Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale: l'Europa investe nelle zone rurali

P.S.R. 2007-2013– MISURA 124

Dgr n. 1604 del 31/07/2012

PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO TECNOLOGICO

Cooperazione per lo sviluppo di nuovi prodotti, processi e tecnologie nei settori agricolo, alimentare e forestale

PROGETTO SAFE WATER:

IRRIGAZIONE DI PRECISIONE VOLTA AL RISPARMIO DI VOLUMI IDRICI NEL COMPARTO DELLE GRANDI COLTURE

Responsabile Scientifico: Prof. Antonio Berti

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente, Università di Padova, e-mail: antonio.berti@unipd.it

I PARTNERS

- *Consorzio Agrario Nord-est Soc. Coop*
- *Università di Padova, Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente DAFNAE – Legnaro (PD)*
- *Studio agronomico Spazio Verde*
- *Az. Agr. Eredi Petrobelli Antonio, Pettorazza Grimani (RO)*
- *Soc. Agr. Della Rocca S.P.A., Ca' Bianca di Chioggia (VE)*

RIASSUNTO

L'applicazione uniforme dei fattori produttivi a livello di appezzamento permette solo una parziale ottimizzazione dell'efficienza degli input. L'Agricoltura di Precisione punta a considerare la variabilità spaziale dei parametri di interesse, calibrando gli input sulla base delle caratteristiche specifiche di ogni area dell'appezzamento, evitando sia sovra- che sotto-dosaggi e, quindi, massimizzando l'efficienza degli apporti.

Nel caso dell'irrigazione, l'efficienza può essere notevolmente migliorata analizzando la variabilità spaziale e temporale dei parametri idrologici all'interno dell'appezzamento e definendo delle zone omogenee in cui monitorare in continuo il contenuto.

La sperimentazione è stata condotta in due Aziende in cui l'irrigazione è applicata tramite sistemi VRI su pivot (Azienda 1) e con sistemi a goccia (Azienda 2), confrontando i consumi irrigui e l'accrescimento delle colture rispetto ai testimoni aziendali.

Nella prima parte del progetto si è analizzata la variabilità spaziale delle principali caratteristiche chimico-fisiche degli appezzamenti. Le mappe di tessitura, ottenute tramite kriging ordinario, sono state confrontate con immagini satellitari che forniscono la variabilità dell'indice NDVI.

Con il software MZA si sono quindi identificate delle aree omogenee, caratterizzate da differente tessitura e parametri idrologici, utilizzabili per l'applicazione dell'Irrigazione di precisione.

La seconda parte del progetto ha previsto l'implementazione dei sistemi VRI, predisponendo in ogni area omogenea dei punti di misurazione dell'umidità del terreno, che consentivano di calibrare gli apporti idrici.

Anche se i risultati andranno confermati alla raccolta delle colture, si può comunque affermare che i due impianti hanno dato buoni risultati operativi, consentendo con il sistema a goccia di mantenere un buono stato vegetativo della coltura in confronto al testimone aziendale, che dovrebbe portare a un apprezzabile incremento di resa. Il sistema pivot VRI ha invece consentito di ottenere uno sviluppo della coltura non differente da quello del testimone aziendale irriguo, a fronte di un risparmio irriguo rilevante nelle zone con terreno più sciolto.

SUMMARY

The uniform application of production factors over the whole field area allows only a partial optimisation of inputs. Precision Agriculture aims to improve the efficiency calibrating the timing and the quantity of inputs on the base of the spatial variability of soil and crop characteristics observed at the field level. Considering irrigation, soil hydrological traits can greatly affect the efficiency of water applied: it is then foreseeable to divide the fields in homogeneous area where the water content is continuously monitored and the irrigation is calibrated in each area depending on the observed requirements.

The study has been carried out in two environments whit different VRY system: a pivot (Farm 1) and a drip irrigation (Farm 2).

The spatial variability of soil physical and hydrological traits has been assessed and these information, together with NDVI maps observed in the preceding years, has been used to define the Management Zones.

The two irrigation systems have then been implemented, placing within each management zone a continuous measurement system for soil water content. This information has been used to calibrate water inputs.

The first results shows that both systems gave good performances. The drip irrigation system allowed to keep a good vegetative status of the maize crop in comparison with the non-irrigated farm check. In the VRI pivot system the crop status was equivalent to that of the irrigated farm check despite a lower total irrigation volume, particularly on sandy soils. This result is of particular importance considering that the summer 2015 has been characterised by an exceptional heat wave and by a persistent drought.

1 INTRODUZIONE

Il termine Irrigazione di Precisione è ampiamente utilizzato nella bibliografia internazionale, ma al momento non esiste una definizione o concettualizzazione di questo termine. Tradizionalmente l'irrigazione è applicata sull'intera superficie di un appezzamento. Oggi la frontiera più avanzata nel campo dell'irrigazione è quella di riuscire a distribuire le giuste dosi d'acqua evitando gli sprechi e somministrandola nel modo più adeguato.

Recentemente la ricerca si è concentrata sull'utilizzo di sensoristica specifica per la determinazione dello stato delle colture e per la stima delle caratteristiche dei suoli. Queste informazioni permettono di valutare in tempo reale le condizioni di crescita e le necessità della coltura in atto, sia in sistemi irrigui basati su grandi macchine (es. pivot) che su altri sistemi ad alta efficienza come quelli a manichetta.

Le ali articolate attualmente in commercio con sistema VRI (pivot e linear) si dividono in due tipologie: la prima dove la variazione della piovosità dell'impianto avviene modificando la velocità di movimento (variazione di velocità - variable speed control); la seconda che accoppia la variazione della velocità al controllo indipendente di sezioni della campata, garantendo una suddivisione dell'impianto in sezioni gestibili in maniera autonoma (controllo delle zone - variable zone control).

Nel caso di un pivot, la variazione della velocità consente di differenziare la piovosità su "spicchi" (settori circolari) dell'area irrigata. All'interno di un settore, comunque, l'intensità di applicazione rimane uniforme e la variabilità dell'irrigazione è realizzabile per zone piuttosto ampie e, quindi, con una bassa risoluzione spaziale. Il controllo delle zone, al contrario, non regola solamente la piovosità "tra" gli spicchi ma anche "all'interno" degli stessi, lungo le campate del pivot, grazie ad un sistema on/off degli irrigatori. Risulta così incrementata la risoluzione spaziale del VRI. In entrambi i casi il sistema è dotato di sistema satellitare GNSS in modo tale che in ogni momento la posizione dell'impianto sia nota alla centralina VRI.

Anche nel caso di sistemi a goccia è possibile applicare le tecniche VRI tramite una opportuna suddivisione dell'impianto in zone gestibili indipendentemente. Vengono controllate indipendentemente singole linee o gruppi di linee di adacquamento. La tipologia di irrigatori va scelta a priori, sulla base delle presunte richieste irrigue delle varie aree, con dei rapporti di distribuzione dell'acqua ad impianto completamente aperto che rimangono quindi fissi nel corso della stagione irrigua.

Rispetto alle grandi macchine tipo pivot o rainger, gli svantaggi principali nell'ambito delle tecniche VRI consistono nella minore risoluzione spaziale e in una limitata possibilità di variare la quantità d'acqua distribuita nel corso di una singola irrigazione; d'altra parte i sistemi a goccia hanno una maggiore risoluzione temporale, consentendo di intervenire con una qualsiasi cadenza in ognuna delle

sezioni dell'impianto, senza dover attendere il ritorno della macchina sull'area di interesse, come si deve invece fare per i sistemi ad ali articolate.

2 OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il progetto mira a implementare e valutare le prestazioni di sistemi irrigui innovativi, in cui la distribuzione dell'acqua è controllata in maniera sito-specifica, sulla base di informazioni sulla variabilità dei suoli, sullo stato della coltura e sul rilievo in tempo reale dello stato idrico dl terreno. Gli impianti, un sistema a pivot e uno a goccia, sono dotati di sistemi specifici di chiusura/apertura del flusso idrico e di regolazione della portata per adeguarsi alle indicazioni di un sistema decisionale real-time o a mappe di distribuzione.

