AQUA

Achieving good water quality status in intensive animal production areas

LIFE09 ENV/IT/000208

VENETO AGRICOLTURA
Azienda Regionale per i settori Agricolo, Forestale e Agro-Alimentare

LIFE09 ENV/IT/000208 - AQUA

DELIVERABLE 5

AZIONE 3

RELAZIONE FINALE

Coordinatore

CRPA

Progetto Finanziato dall'Unione Europea nel Programma Life Plus Ambiente

Partner

FCSR

CRA Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura

ipla istituto per le piante da legno e l'ambiente ipla spa società controllata dalla Regione Piemonte

ERSAF Ente regionale per i servizi all'agricoltura e alle foreste

Veneto Agricoltura Azienda Regionale per i settori Agricolo, Forestale e Agro-Alimentare

ersa Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia Agenzia regionale per lo sviluppo rurale

Cofinanziatori

Regione Piemonte

Regione Lombardia

Regione Emilia-Romagna

Regione del Veneto

iren

HERA

AGCO Your Agriculture Company

AQUA

Achieving good water quality status in intensive animal production areas

LIFE09 ENV/IT/000208

VENETO AGRICOLTURA
Azienda Regionale per i settori Agricolo, Forestale e Agro-Alimentare

AZIONE 3
MISURE AGRO-AMBIENTALI PER INTERCETTARE I FLUSSI DEI NUTRIENTI DAI CAMPI COLTIVATI

LIFE09 ENV/IT/000208 - AQUA

Coordinatore

CRPA

Progetto Finanziato dall'Unione Europea nel Programma Life Plus Ambiente

Partner

FCSR · CRA Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura · ipla istituto per le piante da legno e l'ambiente ipla spa società controllata dalla Regione Piemonte · ERSAF Ente regionale per i servizi all'agricoltura e alle foreste · Veneto Agricoltura Azienda Regionale per i settori Agricolo, Forestale e Agro-Alimentare · ersa Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia Agenzia regionale per lo sviluppo rurale

Cofinanziatori

Regione Piemonte · Regione Lombardia · Regione Emilia-Romagna · Regione del Veneto · iren · HERA · AGCO Your Agriculture Company

Progetto Finanziato dall'Unione Europea nel Programma Life Plus Ambiente
Organismo responsabile dell'informazione: **Veneto Agricoltura**
Coordinatore: **Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. S.p.A.**

Coordinamento per il Veneto: Arduin M., Sartori A. - *Veneto Agricoltura*

Pubblicazione edita da:
Veneto Agricoltura
Azienda Regionale per i Settori Agricolo, Forestale ed Agroalimentare
Viale dell'Università, 14 - 35020 Legnaro (PD)
Tel. 049 8293711 - Fax 049 8293815
e-mail: ricerca@venetoagricoltura.org
www.venetoagricoltura.org

Realizzazione editoriale:
Veneto Agricoltura
Azienda Regionale per i Settori Agricolo, Forestale ed Agroalimentare
Coordinamento editoriale:
Maurizio Arduin - *Responsabile progetti speciali, Settore Ricerca Agraria*
Federica Mazzuccato - *realizzazione grafica*
Viale dell'Università, 14 - 35020 Legnaro (PD)
Tel. 049 8293711 - Fax 049 8293815
e-mail: ricerca@venetoagricoltura.org
www.venetoagricoltura.org

È consentita la riproduzione di testi, tabelle, grafici ecc. previa autorizzazione da parte di Veneto Agricoltura, citando gli estremi della pubblicazione.

Finito nel mese di maggio 2014

INTRODUZIONE

Veneto Agricoltura è uno dei partner che per tre anni sono stati impegnati in attività dimostrative utili ad orientare le scelte dell'imprenditore agricolo nella gestione dell'azoto a scala aziendale o comprensoriale, estendibili all'universo delle aziende zootecniche.
Con il Progetto AQUA, finanziato dall'Unione Europea nell'ambito del Programma Life Plus Ambiente, Veneto agricoltura ha inteso dimostrare come ridurre l'inquinamento delle acque sotterranee e superficiali quando dovuto alla dispersione di nutrienti di origine agricola (azoto e fosforo), ottimizzando il loro utilizzo nelle aziende zootecniche.
Nelle Regioni del Nord Italia, infatti, viene allevato oltre il 70% del patrimonio zootecnico dell'intera nazione, in particolare: il 68% dei capi bovini da latte,il 61% degli altri bovini, l'85% dei capi suini e l'80% degli avicoli.
L'attività dimostrativa è stata finalizzata al superamento delle diffidenze che gli allevatori di questo bacino manifestano verso modalità di gestione degli effluenti zootecnici fondati sul Codice di Buona Pratica Agricola e sulle Migliori Tecniche Disponibili.
All'interno del progetto Life + AQUA Veneto Agricoltura è responsabile delle attività relative alle misure ambientali per intercettare i flussi dei nutrienti dai campi coltivati. Queste attività prevedono il monitoraggio di due diversi sistemi per la protezione dei corpi d'acqua in aree agricole.
Il primo consiste in una fascia tampone boscata, utilizzata per lo studio e la dimostrazione dell'efficacia di questo tipo di misura ambientale nella riduzione del carico azotato di acque contaminate dai nitrati di origine agricola.
Il secondo è un sistema di fitodepurazione a flusso superficiale che raccoglie le acque di un bacino agricolo scolante dove coesistono, in combinazione tra loro, due sistemi di drenaggio (canali a cielo aperto e tubi di drenaggio interrati) e due tipi di gestione della falda acquifera (drenaggio libero oppure controllato).
L'Azienda Pilota Diana, di Veneto Agricoltura, ha ricoperto un ruolo importante nell'attività dimostrative del progetto dato che si è voluto concentrare in quest'Azienda l'esecuzione di due attività fondamentali per la realtà agricola veneta e precisamente l'adozione di corrette pratiche gestionali ed agronomiche abbinate a innovativi sistemi di difesa della qualità delle acque come le fasce tampone.
Più in particolare si è dimostrata la praticabilità di riparti colturali caratterizzati da lunga crescita vegetativa e da elevate asportazioni di azoto, e di tecniche innovative di applicazione dei liquami in grado di ridurre l'entità di rilascio dei nitrati e, quindi, di meglio preservare la qualità della risorsa idrica. Queste azioni agronomiche dovranno interagire con l'efficacia protettiva di fasce tampone atte a ridurre il flusso dei nutrienti verso i corpi idrici recettori.

ATTIVITÀ 1:

MISURE AMBIENTALI PER INTERCETTARE GLI INQUINANTI DAI CAMPI FERTILIZZATI CON LIQUAMI ZOOTECNICI: FASCE TAMPONE

Progetto Finanziato dall'Unione Europea nel Programma Life Plus Ambiente
Organismo responsabile dell'informazione: **Veneto Agricoltura**
Coordinatore: **Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. S.p.A.**

Coordinamento per il Veneto: Arduin M., Sartori A. - *Veneto Agricoltura*
Coordinamento dell'attività sulle Fasce Tampone: Consorzio Acque Risorgive

Elaborazioni e testi:
Bruna Gumiero - *biologa, libero professionista (professore a contratto Università di Bologna)*
Bruno Boz - *biologo, libero professionista*

con la collaborazione di
Anna Polazzo - *ingegnere ambientale, libero professionista*

Foto:
Immagini degli autori dove non indicato diversamente

Ringraziamenti:
Consorzio Aque Risorgive
Azienda Diana - personale dell'azienda
Fantoni Umberto
Gasparini Franco
Peruch Ugo
Pizzin Claudia

SOMMARIO

1. FASCIA TAMPONE BOSCATA COME PROTEZIONE DEI CORPI D'ACQUA IN AREE AGRICOLE .... pag. 8

2. PIANO DI ATTIVITÀ .... » 9

3. AREA DI STUDIO .... » 10

3.1 Inquadramento territoriale .... » 10

3.2 Il sito sperimentale .... » 11

3.2.1 Struttura e dimensioni .... » 11

3.2.2 Caratteristiche pedologiche .... » 13

3.2.3 Attività colturale .... » 14

4. DEFINIZIONE DEL PROTOCOLLO DI MONITORAGGIO .... » 17

4.1 Monitoraggio delle dinamiche idrologiche .... » 17

4.1.1 Misura dell'umidità dei suoli .... » 17

4.1.2 Soggiacenza della falda .... » 17

4.1.3 Runoff .... » 17

4.1.4 Precipitazioni e dati meteo .... » 18

4.1.5 Bilancio idrologico .... » 18

4.2 Monitoraggio delle dinamiche di N .... » 19

4.2.1 Campionamento delle acque .... » 19

4.2.2 Analisi chimiche delle acque .... » 20

4.3 Allestimento del sito sperimentale .... » 20

5. RISULTATI .... » 22

5.1 Condizioni climatiche .... » 22

5.2 Idrologia .... » 22

5.2.1 Umidità dei suoli .... » 22

5.2.2 Dinamiche della falda ipodermica .... » 25

5.2.3 Quantificazione dei deflussi .... » 29

5.3 Rimozione dell'azoto .... » 30

5.3.1 Bilancio di massa .... » 33

6. CONCLUSIONI .... » 35

7. BIBLIOGRAFIA .... » 37

1. FASCIA TAMPONE BOSCATA COME PROTEZIONE DEI CORPI D'ACQUA IN AREE AGRICOLE

L'attività di monitoraggio condotta a partire dal 1999 (si veda Gumiero ***et al.***, 2011a e Gumiero ***et al.***, 2011b) nel sito sperimentale NICOLAS, posto all'interno di un ampio (30 ha) sistema tampone forestale realizzato nell'Azienda Diana gestita da Veneto Agricoltura, aveva come obiettivo prioritario quello di verificare l'efficacia nella riduzione dei nitrati di una particolare area tampone di circa 30 ha realizzata nell'ambito del "Progetto Zero (p.106) dal locale Consorzio di Bonifica Acque Risorgive".
Le "particolarità" di questo sistema tampone, rispetto alle fasce tampone tradizionali, vengono riportate di seguito:

- il **sistema presenta un funzionamento "inverso"**, in quanto gli inquinanti non vengono intercettati nel loro passaggio fra la fonte (aree agricole) ed il corpo idrico, ma sono già presenti nel corpo idrico (fiume Zero) e vengono da lì riportati con un sistema di pompaggio nell'area tampone forestale per essere trattate; le acque depurate tornano poi al corpo idrico;
- a differenza delle fasce tampone tradizionali, i **deflussi idrici** veicolati in questo sistema tampone, vengono completamente **gestiti** grazie alla presenza di un sistema di pompaggio regolabile che funziona in continuo (ad eccezione dei mesi invernali). Ciò permette la creazione di un acquifero artificiale sospeso che garantisce **una costante e continua saturazione dei suoli,** ideale per i processi di denitrificazione;
- il **tipo di deflussi** che si genera all'interno dei suoli di quest'area boscata, risulta molto **prevedibile e regolare** rispetto ai sistemi naturali, grazie alla presenza di un sistema di scoline ed alla particolare sistemazione che è stata conferita agli appezzamenti in fase di allestimento del sito;
- il **carico inquinante immesso, risulta anch'esso molto costante e regolare** e non ha quindi un andamento a picchi.

Se da un lato quindi l'attività di monitoraggio condotta ha permesso di dare risposte molto chiare sull'efficacia di rimozione e sull'interpretazione dei processi e dei fattori implicati in questo particolare sistema filtro forestale, **la loro validità generale è solo parzialmente estendibile a sistemi tampone diretti** (frapposti fra la potenziale fonte inquinante, il campo, e il corpo idrico recettore) e non gestiti in termini idrologici come quelli realizzati in altre particelle dell'Azienda Diana.

Tali sistemi tampone "tradizionali" si differenziano da quello monitorato per:

- l'**assenza di un deflusso sub-superficiale costante generato dal sistema irriguo** che defluisca dalle aree agricole attraverso il sistema tampone; tali condizioni, in assenza del sistema di pompaggio sopra descritto e laddove non sia presente una falda freatica superficiale, si verranno a creare solo occasionalmente ed in dipendenza da particolari condizioni climatiche. Questo comporterà, in generale, una forte **alternanza di condizioni di saturazione e non saturazione** nei suoli, con conseguenti variazioni nell'andamento dei processi implicati nella rimozione dei nitrati;
- l'assenza di un sistema di scoline di irrigazione e raccolta, con la conseguente impossibilità di controllo del tipo di deflussi generati, e la **necessità di comprendere a fondo l'idrologia nel sistema** suolo-vegetazione in condizioni naturali (quantificazione del deflusso sub-superficiale, del runoff, della lisciviazione profonda ecc…);
- la presenza di un **carico inquinante** attraverso la fascia tampone, **molto irregolare e con andamento a picchi,** in dipendenza dalle lavorazioni in atto nelle aree agricole limitrofe e dalle condizioni idrologiche;

Obiettivi specifici:

- **monitorare in parallelo l'efficacia di due fasce tampone arborate (bifilari)**, pertinenti a 2 "indicator" plots. Il primo (Campo 1) è stato gestito secondo le consuete pratiche aziendali (no deroga), mentre nel secondo sono state adottate tecniche colturali migliorative/innovatiove (deroga) (vedi azione due di questo progetto LIFE+ AQUA);
- **comprendere e descrivere i principali** processi in atto e le **dinamiche idrologiche** al fine di fornire eventuali **indicazioni operative** per il miglioramento di tali sistemi.

