



With the contribution of LIFE
Programme 2014-2020 of the EU
LIFE AGROWETLANDS II
LIFE15 ENV/IT/000423



LIFE AGROWETLANDS II

Il Progetto LIFE AGROWETLANDS II in sintesi

LIFE AGROWETLANDS II Project in brief

LAYMAN'S REPORT



DATI DI PROGETTO

Coordinatore

Alma Mater Studiorum - Università di Bologna,
Dipartimenti DISTAL e DICAM - www.unibo.it;
project leader: Maria Speranza
maria.speranza@unibo.it

Partner

Agrisfera Società Cooperativa Agricola p.a.,
S. Alberto (Ravenna)
www.agrisfera.it - paolo.pietrobon@agrisfera.it
OSV srl, Villa Poma (Mantova)
www.osv.it - f.barbi@osv.it
WINET srl, Cesena (Forlì-Cesena)
www.winetsrl.com - etavelli@winetsrl.it

Finanziamento

LIFE Programme 2014-2020 Environment and
Resource Efficiency - Call 2015 (LIFE15 ENV/
IT/000423)

Budget di progetto

939.431 € (finanziamento EU 559.591 €)

Durata

45 mesi (da 1 settembre 2016 a 30 giugno 2020)

Area di realizzazione

Emilia-Romagna (Ravenna) - Italia
Comunidad Valenciana (Elche - Comunidad
de Regantes de Carrizales) - Spagna

Editor by Maria Speranza, UNIBO-DISTAL

Figures 5 and 14 by Marinella Masina, UNIBO-DICAM

Figure 4 - Source: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Reproduced with permission from
You Tube Training Module n.1

PROJECT DATA

Coordinating Beneficiary

Alma Mater Studiorum - Università di Bologna,
Dipartimenti DISTAL e DICAM - www.unibo.it;
project leader: Maria Speranza
maria.speranza@unibo.it

Partner

Agrisfera Società Cooperativa Agricola p.a.,
S. Alberto (Ravenna)
www.agrisfera.it - paolo.pietrobon@agrisfera.it
OSV srl, Villa Poma (Mantova)
www.osv.it - f.barbi@osv.it
WINET srl, Cesena (Forlì-Cesena)
www.winetsrl.com - etavelli@winetsrl.it

Funding

LIFE Programme 2014-2020 Environment and
Resource Efficiency - Call 2015 (LIFE15 ENV/
IT/000423)

Project budget

939.431 € (finanziamento EU 559.591 €)

Project duration

45 mesi (da 1 settembre 2016 a 30 giugno 2020)

Project area

Emilia-Romagna (Ravenna) - Italy
Comunidad Valenciana (Elche - Comunidad
de Regantes de Carrizales) - Spain



INDICE / TABLE OF CONTENTS

1. ACQUA E SUOLO, DUE RISORSE STRATEGICHE WATER AND SOIL, TWO STRATEGIC RESOURCES	04
2. L'AREA SPERIMENTALE DEL PROGETTO THE EXPERIMENTAL AREA OF THE PROJECT	06
3. INTERESSE AMBIENTALE DELL'AREA DI PROGETTO ENVIRONMENTAL IMPORTANCE OF THE PROJECT AREA	08
4. IL PROGETTO THE PROJECT	
4.1 - PRINCIPALI OBIETTIVI / MAIN OBJECTIVES	12
4.2 - METODI / METHODS	14
4.2.1 - La Rete Wireless di Sensori (WSN) / The Wireless Sensor Network (WSN)	15
4.2.2 - Il Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) / The Decision Support System (DSS)	18
4.2.3 - Il Portale AGROWETLANDS / The AGROWETLANDS Portal	21
4.3 - RISULTATI / RESULTS	23
5. APPLICAZIONE DI SMART AGROWETLANDS IN ALTRI CONTESTI EUROPEI APPLICATION OF SMART AGROWETLANDS IN OTHER EUROPEAN CONTEXTS	26
6. IL SISTEMA SMART AGROWETLANDS E I RISULTATI DI UN'INDAGINE SOCIO-ECONOMICA THE SMART AGROWETLANDS SYSTEM AND THE RESULTS OF A SOCIO-ECONOMIC SURVEY	30
7. SVILUPPI DEL SISTEMA SMART AGROWETLANDS PER L'IRRIGAZIONE DI PRECISIONE IMPROVEMENT OF THE SMART AGROWETLANDS SYSTEM FOR THE PRECISION IRRIGATION	32
8. CONCLUSIONI CONCLUSIONS	34
9. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI REFERENCES	36

1. ACQUA E SUOLO, DUE RISORSE STRATEGICHE

WATER AND SOIL, TWO STRATEGIC RESOURCES

Il progetto LIFE AGROWETLANDS II – LIFE15 ENV/IT/000423, finanziato nell’ambito del Programma LIFE 2014/2020 – Environment, nasce per fornire un contributo al miglioramento della gestione di due risorse indispensabili per la vita e strategiche per l’agricoltura: l’acqua e il suolo.

L’acqua è comunemente considerata una risorsa rinnovabile, ma se questo è vero in un ambito di vaste dimensioni o nel volgere di pochi anni, non lo è a livello locale, per gli aspetti di qualità in particolare, o nel volgere dei secoli per la quantità. Il suolo, invece, è comunque ritenuto una risorsa non rinnovabile.

Le interazioni tra queste due risorse sono particolarmente importanti, anche in ambito agricolo. La salinizzazione del suolo è spesso una conseguenza di interazioni negative, che possono verificarsi in particolari contesti ambientali, anche abbastanza differenti tra loro.

I due territori europei (Italia, area prossima alla costa adriatica della provincia di Ravenna, e Spagna, zona costiera della regione di Valencia) in cui, rispettivamente, il Progetto LIFE AGROWETLAND II è stato realizzato e in cui se ne è proposta una replica, offrono due esempi emblematici di situazioni soggette a fenomeni di salinizzazione del suolo, climaticamente e socio-economicamente diversi. Con riferimento alle pratiche agricole che influenzano la conservazione delle risorse acqua e suolo, e in particolare all’irrigazione, il progetto si propone di mettere a punto uno strumento che sia di ampia applicazione, a supporto della gestione dell’irrigazione su suoli salini. Il progetto, inoltre, individua nell’agricoltura di precisione e nei suoi sviluppi, uno strumento da privilegiare, alla base della sostenibilità dell’agricoltura stessa nei prossimi anni.

The LIFE AGROWETLANDS II - LIFE15 ENV/IT/000423 project, funded under the LIFE 2014/2020 Programme - Environment, aims to improve the management of two resources essential for life and strategic for agriculture: water and soil.

Water is commonly considered a renewable resource, but if this is true in a wide context, it is not so at a local scale regarding quality or through centuries. The soil, on the other hand, is anyways considered a non-renewable resource.

The soil-water interaction is particularly important, also in the agricultural field. Soil salinization is often a consequence of negative interactions, which can occur in particular environmental contexts, even quite different from each other.

The two European territories (Italy, an area close to the Adriatic coast of the province of Ravenna, and Spain, a coastal zone of the Valencia region) where, respectively, the LIFE AGROWETLANDS II Project was carried out and in which a replica of it was proposed, offer two emblematic examples of soil salinization phenomena occurring in climatically and socio-economically different situations. Concerning the agricultural practices that affect the conservation of water and soil resources, and in particular irrigation, the project aims to develop a tool that is broadly applicable to support irrigation management on saline soils. The project also identifies precision agriculture and its developments as a crucial tool for the sustainability of agriculture itself in the coming years.



2. L'AREA SPERIMENTALE DEL PROGETTO

THE PROJECT EXPERIMENTAL AREA

Il progetto LIFE AGROWETLANDS II è stato realizzato in un'ampia area agricola (figura 1), in provincia di Ravenna (Regione Emilia-Romagna) che comprende la parte orientale, vicina alla costa adriatica, delle proprietà della cooperativa Agrisfera, partner del Progetto. L'area, circondata da altre proprietà coltivate e da aree protette della Rete Ecologica Natura 2000 e del parco regionale del Delta del Po, ricade nel territorio delimitato a Nord dal tratto terminale del fiume Reno e dalle Valli di Comacchio, a Sud dal tratto terminale del fiume Lamone e dal sistema delle "pialasse" Ravennati, a Est dal mare Adriatico, a Ovest dall'abitato di S. Alberto (RA) ed è percorsa, circa al centro della sua estensione, dal tratto terminale del Canale in Destra Reno.

Le caratteristiche geomorfologiche del territorio e la subsidenza, sia naturale, che di origine antropica, sono determinanti per i fenomeni di salinizzazione che riguardano i suoli, le acque superficiali e quelle di falda di un'ampia parte dell'area. Depositi relativamente recenti, a granulometria fine, originati in ambienti di lagune salmastre costiere (quote fino a -2 m s.l.m.), si intercalano a cordoni dunosi di natura sabbiosa (quote fino a 3 m s.l.m.), formati in posizioni progressivamente più vicine all'attuale linea di costa, a partire dal periodo etrusco (500-300 a.C.) sino all'attuale. L'area è stata oggetto di bonifica a partire dalla seconda metà del XIX secolo, fino all'inizio degli anni '60 del XX secolo. Essa è percorsa da un articolato sistema di canali, per lo più di drenaggio, ma in parte anche d'irrigazione, gestiti dal Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale, che assicura il deflusso delle acque dalle aree situate al di sotto del livello del mare, grazie a due sistemi di pompaggio che gestiscono, rispettivamente, il bacino Mandriole e il Bacino Casalborsetti. Nelle aree depresse, l'acqua di mare penetra attraverso il sistema di corsi d'acqua dallo sbocco a mare verso l'interno per alcuni

The LIFE AGROWETLANDS II project was carried out in a large agricultural area (figure 1), in the province of Ravenna (Emilia-Romagna Region), which includes the eastern part, close to the Adriatic coast, of the properties of the Agrisfera cooperative, partner of the Project. The area, surrounded by other cultivated properties and protected areas of the Natura 2000 Ecological Network and the Po Delta regional park, falls within the territory delimited to the North by the terminal section of the Reno river and the Comacchio valleys, to the South by the terminal section of the Lamone river and the "pialasse" system, to the East from the Adriatic sea, to the West from the inhabited area of S. Alberto (RA) and is crossed, approximately in the mid of its extension, by the terminal section of the Canal in Destra Reno.

The geomorphological characteristics of the territory and subsidence, both natural and of anthropogenic origin, are decisive for the salinization phenomena affecting the soils, surface waters and groundwater of a large part of the area. Relatively recent fine sediment deposits, originated in coastal brackish lagoons (altitudes up to -2m asl), interspersed with dune sandbanks of a sandy nature (altitudes up to 3 m asl), formed in positions progressively closer to the current coastline, starting from the Etruscan period (500-300 BC) up to the present. The area was subject to reclamation from the second half of the XIX century to the beginning of the 60s of the XX century. It is crossed by an articulated system of channels, mostly for drainage, but partly also for irrigation, managed by the Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale, which ensures the flow of water from areas located below sea level, thanks to two pumping systems that manage, respectively, the Mandriole basin and the Casalborsetti basin. Sea water penetrates in depressed

chilometri e ugualmente attraverso l'acquifero freatico. La falda è piuttosto superficiale, in media intorno a -1.0 m dal piano campagna nelle aree agricole.

Nell'ambito della proprietà Agrisfera, la parte che ricade ad Est della Strada Statale Romea non è irrigata, mentre lo è la parte ad Ovest, in parte con acque di buona qualità provenienti dal fiume Reno a monte della traversa di Voltascirocco, in parte con acque di qualità inferiore provenienti dal Canale in Destra Reno. Oltre a cereali invernali, nella parte non irrigua dell'azienda sono coltivati sorgo, medica e soia, mentre nella parte irrigata è coltivato anche il mais.

La prevalenza della componente argillosa nei suoli utilizzati a scopi agricoli, la loro ridotta permeabilità e la scarsa profondità della falda, rende la pratica del *leaching* non particolarmente efficace per allontanare i sali dal terreno insieme all'acqua in eccesso. Per lo più si rende necessaria anche la sistemazione di dreni artificiali, posizionati a 90-100 cm di profondità.

areas from the sea outlet through estuaries and groundwater. The aquifer is rather shallow, averaging around -1.0 m from the ground surface.

The Agrisfera property laying to the East of the Romea Road is not irrigated, while the part to the West is irrigated, partly with good quality water from the Reno river upstream of the Voltascirocco barrage, partly with lower quality drainage waters from the Canale Destra Reno. Winter cereals, sorghum, alfalfa and soy are cultivated in the non-irrigated part of the farm; in the irrigated part, corn is also grown.

The prevalence of the clay component in cultivated soils, their poor permeability and the shallow depth of the aquifer, make the practice of leaching not particularly effective in removing salts from the soil through the excess water, so it has been necessary to place artificial drains at a depth of 90-100 cm below the soil surface.