In due Aziende sono state quindi monitorate colture di mais in cui l'irrigazione è applicata tramite sistemi VRI su pivot (Azienda 1) e con sistemi a goccia (Azienda 2), confrontando i consumi irrigui e l'accrescimento delle colture rispetto ai testimoni aziendali.

3 MATERIALI E METODI

3.1 Attività 1: implementazione dell'irrigazione di precisione in un sistema a pivot

Fig. 1 A sinistra si riporta un'immagine del pivot in modalità VRI, a destra un'ortofoto con delimitata l'area dell'appezzamento di studio.

Il sito sperimentale si trova presso l'Az. Agr. Eredi Petrobelli Antonio a Pettorazza Grimani (Rovigo). I suoli sono molto eterogenei, in quanto formatisi in un'area palustre bonificata della bassa pianura alluvionale tra Adige e Po.

L'impianto di irrigazione è costituito da un pivot lungo 274 m (in gestione uniforme Q = 40 l s^{-1} a 2.14 bar) per una copertura totale di 29.78 ha, i settori gestiti in modo variabile sono di circa 28 m di lunghezza e la variazione di velocità avviene ogni 2° di rotazione.

Nella sperimentazione si è considerata la metà est dell'area dominata dall'impianto. Nell'area è stato coltivato frumento seguito da soia di secondo raccolto nel 2013/14 e mais nell'annata 2015. Nel corso del 2014 si è provveduto alla caratterizzazione dei terreni e alla predisposizione dell'impianto, mentre nell'estate 2015 è stato in attività su mais.

Il campionamento georeferenziato del terreno è stato effettuato durante l'estate 2014 con il prelievo di 103 punti all'interno dell'appezzamento. La metodologia di campionamento ha previsto per 55 punti uno schema a griglia regolare e per 48 punti una disposizione trasversale rispetto alla variabilità rilevata mediante immagini satellitari di NDVI (Normalized difference vegetation index – risulta dalla combinazione algebrica tra la luce riflessa nello spettro elettromagnetico del rosso, assorbito dalla clorofilla, e il NIR, infrarosso vicino, correlato allo sviluppo vegetativo).

I campioni sono stati quindi processati in laboratorio per la determinazione della tessitura con un granulometro laser (Mastersize 2000 - Malvern Instruments). I dati sono stati successivamente spazializzati mediante kriging ordinario.

Sulla base della tessitura sono stati stimati i principali parametri idrici del suolo (capacità di campo e punto di avvizzimento) e, tramite il software MZA (Management Zone Analyst - Fridgen et al. 2004), si sono integrate queste informazioni con i rilievi dell'indice NDVI, ricavati dai passaggi del satellite Landsat 7 tra il 2009 ed il 2013. L'NDVI è stato utilizzato come indicatore della vigoria della coltura, che integra le varie componenti (disponibilità di nutrienti e idrica, abitabilità del suolo) che caratterizzano le varie posizioni all'interno dell'area studiata.

Sono state individuate quattro zone omogenee, di cui tre rientrano nell'area coperta dal pivot e la quarta è localizzata nello spicchio periferico a nord-est. Queste aree si differenziano marcatamente per capacità di ritenzione idrica e conducibilità idraulica.

L'applicazione del sistema VRI su mais è supportato da sensori di umidità installati nelle aree omogenee. I sensori utilizzati sono di tipo capacitivo e vengono consultati in remoto tramite protocollo GPRS.

Le informazioni sono state poi integrate nella mappa di prescrizione, la quale operativamente fornisce al processore le informazioni sulla pluviometria da applicare in ogni area.

Nei 180° di rotazione del pivot a Est, dove nel 2015 era coltivato mais, 3 zone sono gestite in modo variabile (1, 2 e 3) e una in modo convenzionale (4), in modo da consentire un confronto con la normale pratica aziendale.

3.2 Attività 2: implementazione dell'irrigazione di precisione in un sistema a manichette

Fig. 2 A sinistra si riporta un'immagine dell'area di studio a destra il sistema di pompaggio e filtrazione dell'impianto a goccia

L'area di studio di Ca' Bianca rappresenta una tipica situazione dell'areale retrocostiero sottoposto a intrusione salina (Fig. 2) . Il piano di campagna si trova, infatti, al di sotto del livello medio del mare. In particolare nel periodo estivo, quando la portata dei fiumi si riduce, l'acqua marina può risalire lungo i letti del Brenta e del Bacchiglione e infiltrarsi direttamente nelle falde sottostanti ai fiumi. Nella zona di campagna retrostante, posta tra -2 e -4 m s.l.m., la vicinanza con la falda salmastra e l'utilizzo delle risorse idriche superficiali da parte delle colture portano al richiamo di acque salmastre verso la superficie del terreno e, quindi, all'aumento della salinità superficiale.

Come per l'altra azienda monitorata, ci si è basati su un campionamento georeferenziato del terreno per la determinazione dei principali parametri fisici ed idrologici del terreno. I dati sono stati poi spazializzati tramite kriging ordinario.

Sulla base della tessitura del suolo, della conducibilità elettrica e del NDVI rilevato negli anni precedenti su mais, si è suddivisa l'area in zone omogenee. Si sono così ottenute 3 aree di gestione con caratteristiche pedologiche ed idriche simili.

La linea di alimentazione dell'impianto a manichetta è stata localizzata nella zona centrale dell'area. Le due ali irrigue possono essere comandate per settori indipendenti (Fig. 3), consentendo di gestire in maniera autonoma tutte le suddivisioni della mappa finale di gestione.

Per ognuna delle zone omogenee è stata predisposta una postazione di rilievo con sensori di umidità di tipo capacitivo, consultati in remoto tramite protocollo GPRS.

Sulla base della disponibilità idrica misurata in tempo reale e del calcolo del potenziale matriciale ed osmotico del suolo, sono stati predisposti gli interventi irrigui in maniera specifica per ogni area, variando la durata di funzionamento del settore dell'impianto.

Fig. 3 Predisposizione di manichette binate per incrementare l'apporto idrico nelle zone con maggiore salinità o con tessitura fortemente sabbiosa

4 RISULTATI

4.1 Area di studio per il pivot VRI

Grazie all'analisi della tessiture dei 103 campioni ed alla georeferenziazione di ognuno di essi è stato possibile eseguire un'interpolazione geostatistica per ogni classe di tessitura mediante kriging ordinario.

Tabella 1 Dati statistici di base di tessitura per identificare la ripartizione media della stessa la variabilità dei dati.

	Sabbia	Limo	Argilla
Media	32	47	20
Dev.st	8	4	5
CV%	25	9	23

Dai risultati delle analisi della sabbia percentuale si riscontra una buona variabilità spaziale tra i campioni (CV 25%) dimostrando la bontà della scelta in questo appezzamento dell'utilizzo di metodi di irrigazione di precisione (Blackmore, 2000).