2. PIANO DI ATTIVITÀ

Al fine del conseguimento degli obiettivi sopra descritti sono state effettuate le seguenti fasi progettuali:

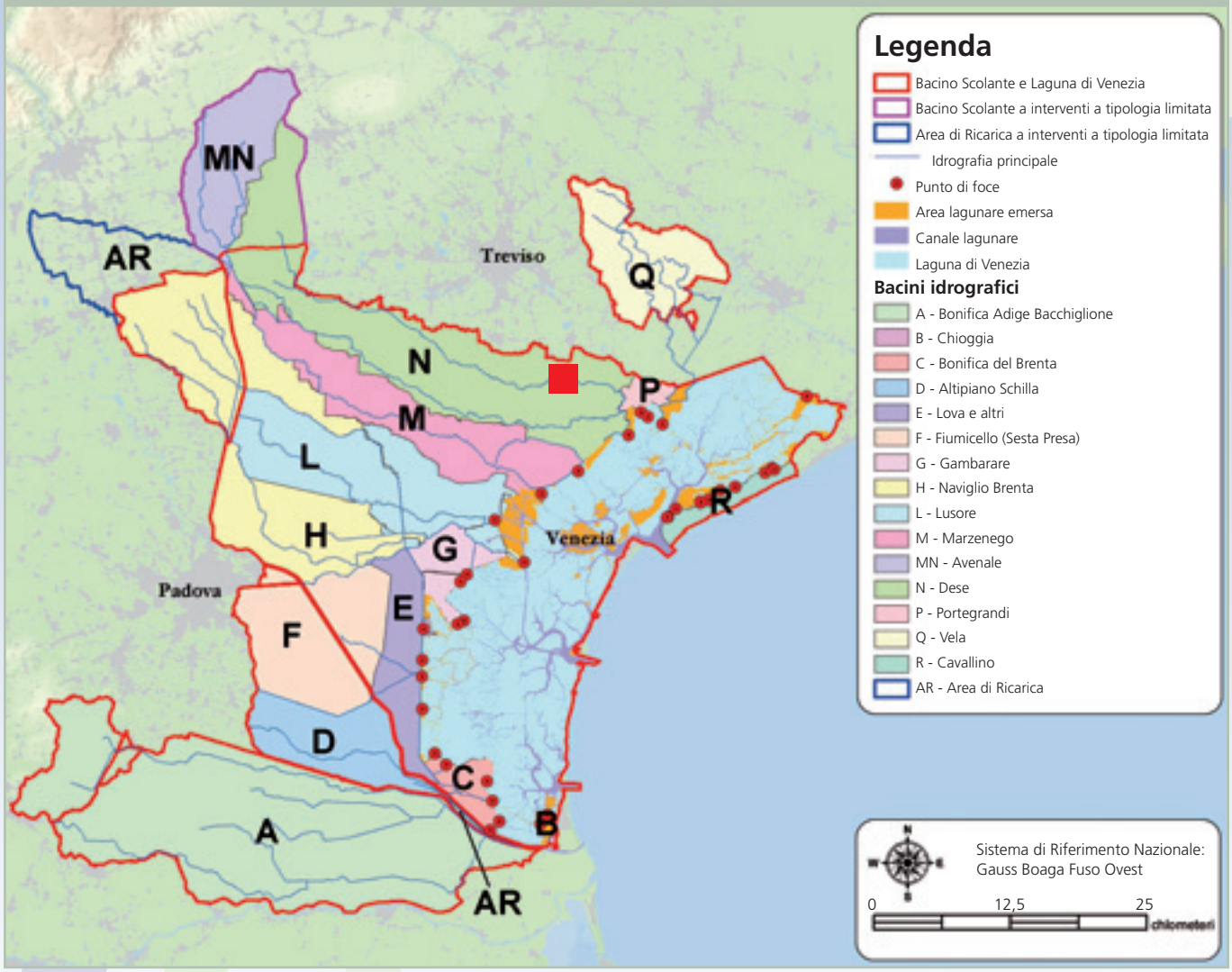
- ***Fase 1:*** definizione del **protocollo di monitoraggio**, contenente la descrizione dettagliata della frequenza e della tipologia dei rilievi analitici da effettuare e le indicazioni su eventuali adattamenti da realizzare al sito sperimentale funzionali alla sperimentazione (scelta e collocazione della strumentazione).
- ***Fase 2:*** **allestimento del sito sperimentale** e messa in loco delle attrezzature: installazione della rete piezometrica e di lisimetri a suzione con coppa porosa, installazione di sonde per il rilevamento in continuo di parametri del suolo (FDR: contenuto volumetrico di acqua nel suolo) e installazione di apposita strumentazione per la misura dei deflussi superficiali (Runoff).
- ***Fase 3:*** **formazione e consulenza ai tecnici di Veneto Agricoltura** per la raccolta dei campioni sia d'acqua che di suolo secondo il protocollo definito.
- ***Fase 4:*** **raccolta dati, analisi di campo e di laboratorio.** Costituisce la fase operativa vera e propria e comprende: campionamento e consegna delle acque prelevate dalla rete piezometrica, dai lisimetri a suzione e dalle scoline; misure chimico-fisiche sui campioni di suolo.
- ***Fase 5:*** **elaborazione dei dati** raccolti, analisi critica e discussione dei risultati emersi.

3. AREA DI STUDIO

3.1 Inquadramento territoriale

Il sito sperimentale è posto all'interno dell'Azienda Pilota e Dimostrativa "Diana", situata nel Comune di Mogliano Veneto (TV) e gestita da Veneto Agricoltura.
L'azienda è completamente pianeggiante, con un'altezza media di 5 metri s.l.m., prevalentemente a scolo naturale, e presenta appezzamenti sistemati alla ferrarese, delimitati longitudinalmente da scoline sversanti in capofossi. I terreni sono di medio impasto con tendenza all'argilloso. La superficie territoriale aziendale è pari a circa 133 ettari di cui 120 SAU. Lo scopo principale dell'azienda è quello di testare e mettere a punto tecniche innovative e consentirne il trasferimento in ambito agricolo e forestale. Al fine di perseguire questo obiettivo l'azienda viene utilizzata essenzialmente per sperimentazioni finalizzate al trasferimento dell'innovazione che riguarda tecniche di agricoltura sostenibile a basso impatto per l'ambiente naturale (Veneto Agricoltura 2011).

Figura 1 – Localizzazione dell'area sperimentale (quadrato rosso) all'interno del Bacino idrografico del Fiume Dese (cartografia ARPAV) e sua ubicazione rispetto al Bacino scolante della Laguna di Venezia.



3.2 Il sito sperimentale

3.2.1 Struttura e dimensioni

Per l'installazione dei siti di monitoraggio (45°34'51"N e 12°18'40"E) sono state scelte due fasce tampone bifilari attigue collocate tra un campo coltivato ed una scolina di drenaggio (Figura 2). Le due fasce tampone hanno un sesto di impianto simile ma di diversa lunghezza (200 metri e 70 metri rispettivamente per campo 1 e 2), mentre l'ampiezza è complessivamente di circa 11 metri dati dalla combinazione di:

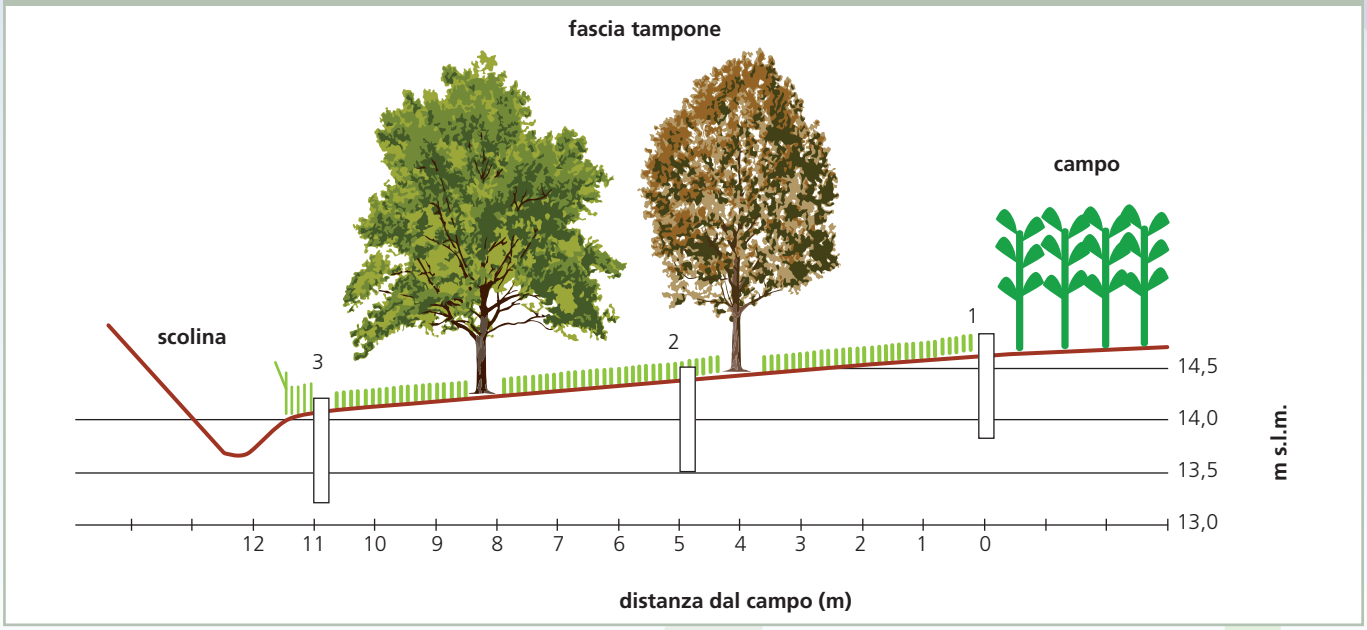
- una fascia erbacea gestita (parzialmente a terreno nudo), posta tra il campo coltivato ed il primo filare arboreo, che viene utilizzata per il passaggio dei mezzi impiegato nello svolgimento delle abituali attività agricole e per le operazioni di gestione della fascia tampone (potature laterali, taglio dell'erba). L'ampiezza è di 3,5 m;
- un bifilare arboreo-arbustivo (per gli aspetti forestali si veda la descrizione in seguito); la distanza fra i 2 filari è di 4m;
- un'ulteriore fascia erbacea gestita, di ampiezza 3 metri che divide il filare esterno dalla limitrofa scolina di drenaggio (Figura 3).

La sistemazione dei terreni è "alla ferrarese", con una baulatura che origina una linea di colmo (parallela alla direzione di lavorazione) e due falde con pendenza dell'1-3% e dirette verso le scoline laterali; una leggera baulatura è stata conferita anche verso le testate. La differenza di quota fra l'estremo Nord del campo e quello sud è di 44 cm. Le fasce tampone sperimentali sono poste in direzione Nord-Sud.

Considerando le pendenze in gioco, si può ipotizzare che verso la fascia tampone sperimentale drenino poco meno del 50% delle acque provenienti dai campi coltivati, che complessivamente sono larghi 26 m, lunghi 200 m (campo 1 non deroga) e 74 m (campo 2 deroga).

Figura 2 – Vista ortografica dei due siti di monitoraggio: campo 1 (non deroga) e campo 2 (deroga).

Figura 3 – Sezione trasversale delle fasce tampone sperimentali.



Per la realizzazione dell'impianto arboreo-arbustivo è stato utilizzato un sesto d'impianto adatto a terreni argillosi e poco drenanti con funzionalità prevalente di tipo ambientale (Figura 4 e Figura 5). La formazione arboreo/arbustiva lineare a due filari è stata messa a dimora nel 2004 ed è composta da: due specie arboree ad alto fusto (*Fraxinus excelsior, Quercus robur*) e due a ceppaia (*Acer campestre e Carpinus betulus*) alternate da essenze arbustive quali: *Crategus monogina, Corylus avellana, Euonymus europaeus, Ligustrum vulgare e Prunus spinosa*. La distanza fra i filari è di 4 metri mentre la distanza inter-fila è di 1,5 m. In termini gestionali viene effettuata periodicamente una potatura laterale.

Figura 4 – Vista della fascia tampone sperimentale e del campo 1 (non deroga).

Figura 5 – Vista della fascia tampone sperimentale e del campo 2 (deroga).

3.2.2 Caratteristiche pedologiche

Il profilo del suolo descritto ricade nelle depressioni dell'antica pianura alluvionale (tardiglaciale) del Brenta (unità cartografica ZRM1) costituite prevalentemente da argille e limi (Tabella 1) ("Carta dei suoli del bacino scolante in laguna di Venezia", ARPAV 2004).

In prossimità del sito sperimentale detto CAMPO 1 (non deroga) è stato effettuato e descritto a maggio 2011 (da ARPAV) un profilo pedologico con lo scavo di una trincea profonda 160 cm. Il suolo è caratterizzato da granulometria fine e dalla presenza di un orizzonte calcico in profondità. In particolare è possibile distinguere un orizzonte superficiale di 30 cm (*Ap1*) di colore bruno oliva, a tessitura franco limoso argillosa (Tabella 1), scarsamente calcareo e alcalino con permeabilità stimata moderatamente alta, uno strato sottostante fino a 100 cm di profondità (*Ap2 e 3+BC*) con caratteristiche simili ma con una colorazione più chiara e una permeabilità stimata moderatamente bassa. Al di sotto si trovano due orizzonti di spessore di circa 25 cm (*Chg1*) e 35 cm (*Ckg2)*, di colore grigio verdastro chiaro con molte screziature grigie e bruno giallastre, franco limoso argilloso, calcareo e fortemente alcalino, caratterizzato dall'accumulo di carbonato di Ca e Mg che crea concrezioni irregolari di colore chiaro a cui si aggiungono concentrazioni più o meno elevate di ferro e manganese. In termini tessiturali la percentuale di argilla sale fino al 33,9% e 48,8% rispetto al 21,2% dello strato soprastante. Il suolo in generale presenta una profondità utile alle radici moderatamente elevata, limitata da orizzonti idromorfi, drenaggio mediocre e permeabilità bassa.