Figura 1 - L'area di progetto
Figure 1 - The project area

3. INTERESSE AMBIENTALE DELL'AREA DI PROGETTO

ENVIRONMENTAL IMPORTANCE OF THE PROJECT AREA

Nell'area di progetto e/o nelle sue immediate vicinanze, è presente un insieme di aree protette tra le più interessanti della Regione Emilia-Romagna, tutte parte, in quanto SIC e/o ZPS, della rete ecologica europea Natura 2000 (figura 2). Stante l'origine e la geomorfologia del territorio, tale insieme di aree protette costituisce nel suo complesso un bell'esempio di sistema di transizione dagli habitat più interni di acqua dolce, a quelli salmastri e salati intercalati a foreste igrofile, mesofile e xerofile, tipico delle fasce costiere mediterranee.

La graduale penetrazione del cuneo salino nell'entroterra e la salinizzazione della falda e dei suoli, rappresentano fattori critici per il mantenimento della biodiversità e funzionalità di tale sistema di habitat, in particolare per quelli delle acque dolci.

Il progetto LIFE AGROWETLANDS II ha indagato lo stato dei principali siti di interesse naturalistico prossimi alle aree agricole sperimentali. I risultati sono riportati in un documento, disponibile sul sito del progetto (www.lifeagrowetlands2.eu – Sezione Documenti Tecnici). La tabella 1 riporta invece in sintesi alcuni risultati provenienti dalla ricca letteratura sull'argomento (Lazzari e Saiani, 2020; Lazzari et al., 2020), prodotta dai ricercatori dell'Associazione di Volontariato "L'Arca", che da tempo opera nel settore della conservazione del patrimonio di biodiversità del territorio ravennate.

Nel corso del progetto, il Sistema SMART AGROWETLANDS è stato applicato in via sperimentale su una superficie di estensione limitata. Esso non può, quindi, avere avuto influenza su una rete di siti così ampia e articolata. Certamente, interventi di più ampia portata in termine di superficie, potrebbero complessivamente migliorare le dinamiche della falda e della salinità conseguente del suolo, con vantaggio degli habitat sensibili presenti nell'area.

Around the project area, a set of protected areas, among the most interesting of the Emilia-Romagna Region, is present; all are part, as SCI and / or SPA, of the European ecological network Natura 2000 (figure 2). Given the origin and geomorphology of the territory, this set of protected areas is a significant example of transition system from the innermost freshwater habitats to brackish and salty ones, interspersed with hygrophilous/mesophilous/xerophilous forests, typical of the Mediterranean coastal areas.

The gradual penetration of the saline wedge into the inner lands and the soil and aquifer salinization, are critical factors in order to preserve the biodiversity and functionality of this habitat system, in particular of the fresh water habitats.

The LIFE AGROWETLANDS II project monitored the state of the main naturalistic sites close to the experimental agricultural areas. Results are reported in a specific document, uploaded to the project website (www.lifeagrowetlands2.eu – Section Technical Documents). Table 1 instead, reports some summary results, coming from the rich literature on the subject (Lazzari and Saiani, 2020; Lazzari et al., 2020), produced by researchers of the voluntary Association "L'Arca", which acts from long time for the conservation of the biodiversity heritage of the Ravenna territory.

The SMART AGROWETLANDS System was experimentally applied on a limited surface area. It cannot, therefore, have had an influence on such a large and complex network of sites. Larger-scale interventions could improve the quality of the aquifer and mitigate the soil salinity, with the advantage of the sensitive habitats present in the area.

Name of SCI/SPA	Natura 2000 code	Surface (ha)	N. of plant species	N. of protected plant species	N. of habitats
Foce del Fiume Reno	IT 4060003	1726	712	60	24
Punte Alberete - Valle Mandriole	IT 4070001	972	486	53	10
Bardello	IT 4070002	99	371	39	15
Pineta di S. Vitale, Bassa del Pirottole	IT 4070003	1222	760	53	17
Pineta di Casalborsetti	IT 4070005	579	518	27	20

Tabella 1 - Superficie, numero di specie vegetali, numero di specie vegetali protette, numero di habitat tutelati dalla Direttiva Habitat, presenti in alcuni SIC/ZPS circostanti l'area sperimentale del progetto LIFE AGROWETLANDS II (Lazzari e Saiani, 2020)

Table 1 - Surface, number of plant species, number of protected plant species, number of habitat of the Habitat Directive present in some SCI/SPA close to experimental area of the LIFE AGROWETLANDS II project. (Lazzari and Saiani, 2020)

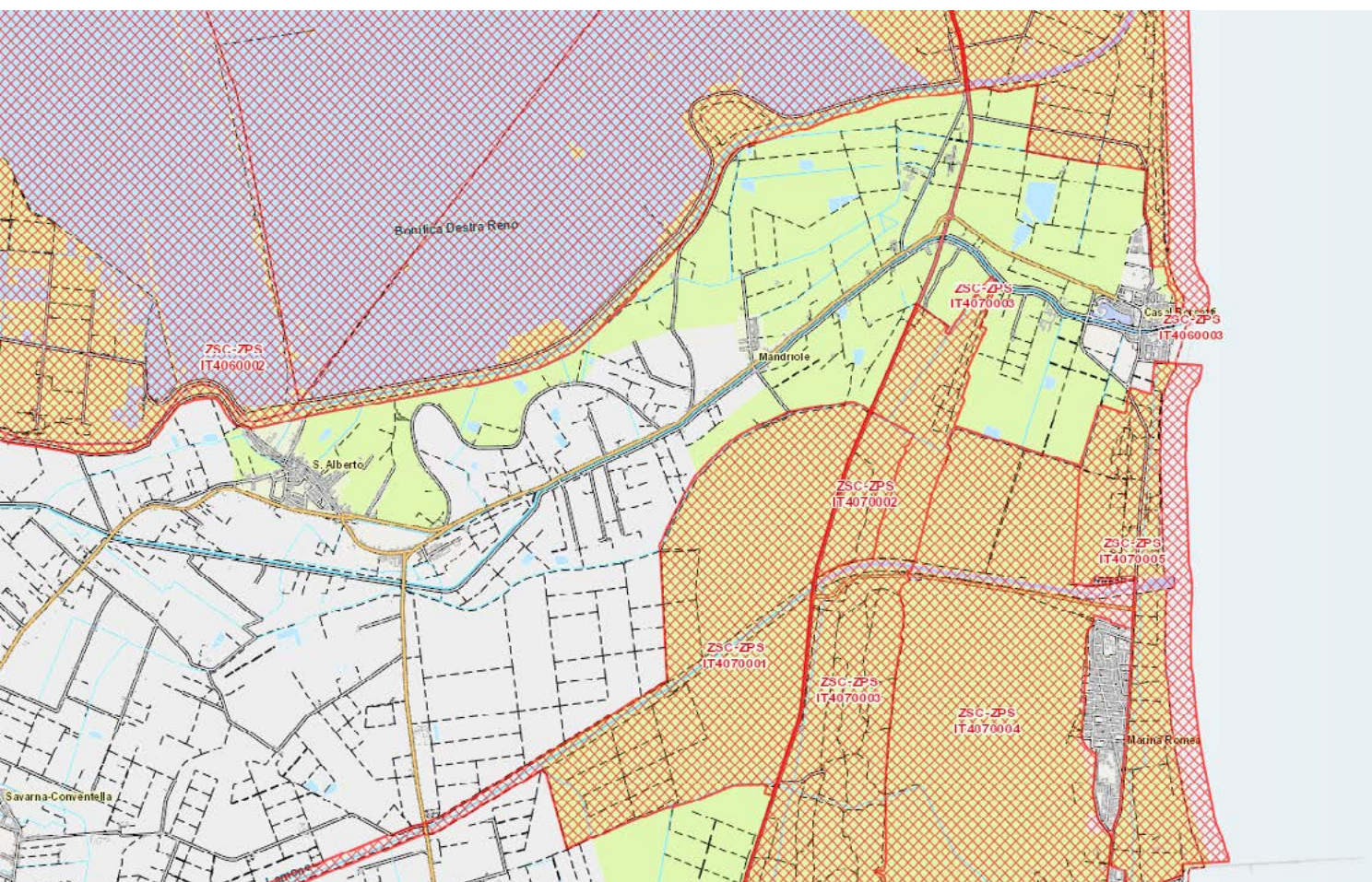


Figura 2 - Le aree SIC/ZPS (a tratteggio rosso) della rete ecologica europea Natura 2000, situate nelle vicinanze dell'area sperimentale del progetto LIFE AGROWETLANDS II

Figure 2 - CSI/SPA areas (in red) of the European ecological network Natura 2000, close to the study area of the LIFE AGROWETLANDS II project





4. IL PROGETTO

THE PROJECT

4.1 - PRINCIPALI OBIETTIVI

Il progetto LIFE AGROWETLANDS II ha messo a punto un sistema innovativo (SMART AGROWETLANDS) per la gestione dell'irrigazione in aree agricole a falda poco profonda (*agro-wetlands*), soggette a fenomeni di salinizzazione delle acque superficiali e di falda, nonché del suolo. Situazioni di questo tipo, come descritto nella parte introduttiva, sono frequenti in prossimità delle aree costiere, in particolare in quelle depresse, derivate da interventi di bonifica.

SMART AGROWETLANDS promuove un utilizzo efficiente dell'acqua a scopi irrigui, risultato di un equilibrio tra le esigenze di ottimizzare il quantitativo di acqua utilizzato, di salvaguardare la produttività delle colture e di mantenere la qualità di risorse quali il suolo e le acque.

Per ottenere tali risultati, **SMART AGROWETLANDS** si basa sull'uso integrato di: 1) una Rete Wireless di Sensori (*Wireless Sensor Network* - WSN); 2) un Sistema di Supporto alle Decisioni (*Decision Support System* - DSS); 3) un Portale Web per il colloquio con gli agricoltori, cui sono destinati i consigli irrigui prodotti dal DSS (figura 3). Grazie alla sinergia tra queste tre componenti del Sistema SMART AGROWETLANDS, i consigli irrigui sono specificamente disegnati per la situazione reale in cui devono essere applicati. I consigli possono inoltre essere opportunamente modulati in funzione delle finalità da raggiungere (equilibrio tra quantità totale di acqua utilizzata e produzione ottenuta, stress salino e/o idrico mantenuto sotto a una certa soglia, controllo della quantità di sali accumulati nel suolo).

Il Progetto e il Sistema messo a punto contribuiscono al raggiungimento degli intenti della Strategia Tematica Europea contro il degrado del suolo (COM

4.1 - MAIN OBJECTIVES

The LIFE AGROWETLANDS II project has developed an innovative system (SMART AGROWETLANDS) for the management of irrigation in agricultural areas with shallow water table (*agro-wetlands*), subject to salinization phenomena of surface and ground water, as well as of the soil. These situations are frequent close to the coast, in particular in depressed areas resulting from reclamation.

SMART AGROWETLANDS promotes an efficient use of water for irrigation purposes, balancing the need to optimize the quantity of water used, with the need to safeguard the productivity of crops, maintaining the quality of environmental resources such as soil and water.

To achieve these results, **SMART AGROWETLANDS** integrates the use of: 1) a **Wireless Sensor Network (WSN)**; 2) a **Decision Support System (DSS)**; 3) a **Web Portal for the communication with farmers**, to whom the irrigation advice produced by the DSS is addressed (figure 3). Thanks to the synergy between the three components of the SMART AGROWETLANDS System, the irrigation recommendations are specifically designed for the real situation in which they must be applied. The recommendations can also be suitably modulated according to the purposes to be achieved (balance between the total quantity of water used and the production obtained, water and/or saline stress kept below a certain threshold, limited salt accumulation in the soil).

The Project and the System contributed to the aims of the European Thematic Strategy against soil degradation (COM (2006) 231), as well as of the Habitats Directive and the EUSAIR Strategy (Pillar 3 - Quality of the Environment) and, in general, to the sustainability

(2006) 231), della Direttiva Habitat, della Strategia EUSAIR (Pilastro 3 - Qualità dell'Ambiente) e, in generale, a realizzare un'agricoltura sostenibile. E' stato quindi importante condividere i risultati raggiunti con gli agricoltori locali, avere un'indicazione del valore economico da essi attribuito alla mitigazione della salinità del suolo e delle acque e alla conservazione della funzionalità del suolo, ma anche valutarne la replicabilità a più ampia scala, in altre parti del territorio europeo (nello specifico Spagna meridionale).

of the agriculture. It has therefore been important to share the project results with local farmers, to have an evaluation of the economic value they attribute to the mitigation of soil and water salinity, but also to test the replicability of the results on a larger scale, in other parts of the European territory (specifically in Southern Spain).