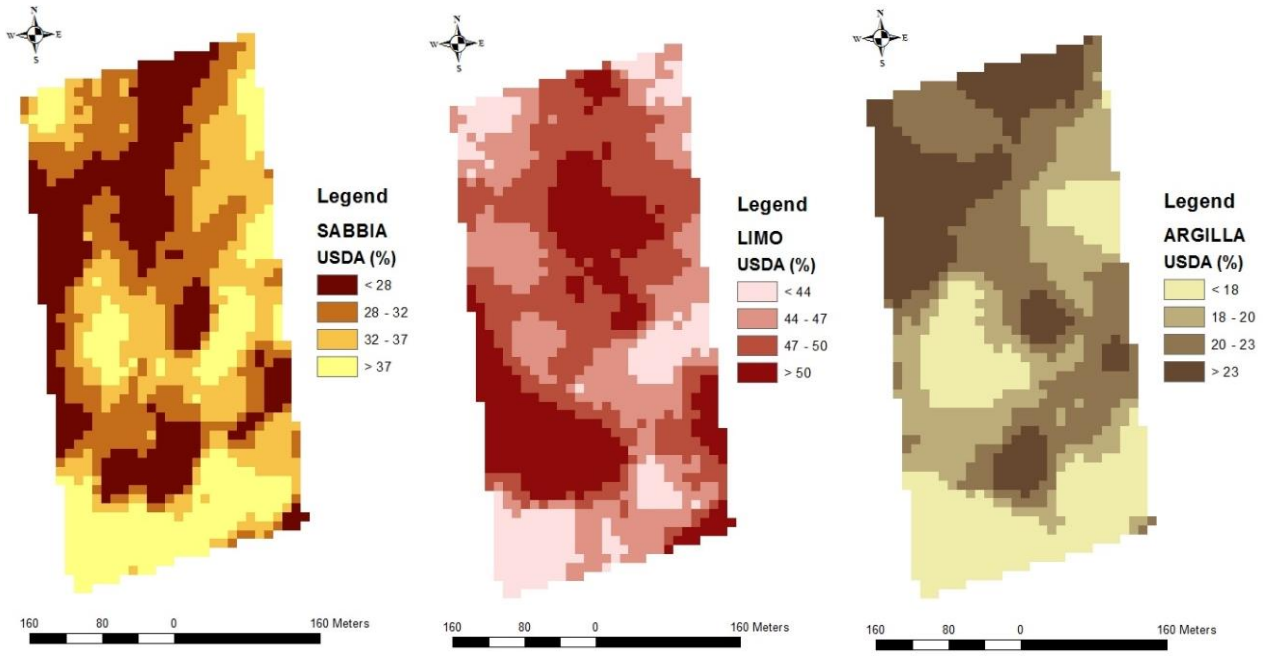

Fig. 4 Immagini interpolate mediante kriging ordinario del contenuto di sabbia, limo e argilla nell'appezzamento sperimentale di Pettorazza Grimani

In figura 4 si riportano le mappe tematiche della percentuale di sabbia, limo e argilla. Osservando la mappa della sabbia (%) si nota che vi è un'area a sud dell'appezzamento, particolarmente a sud ovest, con una percentuale di sabbia superiore al 37% quindi elevata rispetto la media del campo. Aree con percentuali maggiori di sabbia si osservano a *spot* sull'area centrale e nord est. Viceversa l'area con un contenuto di sabbia inferiore al 28% si osserva in modo marcato in una fascia orientata sull'asse centro ovest nord est.

Il contenuto di limo medio è del 47%, con zone ben definite, come un'area a sud ovest dell'appezzamento con contenuto più basso rispetto alla media dell'appezzamento e una zona con asse ovest sud-est con una percentuale di limo che supera il 50%. Nell'area a centro nord si osserva una zona anch'essa con una percentuale di limo superiore alla media mentre nel resto dell'appezzamento si denota una variabilità puntuale e meno definita.

Infine per quanto riguarda l'argilla, nella zona a sud dell'appezzamento la percentuale è inferiore al 18% mentre l'area nord ovest il contenuto di argilla è superiore alla media (20%).

Analisi immagini LANDSAT

Il calcolo dell'NDVI per queste tre annate è stato utilizzato per l'analisi della variabilità spaziale della vigoria di mais e frumento (Fig. 5).

Tutte le immagini evidenziano una netta differenziazione tra la zona sud-ovest, a tessitura sabbiosa, e quella nord-est, maggiormente argillosa. E' da notare che nell'annata 2009, caratterizzata da una forte piovosità estiva, l'area con miglior stato vegetativo è quella sabbiosa mentre la coltura era più

stentata a nord-est, probabilmente per fenomeni di ristagno superficiale. Nell'annata 2013, più siccitosa, la situazione è rovesciata. Su frumento non si riscontra una particolare variabilità ma si possono comunque osservare valori NDVI inferiori rispetto la media dell'appezzamento nell'area sabbiosa. Ciò mette in evidenza l'importanza di tarare gli apporti zona per zona in relazione alle caratteristiche del terreno ed alle specifiche condizioni dell'anno. In particolare in annate siccitose, infatti, l'azienda confermava che, con il sistema pivot convenzionale, l'irrigazione è vincolata all'umidità del terreno nella zona dov'è più fine la tessitura, visto che in caso l'umidità sia elevata vi sono problemi nella mobilitazione della macchina e quindi si rischiano fenomeni di impantanamento. Quindi per evitare l'impantanamento del pivot si ritarda l'intervento irriguo e viene "sacrificata" la zona più sabbiosa. Questo a maggior ragione giustifica l'adozione di sistemi modulari per la gestione dei volumi irrigui.

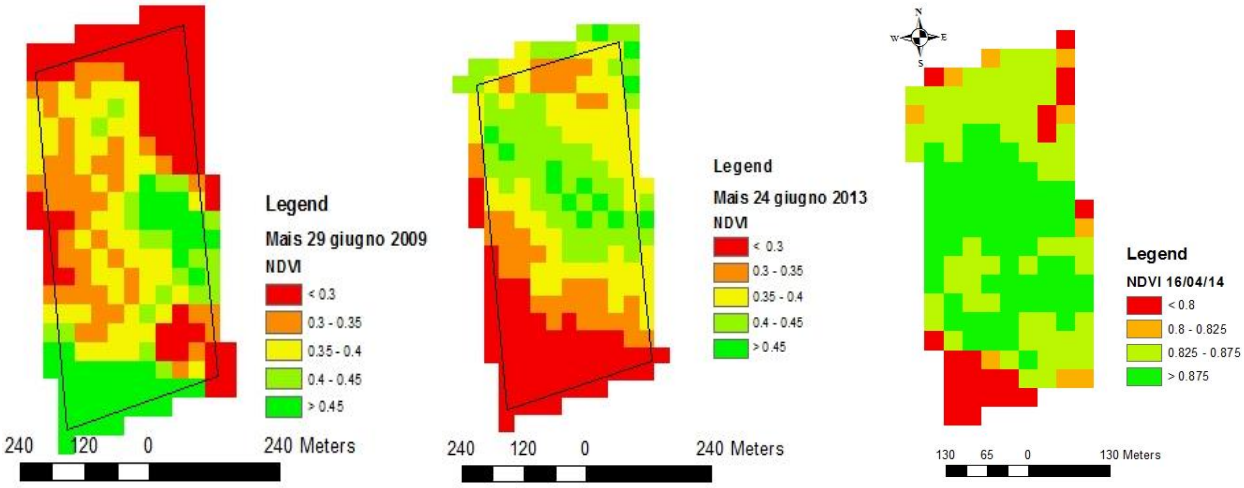

Fig. 5 Mappe di NDVI su mais (a sinistra e centro) e frumento (a destra) utilizzate per la definizione delle zone omogenee.

Definizione delle zone omogenee

Per l'elaborazione con MZA sono stati inseriti i dati georeferenziati di tessitura ed indici NDVI sopra menzionati.

In Fig. 6 viene riportata la mappa delle zone omogenee ed il grafico a torta che riporta le percentuali di superficie per ogni zona. Si nota che l'appezzamento è caratterizzato da tre grandi aree la prima e la fascia centrale (cluster 3) che va da ovest verso nord est e che copre il 50% della superficie, una fascia trasversale che cluster 2 che con lo stesso orientamento ma nella zona più a nord ed infine una terza zona a sud dell'appezzamento che compone per la maggior parte il cluster 1 che corrisponde anche all'area più piccola.