Tabella 1 – Tabella riepilogativa delle caratteristiche chimico-fisiche dei diversi orizzonti di suolo rilevate l'undici maggio 2011 nell'area sperimentale – Fonte ARPAV.

Oriz	Lim. sup.	Lim. inf.	Sab. tot.	Limo tot.	Arg.	pH	Carbonati tot.	Calc. att.	C org.	P ass.	CSC	Ca sc.	Mg sc.	K sc.	TSB
	cm	cm	%	%	%		%	%	%	mg/kg	meq/ 100g	meq/ 100g	meq/ 100g	meq/ 100g	%
Ap1	0	30	18,0	64,7	17,3	8,5	10	3	1,1	15	17,2	15,0	1,7	0,3	99
Ap2	30	50	19,3	63,6	17,1	8,5	8	3	0,9	23	16,8	14,5	1,8	0,3	98
Ap3	50	70	22,7	61,6	15,7	8,4	9	3	0,8		14,9	12,5	2,4	0,2	100
BC	70	100	13,9	64,9	21,2	8,5	14	6	0,8		17,8	13,5	4,1	0,2	100
Ckg1	100	125	4,0	62,1	33,9	8,5	28	13	0,4		36,3	34,4	6,5	0,2	100
Ckg2	125	160	4,5	46,7	48,8	8,4	16	5	0,5		36,5	18,0	11,5	0,4	82

©2003-2007 ARPAV Castelfranco V.to (TV) 11/mag/2011 10.46

Sigla: VAR2P0024

Ricollegamento UTS: SD01 MOG1
Grado di ricollegamento: osservazione correlata

Località: Bonisiolo
Comune: Mogliano Veneto (TV)

Materiale parentale: sedimenti fluviali, depositi di piena a bassa energia limosi
Substrato: sedimenti fluviali, depositi di piena a bassa energia argillosi
Pietrosità: 0% ghiaia 0% ciottoli 0% pietre
Rocciosità: assente
Aspetti superficiali: coltura o inerbimento in atto
Falda: assente
Drenaggio: lento
Permeabilità: bassa
Uso del suolo: latifoglie
Rilevatori: Francesca Ragazzi, Adriano Garlato, Luca Rigato
Data di descrizione: 28/02/2011

Classificazione

Soil Taxonomy (KEYS 2010): Oxyaquic Eutrudepts fine-silty, mixed, mesic
WRB (2006): Endogleyic Calcisols (Orthosiltic)

Descrizione del profilo ad opera di ARPAV Treviso:

Ap1: (0-30 cm), colore di massa bruno oliva (2.5Y4/3); umido**; tessitura franco limosa**; scheletro assente; struttura principale poliedrica subangolare media, moderata, struttura secondaria poliedrica subangolare fine, moderata; friabile (umido), fragile (umido); comuni noduli di ferro e manganese medie; pori fini comuni e grandi comuni; poche radici medie e poche molto fini; effervescenza violenta; limite chiaro lineare. Densità apparente: 1,31 g/cm^3. Permeabilità moderatamente alta (Ksat stimata= 9,276 mm/h).

Ap2: (30-50 cm), colore di massa bruno oliva chiaro (2.5Y5/4); umido; **tessitura franco limosa**; scheletro assente; struttura principale poliedrica subangolare media, moderata; friabile (umido), fragile (umido); pori fini comuni; poche radici grossolane e poche medie; effervescenza violenta; limite chiaro lineare. Densità apparente: 1,60 g/cm^3. Permeabilità moderatamente bassa (Ksat stimata = 0,943 mm/h).

Ap3: (50-70 cm), colore di massa bruno oliva chiaro (2.5Y5/4); molte screziature di colore bruno scuro (7.5YR4/4) piccole e molte screziature grigio brunastro chiaro (2.5Y6/2) piccole; umido; **tessitura franco limosa**; scheletro assente; struttura principale poliedrica subangolare media, debole; resistente (umido), fragile (umido); comuni concrezioni di carbonati di Ca e Mg medie e comuni noduli di ferro e manganese medie; pori fini comuni; poche radici medie; effervescenza violenta; limite chiaro ondulato. Densità apparente: 1,61 g/cm^3. Permeabilità moderatamente bassa (Ksat stimata = 1,136 mm/h).

BC: (70-100 cm), colore di massa bruno oliva chiaro (2.5Y5/3); molte screziature di colore grigio brunastro chiaro (2.5Y6/2) piccole e molte screziature bruno giallastro (10YR5/6) piccole; umido; **tessitura franco limosa**; scheletro assente; struttura principale poliedrica subangolare media, debole; resistente (umido), fragile (umido); comuni concrezioni di carbonati di Ca e Mg medie; pori fini comuni; poche radici medie e poche molto fini; effervescenza violenta; limite abrupto lineare. Densità apparente: 1,62 g/cm^3. Permeabilità moderatamente bassa (Ksat stimata = 1,402 mm/h).

Ckg1: (100-125 cm), colore di massa grigio verdastro chiaro (10Y7/1); molte screziature di colore bruno giallastro (10YR5/6) piccole; umido; tessitura franco limoso argillosa; scheletro assente; struttura principale assente (orizzonte massivo); resistente (umido), fragile (umido); frequenti concentrazioni soffici di carbonati di Ca e Mg medie e frequenti concrezioni di carbonati di Ca e Mg grossolane e concentrazioni soffici di ferro e manganese comuni medie; pori fini comuni; poche radici medie e poche molto fini; effervescenza violenta; limite chiaro lineare. Densità apparente: 1,53 g/cm^3. Permeabilità moderatamente bassa (Ksat stimata = 1,683 mm/h).

Ckg2: (125-160 cm), colore di massa grigio verdastro chiaro (10GY7); molte screziature di colore giallo bruno (10YR6/6) medie; umido; tessitura argilloso limosa; scheletro assente; struttura principale assente (orizzonte massivo); molto resistente (umido), deformabile (umido); frequenti concentrazioni soffici di carbonati di Ca e Mg medie e comuni concrezioni di carbonati di Ca e Mg grossolane e concentrazioni soffici di ferro e manganese poche medie; pori fini comuni; poche radici molto fini; effervescenza violenta; limite sconosciuto. Densità apparente: 1,53 g/cm^3. Permeabilità moderatamente bassa (Ksat stimata = 0,034 mm/h).

3.2.3 Attività colturale

Le due fasce tampone prese in esame sottendono una ad un campo coltivato con tecniche tradizionali ed una ad un campo in cui è stato adottato un protocollo operativo in deroga finalizzato alla riduzione delle perdite di nutrienti (azoto e fosforo) secondo lo schema seguente:

Campo 1 NON DEROGA
fase di pre-semina: distribuzione di **170 kg N/ha di liquame**;
fase di semina: distribuzione di **200 kg/ha di perfosfato** triplo ibrido: NK verde max 700 (classe FAO 700);
concimazione di copertura in sarchiatura (4-8 foglie): distribuzione di **200 kg/ha urea** (92 KgN/ha);
post trinciatura: terreno nudo.

Campo 2 DEROGA
fase di pre-semina: distribuzione di **150 kg N/ha di liquame**;
fase di semina: distribuzione di **200 kg/ha di perfosfato** triplo ibrido: NK verde max (classe FAO 700);
concimazione di copertura in sarchiatura (4-8 foglie): liquame in copertura **100 kg/ha**
post trinciatura: loiessa (cover crop).

A queste pratiche si devono aggiungere le lavorazioni e i diserbi tradizionali.
Nella Tabella 2 viene inserito tutto il ciclo colturale utilizzato nei due siti messi a confronto: deroga e non deroga e nelle foto della Figura 6 vengono evidenziati diversi momenti dello spandimento dei fertilizzanti organici.

Tabella 2 – Calendario delle attività colturali effettuate dal dott. F. Gasparini durante l'attività sperimentale dell'azione 2 (prof. Sartori).

Campo 1			
Data	**Operazione**	**AZOTO da concimazione organica**	**AZOTO da concimazione minerale**
11/04/2011	presemina	170 N kg/ha da digestato	
13/04/2011	semina mais		
01/06/2011	concimazione di copertura		92 N kg/ha da Urea 46%.
24/08/2011	raccolta mais		
24/10/2011	distribuzione liquame + aratura	170 N kg/ha da "liquame bovino da carne"	
02/04/2012	semina mais		
30/05/2012	concimazione di copertura		200 N kg/ha da Urea 46%
11/08/2012	raccolta mais		
26/10/2012	distribuzione letame + aratura	170 N kg/ha da "liquame bovino da carne"	
15/05/2013	concimazione presemina		24 N kg/ha (300 NPK kg/ha 8-24-24)
19/05/2013	semina mais		
17/06/2013	sarchiatura con concimazione		78 N kg/ha da urea 46%
02/07/2013	sarchiatura con concimazione		78 N kg/ha da urea 46%
06/09/2013	raccolta mais		

Campo 2			
Data	**Operazione**	**AZOTO da concimazione organica**	**AZOTO da concimazione minerale**
11/04/2011	presemina	170 N kg /ha da digestato	
13/04/2011	semina mais		
14/06/2011	concimazione in copertura	80 N kg/ha da digestato	
24/08/2011	raccolta mais		
13/10/2011	distribuzione liquame + semina loiessa	80 N kg/ha da "liquame bovino da carne"	
19/03/2012	loiessa in copertura	70 N kg/ha da "liquame bovino da carne"	
15/05/2012	raccolta loiessa		
06/06/2012	semina mais		
10/07/2012	distribuzione liquame	60 N kg/ha da "liquame bovino da carne"	
08/10/2012	raccolta mais		
16/10/2012	distribuzione liquame	80 N kg/ha da "liquame bovino da carne"	
24/10/2012	semina loiessa		
10/06/2013	raccolta loiessa		
18/06/2013	aratura + semina mais		
19/08/2013	distribuzione liquame	170 N kg/ha da "liquame bovino da carne"	
08/11/2013	raccolta mais		

Figura 6 – Le foto evidenziano diversi metodi utilizzati per lo spandimento dei liquami e del digestato. **Foto 1** e **2** carro-botte equipaggiato con due interratori profondi; **Foto 3** carro-botte equipaggiato con barra a distribuzione rasoterra vicino alla fila di mais; **Foto 4** sistema ombellicale con interratori sotto-superficiali.

4. DEFINIZIONE DEL PROTOCOLLO DI MONITORAGGIO

4.1 Monitoraggio delle dinamiche idrologiche

4.1.1 Misura dell'umidità dei suoli

Per la misura in continuo dell'umidità del suolo sono state posizionate in entrambi i siti 6 sonde (collegate ad un data logger) **FDR (Frequency Domain Reflectometry).** Inizialmente sono state utilizzate solo nel Campo 1 (da aprile 2011) ritenendo che i due siti avessero un'idrologia molto simile. Da analisi puntiformi della falda ipodermica i due siti hanno evidenziato significative differenze, di conseguenza dall'aprile 2012 sono state installate 6 sonde FDR con relativo datalogger anche nel Campo 2 (deroga).
Il dato delle sonde FDR viene espresso direttamente come umidità volumetrica e misurato attraverso la determinazione della costante dielettrica. I principali vantaggi di questo strumento, rispetto ad altre soluzioni, riguardano il fatto di offrire una misura rapida ed affidabile (1-2%), di esprimere il dato direttamente come umidità volumetrica e di permettere misure in continuo.
Per quanto concerne le profondità monitorate, le sonde nel Campo 1 sono state poste a 15, 30, 60 e 90 cm all'interno della fascia tampone tra i due filari di alberi (Figura 7) e due a 15 e 60 cm all'uscita del campo coltivato; nel Campo 2 all'interno della fascia tampone sono state installate lo stesso numero di sonde e alla stessa profondità mentre all'esterno le due sonde sono state installate a 15 e 30 cm di profondità. I dati vengono raccolti in continuo per tutto il periodo di indagine con una frequenza di 1 dato ogni 20 minuti.

Figura 7 – Fasi di posizionamento delle sonde FDR.

4.1.2 Soggiacenza della falda

Per monitorare la falda ipodermica temporanea, che si genera nelle fasi sature (autunno-inverno) e in occasione di eventi meteorici significativi, sono stati posizionati piezometri profondi 1 m, con diametro pari a 50 mm e fessurati per la loro intera estensione. Le misure della falda superficiale, quando presente, sono state rilevate durante ciascun campionamento mediante l'utilizzo di un freatimetro. Inoltre sono stati installati in entrambi i siti e in due piezometri dedicati profondi 1 m un sensore di livello (**trasduttimetro**) collegato ad un datalogger per la misura in continuo dell'altezza della falda superficiale.
Per il controllo delle oscillazioni e al fine di campionare e monitorare anche le acque della falda confinata sono stati posizionati tre piezometri aggiuntivi di lunghezza pari a 2m, di cui 2 completamente fessurati e uno fessurato solo nella porzione compresa fra 1 e 2 m; le modalità e la frequenza delle misurazioni sono le stesse descritte in precedenza.

4.1.3 Runoff

La misurazione dei volumi che defluiscono dalla zona di distribuzione alla fascia tampone attraverso deflussi superficiali (runoff) è stata possibile grazie all'utilizzo di un dispositivo appositamente progettato e realizzato (Borgatti & Peruch) (Figura 8). Questo dispositivo raccoglie le acque superficiali di una porzione del sito lunga 4 metri mediante una grondaia infissa nel terreno. Le acque raccolte dalla grondaia vengono concentrate in un pozzetto all'interno del quale una pompa di sentina pompa l'acqua all'esterno facendola prima passare per un contatore. Inoltre al fine di effettuare un campione delle acque superficiali rappresentativo dell'intero evento è stato posizionato subito dopo il contatore un dispositivo a valvola regolabile che permette di raccogliere una determinata percentuale dell'acqua pompata. Tutto il sistema viene alimentato da una batteria che a sua volta viene caricata da un pannello solare posizionato in loco.