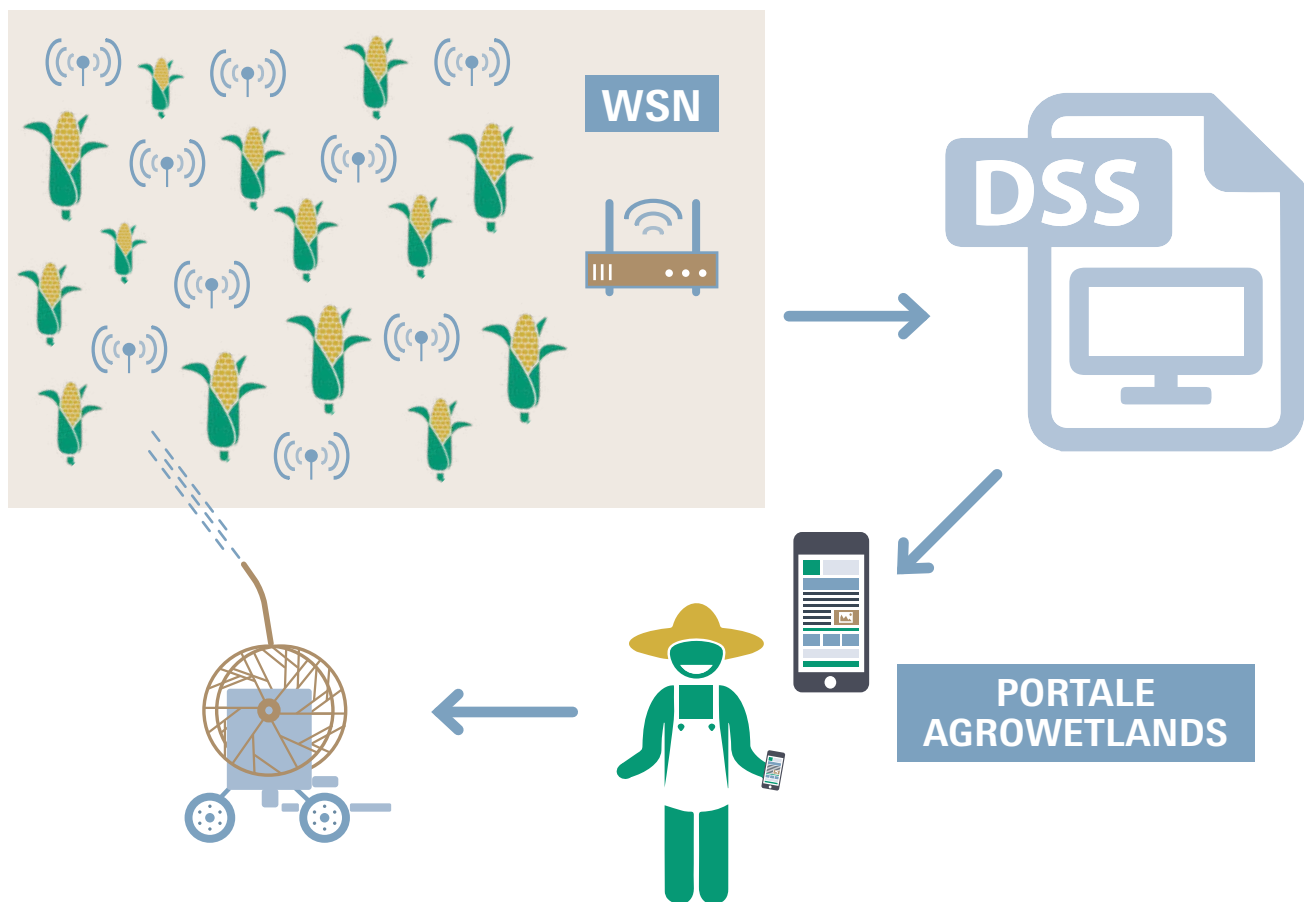


Figura 3 - La struttura del Sistema SMART AGROWETLANDS, costituito da una Rete Wireless di Sensori (Wireless Sensor Network – WSN), da un Sistema di Supporto alle Decisioni (Decision Support System – DSS), da un Portale che consente agli agricoltori di ricevere i consigli irrigui elaborati dal DSS

Figure 3 - The structure of the SMART AGROWETLANDS System, consisting of a Wireless Sensor Network (WSN), a Decision Support System (DSS), a Portal that allows farmers to receive the irrigation recommendations issued by the DSS

4.2 - METODI

I consigli irrigui forniti da SMART AGROWETLANDS si basano su un'accurata conoscenza delle condizioni ambientali che definiscono le necessità idriche della coltura nei diversi stadi del suo sviluppo, dalla semina al raccolto, come fornita dal **modello Aquacrop** (Raes et al., 2009; Steduto et al., 2009; Steduto et al., 2012; Foster et al., 2017), **utilizzato dal Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) adottato**. L'approccio seguito è un esempio di applicazione a scala di medio dettaglio dei principi dell'agricoltura di precisione.

Come da figura 4, le informazioni richieste da AquaCrop e dal DSS di SMART AGROWETLANDS riguardano:

- 1) le condizioni meteorologiche dell'anno, quelle previste a breve termine e quelle medie;
- 2) la coltura (*cultivar* utilizzata, data di semina, tempi di sviluppo della *canopy* e copertura massima del suolo, tempi di raggiungimento delle principali fasi fenologiche);
- 3) la gestione agronomica, tra cui le irrigazioni effettuate (data, quantità e qualità dell'acqua);
- 4) le caratteristiche del suolo a varie profondità (contenuto in acqua a saturazione, alla capacità di campo, al punto di appassimento permanente, permeabilità associata);
- 5) le caratteristiche della falda (profondità rispetto al piano campagna e conducibilità elettrica dell'acqua).

Mentre le condizioni climatiche medie e i parametri di cui ai punti 2) e 3) e 4) sono forniti al DSS dall'agricoltore, la restante informazione sulle condizioni climatiche e della falda di cui ai punti 1) e 5) sono forniti in tempo reale dal server di acquisizione e dai sensori installati nei nodi della WSN, realizzata dal progetto. **La WSN è lo strumento che fornisce informazioni attendibili e dettagliate sui parametri fisici dell'ambiente in cui si sviluppa la coltura**. Essa è parte fondamentale dell'approccio quantitativo adottato, per definire tempi e quantità degli interventi irrigui.

4.2 - METHODS

The irrigation advices provided by SMART AGROWETLANDS are based on an accurate knowledge of the environmental conditions that define the water needs of the crop in the different stages of its development, from sowing to harvest, as required by **the Aquacrop model** (Raes et al., 2009; Steduto et al., 2009; Steduto et al., 2012; Foster et al., 2017), **used by the Decision Support System (DSS) adopted**. The approach followed is an example of medium-detail scale application of the principles of precision agriculture.

As shown in figure 4, the information requested by AquaCrop and the SMART AGROWETLANDS DSS concerns:

- 1) weather conditions during the current year, short time weather forecast and mean climatic conditions;
- 2) the crop (*cultivar*, date of sowing, development of the canopy and its soil cover, time to reach the main phenological phases);
- 3) agronomic management, including performed irrigation (date, quantity and quality of water);
- 4) the soil characteristics at various depths (water content and permeability at saturation, field capacity, permanent wilting point);
- 5) the groundwater characteristics (water depth below the ground level and electrical conductivity).

Climatic conditions and the parameters as in points 2), 3) and 4) are provided to the DSS by the farmer, the remaining information in points 1) and 5) are instead provided in real time by the acquisition server and sensors installed in the nodes of the **WSN, that provides reliable and detailed information on the physical parameters of the environment**. The WSN is a fundamental tool of the quantitative approach adopted to define time and quantity of irrigation interventions.

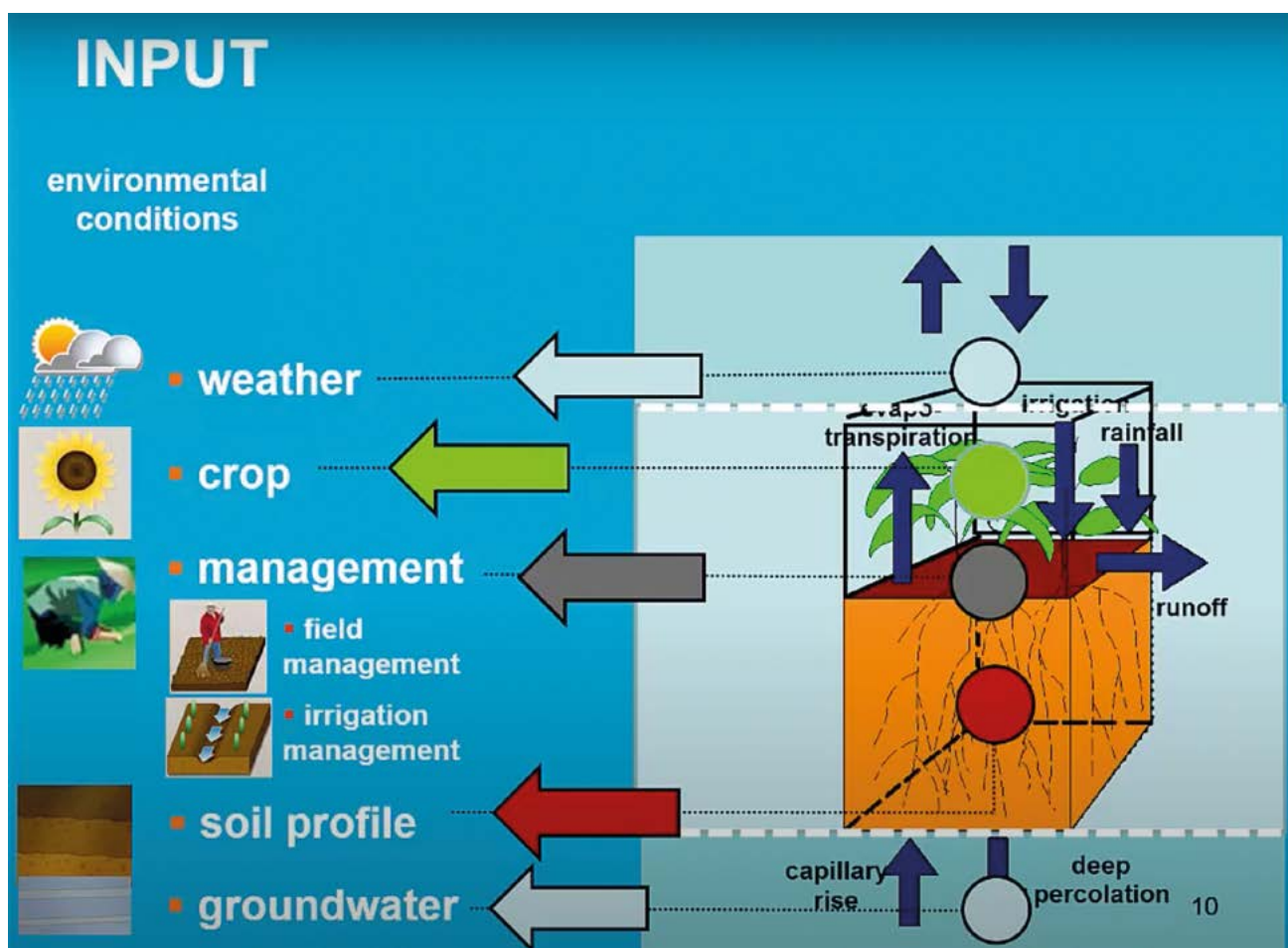


Figura 4 - I parametri di input richiesti da AquaCrop, modello del Sistema di Supporto alle Decisioni di SMART AGROWETLANDS
 Figure 4 - The input parameters required by AquaCrop, model of the SMART AGROWETLANDS Decision Support System

4.2.1 - La Rete Wireless di Sensori (WSN)

La rete wireless di sensori installata nell'area di progetto consta di 23 nodi (figura 5), ciascuno dei quali integra diverse tipologie di sensori commerciali, variamente combinati nei diversi nodi. Complessivamente i 23 nodi ospitano 2 stazioni meteorologiche, 12 sensori di suolo, 9 sensori dell'acqua di falda in altrettanti piezometri, 11 sensori dell'acqua dei canali.

In figura 6 è rappresentata la struttura del nodo P07, come esempio di nodo particolarmente articolato, cui afferiscono tutte le tipologie di sensori utilizzati per la realizzazione della rete AGROWETLANDS. In figura 7 è raffigurata la stazione di trasmissione del nodo I07, che porta un idrometro.

4.2.1 - The Wireless Sensor Network (WSN)

The Wireless Sensor Network installed in the project area consists of 23 nodes (figure 5). Each node integrates different types of commercial sensors, variously combined in the different nodes. Overall, the 23 nodes host 2 weather stations, 12 soil sensors, 9 groundwater sensors in as many piezometers, 11 channel water sensors.

Figure 6 shows the structure of the node P07, an example of a particularly complex node, bearing all the types of sensors used in the WSN AGROWETLANDS. Figure 7 shows the transmission station of the I07 node (hydrometer).



Figura 5 - I 23 nodi della WSN AGROWETLANDS nell'area di progetto. L'area è delimitata a nord dal fiume Reno, a sud dal fiume Lamone e si estende in longitudine per un tratto pari alla distanza tra l'abitato di S. Alberto (Ravenna) e l'abitato di Casalborsetti. I 9 nodi di tipo P, in colore azzurro, integrano un sensore per l'acqua di falda e un sensore per il suolo. I nodi P02 e P07 integrano anche una stazione meteorologica. Gli 11 nodi di tipo I, in colore blu, integrano, ciascuno, un sensore per l'acqua dei canali. I 3 nodi di tipo S, in colore rosso, integrano, ciascuno, un sensore di suolo.

