modelli di simulazione

L'applicazione di modelli in agricoltura di precisione verte sul principio che lo studio della risposta a una determinata variabile (es. la resa della coltura) alle variazioni di input (es. gestione irrigua), permette di ottimizzare l'uso dei fattori del processo produttivo e di massimizzare il risultato. L'applicazione dei modelli di simulazione nell'ambito dell'agricoltura di precisione è una pratica che ha visto una crescente diffusione. In passato infatti in agricoltura di precisione è stata data molta importanza alla componente tecnologica, sensoristica ed ingegneristica, il tutto a discapito della componente decisionale. Non stupisce pertanto che lo sviluppo di strumenti di supporto alle decisioni gestionali (decision support system, DSS) sia visto oggi come uno degli obiettivi principali della ricerca agronomica. I requisiti sono la presenza di algoritmi per la previsione del sistema suolo-pianta-atmosfera e l'integrazione con rilevazioni dei fattori che influenzano il processo produttivo mediante sensoristica innovativa ed efficiente, come il telerilevamento. L'utilizzo dei modelli come strumento decisionale in ambito di agricoltura è ormai più sviluppato e le applicazioni di tali sistemi possono essere raggruppate in tre categorie:

- *storica*, ad esempio il monitoraggio a ritroso di trattamenti o input;
- *tattica*, previsione della migliore pratica d'intervento durante la stagione in corso;
- *strategica*, scelta della migliore gestione degli input per gli anni futuri.

Tralasciando la tipologia di utilizzo, per rendere possibile l'utilizzo dei modelli in agricoltura di precisione è fondamentale l'utilizzo di adeguati Sistemi Informativi Geografici o GIS, che permettono di georeferenziare, elaborare e confrontare le diverse informazioni legate ai siti di prelievo dei campioni o dei dati. L'integrazione georeferenziata dei dati riguardanti le caratteristiche del terreno, lo sviluppo vegetativo, la crescita dei prodotti, ecc. permette di definire aree con caratteristiche omogenee. Facendo eseguire i modelli per ogni trattamento e per ogni area si ottengono indicazioni per programmare gli interventi, modulandoli nel modo più conveniente.

A tal riguardo è importante sottolineare che, con l'utilizzo dei modelli in coniugazione con le tecniche di agricoltura di precisione è possibile ottimizzare l'uso di fattori produttivi, come acqua e azoto, per ogni area omogenea riducendo le zone di campo in perdita.

3.4 Sistemi informativi aziendali

L'agricoltura di precisione del terzo millennio, sostenuta dalle strategie politiche globali, ruota prevalentemente intorno allo sviluppo del concetto di *Climate-Smart-Agriculture* (CSA) (FAO, 2015).

Si tratta di un nuovo approccio che linee guida per innovare i sistemi agricoli mondiali verso soluzioni compatibili con l'esigenza di sicurezza alimentare e sostenibilità ambientale in contesti sempre più condizionati da cambiamenti climatici avversi.

Nei paesi economicamente più sviluppati CSA coniuga la necessità di sviluppare tecnologie in grado di supportare la produzione con la gestione oculata, con grande attenzione agli sprechi, ad una razionale gestione delle tecnologie spesso associata a manutenzioni programmate.

Nelle agricolture avanzate, pertanto, il concetto di CSA tende a coincidere con quello del sistema agricolo di qualità. Gestire la qualità significa, innanzitutto, gestire l'informazione all'interno dei cicli operativi che costituiscono ogni sistema produttivo.

La gestione dell'informazione è tutt'altro che semplice, poiché richiede attrezzature adeguato utilizzato da personale adeguatamente preparato. Gestire la qualità significa, pertanto, investire in nuove tecnologie e risorse umane. In merito, da diverso tempo nel settore industriale si parla di un nuovo traguardo della cosiddetta **Industria 4.0** (Moeller,2016), così denominata perché evoca una "quarta rivoluzione industriale", cioè una nuova evoluzione tecnologica che porterà la produzione industriale a essere del tutto autonoma e interconnessa.

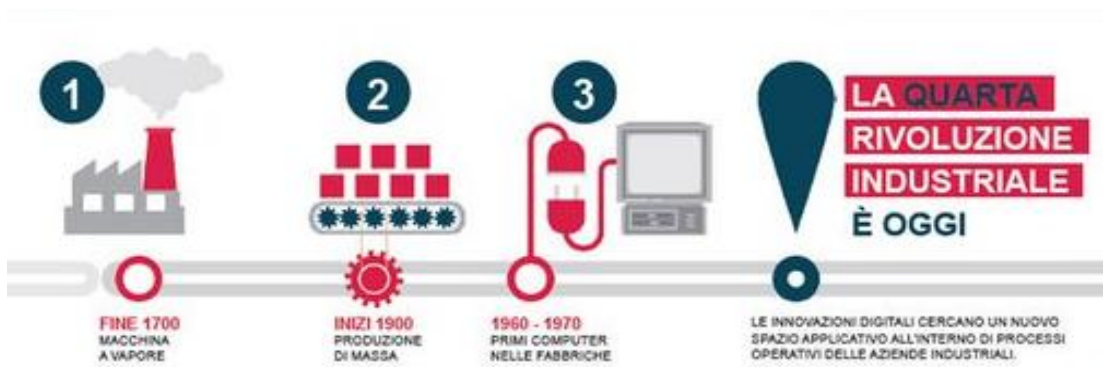


Figura - Quadro evolutivo dei principali stadi di sviluppo delle tecnologie

La gestione dell'informazione nei diversi ambiti decisionali deve essere effettuata attraverso sistemi informativi aziendali (SIA). Un sistema di questo genere è un insieme di strumenti fisici ben definiti che, interagendo fra loro, mettono il decisore in condizioni di:

- 1) raccogliere i dati a livello di ciascun singolo processo;

2) elaborare ed archiviare i dati raccolti, mediante modelli e database progettati in funzione della natura delle decisioni che, in un secondo momento, si dovranno intraprendere;

3) utilizzare i dati previamente elaborati, completando la loro trasformazione in informazione nell'ambito di un ben preciso processo decisionale.