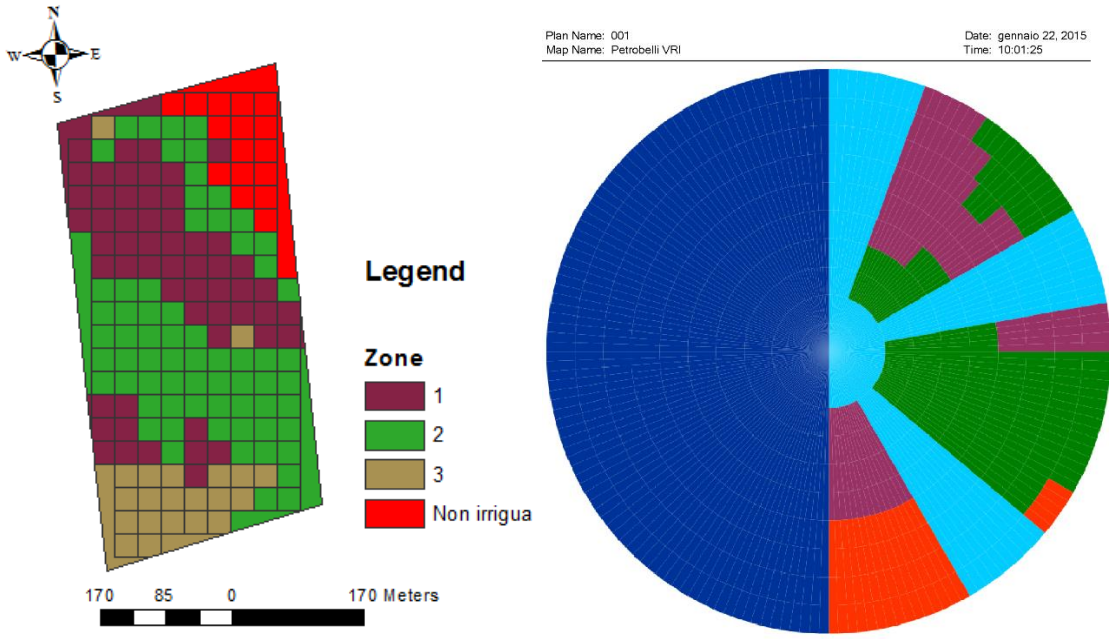

Fig. 6 A sinistra si riporta la mappa dell'appezzamento con rappresentate le tre zone omogenee, a destra un grafico a torta la ripartizione percentuale delle tre zone omogenee.

Andamento meteorologico

La stagione irrigua del 2015 è stata caratterizzata da temperature particolarmente elevate e da una modesta piovosità (Fig. 7). Per tutto il mese di Luglio le temperature massime sono state ben superiori ai 30 °C, in particolare nella terza decade di Luglio quando le massime si sono mantenute sui 37-38°C.

L'evapotraspirazione di riferimento (ET_0) è così risultata molto elevata, soprattutto in Luglio, con valori prossimi a 6 mm giorno^{-1}, determinando una richiesta idrica particolarmente elevata nella delicata fase di post-fioritura del mais.

La piovosità è stata molto ridotta (78 mm totali in Luglio e Agosto) e concentrata in due episodi, uno a fine Luglio e un secondo a metà di Agosto.

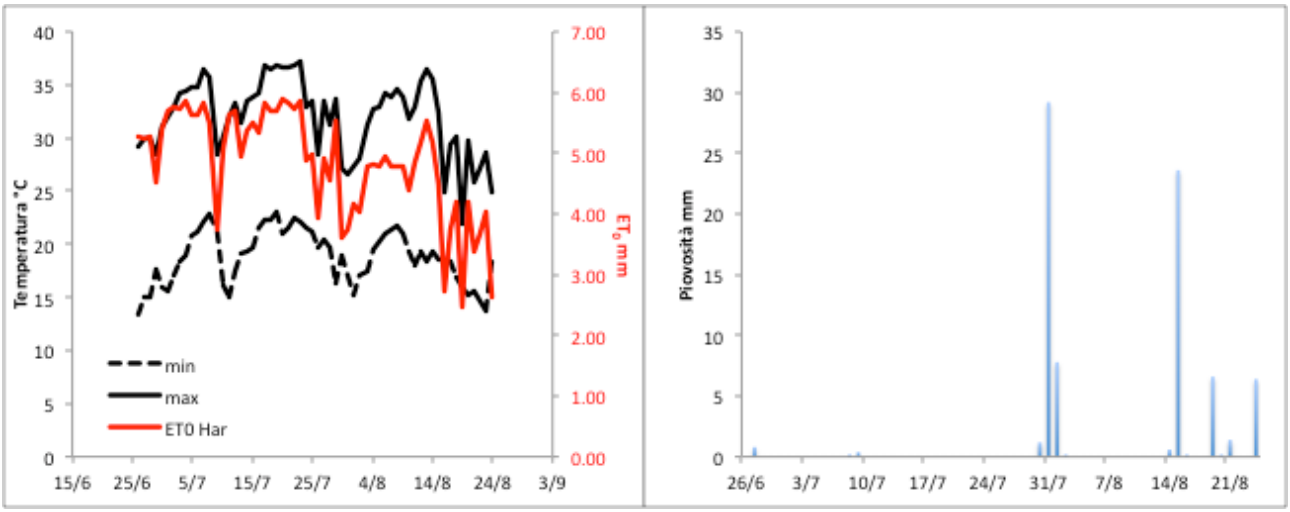

Fig. 7 A sinistra l'andamento dell'ETo e delle temperature nel periodo irriguo a destra il grafico delle piogge

Gestione dell'irrigazione

Nel corso del primo periodo di sperimentazione, il fabbisogno irriguo è stato parzialmente coperto dalla piovosità. Dopo la metà di giugno la piovosità è stata praticamente assente e si sono effettuati sette interventi irrigui (Tabella 2). Nella Zona 3 (tessitura prevalentemente sabbiosa), l'apporto idrico è stato sufficiente a coprire in maniera adeguata la richiesta idrica, nonostante la riduzione della pluviometria rispetto al resto dell'appezzamento. Nelle altre Zone, la richiesta irrigua sarebbe stata superiore alla pluviometria ottimale per l'impianto in sperimentazione, rendendo quindi necessario l'accorciamento dell'intervallo tra le irrigazioni.

Bilancio idrico

L'annata irrigua 2015 è stata caratterizzata da fortissime richieste idriche per le alte temperature e la siccità estiva. Sulla base dell'esperienza aziendale, il sistema a pivot può distribuire al massimo 37.5 mm per intervento per evitare impantanamenti dei carrelli. Nel testimone le richieste irrigue sono state superiori a questo valore massimo dal 9 Luglio in poi. In tutti i 7 interventi irrigui si è quindi impiegata la pluviometria massima. Nelle zone a VRI, il fabbisogno idrico era variabile in relazione alla tipologia di terreno. Nella zona più sabbiosa, infatti, il fabbisogno calcolato per ognuno degli interventi è frequentemente risultato inferiore alla pluviometria massima possibile, permettendo di contenere gli apporti idrici. Nell'area a tessitura più fine (Zona 2), invece, il fabbisogno idrico è sempre risultato molto elevato, costringendo a utilizzare sempre la pluviometria massima e, di fatto, annullando le differenze rispetto al testimone aziendale. Nel complesso, comunque, si sono realizzati dei risparmi idrici apprezzabili in Zona 3 (40 mm nella stagione) e delle leggere riduzioni in Zona 1 (7.5 mm).