Figure 5 - The 23 nodes of the WSN AGROWETLANDS in the project area. The area is bordered to the North by the Reno river, to the South by the Lamone river and extends West to East as for the distance between the S.Alberto and Casalborsetti towns. Each of the 9 P-type nodes, light blue color, integrate a groundwater sensor and a soil sensor. Each of the 11 I-type nodes, blue color, integrate a sensor for the channel water. Each of the 3 S-type nodes, red color, integrate a soil sensor.

I parametri meteorologici rilevati sono:

temperatura (°C) e umidità dell'aria (%), precipitazione cumulata nel giorno (mm), radiazione solare incidente (W/m²), velocità del vento (km/h) e direzione.

I parametri rilevati per il suolo sono:

umidità (%vol), temperatura (°C), conducibilità elettrica apparente (dS/m).

I parametri rilevati per le acque di falda sono:

livello (cm), temperatura (°C), conducibilità elettrica (dS/m)

I parametri rilevati per le acque dei canali sono:

livello (cm), temperatura (°C), conducibilità elettrica (dS/m)

The recorded meteorological parameters are:

air temperature (°C) and humidity (%), daily cumulative rainfall (mm), incident solar radiation (W/m²), wind speed (km/h) and direction.

The recorded soil parameters are:

humidity (%vol), temperature (°C), bulk electrical conductivity (dS/m).

The recorded groundwater parameters are:

level (cm), temperature (°C), electrical conductivity (dS/m).

The recorded channel water parameters are:

level (cm), temperature (°C), electrical conductivity (dS/m).



Figura 6 - Struttura del nodo P07, cui afferiscono tre tipi di sensori di suolo (a destra), un sensore per la qualità dell'acqua (in basso a sinistra), una stazione meteo completa di radiometro (a sinistra).

Figure 6 - Structure of the P07 node, bearing three type of soil sensors (to the right), one sensor for the water quality (bottom left), one meteo-station with radiometer (to the left).



Figura 7 - La stazione di trasmissione del nodo I07 (idrometro) sul canale Rivalone

Figure 7 - The transmission station of the I07 node (hydrometer) on the Rivalone channel

4.2.2 - Il Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS)

Il Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) messo a punto dal progetto, è basato sul modello AquaCrop della FAO (Raes et al., 2009; Steduto et al., 2009), che consente di descrivere lo sviluppo delle principali colture da pieno campo, dalla semina al raccolto, e di valutarne le esigenze idriche in funzione dello sviluppo raggiunto, una volta che siano noti i parametri che definiscono il bilancio idrico, nonché di prevedere l'accumulo eventuale di sali nel suolo (figura 8).

Il DSS può quindi essere usato per i suggerimenti irrigui per gli appezzamenti registrati nel sistema. Alla registrazione il sistema viene informato di quale coltura è programmato lo sviluppo, indicando la varietà utilizzata, delle caratteristiche del suolo; poi nel tempo vengono indicate le irrigazioni praticate, le condizioni meteorologiche pregresse e previste, il livello e la salinità (conducibilità elettrica) dell'acqua di falda. Tutti i parametri ambientali che variano nel corso della stagione colturale, provengono dalle registrazioni aggiornate fornite dalla WSN.

Il consiglio irriguo oltre a suggerire data e quantità della prossima irrigazione e della successiva, fornisce anche una valutazione del contenuto d'acqua nel suolo e della sua salinità, quindi dell'urgenza di irrigare con acqua di qualità adeguata, del grado di sviluppo della coltura al momento della emissione, nonché della data del raccolto e della produzione prevista, incluso l'effetto riduttivo previsto disaggregato fra le diverse cause.

Il DSS può dunque essere utilizzato dagli agricoltori anche per avere previsioni sul raccolto finale (biomassa secca, stress da sale) man mano che si definisce lo sviluppo della coltura nel progredire della stagione colturale (figura 8).

4.2.2 - The Decision Support System (DSS)

The Decision Support System (DSS) developed by the project is based on the FAO AquaCrop model (Raes et al., 2009; Steduto et al., 2009; Steduto et al., 2012; Foster et al., 2017), which allows to describe the development of the main open field crops, from sowing to harvest, to evaluate the water needs, according to the development achieved, once the parameters that define the water balance are known, and to predict the possible accumulation of salts in the soil (figure 8).

The DSS can therefore be used for irrigation suggestions in the plots registered in the SMART AGROWETLANDS System. Registration informs the System of the scheduled crop, specifying its variety, the characteristics of the soil. The practiced irrigations, the previous and expected meteorological conditions, the level and the salinity (electrical conductivity) of groundwater, the salinity of the irrigation water must be provided during the advising period. All environmental parameters that vary during the growing season come from the updated records provided by the WSN.

The irrigation advice, beside suggesting the date and quantity of the next irrigation and the following one, also provides an assessment of the water content of the soil and its salinity (therefore of the urgency to irrigate with water of adequate quality), the degree of development of the crop, the harvest date and the expected yield, including the reducing effect of salinity and other stresses, thus providing forecast of the final harvest (dry biomass, stresses effects), during the development of the crop (figure 8).

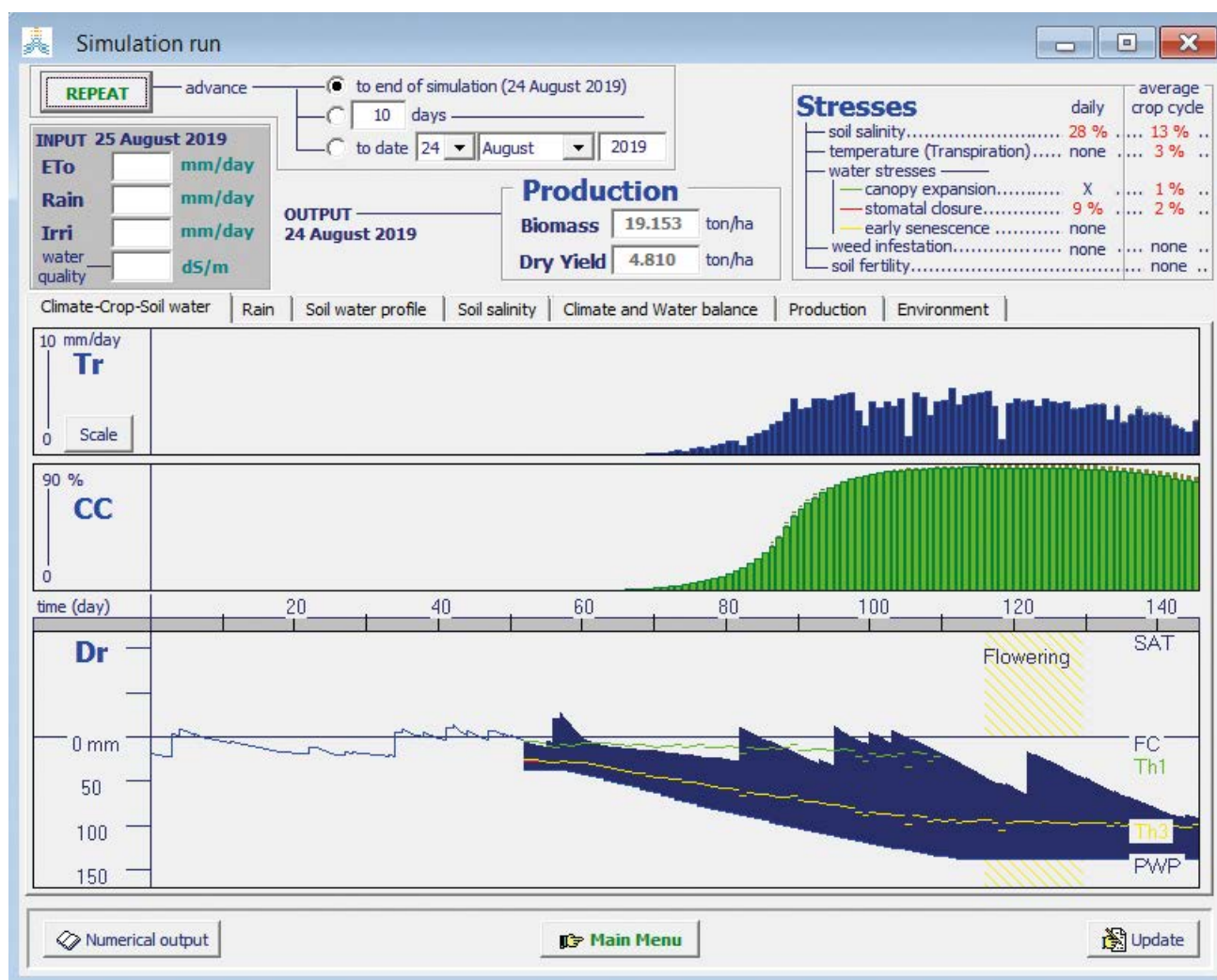


Figura 8 - Rappresentazione nel tempo degli eventi agro-idrologici nel campo sperimentale 2019, ottenuta con il modello AquaCrop, per una coltura di Mais al raccolto, in data del 24 agosto 2019. Vengono indicati la produzione e gli stress subiti dalla coltura. *Tr* rappresenta la traspirazione della coltura, proporzionale al rateo di crescita della biomassa. *CC* è la canopy cover, definita come la percentuale di copertura della coltura sul suolo. *Dr* appresenta il contenuto d'acqua nel suolo, considerata nelle sue diverse forme. In particolare, *FC* (Field Capacity) è la capacità di campo. La linea, poi bordo superiore della fascia blu, rappresenta il contenuto d'acqua nel suolo, *SAT* è il contenuto a saturazione e *PWP* (Permanent Wilting Point) è il contenuto al punto di appassimento permanente. La fascia blu inizia alla semina e il suo bordo inferiore rappresenta la profondità delle radici. La linea gialla rappresenta il limite inferiore dell'acqua facilmente utilizzabile (*RAW*, Readily Available Water), quella verde (*Th1*) il limite sopra il quale si ha un ridotto sviluppo delle foglie per eccesso d'acqua. Si può notare che, al raccolto, era stata utilizzata tutta l'acqua facilmente disponibile, dopo l'adacquata dell'1 agosto, essendo poi stata sospesa l'irrigazione per eccesso di salinità dell'acqua irrigua.

Figure 8 - Representation of the agro-hydrological events for a corn crop at harvesting time in the 2019 experimental field. It is obtained by the AquaCrop model, as of August 24, 2019. The production and the stresses suffered by the crop are represented. *Tr* is the transpiration of the crop, proportional to the growth rate of the biomass. *CC* is the canopy cover, defined as the percentage coverage of the crop on the soil. *Dr* describes the water content in the soil, considered in its various forms. *FC* is the water content at Field Capacity. The blue line (later the upper edge of the blue band) represents the water content in the soil, *SAT* is the content at saturation and *PWP* is the content at the Permanent Wilting Point. The blue band start at sawing and its lower edge represents the depth of the roots. The yellow line represents the lower limit of the Readily Available Water (*RAW*), the green line (*Th1*) represents the limit above which there is a reduced development of leaves due to excess water. It can be seen that, at harvest time, all the *RAW* was consumed. After 1 August, irrigation was in fact suspended, due to salt excess in the irrigation water.

A titolo di esempio, si riportano in figura 9, i consigli irrigui emessi in data 1 agosto e 13 agosto 2019. Il consiglio del 1 agosto venne emesso quando, come da figura 8 (Dr), il contenuto di acqua facilmente disponibile nel suolo era sceso sotto la soglia del 35% della RAW, e venne subito attuato con acqua già di qualità mediocre. Esso prevedeva anche una successiva irrigazione. Il consiglio del 13 agosto, suggeriva invece di non effettuare ulteriori interventi per via della peggiorata qualità dell'acqua irrigua, essendo ancora disponibili 50 mm d'acqua nel suolo, sufficienti per i 180 GDD mancanti al raccolto. Successivamente al 1 agosto non furono quindi effettuati interventi irrigui, per il persistere della cattiva qualità dell'acqua disponibile.

By way of example, figure 9 shows the irrigation advices issued on 1 August and 13 August 2019. The advice on 1 August was issued when, see figure 8 (Dr), the water content in the soil was dropped below the 35% RAW threshold, and was immediately implemented with water already of poor quality. It also provided for a subsequent irrigation. The August 13 advice, instead, suggested not to carry out further interventions due to the deteriorated quality of irrigation water, since 50 mm of water was still available in the soil at 180 GDD from harvest. No irrigation interventions were therefore carried out after 1 August, due to the poor quality of the water available.