Un SIA include, pertanto, componenti hardware e software la cui progettazione dovrà tener conto delle specifiche esigenze dell'impresa in cui andrà ad operare ("customizzazione"). Di norma, i requisiti di progettazione sono fissati dalla direzione aziendale, poiché ad essa spetta il compito di veicolare le informazioni ai due ambiti operativo e strategico.

I processi decisionali (direttivo e strategico) riguardano scelte di vario orizzonte temporale, di norma legate alla pianificazione delle attività aziendali. Le procedure non possono essere standardizzabili o riconducibili a processi automatizzati; infatti sono influenzati dai modelli di realtà che i singoli decisori soggettivamente utilizzano per effettuare scelte.

I sistemi informazionali sono proprio pensati per coadiuvare il processo decisionale seguendo i passaggi logici del decisore e offrendogli, nel contempo, la possibilità di avere visioni diversamente organizzate dei dati. In tal senso, risultano fondamentali gli strumenti che potenziano le capacità di analisi dei decisori attraverso:

- analisi interattive;
- raffronti comparativi tra diversi quadri di sintesi;
- strumenti di ricerca di correlazioni, singolarità e aggregazione di dati;
- simulazioni condotte sui dati operativi ipotizzando scenari per il futuro.

Si può ben capire come il centro focale dei sistemi informazionali riguarda esclusivamente la base di dati, che nelle articolazioni complesse dell'industria e del terziario assume anche la denominazione data warehouse (magazzino di dati), a indicare l'assoluta centralità.

3.4.1 Componenti tecnologici di un sistema informativo

II sistemi informazionali sono costituiti da una serie di dispositivi che, indipendentemente dalle loro modalità di integrazione, devono assicurare una disponibilità funzionale ed essere sempre *on line*: tutti i componenti IT devono, cioè, garantire costantemente un accesso a dati e informazioni nel momento in cui risulta necessario.

Si possono includere tecnologie di diversa natura che, possono essere organizzate in base alla loro funzionalità. Esse vengono articolate distinguendo, innanzitutto, tra:

A) Tecnologie meccatroniche: preposte all'acquisizione del dato (monitoraggio), sia all'impiego dell'informazione all'interno del contesto produttivo, ad esempio come sensori per la misura di parametri chimici e/o fisici, dispositivi per il tele rivelamento, sistemi d'identificazione, ecc. Pertanto sono tecnologie che vengono utilizzate nelle fasi iniziali del ciclo dell'informatizzazione.

B) Tecnologie di posizionamento: indispensabili quando il contenuto delle informazioni necessita ulteriori attributi di localizzazione all'interno del sistema spaziale di riferimento.

C) Tecnologie per la comunicazione: prevedono ogni possibile combinazione in grado di trasferire dati e/o informazioni a distanza tra due o più soggetti.

D) Tecnologie informatiche hardware: preposte alla gestione fisica delle informazioni, ovvero al trattamento di dati in formato digitale mediante la messa a disposizione dei supporti fisici che consentono le funzioni di registrazione, visualizzazione e modifica dei dati; come tali, includono le varie tecnologie previste per i computer in tutte le loro forme sia per le relative periferiche di input e output. Si può, inoltre, sottolineare che oltre i classici dispositivi in uso (computer, notebook e palmari), oggi si stanno modificando le modalità di gestione di diversi processi grazie all'utilizzo di diversi dispositivi portabili come *smartphone e tablet*, che combinano le prestazioni dei vecchi palmari con la nuova utilità della telefonia mobile. Il vero punto di forza consiste nell'avere: una diffusione praticamente universale (tutti hanno uno smartphone in tasca!) e una notevole flessibilità di configurazioni personalizzabili, anche per applicazioni personali di alto livello realizzabili con un semplice programma aggiuntivo (app). L'unico svantaggio può essere la loro fragilità dal punto di vista fisico: soprattutto nell'applicazione in campo, la loro integrità è a rischio.