Figura 8 – Immagine del dispositivo per la raccolta dei deflussi superficiali durante la fase di posizionamento in loco.

4.1.4 Precipitazioni e dati meteo

I dati meteo (piovosità, temperatura, evapotraspirazione ecc.) sono stati forniti da A.R.P.A.V., Centro Meteorologico di Teolo, e sono relativi alla Stazione posta all'interno della stessa Azienda Diana.

4.1.5 Bilancio idrologico

Non essendo presente una falda costante, per la determinazione del bilancio idrologico non è stato possibile utilizzare il metodo di Darcy o modelli contenenti equazioni derivanti da esso. Visto il modello concettuale sul comportamento idrologico dei suoli nei due appezzamenti – di seguito descritto – ed essendo disponibili delle misure dirette del *runoff*, il bilancio idrologico è stato calcolato con la seguente equazione:

$$D_s = P_n - ET - \Delta VWC - R$$

dove:

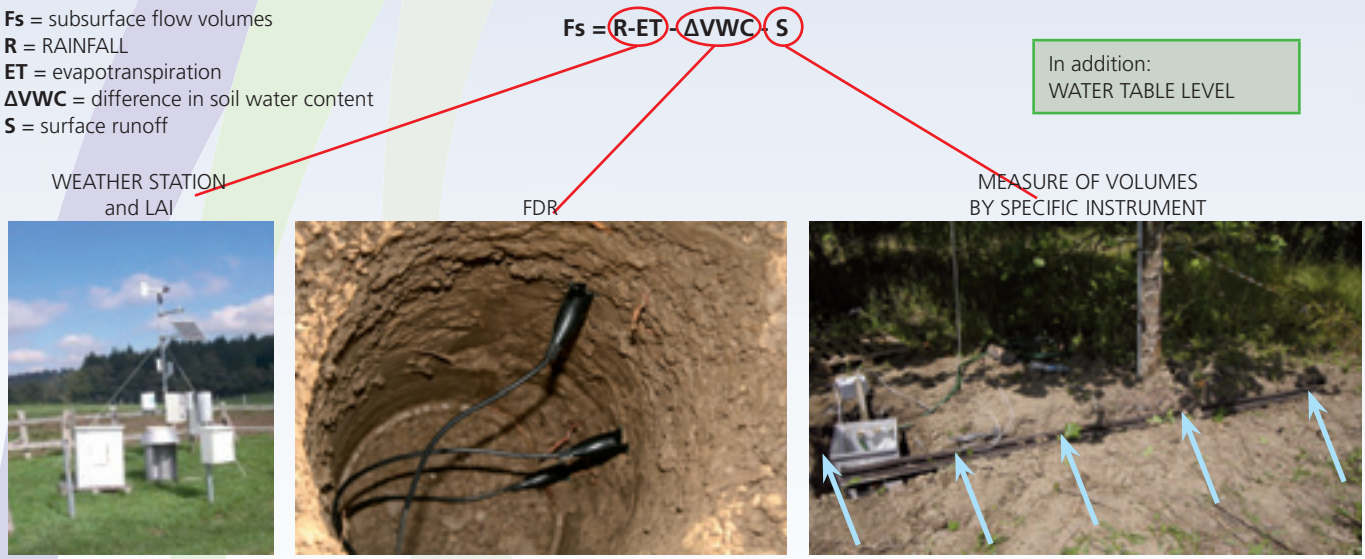
D_s = deflusso sub-superficiale

P_n = precipitazione netta al suolo

ET = evapotraspirazione effettiva

ΔVWC = differenza nel contenuto d'acqua nei suoli nell'intervallo di tempo ($V_t - V_{t-1}$)

R = deflusso superficiale (*runoff*)



Calcolo della precipitazione netta (P_n)
La precipitazione netta, che arriva realmente al suolo, è data dalla precipitazione lorda (P), misurata dagli strumenti di monitoraggio, meno la porzione di precipitazione che viene intercettata dall'apparato fogliare della vegetazione (I).
Per stimare l'aliquota di pioggia intercettata (I) è stata utilizzata la formula proposta da Von Hoyningen-Hune (1983) e Braden (1985).

Calcolo dell'evapotraspirazione effettiva (ET)
Per il calcolo dell'evapotraspirazione si è seguita la metodologia proposta da Allen *et al.* (1998), con alcune ipotesi semplificative.
L'evapotraspirazione effettiva (ET) è funzione dell'evapotraspirazione specifica della coltura (ET_c), secondo la seguente formula:

$$ET = K_s \cdot ET_c$$

dove K_s è il coefficiente di stress idrico, che è funzione della reale disponibilità di acqua nel terreno e delle caratteristiche del suolo.
L'altezza di acqua (V_t), contenuta nel suolo al tempo t, è un dato rilevato dal sistema di FDR installato al suolo.

L'evapotraspirazione colturale (ET_c) dipende dalla evapotraspirazione potenziale (ET_0) secondo un coefficiente che tiene conto dell'effetto della traspirazione della coltura e dell'evapotraspirazione dal suolo.
L'evapotraspirazione potenziale (ET_0), calcolata per una coltura di riferimento in condizioni standard viene calcolata e fornita direttamente da ARPAV.

A fronte di una valutazione sui valori assunti dalle variabili in gioco, in questo studio si è assunto, come ipotesi semplificativa, che l'evapotraspirazione della coltura (ET_c) sia uguale all'evapotraspirazione potenziale (ET_0).

4.2 Monitoraggio delle dinamiche di N

4.2.1 Campionamento delle acque

Per la raccolta dei campioni d'acqua nel suolo sono stati utilizzati gli stessi piezometri descritti per monitorare l'altezza delle falde e, in aggiunta, dei lisimetri a suzione, con coppa porosa in ceramica, che hanno permesso di campionare l'acqua del suolo anche quando non è del tutto saturo, oppure quando le condizioni di saturazione durano per periodi brevi (Figura 9). Per quanto concerne il numero e la distribuzione spaziale dei punti di campionamento si veda il successivo capitolo.
Da dicembre 2012 sono stati utilizzati dei nuovi campionatori (Figura 10) inseriti all'interno dei piezometri. Questi semplici campionatori, composti da un cordino appesantito a cui vengono fissati dei boccettini di plastica da circa 35 ml di volume, sono in grado di raccogliere le acque di deflusso ipodermico e trattenerle fino al momento del campionamento. Questo strumento risulta particolarmente utile nei periodi in cui è difficile mettere in pressione i lisimetri a suzione e il passaggio della falda temporanea nella fascia tampone è molto veloce.
Il sistema appositamente ideato per la raccolta parziale dei deflussi superficiali (vedi Runoff) permette la raccol-

Figura 9 – Posizionamento di lisimetri a sinistra, primo piano di lisimetro al centro e primo piano di piezometro a destra.

ta di un campione d'acqua integrato al fine di effettuare un'analisi anche qualitativa oltre che quantitativa di questa importante componente delle acque di deflusso.

Figura 10 – Campionatore per la raccolta delle acque da utilizzare all'interno dei piezometri.

4.2.2 Analisi chimiche delle acque

Acque

In conseguenza della sinergia che si è venuta a creare tra il Consorzio Acque Risorgive e Veneto Agricoltura le analisi sono state effettuate in due diversi laboratori: CHEMI-LAB e presso l'ARPAV di Treviso. Per un totale di campioni analizzati di 306 e 280 rispettivamente. Gli unici parametri che vengono monitorati con continuità sono: l'azoto nitrico e l'azoto totale.

Metodiche

L'azoto nitrico ($N\text{-}NO_3$) viene misurato mediante Spettrofotometria UV-VIS (UNI EN ISO 13395: 2000).

L'N totale disciolto mediante Spettrofotometria UV-VIS (APHA Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ed 21st 2005 4500-N B).

I prelievi di campioni di acque per le analisi chimico-fisiche vengono effettuati in corrispondenza delle fasi di fertilizzazione del campo coltivato e di successivi eventi piovosi durante i quali è prevedibile una movimentazione delle forme azotate. Non è possibile stabilire dei tempi standard di raccolta dei campioni poiché i deflussi in uscita dal campo coltivato sono temporanei e si formano solo in seguito ad eventi piovosi consistenti.

4.3 Allestimento del sito sperimentale

Il 24 marzo 2011 è iniziata l'installazione del sito che si è completata in data 15 giugno 2011.

Ognuno dei due "indicator" plot, è stato attrezzato con: 21 coppe porose per il prelievo delle acque di ritenzione del suolo e sottosuolo, con 9 piezometri della profondità di 1 m, uno o due piezometri di 2 m, un piezometro forato da 1 a 2 m di profondità (nel solo campo 1), un dispositivo per la determinazione ed il campionamento del run-off, 6 sonde FDR e relativo datalogger. Per tutti gli strumenti del Campo 2 si tratta di nuove installazioni mentre quelli nel Campo 1 sono stati installati per il monitoraggio inserito nel progetto "Attività di monitoraggio di fasce tampone lineari attraversate da deflussi idrici non gestiti e provenienti da aree agricole limitrofe ai corsi d'acqua (fasce tampone dirette)" del Consorzio Acque Risorgive (responsabile dott. Paolo Cornelio).

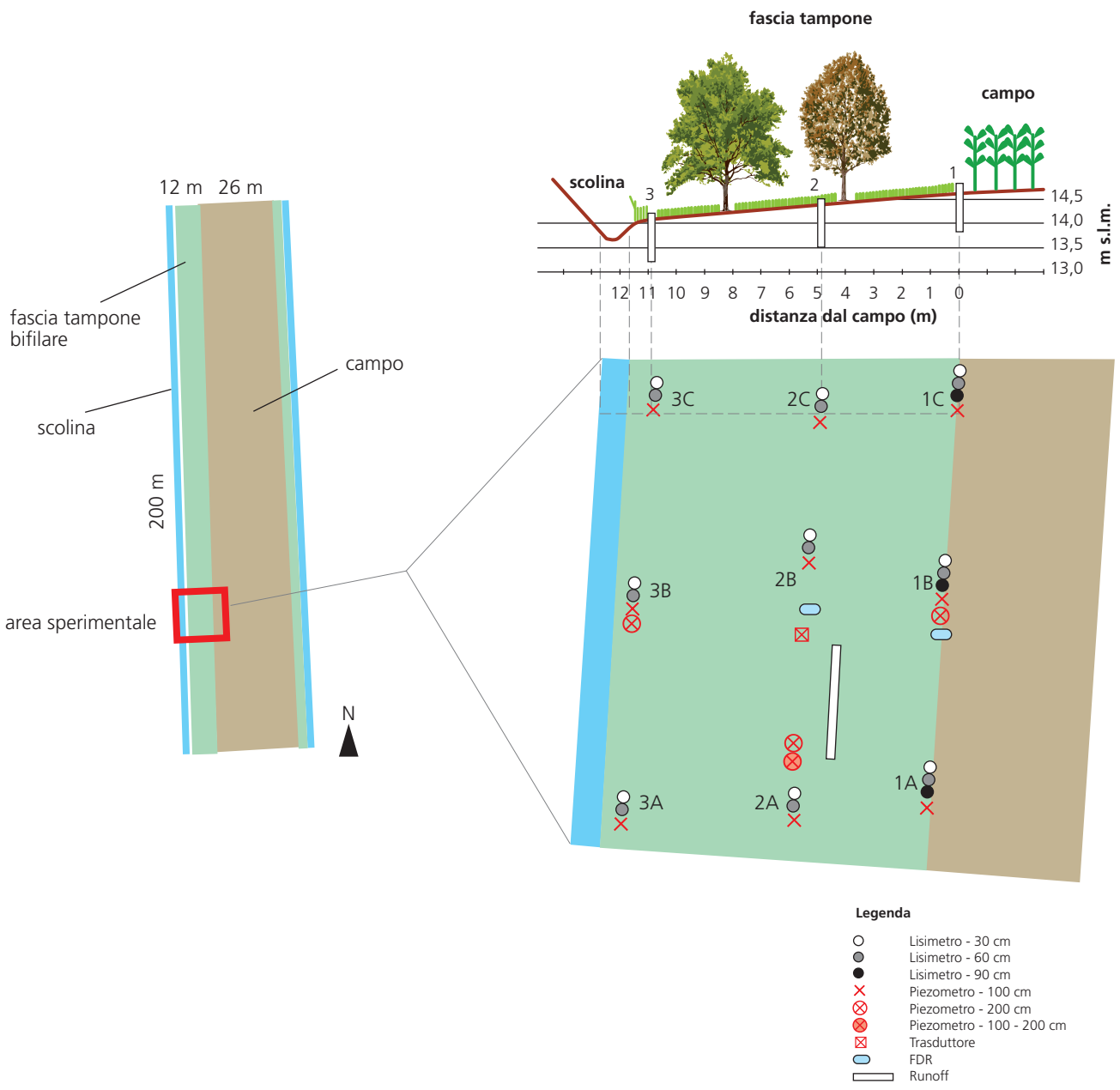
I punti di campionamento sono stati disposti lungo tre sezioni perpendicolari alla fascia tampone arborata, per ognuno dei due "indicator" plot, e disposte a distanze diverse dal campo coltivato:

- zona 1 - al confine tra il campo coltivato e l'inizio della fascia tampone;
- zona 2 - dopo la prima fila di alberi della fascia bifilare;
- zona 3 - all'uscita della fascia tampone bifilare in prossimità della scolina di drenaggio.

Ogni punto di monitoraggio viene moltiplicato per 3 repliche (a, b e c); per maggiori dettagli si veda lo schema rappresentativo riportato in Figura 11.