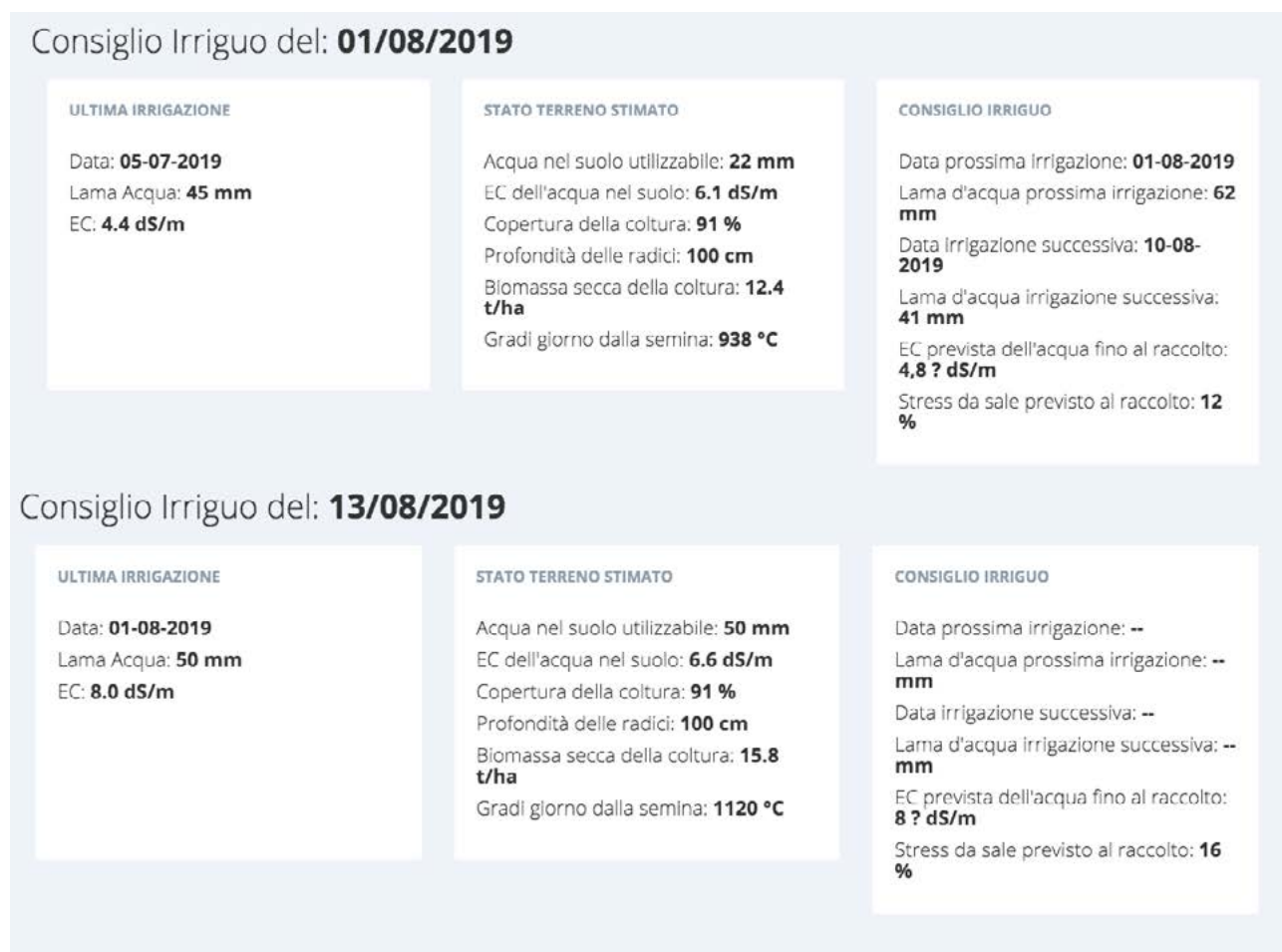


Figura 9 - Consigli irrigui emessi il giorno 1 Agosto 2019 e il giorno 13 Agosto 2019

Figure 9 - Irrigation advices issued on 1 August 2019 and on 13 August 2019

4.2.3 - Il portale Agrowetlands

Il portale Agrowetlands svolge diverse funzioni, tra cui quella d'interfaccia tra gli agricoltori e il Sistema SMART AGROWETLANDS.

L'agricoltore, collegandosi al dominio del portale con *username* e *password*, tramite un PC tradizionale, o anche con il proprio smartphone, accede alle funzioni della dashboard agricoltore (figura 10), e può interagire con il Sistema SMART AGROWETLANDS, aggiornando le informazioni agronomiche che riguardano i suoi appezzamenti, ricevendo i consigli irrigui, e consultando le registrazioni dei nodi della WSN. Con il tasto 11 "Modifica dettagli", l'agricoltore, all'inizio della stagione colturale, inserisce le informazioni riguardanti la coltura praticata (cultivar utilizzata, temperatura base della coltura, gradi giorno per arrivare alla fioritura e al raccolto). Con il tasto 12 "Nuova irrigazione" l'agricoltore aggiorna, nel corso della stagione colturale, le informazioni sull'ultima irrigazione effettivamente praticata, conseguente o meno ai consigli irrigui ricevuti. Tali informazioni sono un elemento importante per descrivere l'evoluzione della disponibilità di acqua nel terreno e formulare i consigli irrigui successivi da parte del DSS. La porzione della dashboard, dedicata al consiglio irriguo, emesso due volte alla settimana, riporta informazioni sull'ultima irrigazione nota al sistema, sullo stato del terreno e sul nuovo consiglio irriguo (10 in figura 10).

Per maggiori dettagli sul Portale Agrowetlands, si rimanda alla brochure "Guida all'utilizzo del Sistema SMART AGROWETLANDS per gli agricoltori - Il portale d'interfaccia Agrowetlands", disponibile sul sito del progetto (www.lifeagrowetlands2.eu).

4.2.3 - The Agrowetlands portal

The Agrowetlands portal performs various functions, including that of interface between farmers and the SMART AGROWETLANDS System.

The farmer, by connecting to the portal domain with *username* and *password*, via a traditional PC, or even with his smartphone, accesses the functions of the farmer dashboard (figure 10), and can interact with the SMART AGROWETLANDS System, updating the agronomic information concerning his plots, receiving irrigation advice, and consulting the WSN records. With the "Modify details" button (11 in figure 10), the farmer, at the beginning of the growing season, enters information regarding the crop (cultivar used, base temperature of the crop, degree days to reach flowering and harvest). With the "New irrigation" button (12 in figure 10) the farmer updates, during the growing season, the information on the last irrigation practiced, resulting from the irrigation advice received or not. This information is an important element in describing the evolution of water availability in the soil and formulating subsequent irrigation recommendations by the DSS. The portion of the dashboard, dedicated to the irrigation advice (10 in figure 10), issued twice a week, reports information on the last irrigation of which the system is informed, the state of the soil and the new irrigation advice.

For more details on the Agrowetlands Portal, please refer to the brochure "Guida all'utilizzo del sistema Smart Agrowetlands per gli agricoltori - Il portale di interfaccia Agrowetlands", available on the project website (www.lifeagrowetlands2.eu).

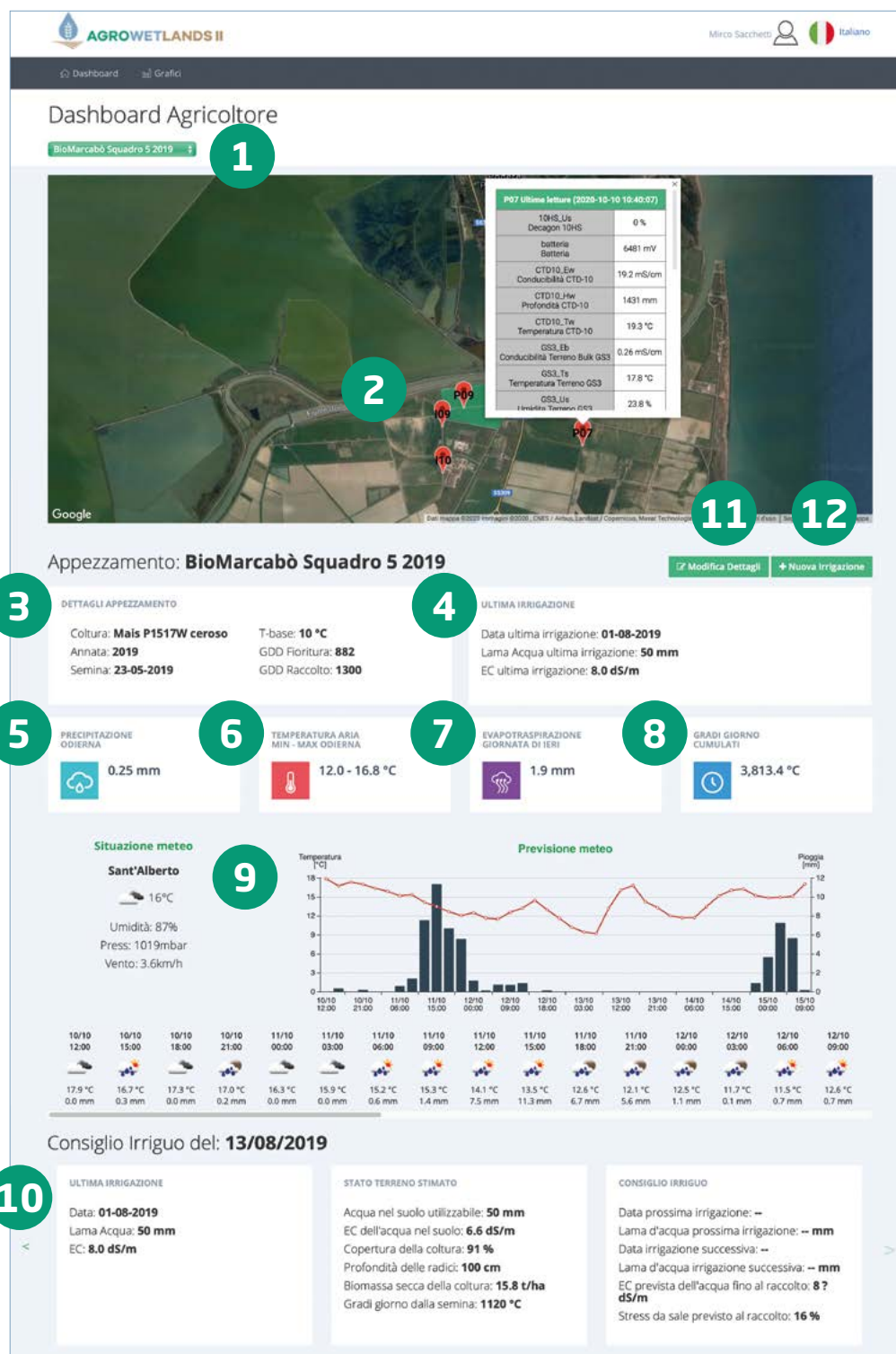


Figura 10 - La dashboard per l'agricoltore del Portale AGROWETLANDS. 10: Area dedicata alla descrizione del consiglio irriguo, emesso due volte la settimana; 11: Tasto "Modifica dettagli" inseriti dall'Agricoltore nei campi 3,4; 12: Tasto "Nuova Irrigazione" da utilizzare per i parametri di una nuova irrigazione eseguita, vedi campo 10.1. Cliccando sui segnalini rossi, che rappresentano i nodi della WSN, si apre un menu a tendina, che mostra i valori dell'ultima registrazione fatta dai sensori presenti in quel nodo (in alto, nell'immagine). I dati nei campi 5-9 sono aggiornati in tempo reale dal sistema e si riferiscono alla data dell'interrogazione (9 luglio 2020, in questo caso).

Figure 10 - The farmer's dashboard of the AGROWETLANDS Portal. 10: Area dedicated to the description of the irrigation advice, issued twice a week; 11: "Modify details" button, used by the farmer to provide data in fields 3, 4; 12: "New Irrigation" button, to be used by the farmer to provide parameters of a new irrigation, see field 10.1. By clicking on the red markers, which represent the nodes of the WSN, a drop-down menu opens, which shows the values of the last records registered by the sensors present in that node (image top). Data in fields 5-9 are updated in real time by the sistem and refer to the time of the query (9 July 2020, in the presented case).

4.3 - RISULTATI

Nel corso dei due anni centrali del progetto (stagione colturale 2018 e 2019) si è implementato un Sistema di Supporto alle Decisioni che fornisce consigli irrigui ad agricoltori che operano sui suoli salini dei campi registrati. Il modello AquaCrop, su cui si basa SMART AGROWETLANDS, è particolarmente flessibile, dispone di un ampio database sulle più diffuse colture da pieno campo e su molti tipi di suoli, e consente di rispondere alle più comuni domande che l'agricoltore si pone, da quando è opportuno seminare, a quando e quanto irrigare, o se irrigare, qualora la qualità dell'acqua sia scadente. Questi aspetti sono stati determinanti ai fini della scelta di AquaCrop, come modello per il DSS di SMART AGROWETLANDS.