E) Tecnologie informatiche software: preposte alla gestione dei valori delle informazioni, ovvero all'archiviazione e all'elaborazione dei dati attraverso strumenti (programmi) che permettono di interfacciare le funzionalità digitali dell'hardware con le forme di comunicazione, espressive e cognitive, proprie degli utenti "umani" finali. Sempre su questo fronte, è bene menzionare il ruolo fondamentale che ricoprono gli strumenti di gestione delle basi di dati (DBMS, DataBase Management Systems). Rappresentano sicuramente uno dei componenti più complessi e delicati, dalla cui struttura (articolata in tabelle connesse secondo le logiche delle basi di dati relazionali) dipende il successo funzionale dell'intero SIA. Di fatto, rappresentano il fulcro della integrazione e della interoperabilità tra componenti. Infine, si menzionano le app, ovvero le applicazioni

eseguibili concepite per smartphone e tablet, realizzate con logiche e strumenti che le rendono molto più “leggere” rispetto agli applicativi dei sistemi operativi dei PC convenzionali. Si distinguono in: *app native* sviluppate nel linguaggio nativo del sistema operativo del dispositivo mobile su cui sono installate; interagiscono con tutte le funzioni del dispositivo e funzionano anche senza connessione attiva; e *web app* che prevedono un semplice collegamento tramite browser verso un applicativo remoto, non possono interagire con la funzionalità del dispositivo e richiedono sempre la connessione attiva. Lo sviluppo delle app native fa intravedere molte prospettive interessanti per la SIA.

3.4.2 Cloud computing

Lo sviluppo di nuove soluzioni IT per migliorare la gestione di grandi moli di dati e informazioni, operando a vari livelli (acquisizione, centralizzazione, archiviazione, potenza di calcolo). Viene data anche grande enfasi alla connettività tra sistemi extra-impresa, specie facendo uso della rete (Cloud Computing o Open Data). Il tutto, in definitiva, col fine ultimo di potenziare l'accessibilità anche a informazioni destrutturate e disomogenee da parte dei decisori, con ciò favorendo indirettamente gli operatori “umani” coinvolti ai livelli di controllo.

Le nuove frontiere del Cloud Computing e della connettività diffusa aprono oggi nuove porte per possibili positivi sviluppi futuri. Infatti, le principali “barriere informatiche” che possono costituire un freno all'adozione di un SIA riguardano difficoltà professionali, organizzative e cognitive nel gestire sistemi sia hardware (server, dataloger, sistemi di comunicazione e trasferimento dati) sia software (data warehouse, GIS, ecc.). In rete sono già disponibili molti servizi commerciali in grado di offrire gran parte di queste funzioni, rendendo disponibili agli utilizzatori remoti le “risorse” richieste come se fossero implementate da/su dispositivi standard (server o periferiche aziendali). Sul *cloud* devono intervenire tre distinti attori:

- 1) il fornitore di servizi (*cloud provider*), che mette a disposizione a pagamento le risorse necessarie (server virtuali e archivi);
- 2) il cliente amministratore (*administrator*), che configura i servizi offerti dal fornitore in base alle richieste dell'utente finale, regolandone anche i diritti di accesso e aggiungendo eventuali applicativi specifici proprietari;
- 3) il cliente finale (*user*) che utilizza i servizi opportunamente configurati dall'administrator.

E' auspicabile che si organizzi l'intero sistema con Centri Servizi (CS) in grado di assumersi il ruolo di administrator con il compito e responsabilità di gestione dei dati (manutenzioni delle attrezzature informatiche ed elaborazioni intermedie). Quest'ultimi potrebbero, inoltre, fornire supporti di *auditing* aziendale e di formazione nella fase iniziale.

Il successo di tale impostazione dipenderà da: l'affidabilità dei provider, la competenza dei CS nell'individuare forme di aggregazione del personale interno altamente interdisciplinari, la capacità di individuare tariffe del servizio compatibili coi benefici attesi nell'uso dei SIA. Questa rappresenta una sfida già in corso in altri settori e potrebbe avere molti punti di contatto con gli sviluppi dell'industria 4.0.

In tale futuro di industria 4.0, nelle aziende agricole si conia un nuovo termine **smart farm** ("smart" letteralmente dall'inglese "intelligente"), ovvero aziende agricole che si avvalgono di tecnologie digitali per ottimizzare la gestione delle colture. Queste aziende usufruiscono di servizi GPS, Big data; sensori e di Clouding per creare sistemi di supporto decisionale in grado di raccogliere ed elaborare dati in tempo reale. Tutto ciò permette di reperire informazioni relative a tutti gli aspetti legati alla coltivazione con un elevato livello di dettaglio e di aggiornamento. L' Internet of Things sta determinando un cambiamento ed anche la gestione ed anche la gestione ed anche la gestione delle risorse naturali, connettendo oggetti isolati per accedere a informazioni e inviando segnali di comando per attuatori.

Una rete di dispositivi "sentinella" che comunichiamo in maniera proficua, collaborativa ed efficiente tra di loro, all' interno dell'azienda in un sistema senza fili che ha un proprio livello di autonomia e di controllo, definito "fog computing" e in grado di collegarsi alla rete globale "cloud computing" per acquisire e fornire "big data".

Questo innovativo sistema "smart" permette un controllo puntuale e costante all'interno della rete, con funzioni sia di monitoraggio, sia di attuazione ad esempio nel controllo dell'apporto dell'acqua di soccorso con irrigazione. La larga diffusione, la sicurezza e il facile accesso economico delle tecnologie rappresenta un tassello importante nella strategia gestionale di un'azienda agricola.

4. ESPERIENZA DI TIROCINIO

4.1 L'azienda SYSMAN Progetti & Servizi

La SysMan, azienda in cui ho potuto svolgere il mio tirocinio, è stata fondata nel 1994 ed è attivamente presente sul mercato ICT (Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione) da 20 anni con tre diverse sedi operative su tutto il territorio nazionale: Roma, Bari e Mesagne.