Ogni punto di campionamento ospitava 2 o 3 coppe porose profonde: 30 cm (solo in uscita campo), 60 cm e 90 cm ed un piezometro lungo 1 m. Da dicembre 2012 il campionatore a boccettini (Figura 10) è stato inserito nei piezometri per la raccolta delle acque.

Figura 11 – Schema della stazione di monitoraggio "CAMPO 1 non deroga", sezione trasversale sopra e visione dall'alto sotto. Lo schema del "CAMPO 2 deroga" è pressoché identico.



5. RISULTATI

Quello che fa di una siepe arborea o di una fascia erbacea un sistema tampone è la possibilità di poter intercettare i deflussi sub-superficiali provenienti dai campi limitrofi (potenziale fonte inquinante). In pratica se i deflussi, in uscita dal campo coltivato che trasportano l'eccesso di nutrienti nelle rete idrica superficiale, non defluiscono attraverso lo strato interessato dalle radici (rizosfera) della fascia tampone essa non sarà in grado di rimuovere in modo efficace i nutrienti in eccesso.
Di conseguenza nella pianificazione dei siti di monitoraggio, per valutare l'efficacia delle fasce tampone, viene sempre prestata una particolare attenzione allo studio dell'idrologia e alle condizioni climatiche.

5.1 Condizioni climatiche

5.1.1 Precipitazioni e temperature

L'andamento climatico durante i quasi tre anni di sperimentazione è risultato alquanto diversificato, si veda Figura 12. Il totale delle precipitazioni annue è stato di: 718 mm nel 2011, 756 mm nel 2012 e di 1200 mm nel 2013.
Durante il 2011 le piogge non evidenziano eventi estremi eccetto un picco di 141 mm a marzo. In particolare si può segnalare una primavera e un tardo autunno particolarmente siccitosi rispetto alle medie stagionali. Valori leggermente più elevati di pioggia rispetto alle attese sono stati registrati nei mesi di giugno e luglio.
La carenza di precipitazioni prosegue anche per tutto l'inverno e inizio primavera del 2012 per riprendere, dopo alcuni eventi significativi avvenuti nei mesi di maggio e giugno, nel periodo estivo. Dall'autunno 2012 dopo un lungo periodo di scarse precipitazioni inizia un periodo quasi ininterrotto di piogge con alcuni eventi importanti, superiori a 100 mm: uno alla fine di marzo 2013 con 143 mm distribuiti in dieci giorni e un secondo il 16 maggio 2013 con 92 mm caduti in poche ore. Le frequenti precipitazioni avvenute tra l'autunno 2012 e la primavera 2013 hanno reso la lavorazione dei terreni particolarmente difficoltosa determinando modifiche nei piani colturali previsti inizialmente.
Le temperature medie giornaliere sono sempre state superiori allo zero anche nel periodo invernale, eccetto l'inverno del 2012. Le temperature massime non evidenziano particolare differenze tra gli anni e seguono il normale andamento climatico stagionale.

5.2 Idrologia

5.2.1 Umidità dei suoli

L'analisi delle variazioni dell'umidità volumetrica dei suoli (rilevate con sonde FDR) in funzione delle precipitazioni permette una prima lettura delle dinamiche idrologiche in atto (Figura 13 e Figura 14).
I valori massimi, di umidità volumetrica che indicano la condizione di saturazione, misurati durante il periodo di studio, sono dell'ordine di 45% (Figura 13). I siti monitorati sono caratterizzati da suoli a tessitura franco-limosa con una percentuale di limo attorno al 60% e una componente di argilla del 20%; i valori risultano coerenti con quanto riportato in letteratura.
Negli strati più superficiali (15 e 30 cm) è evidente la rapida escursione positiva dei picchi di umidità a seguito degli eventi piovosi e il successivo ritorno a condizioni di umidità più ridotta dopo la perdita d'acqua per infiltrazione ed evapotraspirazione. Come da attesa, soprattutto nel periodo estivo, l'escursione risulta più marcata al bordo del campo (zona 1) (Figura 14), rispetto ai suoli all'interno della fascia tampone, a causa della maggior esposizione alla radiazione solare che determina maggiori perdite per evapotraspirazione. Da notare come nel periodo estivo, quando la copertura della vegetazione arborea diviene massima e così la sua capacità di intercettare l'acqua di pioggia, non sempre i picchi di pioggia siano in grado di generare dei picchi di umidità nello strato superficiale di suolo.
Negli strati più profondi (80-90 cm) durante le stagione fredda si evidenzia l'effetto diretto, anche se non immediato, delle precipitazioni, il quale viene poi a mancare durante la stagione estiva a causa delle perdite per evapotraspirazione che annullano l'apporto delle precipitazioni impedendo all'acqua di percolare fino a 60-90 cm. Inoltre questi strati si differenziano per la maggior escursione dei loro valori, in particolare sono da rilevare i valori minimi (circa 10% di umidità volumetrica) raggiunti in estate e prima parte dell'autunno nel 2011 e 2013. I valori massimi di umidità volumetrica, indicatori di condizioni di saturazione del suolo, sia nel 2011 che nel 2013 perdurano da dicembre a maggio anche se con alcune oscillazioni. Diversamente nel 2012 le condizioni di saturazione dello strato posto a 90 cm si protraggono per un periodo molto più breve da marzo a maggio.
In generale i due siti presentano un andamento molto simile; tuttavia il campo 2 si differenzia per valori minimi più elevati e per le minori oscillazioni nei periodi di saturazione.

Figura 12 – Andamento dei valori medi decadali della temperatura minima e massima, somma decadale delle precipitazioni durante il periodo di studio. I dati sono stati forniti da ARPAV (centro di Teolo) e provengono dalla stazione di Mogliano Veneto localizzata all'interno dell'Azienda Diana.

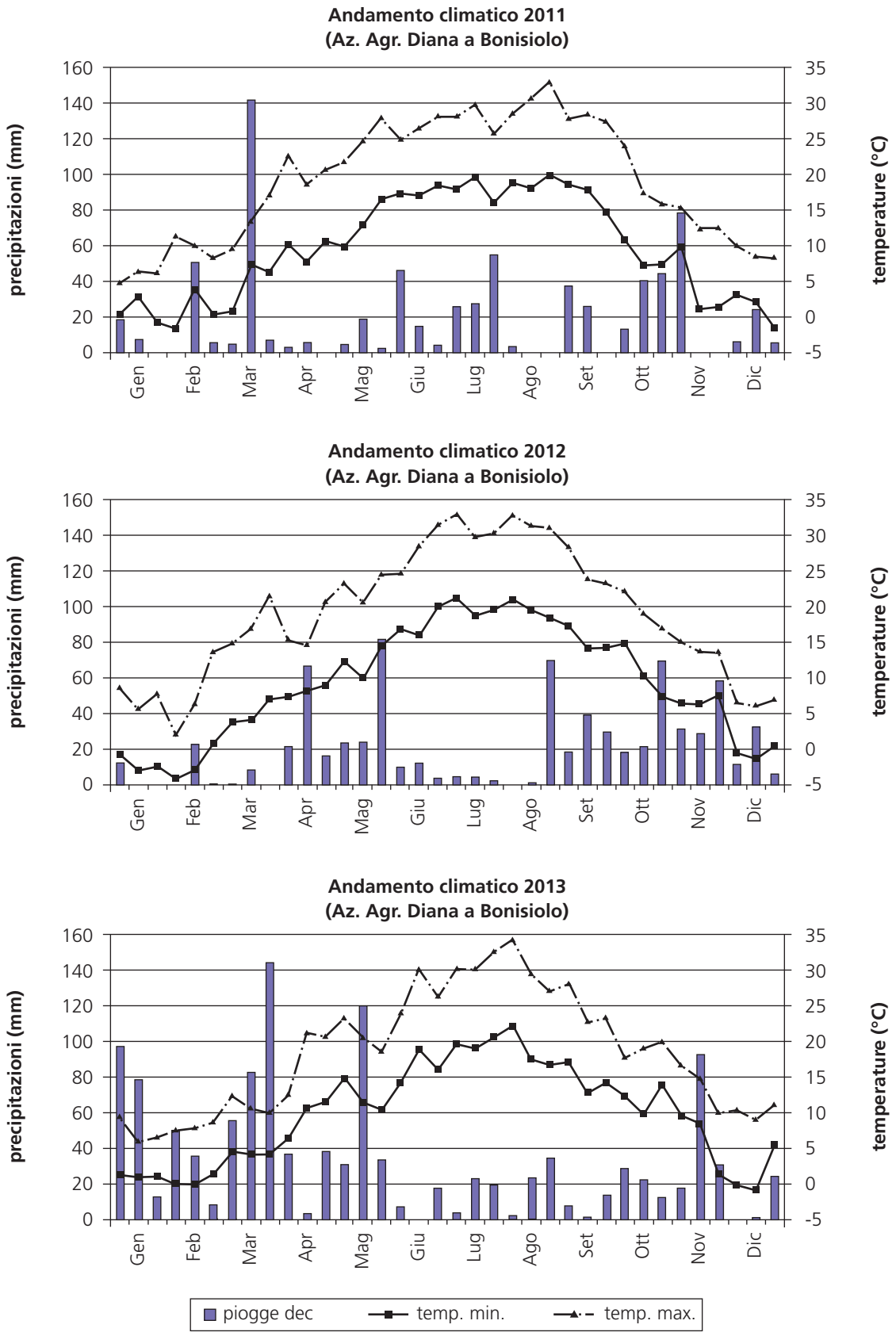


Figura 13 – Variazioni dell'umidità volumetrica dei suoli all'interno della fascia tampone, dal l8 aprile del 2011 al 31 dicembre 2013, registrata a diversa profondità nel suolo, e valori orari delle precipitazioni. I dati di umidità vengono rilevati in continuo con una frequenza di 20 minuti; nella rappresentazione qui riportata è stata effettuata una media oraria.

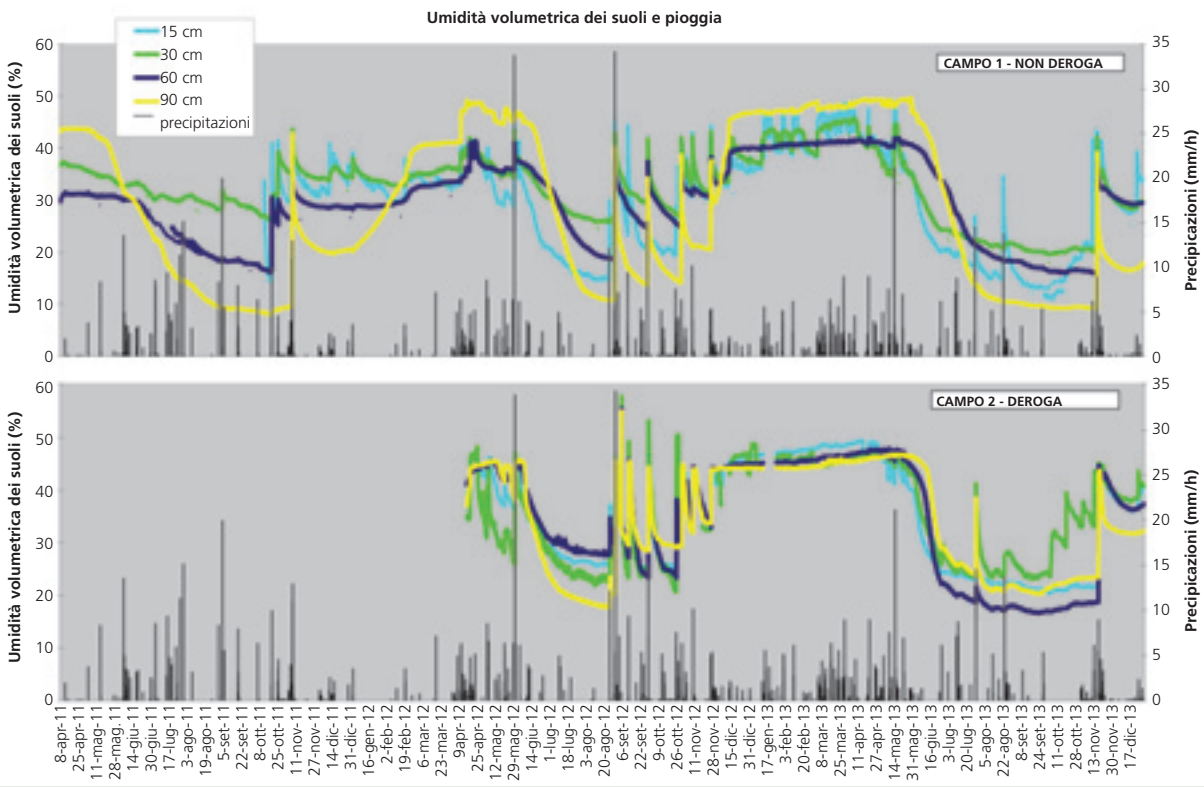
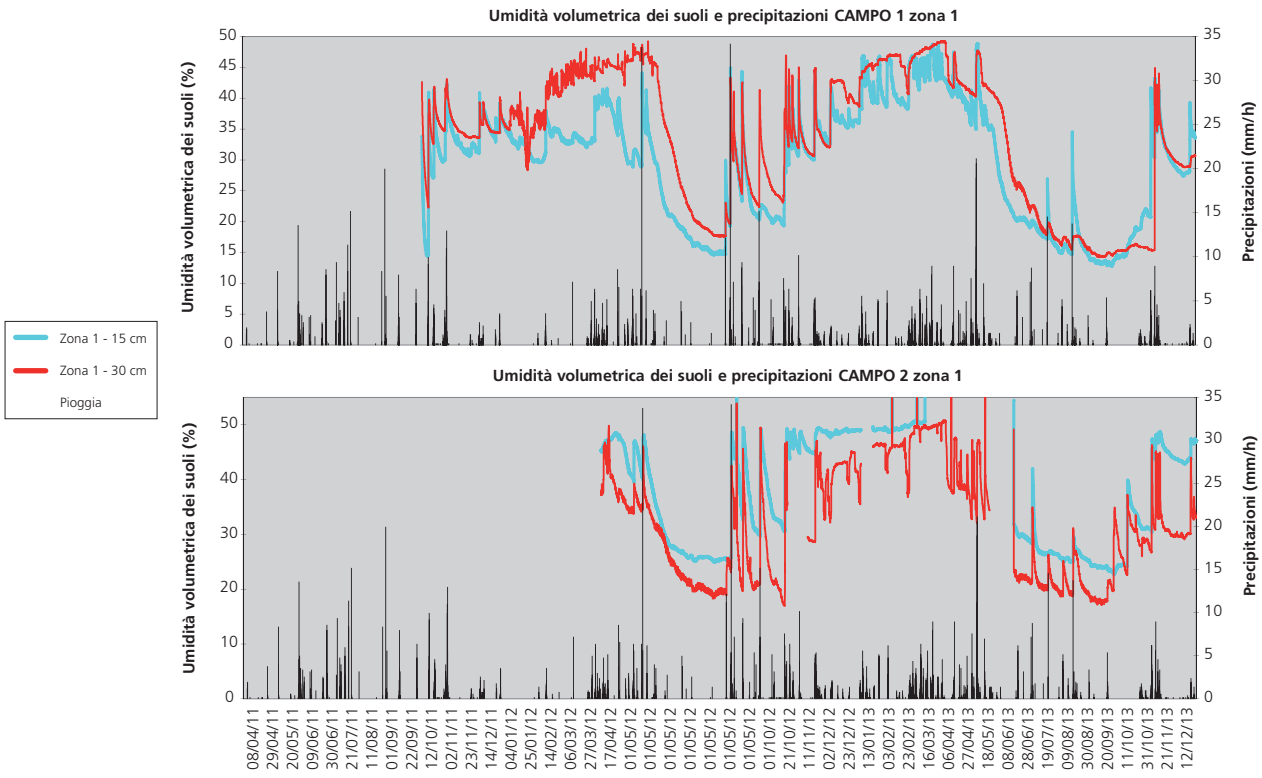