Aquacrop può essere usato sia per prevedere lo sviluppo della coltura, simulando condizioni meteorologiche attendibili, sia per ricostruire lo sviluppo effettivo della coltura e le condizioni del suolo, simulando quanto effettivamente si è verificato, sia in forma mista, ricostruendo in base alla vicenda reale quanto avvenuto fino al giorno corrente e simulando, sulla base di condizioni meteo attendibili e di un criterio di irrigazione, quanto verosimilmente succederà fino al raccolto e, quindi, la resa prevista della coltura, evidenziando anche i condizionamenti che la limitano. I consigli irrigui vengono forniti in tempo reale; nel caso di SMART AGROWETLANDS, sono stati elaborati con periodicità piuttosto stretta (due volte la settimana), accompagnati da stime sulla data del raccolto, sulla resa e sugli stress finali da sale (acqua e suolo) e temperatura, in relazione alle future irrigazioni che si presumono necessarie. Le stime diventano via via più realistiche, man mano che ci si avvicina alla data del raccolto e possono essere particolarmente utili, per decidere sulla convenienza economica o meno di determinati interventi colturali finali, comprese nuove ulteriori irrigazioni. Queste potrebbero, infatti, richiedere uno sforzo e un costo organizzativo non adeguato all'incremento di resa finale, o non proporzionato al vantaggio ambientale, volendo ridurre l'accumulo di sali nel suolo.

4.3 - RESULTS

During the two central years of the project (crop seasons 2018 and 2019) a Decision Support System was implemented providing irrigation advices to farmers operating on saline soils of registered fields. The AquaCrop model, on which SMART AGROWETLANDS is based, is particularly flexible, has a large database on the most common open field crops and many types of soils, and allows farmers to answer many questions that the farmer asks himself, from when to sow, when and how much to irrigate, or whether to irrigate when the water quality is poor. This flexibility coupled with the availability of default data for many crops and soils, were the main reasons for the choice made.

Aquacrop can be used both to predict the development of the crop, simulating reliable weather conditions, both to reconstruct the actual development of the crop and the conditions of the soil, simulating what actually occurred, both in mixed form, reconstructing on the basis of the real events, what occurred up to the current day and simulating, on the basis of reliable weather conditions and an irrigation criterion, what is likely to happen until harvest and, therefore, the expected yield, as well as the conditions that limit it.

Irrigation advice is provided in real time; in the case of SMART AGROWETLANDS, they were elaborated with a rather strict periodicity (twice a week), accompanied by estimates on the date of harvest, on the yield and on the final stress from salt (water and soil), in relation to future irrigations that are assumed necessary. Estimates become more realistic as the harvest date approaches and can be particularly useful in deciding whether or not certain final interventions are economically viable, including new additional irrigations. These could, in fact, require an organizational effort and cost that is not adequate to the increase in final yield, or not proportionate to the environmental benefit, wanting to reduce the accumulation of salts in the soil.

The farmer should accept and implement the

L'agricoltore dovrebbe accettare e attuare il consiglio irriguo ricevuto, attenendosi strettamente al consiglio, o adeguandolo alle possibilità reali. Sia che si adegui al consiglio o che se ne discosti l'agricoltore deve comunicare la irrigazione effettiva; in mancanza della comunicazione, i successivi consigli sono inattendibili. In questa fase l'agricoltore è comunque elemento attivo del processo; le sue scelte operative possono essere incoraggiate e indirizzate dal conoscere, con ragionevole certezza, come esse potranno modificare il risultato finale, cui l'agricoltore certamente tiene. Importanti sono quindi le informazioni previsionali che si accompagnano al consiglio e altrettanto importante è l'interazione agricoltore-Sistema, nel momento in cui, tramite il Portale AGROWETLANDS, l'agricoltore aggiorna lo stato del Sistema, riguardo alle scelte da lui compiute.

I risultati raggiunti con la sperimentazione condotta, riguardano tutti gli aspetti qui discussi. Sono pertanto disponibili per essere diffusi tra gli agricoltori. Al riguardo sono stati prodotti vari materiali divulgativi e organizzati eventi rivolti agli agricoltori e ai tecnici responsabili di aziende di dimensioni medio-grandi.

irrigation advice received, strictly following the advice, or adapting it, with changes, to the real possibilities. In this phase, the farmer is still an active element in the process; its operational choices can be encouraged and directed by knowing, with reasonable certainty, how they will change the final result, which the farmer certainly cares about. Therefore, the forecast information accompanying the board is important and the farmer-System interaction is equally important, when, through the AGROWETLANDS Portal, the farmer updates the status of the System, regarding the choices made by him.

The results achieved with the experimentation carried out concern all the aspects discussed here. They are therefore available to be disseminated among farmers. In this regard, various information materials were produced and events were organized for farmers and technicians in charge of medium-large farm.



5. APPLICAZIONE DI SMART AGROWETLANDS IN ALTRI CONTESTI EUROPEI

APPLICATION OF SMART AGROWETLANDS IN OTHER EUROPEAN CONTEXTS

Il Sistema SMART AGROWETLANDS è stato replicato anche in Spagna e, precisamente, nel territorio della Comunidad de Regantes de Carrizales (Elche-Alicante), una comunità di antica istituzione operante nella regione di Valencia nel sud-est della penisola iberica (figura 11). L'area di Carrizales, con una superficie di circa 1.600 ha, suddivisa in molteplici piccole proprietà, è parte di territorio a economia prevalentemente agricola e clima spiccatamente mediterraneo. Le precipitazioni sono molto scarse (200-300 mm/anno), concentrate nel periodo settembre-maggio; la prolungata siccità estiva, con i mesi giugno-agosto per lo più privi di precipitazioni, si accompagna a temperature elevate. Si coltivano ortaggi (soprattutto carciofi), cereali alternati a medica, meloni e melograni. Come nell'area italiana in cui è stato implementato il progetto, i suoli sono salini, a prevalente tessitura limoso-argillosa. Il contenuto di sostanza organica è invece maggiore (> 2%), come pure il carbonato di calcio (> 40%), la densità è moderata (< 1.4 g/cm³). L'acqua d'irrigazione, distribuita con turni di 10-15 giorni, arriva all'area di Carrizales dopo essere già stata utilizzata, a monte, in altre aree agricole. La qualità dell'acqua è molto variabile, con valori di conducibilità elettrica compresi abitualmente tra 2 e 8 dS/m, in media intorno a 4 dS/m. L'irrigazione avviene per sommersione. La falda, salata, è normalmente molto prossima alla superficie (-0,8 m). L'applicazione di SMART AGROWETLANDS in quest'area è stata possibile grazie alla collaborazione di tutta la Comunidad de Regantes de Carrizales, affiancata dal gruppo di ricercatori dell'Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) di Valencia, con specifiche competenze per l'agricoltura su suoli salini.

È stata installata una mini-rete wireless di sensori di soli 4 nodi dedicata ad un campo (figura 12),

The SMART AGROWETLANDS system has been replicated in Spain and, more precisely, in the territory of the Comunidad de Regantes de Carrizales (Elche-Alicante), a community with an ancient institution operating in the region of Valencia in the south-east of the Iberian Peninsula (figure 11). The Carrizales area, about 1,600 hectares divided into many small properties, is part of a territory with a predominantly agricultural economy and a distinctly Mediterranean climate. Rainfall is very scarce (200-300 mm/year), concentrated in the period September-May; the prolonged summer drought, with the months June-August mostly free of rainfall, is accompanied by high temperatures. Vegetables (especially artichokes), cereals alternating with alfalfa, melons and pomegranates are grown. As in the Italian area where the project was first implemented, the soils are saline, with a predominantly silty-clay texture. The content of organic matter is instead higher (> 2%), as well as calcium carbonate (> 40%), the density is moderate (<1.4 g / cm³). The irrigation water, distributed in shifts of 10-15 days, arrives in the Carrizales area after having already been used, upstream, in other agricultural areas. The quality of the water is variable, with electrical conductivity values usually between 2 and 8 dS / m, and average around 4 dS / m. Irrigation takes place by submersion. The salt water table is usually very close to the surface (-0,8 m).

The application of SMART AGROWETLANDS in this area was possible thanks to the collaboration of the whole Comunidad de Regantes de Carrizales, flanked by the group of researchers of the Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) of Valencia, with specific skills for agriculture on saline soils.

A wireless mini-network of sensors of only 4 nodes dedicated to a field was installed (figure 12),



Figura 11 - Localizzazione dell'area della "Comunidad de Regantes de Carrizales", nel Sud-Est della Spagna

Figure 11 - Geographic location of the "Comunidad de Regantes de Carrizales", in the South-East of Spain

strutturata similmente a quella italiana. Essa comprende i nodi: M1) stazione meteorologica con radiometro; I1) sensore per la temperatura, livello e conducibilità elettrica dell'acqua sul condotto di distribuzione dell'acqua irrigua P1) sensori per la temperatura, umidità e conducibilità elettrica del suolo e della falda in mezzo al campo; S1) sensori per la temperatura, livello e conducibilità elettrica del suolo e dell'acqua nella scolina che drena il campo.

Il Sistema SMART AGROWETLANDS ha tuttavia dovuto essere adattato alle peculiarità dell'area, scegliendo come modello utilizzato dal DSS, il modello SALTIRSOIL (Visconti et al., 2011), più idoneo di AquaCrop per rappresentare gli effetti di irrigazioni eseguite a periodicità fissa, secondo il calendario dei turni irrigui, e per sommersione. La rete WSN si è dimostrata utile per calibrare e validare SALTIRSOIL.

structured similarly to the Italian one. It includes the nodes: M1) meteorological station with radiometer; I1) sensor for temperature, level and electrical conductivity of the water on the irrigation water distribution duct P1) sensors for temperature, humidity and electrical conductivity of the soil and groundwater in the middle of the field; S1) sensors for the temperature, level and electrical conductivity of the soil and water in the drain that drains the field.

The SMART AGROWETLANDS System, however, had to be adapted to the peculiarities of the area, choosing as the model used by the DSS, the SALTIRSOIL model (Visconti et al., 2011), more suitable than AquaCrop to represent the effects of irrigation performed at a fixed frequency, according to the calendar of irrigation shifts, and by submersion. The WSN network proved useful



Figura 12 - La rete wireless di sensori installata nel campo dimostrativo di Carrizales. Nodo M1: stazione meteorologica e sensore del terreno (umidità, salinità e temperatura). Nodo I1: idrometro nel condotto irriguo da cui si preleva l'acqua di irrigazione (livello, salinità e temperatura dell'acqua). Nodo S1: idrometro nel canale a valle del campo, dove si raccoglie l'acqua di drenaggio (livello, salinità e temperatura dell'acqua) e sensore terreno (umidità, salinità e temperatura). Nodo P1: piezometro (altezza, temperatura e salinità dell'acqua di falda), sensore del terreno (umidità, salinità e temperatura) e sonda SENTEK (umidità e salinità a sei diverse profondità del terreno).

Figure 12 - The WSN installed in the Carrizales demonstration field. Node M1: weather station and soil sensor (soil humidity, salinity and temperature). Node I1: water sensor in the irrigation channel (water level, salinity, and temperature). Node S1: soil sensor at field downstream end water sensor in the drainage ditch (water level, salinity, and temperature). Node P1: piezometer (groundwater height, temperature, and salinity), GS3 sensor and SENTEK probe (soil temperature, humidity, and salinity at six different depths).

È risultata una buona sovrapposizione tra i dati simulati e quelli osservati, confermando l'adequazione del modello SALTIRSOIL per le specifiche condizioni di gestione dell'acqua nell'area di Carrizales.

L'irrigazione per sommersione praticata nell'area di Carrizales, associata ai volumi d'acqua generalmente utilizzati, consente di svolgere un'importante azione di lisciviazione dei sali, con rimozione verso gli strati bassi non esplorati dalle radici. Valutazioni fatte con SALTIRSOIL evidenziano come una gran parte dell'acqua distribuita nel terreno con l'irrigazione si allontana dal suolo come acqua di drenaggio

for calibrating and validating SALTIRSOIL.

There was a good overlap between the simulated and observed data, confirming the adequacy of the SALTIRSOIL model for the specific water management conditions in the Carrizales area.

Submersion irrigation practiced in the Carrizales area, associated with the volumes of water generally used, allows to perform an important salts leaching action, with removal towards the lower layers not explored by the roots. Evaluations made with SALTIRSOIL show how a large part of the water distributed in the soil with irrigation moves away from the soil as drainage water

(leaching fraction), portando con sé una parte dei sali in eccesso. La salinità dell'acqua di percolazione, misurata nel canale dove si raccolgono le acque di drenaggio, è generalmente superiore alla salinità dell'acqua di irrigazione, proprio perché questa si carica anche dei sali precedentemente accumulati nel terreno. Le misure in campo, vedi figura 13, confermano questa bassa efficienza di utilizzo particolarmente al picco dello scorrimento.

Contenere la salinità dei suoli richiede molta acqua, acqua che peraltro nelle zone costiere se non fosse utilizzata verrebbe versata a mare. Un utilizzo più efficiente consentirebbe però di servire un'area più ampia con la la risorsa disponibile.

(leaching fraction), bringing with it a part of the excess salts. The salinity of the percolation water, measured in the channel where the drainage water is collected, is generally higher than the salinity of the irrigation water, precisely because it is also loaded with salts previously accumulated in the soil. Field measurements (Figure 13) confirm this low efficiency of use, particularly at the peak of slip. Containing the salinity of the soils requires a lot of water, water which, however, in the coastal areas if it were not used would be poured into the sea. A more efficient use would, however, allow to serve a larger area with the available resource.