L'azienda cerca di soddisfare le esigenze del mercato, quindi è fortemente orientata a introdurre processi e tecnologie innovative.

La SysMan ha maturato una certa esperienza sul campo, con il trattamento dei dati meteorologici ed agrometeorologici attraverso un percorso di investimenti in Ricerca & Sviluppo finalizzato alla realizzazione di prodotti e servizi propri da collocare sul mercato tra cui l'agricoltura sostenibile, il monitoraggio e la gestione del territorio, tutto con uno sguardo all'Industria 4.0.

In quest'area di progresso aziendale che è cominciata la sperimentazione del progetto **Bluleaf** nel 2014-2015. Bluleaf nasce, però, da un progetto, Hydro Tech nel triennio 2011-2013, finanziato dalla Regione Puglia e promosso da un consorzio d'impresе tra cui abbiamo la SysMan di Mesagne e DyrectaLab di Conversano, nonché gli enti di ricerca Istituto Agronomico Mediterraneo (CIHEAM-IAMB) e Istituto di Scienze delle Produzioni Alimentari (CNR-ISPA).

Hydro Tech, successivamente anche Bluleaf, sono stati progettati per rispondere a una problematica evidenziata dai Paesi Mediterranei dell'Unione Europea, ovvero, la gestione sostenibile delle risorse idriche in agricoltura, tema affrontato dalle direttive in materia (in particolare la «direttiva quadro sulle acque 2000/60/EC») e a livello nazionale l'irrigazione è frequentemente soggetta a leggi restrittive che fissano limiti all'estrazione o all'utilizzo (legge 152/2006 e normative specifiche regionali). Inoltre, la «gestione sostenibile delle risorse naturali» acquisisce crescente importanza tra le priorità e gli obiettivi delle politiche di sviluppo rurale nella nuova programmazione 2014-2020 (Dwyer, 2013). Come anche sostenuto dalla “European Innovation Partnership on Water”, tra le principali priorità relative alla gestione della risorsa idrica vi è la necessità di promuovere lo sviluppo e la diffusione di nuovi sistemi di supporto decisionale (DSS) sfruttando le potenzialità offerte dalle nuove tecnologie.

Il sistema di supporto decisionale Bluleaf è entrato nel commercio nel 2016-2017, ed ha già aziende su tutto il territorio nazionale che usufruiscono di questo servizio.

4.2 Il progetto Bluleaf

Bluleaf, come anche altri sistemi di supporto decisionale, diventa il protagonista delle “smart farm”, facilitando il lavoro di programmazione irrigua con le integrazioni dei dati agrometeorologici, permettendo così di supportare l’azienda nelle decisioni su quando e quanto irrigare, risparmiando acqua e aumentando l’efficienza.

La programmazione irrigua più efficiente si può effettuare con l’integrazione dei tre metodi, monitoraggio dello stato idrico del terreno, della pianta e calcolo del bilancio idrico, usati singolarmente, per i limiti di ciascuno di esse, possono fornire indicazioni errate, al contrario l’uso integrato di anche due metodologie, può dare luogo a risultati soddisfacenti. Questo è l’obiettivo di Bluleaf, ovvero integrare tutti gli approcci tecnico-scientifici

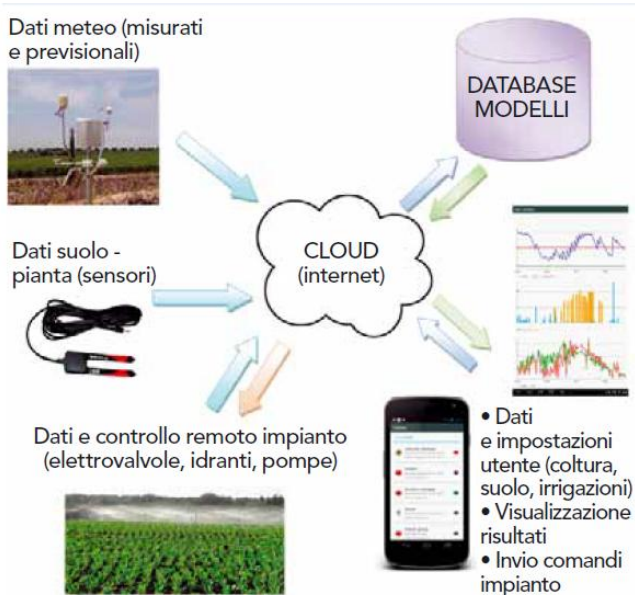


Figura - Principali componenti nel DSS

esistenti su un’unica piattaforma tecnologica (DSS), e per far questo ha bisogno dei modelli di bilancio, sensori suolo/pianta e sistemi di acquisizione e controllo remoto.

Il DSS in questione, come uno canonico affrontato nei capitoli precedenti, prevede le integrazioni di varie componenti software ed hardware, per le quali in team della SysMan ha proceduto a svilupparli e verificarli.

Il primo obiettivo del DSS è quello di consentire il monitoraggio dello stato del sistema. A livello aziendale, l’impiego di specifici sensori connessi a data-loggers consente l’acquisizione continua dei dati meteo, dello stato idrico del sistema suolo-pianta, nonché dello stato di funzionamento dell’impianto irriguo. La trasmissione dei dati su scala aziendale sfrutta poi differenti tecnologie di comunicazione wireless (WiFi, ZigBee, ecc.), mentre la trasmissione su server remoti avviene normalmente attraverso un sistema GSM/GPRS.