I risultati confermano la possibilità di limitare gli apporti idrici anche in annate particolarmente difficili, soprattutto in zone con terreni di tipo sciolto. E' comunque da sottolineare che la coltura ha beneficiato anche di un apporto idrico sub-superficiale tramite il sistema di drenaggio sotterraneo, che ha consentito di integrare le richieste idriche della coltura

Tabella 2 Bilanci idrici per zona e testimone

Zona 1						
Irrigazioni	Pluviometria prescritta	Fabbisogno idrico	VWC pre	VWC post	DELTA UMIDITA' mm	Risparmio idrico m^3
27-lug	34	36	0.33	0.41	49	**91**
3-lug	34	36	0.31	0.38	44	**91**
9-lug	37.5	54	0.30	0.32	13	**0**
17-lug	37.5	55	0.30	0.35	32	**0**
24-lug	37.5	59	0.29	0.30	6	**0**
6-ago	37.5	49	0.31	0.346	22	**0**
13-ago	30.0	56	0.29	0.31	12	**0**
Zona 2						
Irrigazioni	Pluviometria prescritta	Fabbisogno idrico	VWC pre	VWC post	DELTA UMIDITA' mm	Risparmio idrico m^3
27-lug	37.5	48	0.25	0.28	11.9	**0**
3-lug	37.5	60	0.21	0.28	30.0	**0**
9-lug	37.5	73	0.20	0.30	36.7	**0**
17-lug	37.5	87	0.18	0.27	36.8	**0**
24-lug	37.5	89	0.18	0.27	37.3	**0**
6-ago	37.5	74	0.20	0.30	40.5	**0**
13-ago	30	55	0.23	0.30	27.5	**0**
Zona 3						
Irrigazioni	Pluviometria prescritta	Fabbisogno idrico	VWC pre	VWC post	DELTA UMIDITA' mm	Risparmio idrico m^3
27-lug	30	20	0.28	0.33	31.5	**103**
3-lug	30	23	0.27	0.34	28.2	**103**
9-lug	30	28	0.26	0.34	29.2	**103**
17-lug	37.5	55	0.22	0.31	36.8	**0**
24-lug	33.75	41	0.24	0.33	34.2	**51**
6-ago	30	25	0.27	0.34	27.2	**103**
13-ago	24	24	0.26	0.32	22.2	**82**
Media testimone						
Irrigazioni	Pluviometria prescritta	Fabbisogno idrico	VWC pre	VWC post	DELTA UMIDITA' mm	Risparmio idrico m^3
27-lug	37.5	23	0.30	0.37	47.4	**0**
3-lug	37.5	28	0.29	0.35	40.6	**0**
9-lug	37.5	38	0.27	0.35	47.9	**0**
17-lug	37.5	46	0.26	0.33	46.8	**0**
24-lug	37.5	54	0.24	0.31	41.5	**0**
6-ago	37.5	49	0.25	0.32	43.5	**0**
13-ago	30	55	0.23	0.37	85.7	**0**

Evoluzione dell'umidità del terreno

Il contenuto idrico del terreno nello strato 0-50 cm (VWC – Volumetric Water Content, Fig. 8) ha evidenziato sia l'effetto degli interventi irrigui che le differenze nelle caratteristiche fisiche delle varie Zone omogenee, con valori medi crescenti passando dalla Zona 3, maggiormente sabbiosa, alla Zona 1, caratterizzata da tessitura fine.

La gestione tramite VRI ha comunque consentito di mantenere il contenuto idrico del suolo su livelli elevati e sostanzialmente equivalenti a quelli del Testimone aziendale, nonostante la riduzione degli apporti complessivi.

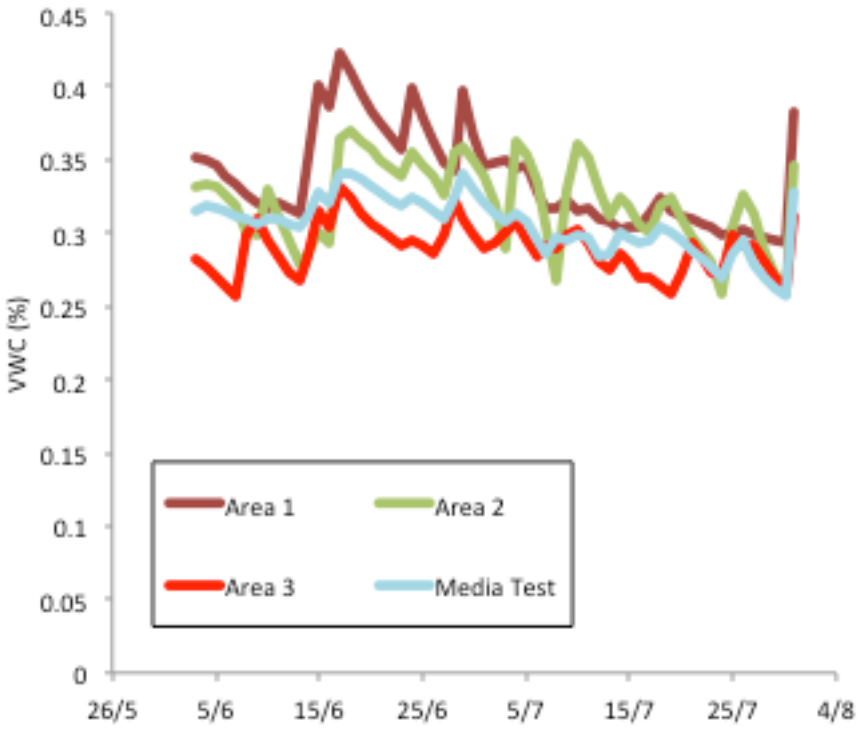

Fig. 8 Andamento del contenuto idrico medio giornaliero per zona e nel testimone

Rilievi sulla biomassa

Nel corso del periodo di monitoraggio non si sono evidenziate particolari differenze nell'accumulo biomassa tra le aree omogenee e, nella media, tra la zona gestita a VRI e il Testimone aziendale (Fig. 9).

Le osservazioni effettuate durante il ciclo dovranno essere confermate in fase di raccolta; per il momento, comunque, si può rilevare come la gestione variabile dell'irrigazione abbia permesso di risparmiare risorse idriche senza effetti negativi sulla coltura. E' in particolare da notare il risultato raggiunto nell'Area 3, più sabbiosa, in cui, nonostante un leggero ritardo di crescita nella fase più

calda di Luglio, la coltura ha potuto recuperare raggiungendo biomasse pari a quelle delle altre Aree a VRI ed al testimone aziendale.

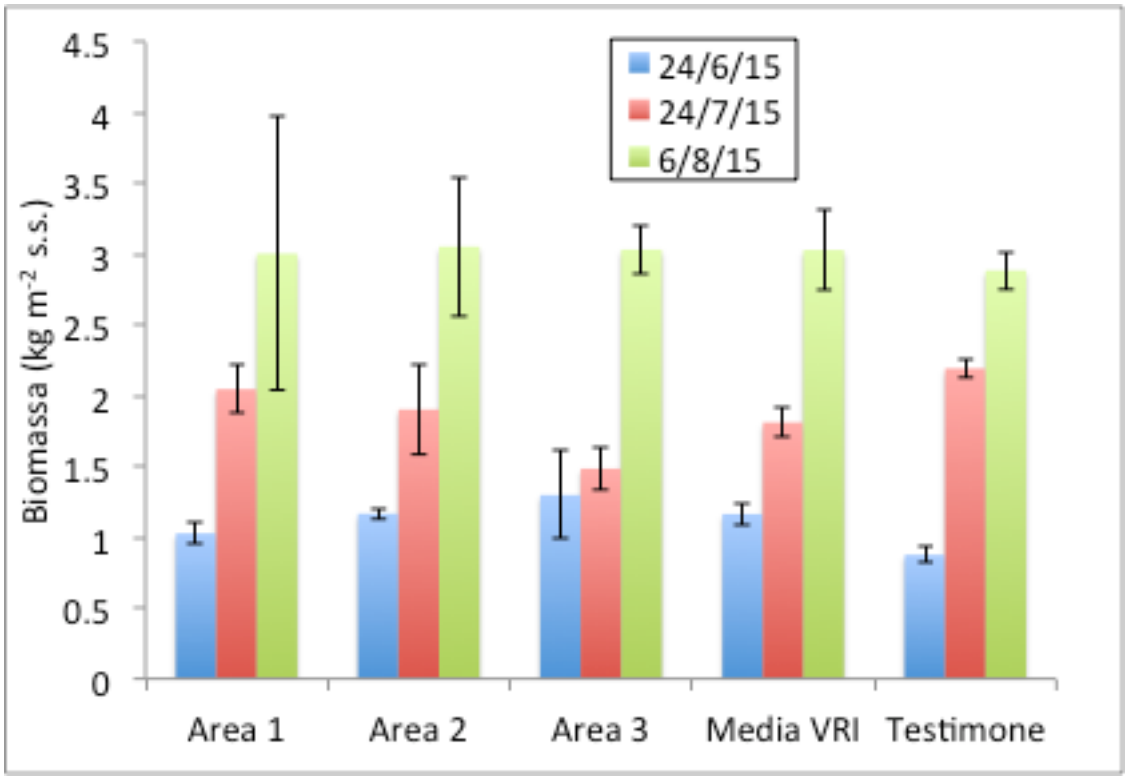

Fig. 9 Rilievi della biomassa nel periodo irriguo per zona e per testimone

4.2 Area di studio per l'irrigazione a goccia

Il terreno presenta una forte variabilità della tessitura, con tenori in sabbia che variano da valori inferiori al 20% al 90% della terra fine e, di conseguenza una forte variabilità della ritenzione idrica (Fig. 10). La salinità è mediamente elevata (Scudiero et al., 2013), ma presenta anch'essa una variabilità spaziale molto consistente, con valori più bassi nelle zone maggiormente sabbiose e più alti nelle zone a tessitura più fine e in prossimità degli argini dei fiumi e della Laguna.