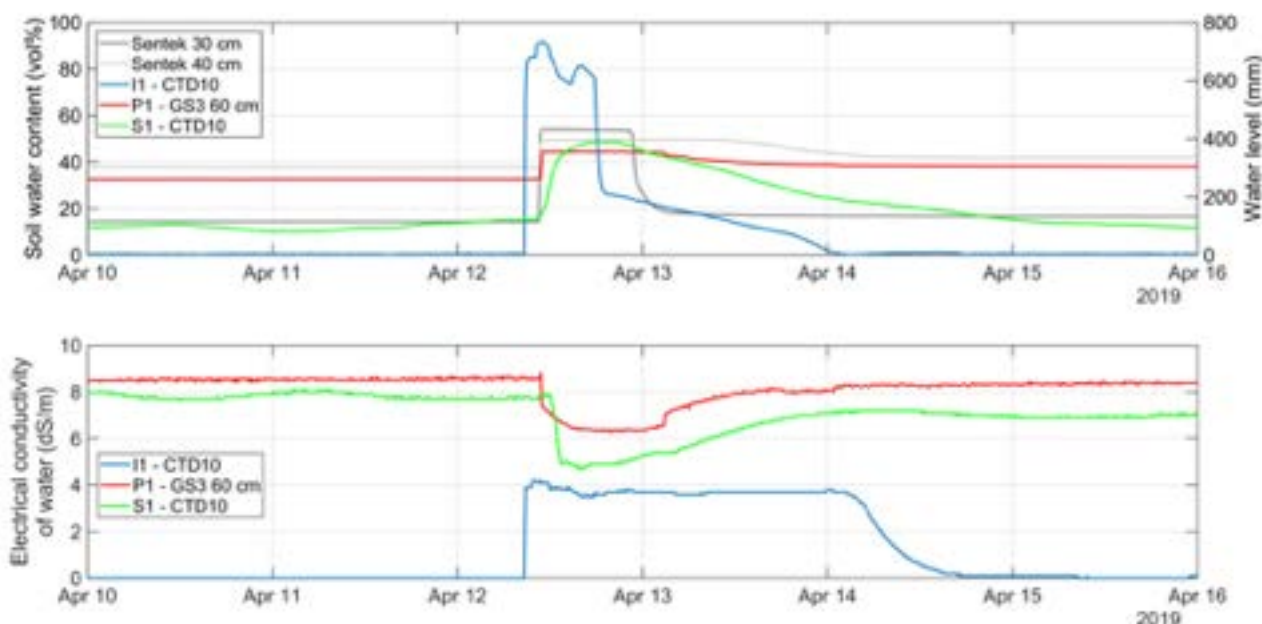


Figura 13 - Registrazione di una irrigazione a Carrizales (10-16 aprile 2019). Il sensore I1 (azzurro) caratterizza l'acqua ed i tempi dell'evento di irrigazione. I sensori Sentek e GS3 al nodo P1 rilevano il passaggio del fronte di lavaggio dopo qualche tempo ed il sensore S1 nella scolina rileva l'arrivo dell'onda ancor più ritardata e dispersa. All'arrivo del colmo dell'onda, la conducibilità dell'acqua nella scolina si avvicina molto a quella in ingresso, come se, accentuando fino al paradosso il processo reale, invece di risciacquare i suoli mandassimo direttamente a scarico l'acqua pulita. Una lisciviazione ben fatta dovrebbe manifestarsi attraverso una progressiva riduzione della salinità allo scarico man mano che i suoli vengono risciacquati. La strumentazione mostra invece la immissione di un flusso eccessivo di acqua che non riesce a mescolarsi con quella del suolo e determina una scarsa efficienza d'utilizzo dell'eccesso di acqua di lisciviazione.

Figure 13 - Registration of an irrigation event in Carrizales (10-16 April 2019). Sensor I1 (blue) characterizes the water and timing of the irrigation event. The Sentek and GS3 sensors at node P1 detect the passage of the washing front after some time and the S1 sensor in the drain detects the delayed arrival of the dispersed wave. Upon arrival of the crest of the wave, the conductivity of the water in the drainage is very close to that at the inlet, as if, by accentuating the real process to the point of paradox, instead of rinsing the soils we were sending clean water directly to drain. Well done leaching should manifest itself through a progressive reduction of salinity at the drain as the soils are rinsed. The instrumentation, on the other hand, shows the introduction of an excessive flow of water that fails to mix with that of the soil and results in poor efficiency in using the excess leaching water.

6. IL SISTEMA SMART AGROWETLANDS E I RISULTATI DI UN'INDAGINE SOCIO-ECONOMICA

THE SMART AGROWETLANDS SYSTEM AND THE RESULTS OF A SOCIO-ECONOMIC SURVEY

Un'apposita indagine, condotta tramite interviste, ha fornito un quadro di come vengono recepiti e affrontati da parte degli agricoltori, fenomeni di degrado del suolo e della qualità delle acque, quali ad esempio la salinizzazione. E' utile collocare il Sistema SMART AGROWETLANDS nel contesto descritto da tali interviste; ciò può infatti servire a valutare la coerenza del Sistema rispetto alla situazione ambientale e socio-economica descritta dalle interviste stesse.

Gli intervistati, in gran parte proprietari di aziende agricole (50%), in parte minore tecnici responsabili dell'azienda (27%), dirigenti o contitolari (23%), sono, comunque, persone con un ruolo decisionale e di responsabilità all'interno dell'azienda agricola in cui operano, oltre che consapevoli dei problemi da affrontare.

Su un complesso di aziende che si estende su una superficie agricola di 16.800 ha, nelle province di Ravenna e Ferrara, 3540 ha (21%) sono interessati da fenomeni di salinità del suolo e/o delle acque, e vengono coltivati prevalentemente con metodi dell'agricoltura tradizionale, anche se le aziende sono a conduzione mista, in parte metodo tradizionale, in parte metodo biologico.

La salinità riscontrata ha per lo più cause multiple, legate all'origine del terreno, alla salinità della falda o alla cattiva qualità delle acque d'irrigazione. Una percentuale significativa delle aziende interessate dal fenomeno salinità, controlla la qualità dell'acqua utilizzata (36%) e del terreno (24%), ma in genere (60%) non è a conoscenza di metodi che possano mitigare il fenomeno, quali ad esempio, drenaggio dei terreni, leaching, o altro, né è in possesso di strumenti specifici per gestire e mitigare la salinizzazione. Molte aziende (57%) dispongono di una stazione

Through a series of interviews to farmers, a picture of how farmers perceive and deal with soil and water degradation phenomena, such as salinization, was defined. It is useful to consider the SMART AGROWETLANDS System in the context described by these interviews; this can in fact serve to evaluate the consistency of the System with respect to the environmental and socio-economic situation described by the interviews themselves.

The interviewees, mostly owners of farms (50%), to a lesser extent technicians responsible of a farm (27%), managers or joint owners (23%), are people with a decision-making role and responsibility for the farm where they operate, as well as aware of the problems to be faced.

The interviewees represent a group of farms, in the provinces of Ravenna and Ferrara, covering an area of 16.800 ha, of which 3.540 ha (21%) are affected by salinity phenomena of the soil and/or water. Salinized areas are mainly managed with traditional agriculture systems, even if some of the farms have a mixed management, partly traditional, partly organic.

Typically, salinity has multiple causes, due to the soil origin, and/or the salinity of the groundwater, and/or to poor quality of the irrigation water. A significant percentage of the farms affected by soil salinity check the quality of the water used (36%) and of the soil (24%), but generally (60%) are not aware of methods that can mitigate the phenomenon, such as for example, drainage, leaching, or other, nor do have specific tools to manage and mitigate salinization. Many farms (57%) have a weather station for the application of simple DSS for irrigation management. At the moment, the most popular irrigation management tool in the Emilia-Romagna region and in Italy (IRRINET / IRRIFRAME)

meteorologica per l'applicazione di modelli decisionali relativamente semplici per la gestione dell'irrigazione. Al momento, però, il più diffuso strumento di gestione dell'irrigazione nella regione Emilia-Romagna e in Italia (IRRINET/IRRIFRAME) non ha ancora sviluppato un modulo specifico per la gestione dell'irrigazione su suoli salini. Poco più del 30% degli intervistati ha installato anche dei piezometri, per il monitoraggio del livello della falda, ma solo il 4.8% ha installato sonde specifiche per il monitoraggio della salinità dei suoli. Laddove ciò è avvenuto, è stato a seguito della partecipazione dell'azienda a progetti di ricerca accademica, che hanno coinvolto l'azienda per la parte di sperimentazione in campo.

I terreni salini sono svalutati economicamente rispetto a quelli non salini, con punte che possono riguardare anche un dimezzamento del valore rispetto a quello comunemente attribuito a terreni senza queste problematiche (30-35.000 euro/ha). Non si ritiene inoltre che possano essere economicamente convenienti investimenti importanti, superiori ai 1000 euro/ha per migliorare i problemi dovuti alla salinità di acque e suolo.

Il Sistema SMART AGROWETLANDS può dare risposte ad alcuni dei temi trattati dall'indagine e dagli agricoltori intervistati, in particolare all'ottimizzazione degli interventi irrigui, diventando un elemento importante di un sistema d'interventi migliorativi per l'agricoltura su suoli salini. L'investimento necessario per il suo utilizzo, rientra ampiamente nei limiti economici qui sopra indicati come accettabili, fatta salva la possibilità di disporre di una fonte sicura di acqua di buona qualità da utilizzare per l'irrigazione e di mezzi di irrigazione efficienti.

has not yet developed a specific module for the management of irrigation on saline soils. Just over 30% of the interviewees also installed piezometers, for monitoring the groundwater level, but only 4.8% installed specific probes for monitoring the salinity of the soil. Where this happened, it was following the farm's participation in academic research projects, which involved the farm for experiments in field.

Saline soils are economically devalued compared to non-saline ones, with peaks that can also involve a halving of the value compared to that commonly attributed to land without these problems (30-35.000 euros/ha). Furthermore, it is not believed that major investments, over 1000 euro/ha to improve the problems due to the salinity of water and soil, can be economically convenient.

The SMART AGROWETLANDS System can provide answers to some of the topics covered by the survey, in particular to the optimization of irrigation management, becoming an important element of a system to improve agriculture on saline soils. Having a safe source of good quality water to use for irrigation, as well as efficient irrigation means, the investments for its use is largely within the economic limits indicated above as acceptable.

7. SVILUPPI DEL SISTEMA SMART AGROWETLANDS PER L'IRRIGAZIONE DI PRECISIONE

IMPROVEMENT OF THE SMART AGROWETLANDS SYSTEM FOR PRECISION IRRIGATION

Nel corso del progetto, si è valutata l'efficacia del Sistema SMART AGROWETLANDS quantificando il benessere delle colture delle aree sperimentali, a seguito delle irrigazioni consigliate. Sono state effettuate riprese ad hoc da drone nell'infrarosso termico e sono state utilizzate immagini satellitari, sia di Landsat 8, che di Sentinel 2, disponibili gratuitamente in bande di varia lunghezza d'onda. Riguardo alle immagini satellitari, selezionando le bande opportune, sono state elaborate mappe di indici sia vegetazionali che di stress idrico in varie date della stagione colturale 2019 (figura 14).

Dall'analisi di queste mappe, per gli appezzamenti cui è stato applicato il Sistema SMART AGROWETLANDS, risulta evidente l'eterogeneità interna agli appezzamenti stessi, sia per quanto riguarda lo sviluppo della coltura, sia per quanto riguarda le condizioni termiche, che dipendono, a loro volta, dalla traspirazione e, quindi, dalla disponibilità di acqua per la coltura. Questo, nonostante che il trattamento irriguo sia stato il medesimo per tutto l'appezzamento. Un affinamento nell'applicazione del Sistema SMART AGROWETLANDS sta dunque nella possibilità di riconoscere aree omogenee anche all'interno di un determinato appezzamento, cui applicare un certo consiglio irriguo, piuttosto che gestire l'irrigazione in funzione dei soli confini degli appezzamenti.

Al riguardo, le immagini satellitari rappresentano uno strumento valido ed economico, cui fare ricorso in maniera sistematica, per affinare l'ambito spaziale cui applicare i consigli irrigui di SMART AGROWETLANDS, migliorandone la coerenza con i principi dell'agricoltura di precisione.

During the project, the effectiveness of the irrigations recommended by SMART AGROWETLANDS, was monitored through the well-being of the crops growing in the experimental area.

Ad hoc drone footage, taken in thermal infrared, and satellite images were used, both of Landsat 8 and Sentinel 2, available, free of charge, in bands of various wavelengths. As far as the satellite images are concerned, by selecting the appropriate bands, maps of vegetational indices and evapotranspiration maps were prepared, at various dates of the 2019 growing season (figure 14). Analyzing these maps, the internal heterogeneity of the plots is evident, both as regards the well-being and the development of the crop, both as regards the thermal conditions, which depend, in turn, from transpiration and, therefore, from the availability of water for cultivation. This, despite that the irrigation treatment was the same throughout the overall plot. An improvement in the application of the SMART AGROWETLANDS System lies, therefore, in the ability to recognize homogeneous areas, even within a given plot, rather than in managing irrigation, taking in account only the boundaries of the plots.