I dati di campo sono archiviati ed elaborati al fine di supportare la pianificazione degli interventi irrigui.

Da questo momento interviene il programma Bluleaf, che dopo aver configurato i vari lotti aziendali, selezionando i parametri richiesti dal database del sistema, il DSS calcola in tempo reale il bilancio idrico secondo la metodologia standard della FAO, che prevede: $ET_{coltura} = K_c \times ET_0$, con il



Figura - Pagina Web di Bluleaf

calcolo dell' ET_0 con il modello di *Penman-Monteit*; offrendo all'utente la possibilità di valutare lo stato della riserva idrica del terreno, dei consumi idrici delle colture (evapotraspirazione) e del loro eventuale stato di stress, nonché di stimare eventuali perdite di produzione.

Per far sì che il sistema riesca a effettuare quanto detto, bisogna inserire i necessari dati input.

Passaggio fondamentale per ogni utente che utilizza Bluleaf e la programmazione e la configurazione dei propri lotti, essa avviene collegandosi al sito web "www.bluleaf.it" e si inseriscono le proprie credenziali permettendo di accedere alla *dashboards*, è la pagina iniziale dalla quale si può cominciare a lavorare. Al suo interno troviamo una sezione che permette di aggiornare gli utenti sulle condizioni meteo dei lotti configurati e vicino abbiamo una sezione "avvisi" che si colora di verde se non si deve irrigare e di rosso se è necessario irrigare, inoltre è presente un calendario sul quale è possibile aggiornare tutti gli interventi eseguiti sui vari lotti, questo permette al sistema di revisionare il calcolo del bilancio idrico. Dalla barra operativa in alto alla voce "oggetti aziendali" si possono configurare singolarmente le colture, gli impianti irrigui e i terreni. La configurazione per queste tre componenti prevede diversi passaggi, che non sarebbero possibili se non si è a conoscenza dei dati utili per completare la procedura.

La creazione di una coltura nel sistema segue i seguenti passaggi:

- 1) Configurazione: specificando la pianta, arbusto o albero in campo, a quale densità e se la coltura e inerbita oppure no; infine la denominiamo per poterla distinguere e selezioniamo il giorno di inizio ciclo.
- 2) Parametri colturali: in questa fase per ogni momento del ciclo colturale si inserisce la data di inizio e di fine, coefficiente colturale (il K_c è proposto dal sistema ma si può intervenire su di esso se siamo a conoscenza di dati più accurati), espansione radicale in

verticale e in orizzontale, attraverso questi dati il sistema elabora la curva di crescita colturale e un grafico dell'espansione radicale che permette di raffigurare il "vaso" all'interno del quale saranno presenti le radici e quindi dove potrà arrivare l'acqua.

- 3) Registro fenologico: qui si analizzano in maniera più dettagliata le fasi fenologiche specificando, in base alla conoscenza delle piante in campo, la durata della fase.
- 4) Gestioni irrigazioni: questo passaggio è molto importante perché si può decidere se la coltura può o meno essere sottoposta, in una o più di una delle fasi, a uno stress idrico per rispondere a una necessità qualitativa.
- 5) Conclusione: si confermano i passaggi precedenti.

La creazione di un impianto irriguo:

- 1) Configurazione: si inserisce un nome, per poterlo distinguere successivamente, la tipologia (micro portata, a pioggia, subirrigazione, ecc.), la portata per erogatore (l/h) e quella per ha (m^3/ha), il numero degli erogatori e la distanza sulle file, l'efficienza e la pluviometria calcolata (mm/h)
- 2) Conclusione: conferma dei passaggi precedenti.

La creazione di un terreno:

- 1) Configurazione: si assegna un nome distintivo, si inseriscono il numero di strati da cui è caratterizzato e per ognuno di essi si immette nel sistema lo spessore del singolo strato e dopo quello totale del suolo(cm).
- 2) Caratterizzazione fisica: per il ogni strato si scrive, tessitura con % sabbia, % argilla e % limo, sempre in percentuale anche presenza di scheletro e sostanza organica, e infine la salinità (dS/m)
- 3) Caratterizzazione idrologica: in questo caso possiamo scegliere o la voce "costanti idrologiche" (capacità di campo, punto di appassimento e saturazione) oppure quando queste non sono disponibili si sceglie l'opzione "pedo-trasfert" per poterli stimare quando non sono stati misurati.
- 4) Conclusione: si confermano i passaggi precedenti.

È importante sottolineare che i dati inseriti possono sempre essere revisionati e corretti, in caso in cui ci accorgiamo che in campo gli avvenimenti stanno variando.