Definizione delle zone irrigate a goccia

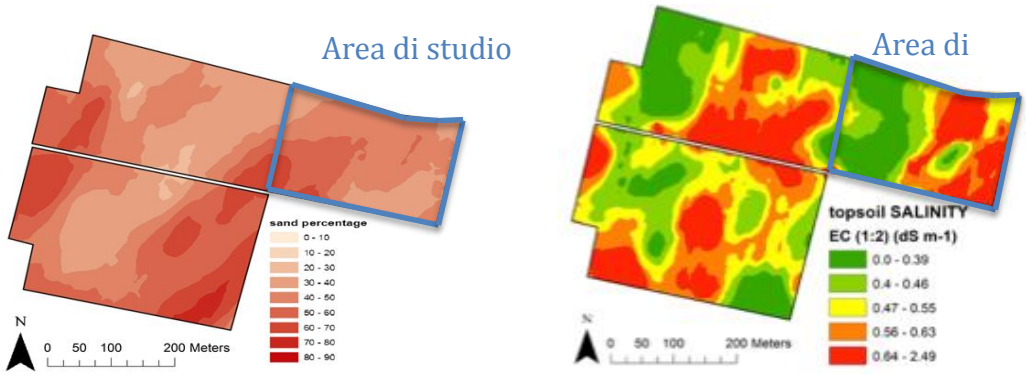

Fig. 10 A destra mappa della percentuale di sabbia a sinistra la mappa della conducibilità elettrica apparente (Scudiero et al., 2013)

Sulla base della tessitura, la conducibilità elettrica e del NDVI rilevato negli anni precedenti su mais, si è suddivisa l'area in zone omogenee (Scudiero et al., 2013). Si sono così ottenute 4 aree di gestione con caratteristiche pedologiche ed idriche simili (Fig. 11). I vari appezzamenti sono stati poi attribuiti alle zone omogenee secondo un criterio di prevalenza (Fig. 12).

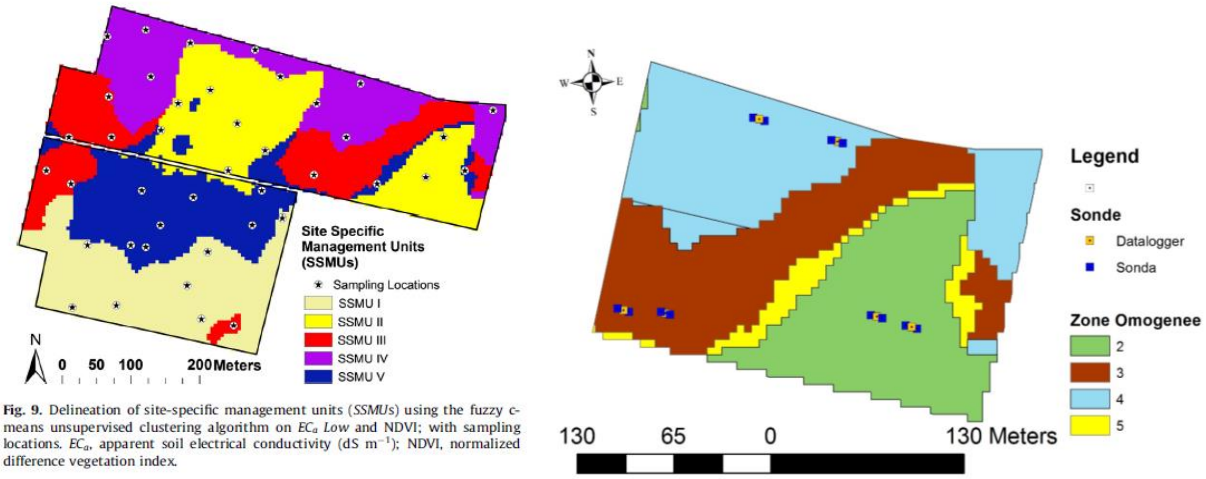

Fig. 11 A sinistra si riporta un'immagine dello studio delle zone omogenee dell'area (Scudiero et al., 2013) mentre a destra si riporta l'area gestita a goccia nel 2015

La linea di alimentazione dell'impianto a manichetta è stata localizzata nella zona centrale dell'area, in prossimità di un fosso, in modo da limitare al minimo gli intralci alle operazioni colturali. Per ognuna delle zone omogenee è stata predisposta una postazione di rilievo con sensori di umidità di tipo capacitivo, consultati in remoto tramite protocollo GPRS.

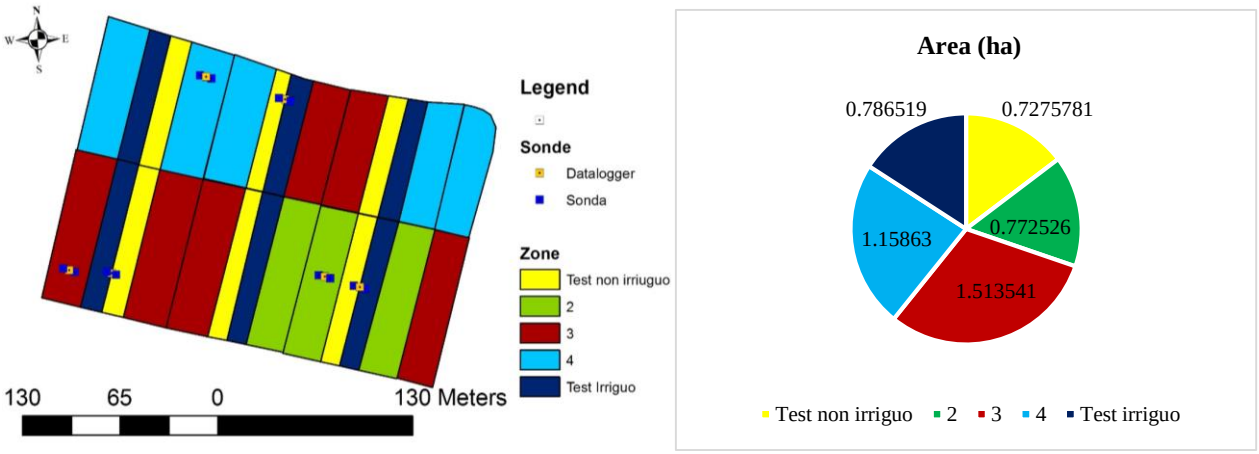

Fig. 12 Si riporta la mappa delle zone adattate all'impianto a goccia comprese di testimoni irriguo e non irriguo e le superfici di ogni zona.

Andamento meteorologico

Anche nell'areale di Ca' Bianca la stagione irrigua del 2015 è stata caratterizzata da temperature particolarmente elevate e da una modesta piovosità (Fig. 13). Anche se le temperature di picco sono risultate leggermente inferiori rispetto a Pettorazza Grimani, l'ondata di calore dell'estate 2015 ha comunque determinato un forte fabbisogno idrico. L'evapotraspirazione di riferimento (ET_0), ad esclusione dei giorni in cui sono stati registrati eventi piovosi, è infatti risultata costantemente elevata.