Satellite images represent, therefore, a valid and cheap tool, to use systematically, to better define the spatial pattern which the SMART AGROWETLANDS irrigation suggestions are applied, improving its consistency with the principles of precision irrigation.

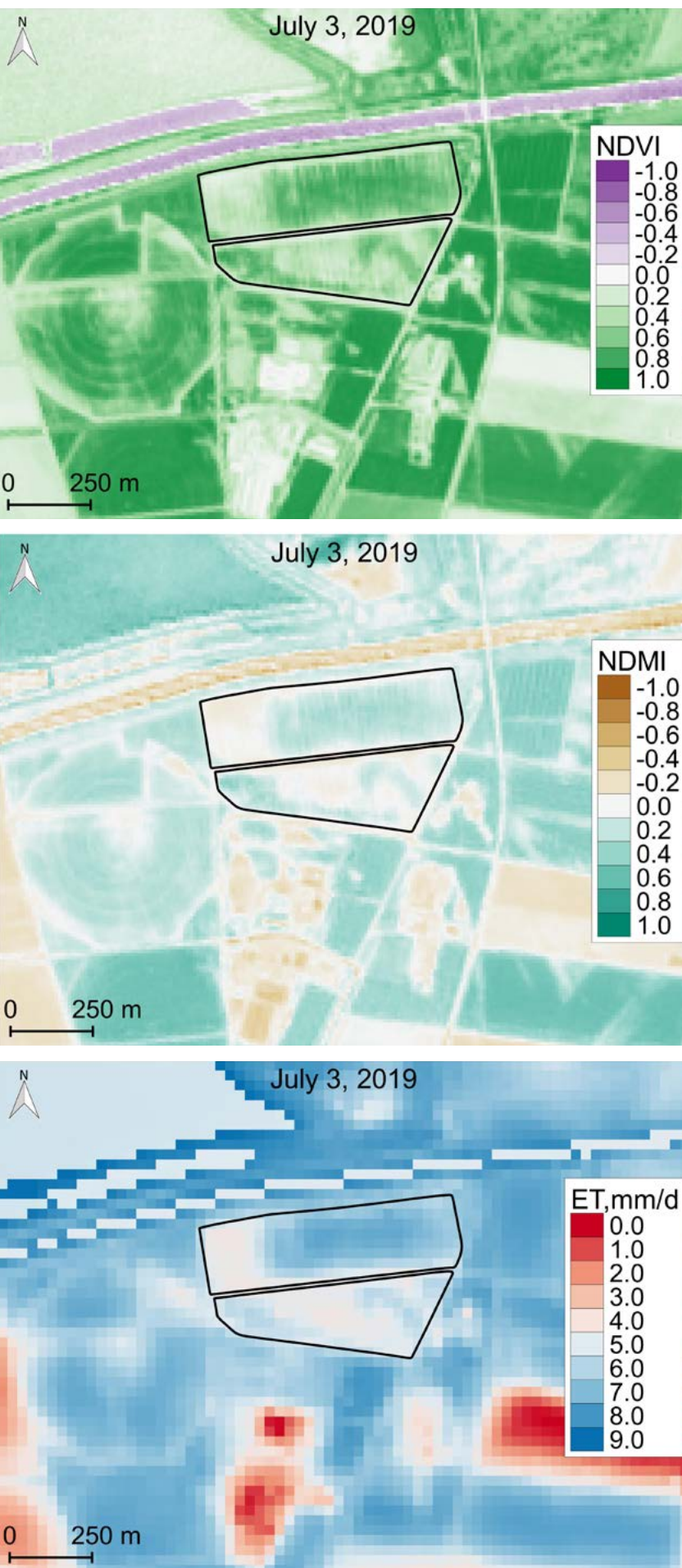


Figura 14 - Mappa dell'indice NDVI, dell'indice NDMI e dell'evapotraspirazione per l'area sperimentale di LIFE AGROWETLANDS II, alla data del 3 luglio 2019. L'indice NDVI dà una rappresentazione della copertura e del vigore della vegetazione. L'indice NDMI rappresenta la quantità di acqua nelle foglie, laddove è presente una copertura vegetale. L'evapotraspirazione più o meno intensa indica maggiore o minore disponibilità di acqua per la vegetazione e quindi maggiore o minore attività fotosintetica e produzione di biomassa.

Le mappe di NDVI e di NDMI sono state ottenute da Sentinel2 (risoluzione 20 m). La mappa di evapotraspirazione è stata ottenuta da Landsat8 (risoluzione 100 m).

Si possono notare evidenti differenze di sviluppo e vigore, di quantità di acqua all'interno dei tessuti, di evapotraspirazione, anche all'interno di uno stesso appezzamento (è evidenziata, ad esempio, l'area sperimentale 2019), oggetto della medesima cura colturali e del medesimo apporto di acqua irrigua. Le differenze rilevate dipendono presumibilmente da eterogeneità nell'ambiente di sviluppo della coltura (suolo, profondità della falda e qualità dell'acqua), di cui è opportuno tenere presente anche ai fini di una gestione differenziata dell'irrigazione.

Figure 14 - Map of the NDVI index, the NDMI index and evapotranspiration for the experimental area of LIFE AGROWETLANDS II, as of 3 July 2019. The NDVI index represents the coverage and vigor of the vegetation. The NDMI index represents the amount of water in the leaves, where there is a plant cover. More or less intense evapotranspiration indicates greater or lesser availability of water for the vegetation and therefore greater or lesser photosynthetic activity and biomass production. NDVI and NDMI maps were obtained from Sentinel2 (20m resolution). The evapotranspiration map was obtained from Landsat8 (resolution 100 m).

It is possible to notice evident differences in development and vigor, in the amount of water inside the tissues, in evapotranspiration, even within the same plot (for example, the 2019 experimental area is highlighted), subject to the same cultural treatments and the same amount of irrigation water. The differences found presumably depend on heterogeneity on the environment where the crop develop (soil, groundwater depth and groundwater quality), which should also be kept in mind for a differentiated irrigation management.

8. CONCLUSIONI

CONCLUSIONS

Con la realizzazione del Sistema SMART AGROWETLANDS e una sua prima applicazione negli appezzamenti del partner Agrisfera, gli obiettivi primari del progetto sono stati raggiunti.

L'applicazione del Sistema in Spagna, in una situazione climaticamente e culturalmente diversa da quella italiana, anche riguardo alla gestione dell'irrigazione, ha evidenziato l'esistenza di molteplici realtà in ambito europeo, riguardo al tema della salinizzazione del suolo, delle acque e del mantenimento di attività agricole nei territori che ne sono coinvolti. Pur nella limitatezza della casistica esaminata, l'esperienza condotta in Spagna, anche a detta degli agricoltori locali, ha confermato che un monitoraggio accurato dei parametri critici è, comunque, un buon investimento. Ciò si può ottenere a costi contenuti, tramite l'installazione di una rete di sensori opportunamente scelti per tipologia e posizionamento.

L'indagine socio-economica eseguita in Italia ha confermato l'esistenza di un problema (salinizzazione del suolo e delle acque superficiali e di falda) che interessa già da tempo le aree costiere e in particolare quelle di bonifica recente, cui però non è stata dedicata specifica attenzione. Gli agricoltori non dispongono, infatti, d'indicazioni mirate specificamente alla gestione di queste particolari condizioni, in particolare per quanto riguarda i consigli irrigui. SMART AGROWETLANDS può sopperire a questa mancanza, ma è necessario diffonderne l'uso, facendone intravedere i vantaggi, a fronte di un impegno non troppo gravoso nell'utilizzo del Sistema, come si è cercato di fare nel progetto, tramite la realizzazione di un portale web appositamente dedicato agli agricoltori.

Certamente, l'integrazione di SMART AGROWETLANDS con le informazioni ricavabili da immagini satellitari e la diffusione di un servizio di tecnici-consulenti per le aziende, in grado di utilizzare le tecnologie proposte, rappresentano linee da perseguire, per valorizzare i risultati del progetto.

By the SMART AGROWETLANDS System and its first application in the experimental fields of Agrisfera, the main objectives of the project have been achieved.

As far the agricultural activities in European salinized areas, the application of the SMART AGROWETLANDS System in Spain has highlighted the existence of various situations in Europe, different from the Italian one both for pedo-climatic and for cultural reasons. The Spanish experience, even in the opinion of local farmers, stressed, however, that careful monitoring of critical parameters is always a good investment. This can be achieved at low cost, by installing a network of sensors appropriately chosen by type and positioning. The socio-economic survey carried out in Italy confirmed that the salinization of the soil, surface and groundwater affects the agriculture of the Emilian coastal areas, particularly those of recent reclamation. Poor attention, however, has been reserved to the problem. Farmers do not have defined protocols to manage these particular conditions, even for the irrigation advices. SMART AGROWETLANDS can make up for this lack, but it is necessary to spread its use, giving a glimpse of its advantages, in the face of a not too heavy commitment in the use of the System. The project tried to do it, through the creation of an user-friendly web portal for farmers.

Finally, the integration of SMART AGROWETLANDS with information obtained from satellite images and the dissemination of a service of technical consultants for farms, able to use the proposed technologies, represent lines to be pursued, to enhance the results of the project.



9. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

REFERENCES

Calone R., Sanoubar R., Lambertini C., Speranza M., Vittori Antisari L., Vianello G., Barbanti L., 2020 - Salt Tolerance and Na Allocation on *Sorghum bicolor* under Variable Soil and Water Salinity. *Plants*, 9: 561.

Cipolla S. S., Maglionico M., Masina M., Lamberti A., Daprà I., 2019 - Real time monitoring of water quality in an agricultural area with salinity problems. *Environmental Engineering and Management Journal*, 18(10): 2229-2240.

Cipolla S.S., Maglionico M., Serra F., Venturi M., 2018 - Modellazione Numerica per la Gestione dei Canali di Bonifica del Comparto Idraulico Savarna-S.Alberto-Mandriole (Ravenna). IDRA 2018, XXXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Ancona 12-14 settembre 2018.

De Paz J.M., Lamberti A., Visconti F., 2020 – Efectos de la DANA de Septiembre de 2019 sobre la salinidad de los suelos y las aguas en la zona de Carrizales (Elche-Alicante). Congreso Nacional de Inundaciones Orihuela 2020, 377-387.

Foster T., Brozović N., Butler A.P., Neale C.M.U., Raes D., Steduto P., Fereres E., Hsiao T.C., 2017 - AquaCrop-OS: An open source version of FAO's crop water productivity model. *Agricultural Water Management*, 181:18-22.

Lamberti A., Masina M., Lambertini A., Borgatti L., 2018 - La Contaminazione Salina nella Fascia Costiera tra i Fiumi Reno e Lamone: l'Influenza delle Condizioni Geomorfologiche per l'Ingressione di Acqua Marina. IDRA 2018, XXXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Ancona 12-14 settembre 2018.

Lazzari G., Merloni N., Saiani D., 2020 - Flora - Punte Alberete-Valle Mandriole, Parco Delta del Po - Emilia Romagna. *Quaderni dell'Ibis*. AdV L'Arca, Ravenna.

Lazzari G., Saiani D., 2020 - Pinete costiere di Ravenna: cento anni di biodiversità. AdV L'Arca, Ravenna.

Masina M., Calone R., Barbanti L., Mazzotti C., Lamberti A., Speranza M., 2019 - Smart water and soil salinity management in agro-wetlands. *Environmental Engineering and Management Journal*, 18(10): 2273-2285.

Masina M., Lamberti A., Speranza M., 2020 - Irrigazione smart per suoli salini. *Terra e Vita*, 16: 48-50.
<https://terraevita.edagricole.it/nova/nova-irrigazione/irrigazione-smart-per-i-suoli-salini/>

Masina M., Lambertini A., Daprà I., Mandanici E., Lamberti A., 2020 - Remote Sensing Analysis of Surface Temperature from Heterogeneous Data in a Maize Field and Related Water Stress. *Remote Sensing*, 12: 2506.

Raes D., Steduto P., Hsiao T. C., Fereres E., 2009 - AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*, 101(3): 438-447.

Speranza M., Tavelli E., Mazzotti C., Pietrobon P., Lamberti A., 2020 - Reti wireless di sensori in agricoltura. *Ecoscienza*, 2: 32-34.

Steduto P., Hsiao T. C., Raes D., Fereres E., 2009 - AquaCrop - The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3): 426–437.

Steduto P., Hsiao T. C., Fereres E., Raes D., 2012 - Crop yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper N. 66. Roma, Italia.

Visconti F., de Paz J. M., Rubio J. L., Sánchez J., 2011 – SALTIRSOIL: A simulation model for the mid to long-term prediction of soil salinity in irrigated agriculture. *Soil Use and Management*, 27(4): 523-537.

Vittori Antisari L., Speranza M., Ferronato C., De Feudis M., Vianello G., Falsone G., 2020 - Assessment of Water Quality and Soil Salinity in the Agricultural Coastal Plain (Ravenna, North Italy). *Minerals* 10: 369.



PROJECT COORDINATOR



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

PROJECT PARTNERS



COLLABORATORS FOR REPLICABILITY IN SPAIN



www.lifeagrowetlands2.eu