Concluse le procedure precedenti si avranno tre oggetti aziendali che devono essere riuniti in un solo lotto. Un lotto irriguo è, appunto, una particella di territorio caratterizzato da una coltura, un impianto irriguo, un suolo omogeneo e delle condizioni climatiche omogenee. Per poterlo configurare si torna alla dashboard e alla voce "amministrazione",

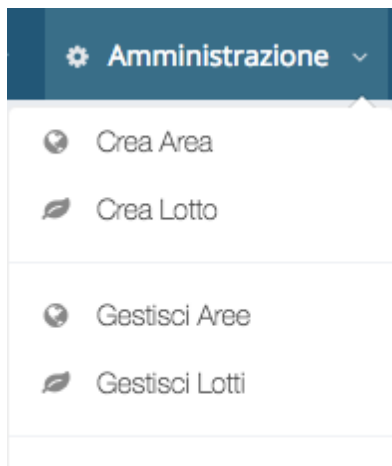


Figura - Dalla dashboard del sito web di Bluleaf

presente sulla barra in alto alla pagina, si sceglie prima l'opzione area, per le quali si intendono porzioni di territorio con condizioni climatiche omogenee. In questa sezione, con l'aiuto di Google Maps si può definire l'area nella quale andremo ad inserire i nostri lotti, inoltre in questo momento andremo a scegliere di collegare fino a 3 stazioni agrometeorologiche (che possono essere aziendali o pubbliche). Ora sempre dal comando "amministrazione" si può formare il lotto all'interno dell'area. Il lotto sarà composto dalla coltura, dal suolo e dall'impianto irriguo creati in precedenza e avrà i dati

meteo dell'area.

Conclusa la programmazione possiamo, ora, monitorare l'andamento della nostra coltura in campo, il software ha tutti i dati input necessari tra quelli colturali a quelli climatici, quindi può simulare il bilancio idrico. Individuiamo nel grafico che presenta delle sezioni per ogni fase fenologica della pianta, la curva che si delinea dei picchi di crescita e decrescita influenzati dall'irrigazione, dalla pioggia e dall'evapotraspirazione, i consigli dati dal sistema tenderanno a far tenere la curva nella sezione tra irrigazione consentita ed esaurimento consentito.

La suddivisione presente nel grafico si basa anche sulla crescita radicale della pianta e alle condizioni di stress idrico che può essere sottoposta. Insieme a quest'ultimo si può sempre confrontare il grafico di evapotraspirazione, condizioni di stress, pioggia, ma anche quelli dei dati agrometeorologici derivanti dalle 3 stazioni.

Figura - Grafico del bilancio idrico di Bluleaf



Elaborando tutti questi dati Bluleaf può consigliare di irrigare, ma la decisione rimane all'utente che dovrà inserire l'intervento irriguo nel calendario della dashboard specificando

la quantità (mm, m³, m³/ha, hh:mm) e la durata, in modo tale da avere il grafico del bilancio idrico aggiornato.

Il sistema è stato sviluppato per operare a livello “cloud” e quindi di archiviazione dei dati (in appositi database presenti a Mesagne) e l’elaborazione delle informazioni (attraverso modelli) sono realizzati server remoti (server della Microsoft a Dublino), in modo da rendere consultabile l’applicazione ovunque e impiegando diversi tipi di dispositivi.

Bluleaf ha previsto un modo sempre più rapido di trasferimento di informazioni, non solo



Figura - App Bluleaf

con l’utilizzo web, grazie all’ausilio dell’app facilmente scaricabile su uno smartphone che è sempre a portata di mano. Tale innovazione consente all’utente di visualizzare le informazioni relative al bilancio idrico, alle misure dei sensori e allo stato dell’impianto, ricevere anche suggerimenti d’interventi direttamente in campo. L’utente può inoltre aggiornare le informazioni in tempo reale (irrigazioni effettuate, rilievi sulla coltura, modifica dei parametri del lotto, ecc.), questa funzione agevola l’utilizzo di nuovi servizi PATOgest e FERTIgest, ovvero di gestione dei patogeni e di fertilizzazione, in via di programmazione e sperimentazione dalla SysMan.

4.3 Qualità dei dati agrometeorologici

Il sistema software Bluleaf utilizza, come modello per il calcolo della programmazione irrigua il bilancio idrico, con la possibilità di integrare informazioni con il monitoraggio di suolo e pianta con appositi sensori.

Il principale vantaggio dell’impiego dei sensori, in particolare i sensori suolo, è che forniscono una registrazione continua. Un loro impiego in combinazione con il DSS potrebbe consentire un *feedback*, ovvero una risposta dal sistema reale suolo-pianta in modo tale, che il consiglio irriguo risulti calibrato con quanto osservato.

Affinché sia possibile il calcolo del bilancio irriguo, invece, bisogna calcolare ET₀, ed è possibile solo con la conoscenza di temperatura, umidità relativa, velocità del vento, radiazione solare e pioggia, dati ottenibile con una stazione agrometeorologica.

Si deve tener presente che l’installazione deve avvenire con una metodologia standard che serve ad avere dati oggettivi, ma anche permette di confrontare tra loro dati prelevati in più

stazioni meteorologiche. L'oggettività dei dati definisce la loro qualità al fine di ottenere un bilancio irriguo quanto più veritiero possibile.

Nella scelta degli strumenti è molto importante considerare alcune caratteristiche tecniche che ne descrivono in maniera oggettiva le qualità:

- *precisione*: è l'approssimazione del valore misurato al valore vero;
- *accuratezza*: è lo scostamento tra valore vero e valore medio;
- *sensibilità*: è il rapporto tra la variazione della grandezza in uscita dallo strumento e la corrispondente variazione in ingresso della grandezza in esame.