Figura 14 – Variazioni dell'umidità volumetrica dei suoli nella zona al limitare del campo con la fascia tampone, dal l8 aprile del 2011 al 31 dicembre 2013, registrata a due diverse profondità nel suolo, e valori orari delle precipitazioni. I dati di umidità vengono rilevati in continuo con una frequenza di 20 minuti; nella rappresentazione qui riportata è stata effettuata una media oraria.



5.2.2 Dinamiche della falda ipodermica

I suoli con un elevato contenuto di limo e argilla, come quello presente nell'area di studio, sono caratterizzati da dinamiche idrologiche diversificate. Durante i periodi siccitosi prolungati, accentuati dalle elevate temperature (evapotraspirazione) si formano numerose crepe, in questo caso vengono definiti suoli "permeabili per fessurazione". Quando il terreno si trova in queste condizioni le piogge, soprattutto se sono di elevata intensità, tendono a riempire le crepe e muoversi orizzontalmente al loro interno con velocità di deflusso di gran lunga superiore alla K_s (permeabilità a saturazione) calcolata in base alla tessitura. Questa tipologia di deflusso viene anche definito "**flusso preferenziale**" ed è caratterizzato da un'estrema eterogeneità (Mastrocicco *et al.* 2013). I movimenti dell'acqua in questi terreni divengono più lenti ed omogenei quando si imbibiscono e le fessurazioni si chiudono (condizioni di saturazione).

Alla luce delle sperimentazioni già effettuate all'interno della stessa azienda Diana, confermate anche durante questo monitoraggio, si è visto che i deflussi ipodermici o sub-superficiali scorrono in prevalenza su una "**soletta di lavorazione**" presente a circa 90-100 cm di profondità e sul sottostante strato a minor permeabilità presente fino a circa 150 cm. Lo strato tra i 90 e i 150 cm si differenzia per la maggior compattezza che ne riduce la permeabilità.

I **suoli superficiali** (primi 90 cm) sono interessati da condizioni di saturazione temporanei dovuti alle acque meteoriche (escluse quelle che generano runoff superficiale) che si infiltrano verticalmente nei suoli fino ad incontrare lo strato compattato (Figura 15). I movimenti di questi deflussi ipodermici vengono principalmente regolati dalla pendenza imposta ai terreni (circa 1-3%), dal campo coltivato alla scolina di drenaggio.

L'andamento delle quote piezometriche (Figura 16), durante i periodi di saturazione del suolo, evidenzia in quasi tutti i rilievi come i deflussi diretti dal campo alla scolina attraverso la fascia tampone si mantengano pressoché perpendicolari rispetto alla scolina stessa; la falda quindi defluisce interamente attraverso il sistema tampone con andamento simile a quello del piano campagna.

Nonostante la presenza di un suolo limo-argilloso molto lento, nei primi 80-90 cm di profondità i movimenti laterali e verticali dell'acqua vengono favoriti nel campo colti-

Figura 15 – Schema grafico che rappresenta i deflussi ipodermici temporanei che attraversano la fascia tampone nel primo metro di suolo.

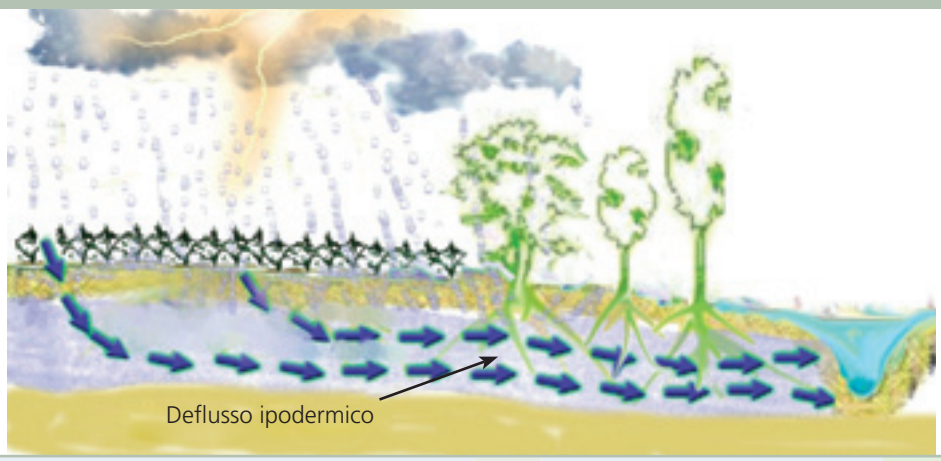
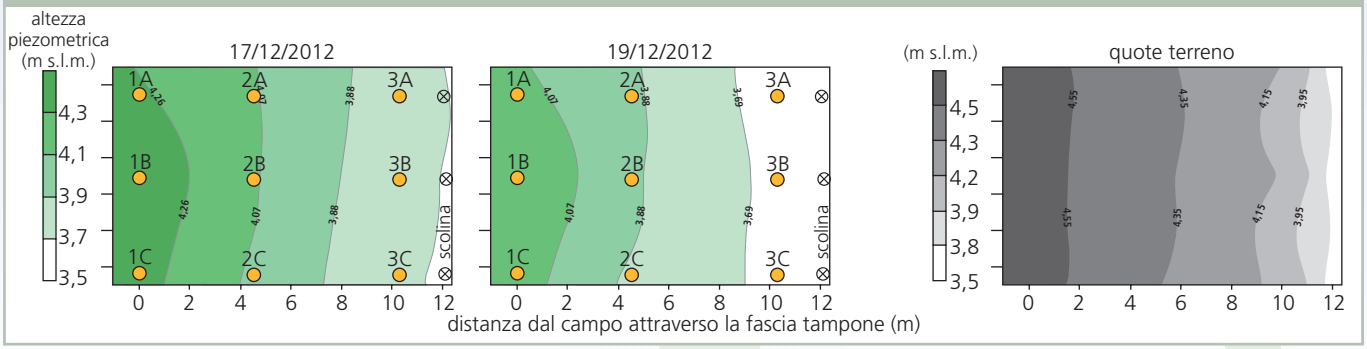


Figura 16 – L'andamento delle quote piezometriche in 2 date rappresentative della fase satura.

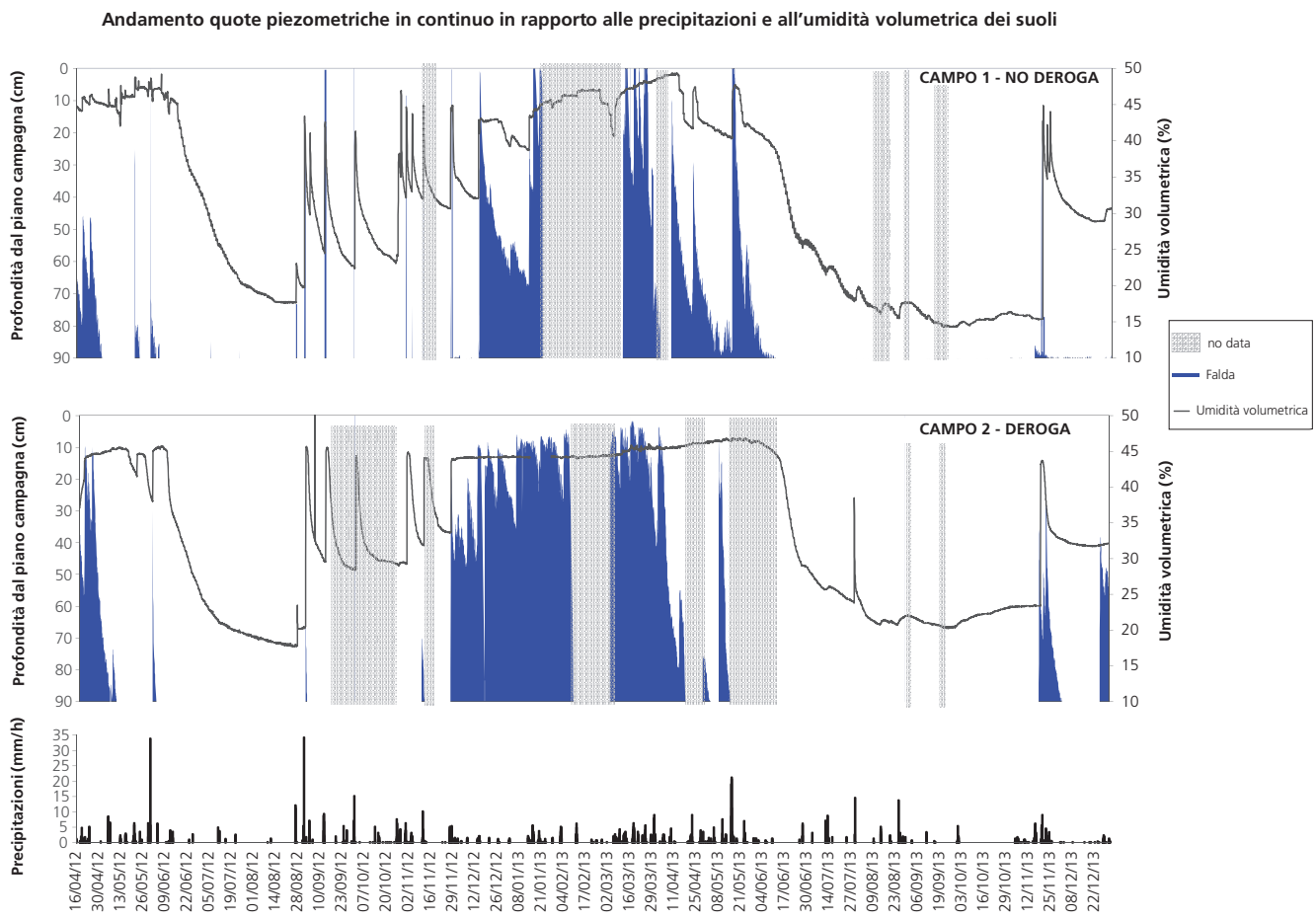


vato da fessurazioni derivanti, oltre che dal disseccamento del suolo anche dalle operazioni di lavorazione ed aratura, e nelle fasce tampone arborate dalla presenza della fitta rete di apparati radicali.

Un ulteriore strato di suolo soggetto a periodiche fasi di saturazione è presente a 150-160 cm dal piano campagna; durante le fasi di saturazione esso risulta tendenzialmente confinato ed in pressione come testimoniato da alcune prove di misura della velocità di risalita effettuate in un piezometro di 2 m fessurato solo nella parte profonda; tuttavia nei periodi in cui i suoli tendono a raggiungere i massimi livelli di saturazione non si può escludere totalmente che i due sistemi saturi possano venire saltuariamente a contatto.