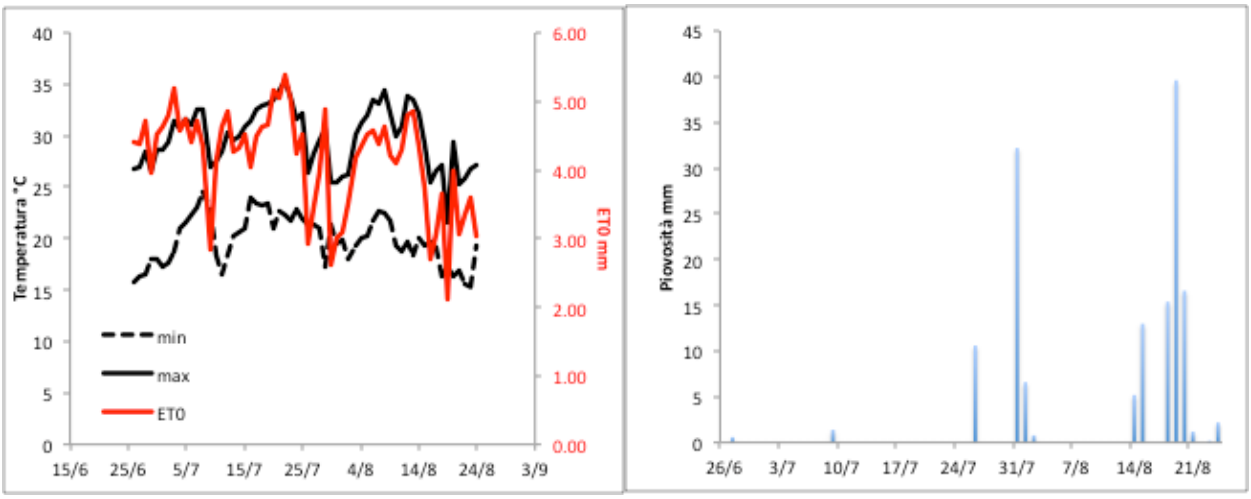

Fig. 13 A sinistra l'andamento dell'ETo e delle temperature nel periodo irriguo a destra il grafico delle piogge

Potenziale totale

L'accrescimento della coltura nell'Azienda di Ca Bianca è stata fortemente influenzata dal particolare andamento climatico dell'annata.

Già nella prima metà di Giugno, il potenziale totale nello strato 0-30 cm ha incominciato a ridursi fortemente e, nel testimone aziendale non irriguo, ha superato entro la fine del mese i -1200 kPa,

corrispondenti al punto di avvizzimento (Fig. 14). In questi testimoni, la sopravvivenza della coltura da Luglio in avanti è stata permessa solo dall'apporto di falda, dato che lo strato superficiale era eccessivamente asciutto.

Nelle Zone a VRI, gli interventi irrigui hanno consentito di mantenere il potenziale matriciale nell'orizzonte superficiale a livelli compatibili con lo sviluppo della coltura. E' comunque evidente che l'irrigazione ha consentito solo un parziale soddisfacimento dei fabbisogni idrici del mais. Il principale problema rilevato è legato alla qualità dell'acqua irrigua, che si presentava particolarmente ricca di sedimenti. Ciò ha determinato un rapido intasamento dei sistemi di filtro che, nonostante i frequenti lavaggi, riducevano la portata sotto i valori previsti in fase di implementazione dell'impianto (Fig. 15).

Va comunque ricordato che Luglio e Agosto sono stati caratterizzati da temperature particolarmente altre e costanti, determinando conseguentemente un fabbisogno evapotraspirativo particolarmente elevato da parte della coltura in rapido accrescimento ed aggravando le problematiche relative alla filtrazione delle acque irrigue.

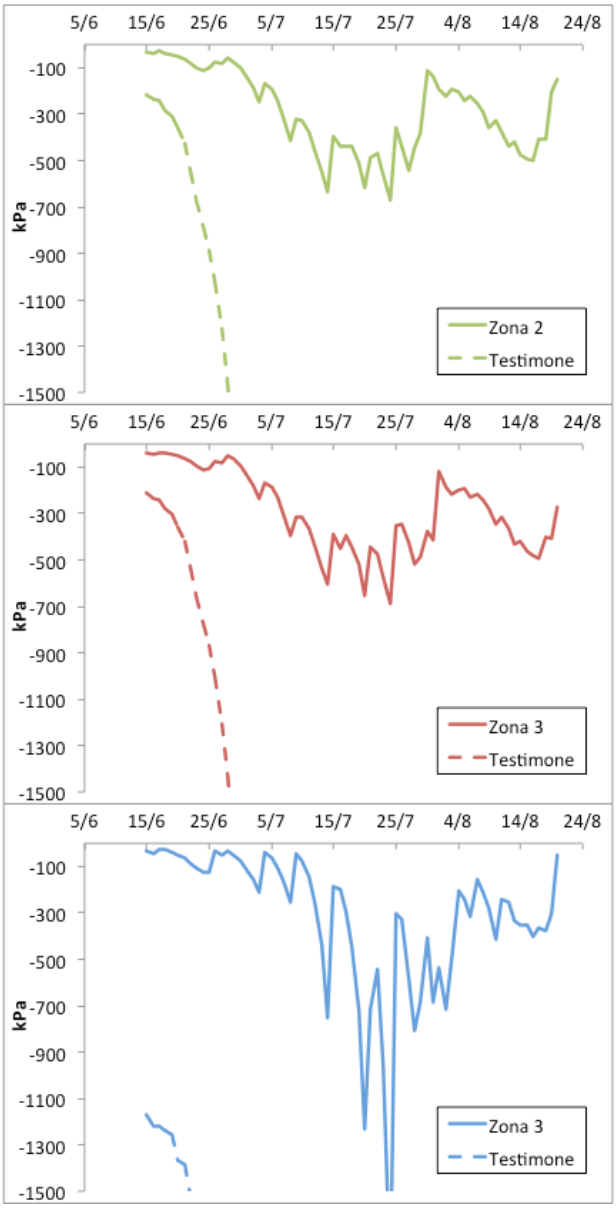

Fig. 14 Evoluzione dei potenziali totali nelle tre aree con gestione VRI e nel testimone non irriguo

Fig. 15 Le immagini riportano l'acqua di controlavaggio, a sinistra un istante dopo l'inizio a destra dopo 3 minuti.

Rilievi biomassa

Osservando l'evoluzione delle biomasse (Fig. 16), si nota come sia in VRI che nel testimone irriguo l'accrescimento sia stato rallentato tra fine Luglio e inizio Agosto, in corrispondenza delle fasi più calde dell'estate. Nello stesso periodo il testimone in asciutta ha seguito una dinamica simile a quella delle altre tesi. E' però da notare che al 6/8 l'umidità media delle piante in questa tesi era già scesa sotto il 50%, segno di una rapida senescenza con chiusura abbreviata del ciclo. Nelle tesi irrigue, invece, l'umidità delle piante era ancora ben superiore al 60-65% e il mais ha quindi potuto proseguire l'accrescimento. Ciò dovrebbe portare a un migliore riempimento delle cariossidi e a una maggiore resa finale.

Le misurazioni di NDVI confermano questo quadro, con le tesi VRI e testimone irriguo che mantengono ad Agosto valori tra 0,7 e 0,8 mentre il testimone in asciutta scende a valori di circa 0,6, segno di un rapido ingiallimento dell'apparato fogliare.