Il calcolo del bilancio si basa sulla misurazione dei dati meteo, può succedere, però, che uno degli strumenti alteri il dato o peggio ancora smetta di funzionare. Come si è comportata la SysMan per cercare di ridurre il problema? Per questo motivo, Bluleaf permette di configurare in una sola area 3 stazioni meteo, una principale e le altre e due di riserva permettendo così di confrontare i valori, e si possono visionare anche dati singoli derivanti dalle stazioni meteo considerate, questo sistema permette anche di garantire che se uno strumento non riesce a rilevare un dato per una problematica ci sono le altre a compensare.

In alcuni casi la qualità dei dati è compromessa non tanto dalla strumentazione, ma perché non sono stati rispettati gli standard. La stazione dovrebbe essere posizionata vicino alla coltura in maniera tale che riesca a rilevare il microclima del campo, avendo la cura che l'area rimanga sgombra da ostacoli.



Figura - Posizionamento in condizioni non standard di una stazione agrometeorologica

Dobbiamo tener presente che se posizioniamo una stazione meteo troppo vicina al sesto d'impianto di impianto, durante la crescita vegetativa le piante tenderanno a ombreggiare e quindi ad ostacolare il rilevamento dei dati compromettendo la qualità.

In fine, è bene sottolineare che non basta la qualità della strumentazione per rilevare dei dati quanto più oggettivi e accuranti, bisogna avere delle accortezze e seguire degli standard anche al momento del posizionamento in campo.

5. Conclusioni

Le ricerche sulle metodologie per la programmazione irrigua sono in continuo progresso, come anche le conoscenze necessarie per migliorare dal punto di vista pratico ed applicativo degli strumenti di misura.

E' innegabile il progresso ottenuto con i sistemi di supporto decisionale (DSS), la possibilità di simulare in brevissimo tempo tecniche agronomiche diverse e di ottenere risposte qualitativamente affidabili mette nelle mani di chi si occupa di strategie aziendali e pianificazioni ambientali uno strumento fondamentale.

I DSS, come Bluleaf, basati sui modelli di bilancio idrico hanno il vantaggio di legare il consiglio irriguo alla corretta determinazione della domanda evapotraspirativa, ed è possibile solo con la misurazione delle costanti climatiche a livello locale, attraverso un adeguata installazione di stazioni agrometeorologiche aziendali, nonché una stima affidabile dei principali parametri del suolo e della coltura. Il calcolo dell'effettiva evapotraspirazione colturale è fondamentale per il dimensionamento delle variabili irrigue e per evitare i rischi derivati da condizioni di stress idrico, come la perdita di resa; il DSS consente di pianificare una strategia di deficit idrico controllato limitando le applicazioni irrigue agli stadi fenologici più sensibili allo stress per aumentare l'efficienza dell'uso dell'acqua e un limitato impatto sulla qualità. Un altro rischio è lo spreco d'acqua dal sovradosaggio dei volumi di adacquamento, perdendola per drenaggio profondo verso falde acquifere, e in questo caso si interviene con il monitoraggio dell'umidità a diverse profondità consentendo di valutare se i volumi irrigui applicati sono eccessivi rispetto al volume di suolo esplorato dalle radici.

Dalla sperimentazione fatta con il DSS Hydro Tech, progetto dal quale si è evoluto Bluleaf, è stato osservato, nelle aziende esaminate, un significativo risparmio idrico (dal 10% al 15%, a parità di produzione) confrontando la strategia suggerita dal DSS rispetto a quella aziendale corrente, riscontrando così una migliore qualificazione dei consumi idrici delle colture e di un dosaggio più preciso dei volumi irrigui rispetto alle effettive capacità di ritenzione idrica del suolo, limitando così le perdite di drenaggio al disotto del volume esplorato dalle radici.

Nell'ambito della gestione sostenibile delle risorse idriche, Bluleaf risulta un ausilio alla programmazione irrigua, facilitando il calcolo delle variabili irrigue ma soprattutto basando la scelta sui dati concreti.

Allo stato attuale, il problema legato all'uso efficiente delle risorse idriche in agricoltura sta assumendo una grandissima rilevanza anche al livello mondiale, come si evidenzia nella

programmazione 2014-2020 dell'Unione Europea, dove viene considerato un obiettivo imprescindibile.

Inoltre una reale difficoltà, comune a tutte le tecnologie che portano ad un'agricoltura di precisione, rimane il trasferimento dalla teoria alla pratica nelle aziende agricole.

I dati Mipaaf (Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali) del 2015 sull'agricoltura di precisione in Italia fanno capire che la rivoluzione digitale è cominciata anche nel nostro paese ma procede lentamente. La causa è una resistenza al cambiamento e una scarsità di conoscenza. Tutto questo è dovuto a una difficoltà di trasmissione delle conoscenze dell'utilizzatore finale che porta ad ostacolare il cambiamento.

A tal proposito, il trasferimento della conoscenza e dell'innovazione nel settore agricolo è stato individuato come "priorità trasversale" nell'ambito dei nuovi programmi di sviluppo rurale (Psr 2014-2020), da coniugare con la priorità di promuovere un uso efficiente delle risorse (acqua in primis).

Tra le misure dei Psr che consentiranno di sostenere tali iniziative si segnalano:

- le misure per il "**Trasferimento delle conoscenze e azioni di informazione**", che finanzieranno le azioni di formazione professionale, di informazione e dimostrazione, nonché gli scambi interaziendali per l'apprendimento di nuove tecnologie;
- le misure per i "**Servizi di consulenza, di sostituzione e di assistenza delle aziende agricole**", che supporteranno il ruolo dei consulenti come *innovation brokers*, intermediari cioè del trasferimento tecnologico sul territorio;
- le misure per gli "**Investimenti in immobilizzazioni materiali**", che prevedono invece finanziamenti per impianti e attrezzature innovative per il miglioramento dell'efficienza irrigua.