La Figura 17 mostra in modo chiaro le caratteristiche idrologiche dei due siti indagati: le fasce tampone del Campo 1 e 2 nel primo metro circa di suolo vengono attraversate da deflussi ipodermici temporanei e solitamente anche molto effimeri per gran parte dell'anno (da maggio a fine novembre) in entrambi gli anni monitorati. Per contro nel periodo da dicembre ad aprile si evidenzia una presenza quasi costante della falda. È importante sottolineare che la durata delle condizioni di saturazione dipende molto dalle condizioni climatiche. Nel grafico di Figura 17 si evidenzia molto chiaramente lo stretto rapporto tra falda ipodermica e il contenuto di umidità dello strato di suolo a 90cm, inizialmente quando i valori di umidità si mantengono costanti attorno al 45% (valore di saturazione del suolo che solitamente si raggiunge verso fine autunno) indicano la presenza della falda sub-superficiale la quale scompare prima che i valori di contenuto d'acqua nel suolo si riducano in maniera evidente. Da un confronto tra i due siti è stato possibile verificare come le dinamiche della falda ipodermica si differenzino per le maggiori escursioni nel periodo saturo del campo 1 che si ripercuotono se pur in modo meno marcato nei contenuti di umidità dello strato di suolo posto a 90 cm. La maggior omogeneità del campo 2, in cui la falda ipodermica tende ad essere più prossima al piano campagna di quella del campo 1, può essere imputabile alla diversa capacità di deflusso osservata nelle due scoline. Nella scolina del campo 2 infatti sono stati registrati livelli dell'acqua maggiori rispetto a quella del campo 1. Da

Figura 17 – Altezza di falda e percentuale di umidità nei suoli a 90 cm misurate "in continuo" (1 dato ogni 30 minuti) nel campo 1 e nel campo 2 dal 16 aprile al 31 dicembre 2013.



sottolineare inoltre che il mancato deflusso della scolina di drenaggio si riflette sia sull'altezza di falda sia sui tempi di permanenza delle acque all'interno della fascia tampone.

In sintesi nei terreni monitorati in anni abbastanza piovosi si ha una falda quasi continua da fine autunno fino all'inizio della primavera. Nel periodo primaverile la falda si fa più intermittente fino a scomparire del tutto in estate e per quasi tutto l'autunno, poiché è necessario che si imbibiscano tutti i primi 90 cm di suolo e le condizioni di umidità del suolo divengano più omogenee, prima che si abbia la formazione di "acque libere" o falda ipodermica che, se pur con altezze variabili, perduri nel tempo.

I valori misurati puntualmente (Figura 18 e Figura 19) in tutti i piezometri testimoniano la maggior eterogeneità dei sistemi nei periodi primaverili e la maggiore omogeneità nel periodo invernale in cui permane una lunga fase di saturazione dei suoli. In questi periodi è possibile inoltre rilevare la pendenza della falda tra il campo e la scolina.

Figura 18 – Campo 1: misure puntiformi della quota assoluta sul livello del mare (valori riportati sulle ordinate) della superficie di falda effettuate nei piezometri utilizzati per il prelievo dei campioni d'acqua.

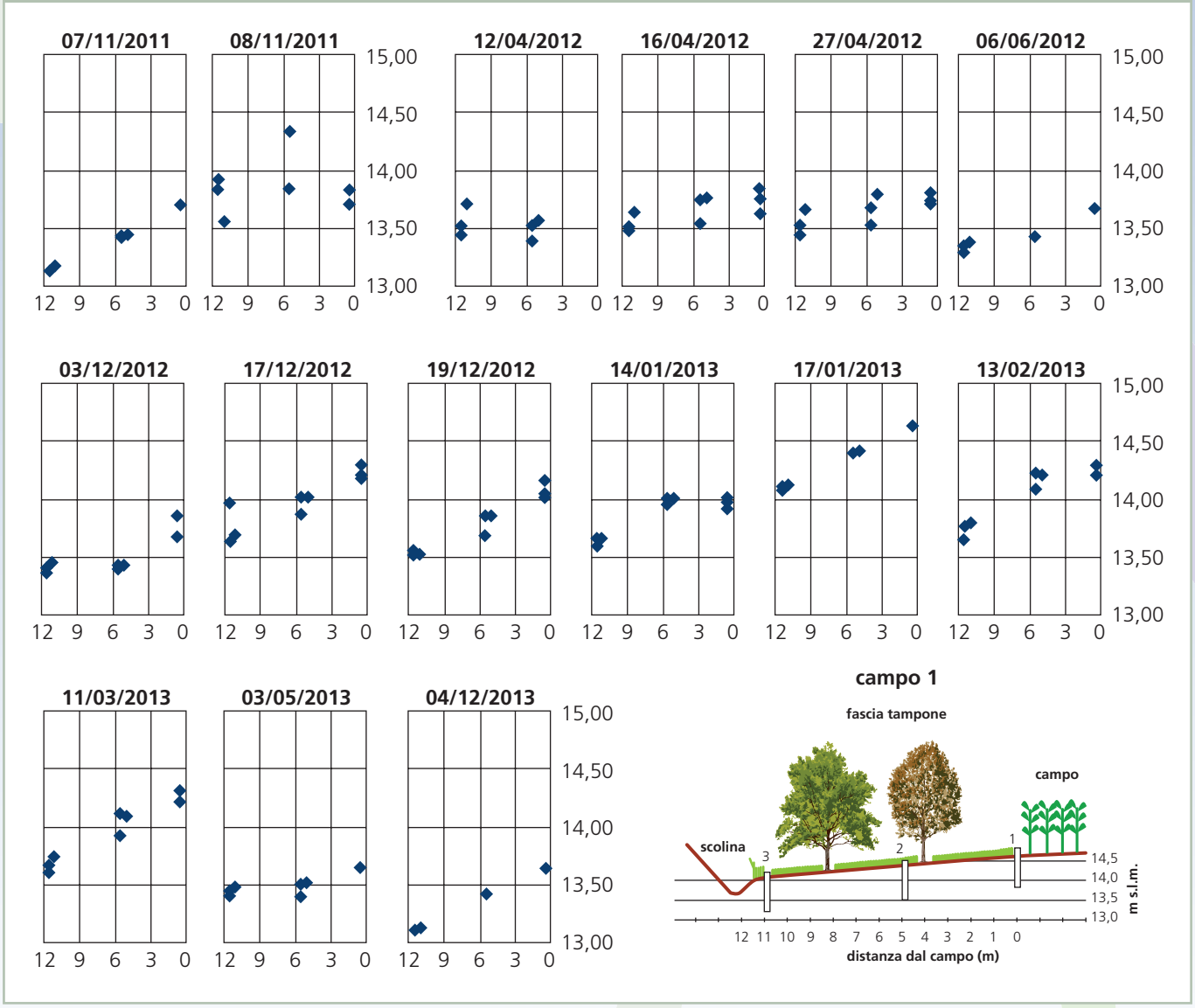
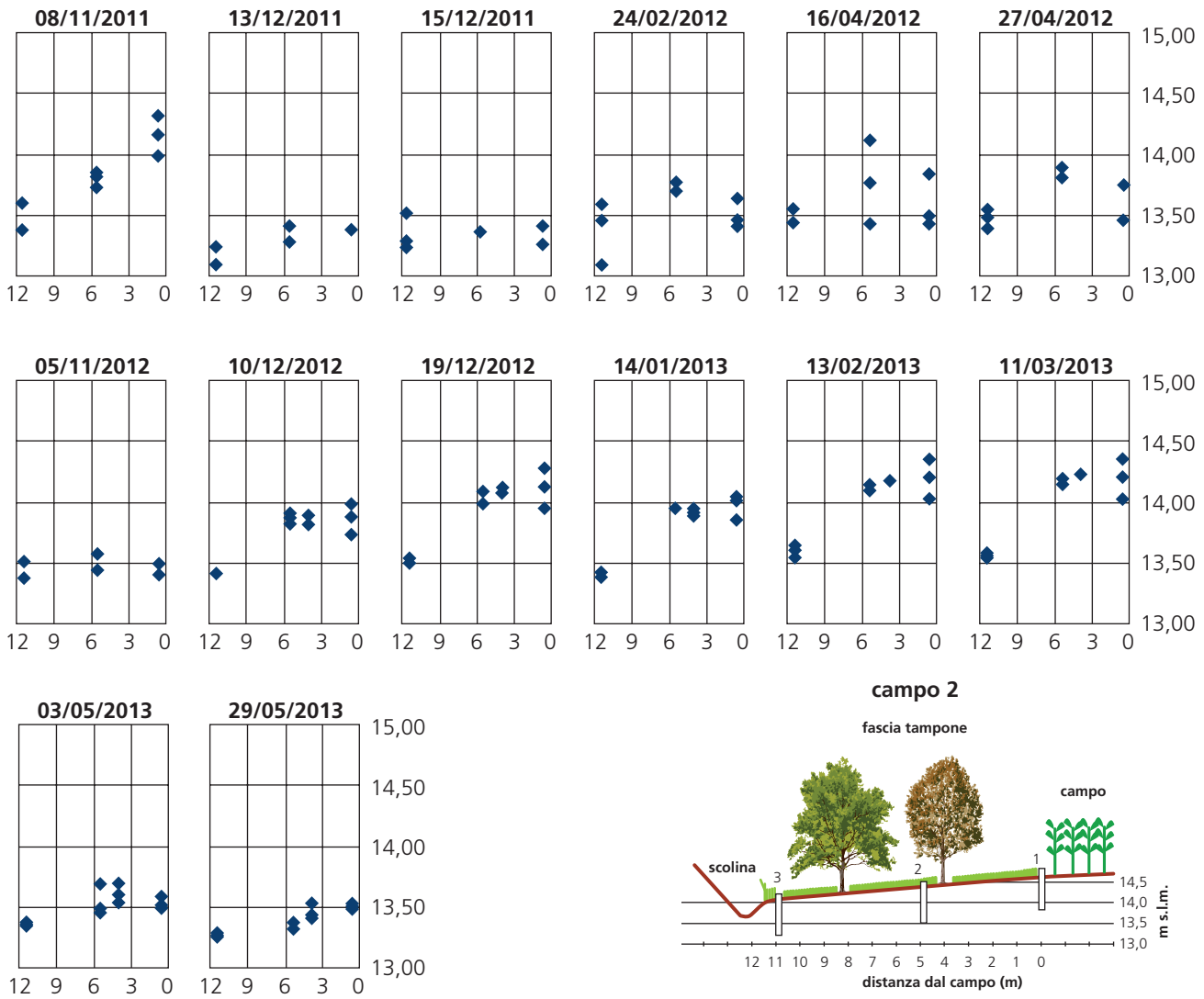


Figura 19 – Campo 2: misure puntiformi della quota assoluta sul livello del mare (valori riportati sulle ordinate) della superficie di falda effettuate nei piezometri utilizzati per il prelievo dei campioni d'acqua.



5.2.3 Quantificazione dei deflussi

Una quantificazione dei deflussi complessivi, sub-superficiali e superficiali (*runoff*) nella sezione di entrata e uscita del sistema tampone sono riportati nelle successive Tabella 3 e Tabella 4. L'incremento significativo delle portate in uscita dal sistema complessivo (campo + fascia tampone) rispetto a quelle in entrata è legato al fatto che l'area del bacino afferente al sistema tampone (compresa fra l'inizio della fascia tampone ed il colmo della baulatura) è insolitamente ridotta rispetto a quella del sistema tampone stesso.

I due sistemi di raccolta delle acque di ruscellamento (runoff) sono stati installati nel campo 1 il 14/6/2011 e nel campo 2 il 13/1/2012. Nonostante ciò i primi dati sono stati registrati verso fine aprile 2012 poiché questi sistemi prima di essere in grado di funzionare adeguatamente necessitano, soprattutto in suoli limoso-argillosi, un certo periodo di adattamento e compattamento con il terreno. Inoltre i deflussi superficiali (runoff) sono caratterizzati da elevata variabilità dovuta a numerosi parametri tra cui: intensità e frequenza delle piogge, pendenza del suolo, livello di saturazione del suolo, tessitura o presenza di ostacoli. Ad esempio in un campo arato non si avranno in genere fenomeni di ruscellamento anche quando tutte le altre varabili sono favorevoli. Nel nostro caso dopo la lavorazione del terreno e la semina si è creato tra il campo e la fascia tampone uno scalino in grado di trattenere il defluire delle acque superficiali (Figura 20). Solo dopo che questo ostacolo si è ridotto si è potuto osservare e registrare, durante alcuni eventi, il generarsi di deflusso di runoff nella fascia tampone.

Come atteso non è stata registrata una stretta correlazione fra le precipitazioni ed il runoff generato. La massima generazione di runoff si è verificata durante il periodo autunno-invernale tra il 2012 e 2013 caratterizzato da forti precipitazioni su suoli saturi o quasi per i frequenti eventi meteorici precedenti. Nel complesso il fenomeno risulta contenuto ed il suo contributo rispetto al deflusso sub-superficiale è dell'ordine di 1% nel campo 1 e del 2-3% nel campo 2. Le differenze tra i due siti sono da imputare oltre all'errore del metodo di monitoraggio ad un diverso piano colturale dei suoli, il campo 1 rimane per tutto l'inverno arato e privo di copertura al contrario del Campo 2 in cui ad ottobre viene seminata la loiessa.

Figura 20 – Evidenze di deflussi superficiali nel Campo 1.

Tabella 3 – Principali voci del bilancio idrologico relativo al "campo 1 – NON DEROGA".

Periodo	Precipitazione	Deflussi totali in uscita dal CAMPO 1	Q sub-superficiale in uscita dal CAMPO 1	RUNOFF in uscita dal CAMPO 1	% deflussi rispetto alle precipitazioni	% RUNOFF rispetto alle precipitazioni
	mm	mm	mm	mm	%	%
2011 (Apr- Dic)	482	191,3	nd	nd	39,7	nd
2012	755	218,7	217,60	1,1	29,0	0,5
2013	1.116	736,0	728,13	7,91	66,0	1,1

Periodo	Precipitazione	Deflussi totali in uscita da FT 1	Q sub-superficiale in uscita da FT 1	RUNOFF in uscita da FT 1	% deflussi rispetto alle precipitazioni	% RUNOFF rispetto alle precipitazioni
	mm	mm	mm	mm	%	%
2011 (Apr- Dic)	482	191,3	nd	nd	39,7	nd
2012	755	218,7	172,38	46,4	29,0	21,2
2013	1.116	736,0	661,04	75,00	66,00	10,2

Tabella 4 – Principali voci del bilancio idrologico relativo al "campo 2 – DEROGA".