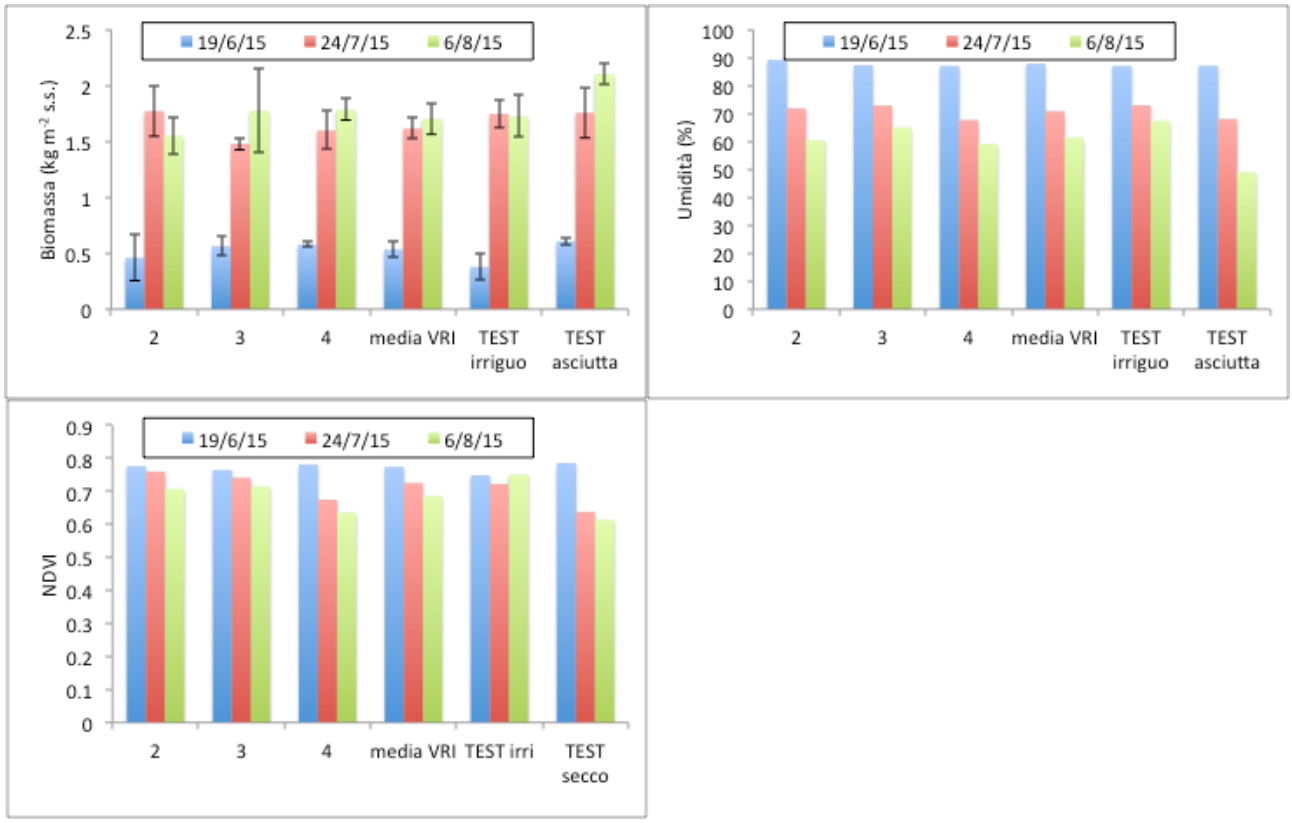

Fig. 16 Evoluzione della biomassa secca, dell'umidità e dell'NDVI

5 CONCLUSIONI

Generalmente, la convenienza di utilizzo dei dispositivi a rateo variabile dipende dalla variabilità spaziale dell'appezzamento e da come quest'ultima influenza i fattori che condizionano la redditività dell'agricoltore.

Le zone di bonifica della bassa pianura Veneta sono particolarmente adatte alla VRI, in quanto caratterizzate da un'elevata variabilità del suolo e, in alcune aree, da salinità che, però non si distribuisce uniformemente all'interno degli appezzamenti.

I due sistemi implementati hanno evidenziato delle notevoli differenze di carattere tecnico-applicativo e gestionale. Il sistema a pivot, a fronte di un elevato costo di impianto, permette una quasi completa automatizzazione dell'irrigazione, con costi di gestione molto ridotti e, soprattutto, un'elevatissima risoluzione spaziale che consente di adattare in maniera molto fine l'apporto irriguo in relazione alla variabilità spaziale osservata a livello di campo. L'irrigazione è però necessariamente discontinua, essendo legata al tempo di rotazione del pivot. Il sistema a goccia presenta invece una risoluzione spaziale intrinsecamente più bassa, visto che si possono isolare intere sezioni dell'impianto per tutta la lunghezza degli appezzamenti irrigati. Questa tipologia di sistema irriguo ha comunque costi di impianto inferiori e può essere implementato ogni anno in maniera differente in relazione alle esigenze colturali. Esso richiede però un maggior impegno di manodopera per la posa delle manichette e, successivamente, per il controllo dell'impianto irriguo. Il sistema è comunque caratterizzato da un'elevata risoluzione temporale, permettendo qualsiasi tempistica di intervento, da un'irrigazione in continuo ad interventi saltuari.

Nel complesso, quindi, i due sistemi hanno campi di applicazione differenti: il pivot è particolarmente adatto a sistemi colturali in cui l'irrigazione è richiesta ogni anno, su terreni con ritenuta idrica media o relativamente elevata. Il sistema a goccia può essere implementato nelle annate in cui l'irrigazione è necessaria e si adatta a condizioni in cui l'apporto idrico deve essere molto frequente, per la ridotta capacità di ritenuta del terreno (es. terreni fortemente sabbiosi) o per la presenza di specifici problemi, come la salinità nel sito di Ca' Bianca.

Anche se i risultati andranno confermati alla raccolta delle colture, si può comunque affermare che i due impianti hanno dato buoni risultati operativi, consentendo nell'areale di Ca' Bianca di mantenere un buono stato vegetativo della coltura in confronto al testimone aziendale, che dovrebbe portare ad un apprezzabile incremento di resa. Nell'areale di Pettorazza Grimani, l'applicazione della VRI ha invece consentito di ottenere uno sviluppo della coltura non differente da quello del testimone aziendale irriguo, a fronte di un risparmio irriguo modesto, ma particolarmente significativo in un'estate caratterizzata da un'eccezionale ondata di calore e da persistente siccità dalla fase di pre-fioritura fino a metà Agosto.

6 BIBLIOGRAFIA

Archie, G.E., 1942. The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics. Trans. AIME, 5, 54–62.

ASABE., 2001. Test procedure for determining the uniformity of water distribution of center pivot and lateral move irrigation mavhines equipped with spray of sprinkler nozzles. ANSI/ASABE Standars S436.1. American Society of Agricultural and Biological Engeneering, St. Jposeph, MI.

Blackmore B.S., 2000. The interpretation of trends from multiple yield maps. Computer and Electronics in Agriculture, 26: 37-51.

Burt, C.M., Clemmens, A.J., Strelkoff, T.S., Solomon, K.H., Bliesner, R.D., Hardy, L.A., Howell, T.A. & Eisenhauer, D.E., 1997. Irrigation performance measures efficiency and uniformity. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE, 123, 423 - 442.

Proffitt, T., Bramley, R., Lamb, D. & Winter, E., 2006. Precision Viticulture – a new era in vineyard management and wine production. Adelaide: Winetitles.

Fridgen, J.J, Kithcen, N.R., Sudduth, K.A., Drummond, S.T., Wiebold, W.J., & Fraisse, C.W., 2004. Software MZA: software for subfield management zone delineation. *Agricultural Journal,* 96, 100-108.

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.

Scudiero E., Teatini P., Corwin D. L., Deiana R., Berti A., Morari F., 2013. Delineation of site-specific management units in a saline region at the Venice Lagoon margin, Italy, using soil reflectance and apparent electrical conductivity. Computers and Electronics in Agriculture 99, 54–64

Topp, G.C.; Davis, J.L.; Annan, A.P., 1980. Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines. Water Resour. *Res. 16*, 574–582.