In conclusione, si può affermare che in pochi ambiti come quello dell'irrigazione in agricoltura la tecnologia può davvero fare la differenza, sia per l'efficienza d'uso dell'acqua, sia per il suo risparmio; dimostrando così che gli uomini possono essere efficaci in altri campi oltre alla distruzione.

Bibliografia

- Acutis M., Ventrella D. (2015) – *L'acqua, L'agricoltura e il clima che cambia*. L'acqua in agricoltura, Gestione sostenibile della pratica irrigua. Edagricole, Milano, pp. 43-63.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D. and Smith M. (1998) - *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. FAO, Rome. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56.
- Andreotti L. (2016) – *Il CER porta in capo l'agricoltura di precisione*. L'Informatore Agrario n. 28/2016, p. 41.
- Basso B., De Antoni M., Cammarano D. (2016) – *Modelli di simulazione in agricoltura di precisione*. In Agricoltura di Precisione, Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali. Edagricole, Milano, pp. 201-212
- Buono V., Dichio B., Trotta L. (2016) - *Acqua e agricoltura: coniugare produttività e sostenibilità*. L'Informatore Agrario n. 2/2016, p. 68
- Ciccarese A., Rubino P., Tarantino E. (2015) – *La programmazione irrigua delle colture agrarie*. L'acqua in agricoltura, Gestione sostenibile della pratica irrigua. Edagricole, Milano, pp. 279-313.
- Costantini E.A.C., Pellegrini S., Piori S., Vignozzi N. (2015) - *Il monitoraggio dello stato idrico del suolo*. In L'acqua in agricoltura. Gestione sostenibile della pratica irrigua. Edagricole, Milano, pp. 171-195.
- FAO (2012) - *World Agriculture Towards 2030-2050. The 2012 Revision*, Fao, Roma.
- Gallerani V., La Via G., Zanni G. (2009) – *Acqua e Agricoltura in Italia*. Franco Agnelli, Milano, 9-11.
- Girdini L., (2012), *L'Agronomia per conservare il futuro*, Pàtron Editore, Bologna, 51-66, 271-278
- IPCC (2014) - *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva.
- Lima M. (2017) – *Per l'agricoltura di precisione serve formazione*. L'Informatore Agrario n. 28/2017, p.9
- Mannini P., Genovesi R., Letterio T. (2013) - *IRRINET: large scale DSS application for on-farm irrigation scheduling*. Procedia Environmental Sciences, vol. 19, pp. 823-829.

- Martirano L. (2017) – *L'agricoltura prima vittima di siccità ed incendi*. L'Informatore Agrario n. 28/2017, p. 12
- Mastrorilli M. (1998) – *L'uso sostenibile dell'acqua in agricoltura*. L'Informatore Agrario n. 17/1998, p. 56.
- Mazzetto F., Riedl M., Sacco P. (2016) – *Sistemi informativi aziendali ed agricoltura di precisione*. In *Agricoltura di Precisione, Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali*. Edagricole, Milano, pp. 9-41.
- PSR Puglia 2014 – 2020
- Rana G., Ferrara R.M., Rossi R. (2015) – *Le esigenze idriche delle colture*. L'acqua in agricoltura, Gestione sostenibile della pratica irrigua. Edagricole, Milano, pp. 141-168.
- Scudiero E., Berti A., Teatini P., Morari F. (2012) – *Simultaneous monitoring of soil water content and salinity with a low- cost capacitance-resistance probe*. Sensors, 12, 17588-17607.
- Sequi P. (2004) – *La buona pratica agricola*. L'Informatore Agrario n. 19/2004, p. 45.
- Stirzaker R., Stevens J., Annandale J., Steyn J., (2010) – *Stages in the adoption of a wetting front detector*. Irrigation and Drainage.
- V. Buono, M. Todorovic, E.E. Riezzo, A.M. Galiano, A. Donadio (2014) – *Irrigazione in agricoltura sempre più "smart"*. L'Informatore Agrario n. 27/2014, p. 36.
- Ventura F., Rossi Pisa P.(2004) – *Strumenti per l'agrometeorologia*. Aracne, Roma.
- Viaggi D. (2017) – *La siccità ricorrente, un problema non più rimandabile*. L'Informatore Agrario n. 24/2017, p.5.
- Vincini M., Morari F. (2016) – *Irrigazione di precisione*. In *Agricoltura di Precisione, Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali*. Edagricole, Milano, pp. 275-299.
- Xiloyannis C., Dichio B. (2006) – *Sustainable irrigation in fruit trees Italian Journal of Agronomy*, 1 (3s), 507-518.

Siti web consultati

<http://www.bluleaf.it/>

<http://www.sys-man.it/>

http://www.irriframe.it/irriframe/Content/IF_Pub_3.htm

<https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/agricoltura-di-precisione-questi-i-principali-trend-del-futuro/>

https://ec.europa.eu/environment/efe/themes/economics-strategy-and-information/here-2020-eu%E2%80%99s-new-environment-action-programme_it