Periodo	Precipitazione	Deflussi totali in uscita dal CAMPO 2	Q sub-superficiale in uscita dal CAMPO 2	RUNOFF in uscita dal CAMPO 2	% deflussi rispetto alle precipitazioni	% RUNOFF rispetto alle precipitazioni
	mm	mm	mm	mm	%	%
2011 (Apr- Dic)	482	191,3	nd	nd	39,7	nd
2012	755	342,6	331,13	11,5	45,4	3,4
2013	1.116	755,8	717,49	11,23	67,7	1,5

Periodo	Precipitazione	Deflussi totali in uscita da FT 2	Q sub-superficiale in uscita da FT 2	RUNOFF in uscita da FT 2	% deflussi rispetto alle precipitazioni	% RUNOFF rispetto alle precipitazioni
	mm	mm	mm	mm	%	%
2011 (Apr- Dic)	482	191,3	nd	nd	39,7	nd
2012	755	342,6	293,47	49,1	45,4	14,3
2013	1.116	755,8	622,65	133,14	67,7	17,6

5.3 Rimozione dell'azoto

In generale i suoli in cui è avvenuto il monitoraggio (Tabella 1) sono suoli conservativi che rilasciano pochi deflussi sub-superficiali essendo in grado di assorbire e trattenere grandi quantità d'acqua e conseguentemente di nitrati che in questo modo rimangono a disposizione della coltura. Questa è una delle ragioni principali per cui durante l'indagine qui riportata i valori di concentrazione dell'azoto sono risultati estremamente bassi con valori medi di azoto nitrico solitamente inferiori ad 1 mg/l (si vedano: Tabella 5, Figura 21 e Figura 22).

Dall'indagine idrologica dei suoli si è visto che gli unici momenti in cui si possono formare consistenti e rapidi de-

Tabella 5 – Valori medi di azoto nitrico e azoto totale misurati nei campioni raccolti durante il progetto. I dati qui riportati si riferiscono solo alle date in cui è stato possibile raccogliere un numero adeguato di campioni sia di input che di output.

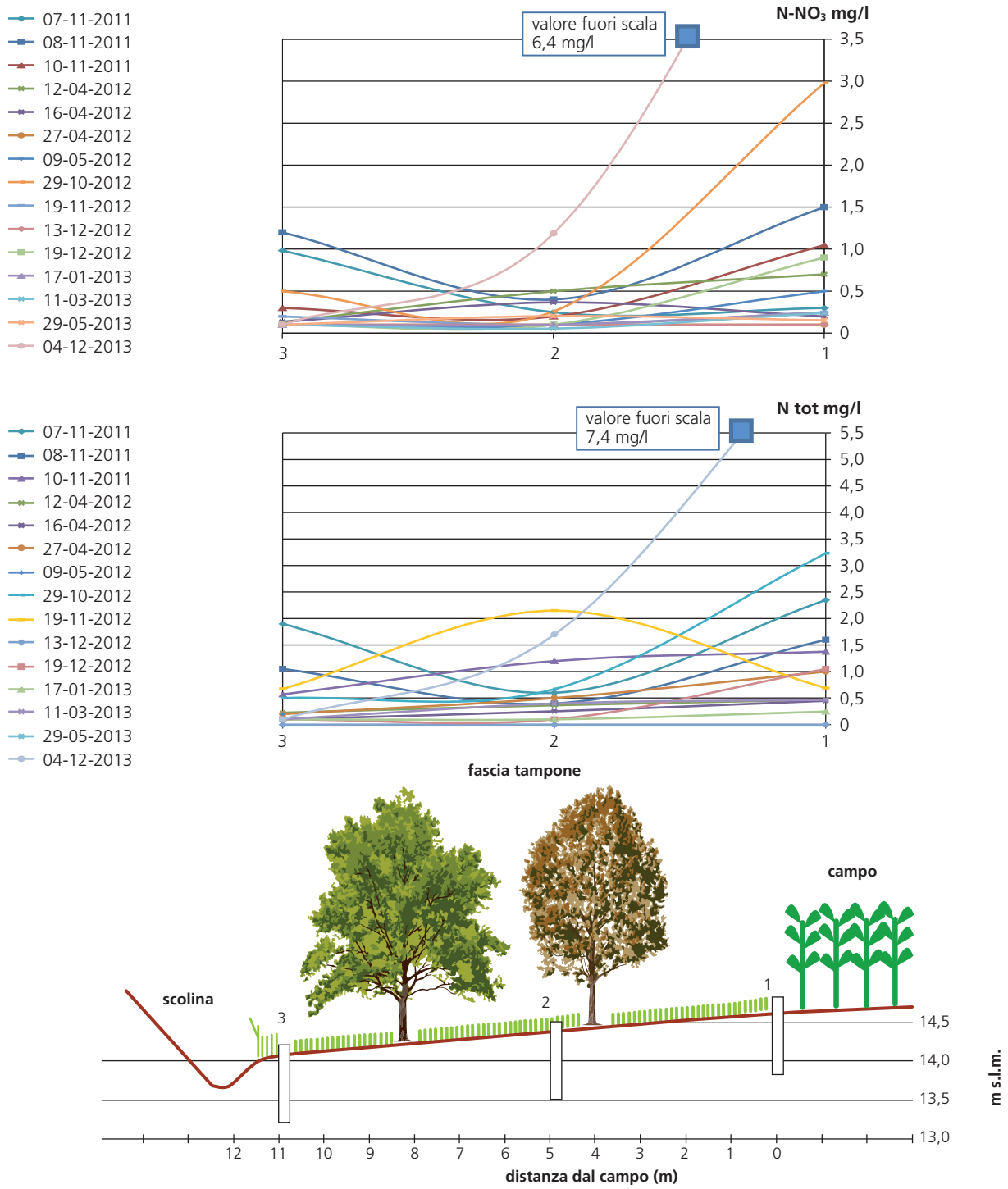
CAMPO 1 "NON DEROGA"						
	$N\text{-}NO_3$ mg/l				N tot mg/l	
zone	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
07/11/2011	0,3	0,3	1,0	0,7	0,6	2,0
08/11/2011	1,5	0,4	1,2	2,4	0,6	1,9
10/11/2011	1,1	0,2	0,3	1,6	0,4	1,1
12/04/2012	0,7	0,5	0,1	1,4	1,2	0,6
16/04/2012	0,2	0,4	0,1	0,5	0,4	0,2
27/04/2012	0,1	0,1	0,1	0,5	0,3	0,1
09/05/2012	0,5	0,1	0,1	1,0	0,5	0,2
29/10/2012	3,0	0,3	0,5	3,2	0,7	0,5
19/11/2012	0,25	0,10	0,20	0,69	2,15	0,67
13/12/2012	0,10	0,10	0,10	0	0	0
19/12/2012	0,9	0,1	0,1	1,05	0,1	0,1
17/01/2013	0,25	0,10	0,10	0,25	0,10	0,10
11/03/2013	0,24	0,06	0,10	0,47	0,40	0,10
29/05/2013	0,15	0,20	0,10			
04/12/2013	6,41	1,19	1,10	7,40	1,70	0,10

CAMPO 2 "DEROGA"						
	$N\text{-}NO_3$ mg/l				N tot mg/l	
zone	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
08/11/2011	3,2	0,3	0,1	4,2	1,1	1,0
01/12/2011	3,1		0,9	4,8		1,6
13/12/2011	2,5	0,4	0,1	3,5	1,3	1,1
15/12/2011	1,9	0,4	0,1	2,8	1,4	1,1
20/12/2011	1,8	0,2	0,1	2,9	1,1	1,0
21/02/2012	2,7	0,9	0,5	3,3	1,7	1,1
19/03/2012	3,0	0,4	0,2	3,8	0,7	0,6
09/04/2012	1,2	0,2	0,2	1,8	0,3	0,7
12/04/2012	1,5	0,4	0,1	2,9	1,0	0,6
16/04/2012	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,6
27/04/2012	0,2	0,1	0,1	1,2	0,5	0,5
09/05/2012	0,2	0,1	0,1	1,2	1,0	1,0
06/06/2012	0,3	0,1	0,1	1,3	0,8	0,5
29/10/2012	1,6	0,2	0,1	2,3	1,0	1,0
12/11/2012	1,7	1,1	0,4	2,1	2,4	0,8
03/12/2012	1,1	0,1	0,3	1,1	0,2	0,4
19/12/2012	1,0	0,1	0,1	1,3	0,4	0,3
17/01/2013	0,7	0,1	0,1			
11/03/2013	0,2	00	0	0,3	0,1	0,1
29/05/2013	0,1	0,1	0,1			
27/08/2013	0,2	0,8	0,9	5,4	2,6	4,6
04/12/2013	0,5	0,5	0	0,7	1,4	0,2

flussi ipodermici orizzontali è in concomitanza di piogge intense che cadono sul suolo asciutto e fessurato, come può accadere con una certa frequenza all'inizio dell'autunno. Questi deflussi proprio perché tendono a sfruttare le crepe che si formano nel terreno asciutto sono estremamente eterogenei. In particolare quando le piogge autunnali tardano ad arrivare può accadere che la distribuzione di concime effettuata in ottobre venga in parte dilavata attraverso queste vie preferenziali. Questa condizione nei nostri siti di campionamento si viene a creare in genere nel tardo autunno da novembre a dicembre.

Un'altra causa che può spiegare le concentrazioni modeste rilevate durante l'intero monitoraggio sono le tecniche di spandimento dei concimi organici. In questo progetto

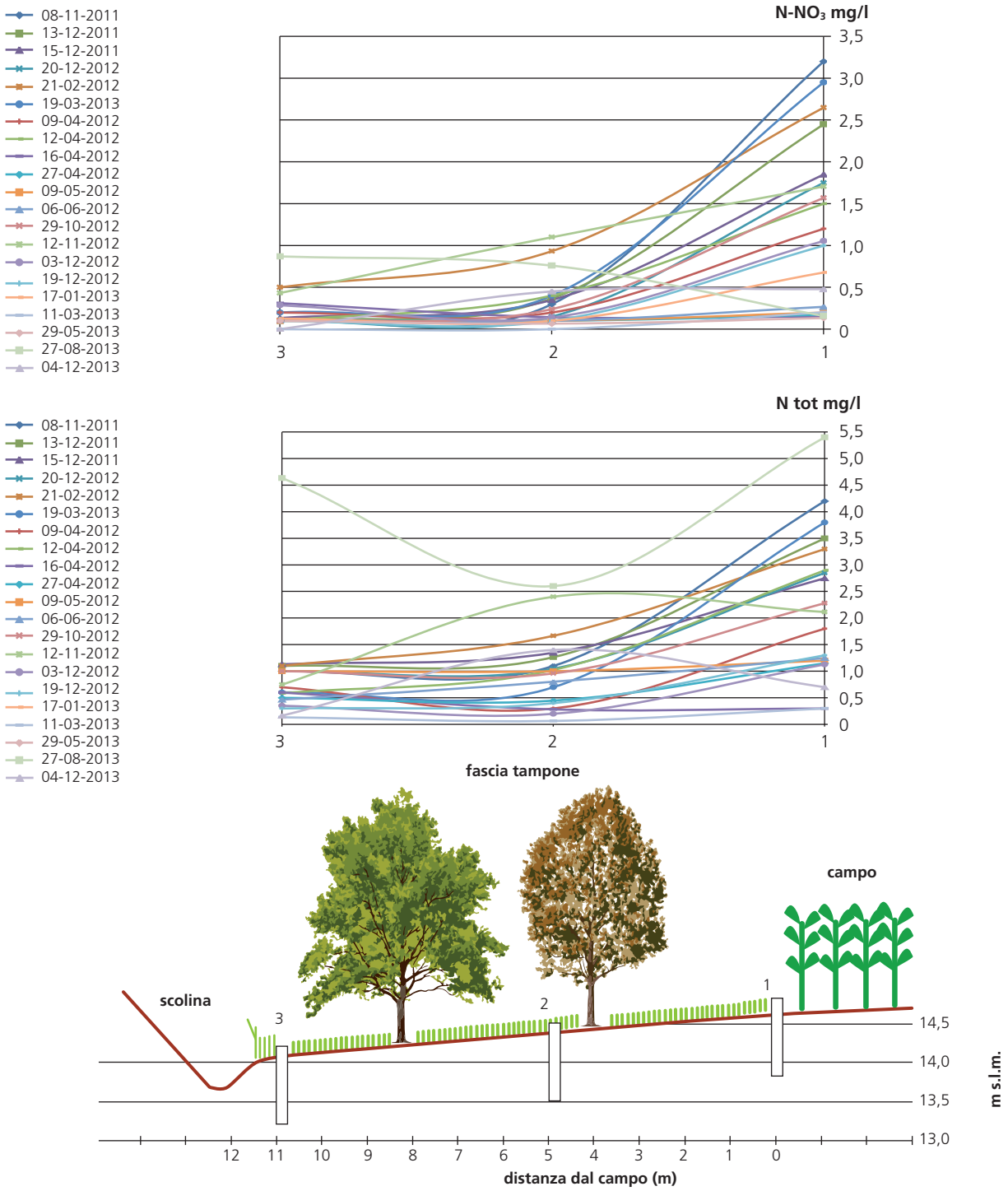
Figura 21 – Concentrazioni medie dei nitrati (sopra) e dell'azoto totale (sotto) in diversi momenti nelle tre zone della Fascia Tampone afferente al Campo 1 "non Deroga".



LIFE sono state usate tecniche attente e precise adeguate alla tipologia di suolo (si veda azione 2), inoltre la distribuzione frazionata in più periodi ne aumenta l'efficacia di assorbimento.

A causa delle basse concentrazioni di azoto in uscita dai due campi monitorati le differenze tra le due tesi "deroga e non deroga" non risultano significative se non per rari eventi dovuti a deflussi rapidi ed estremamente eterogenei.
L'efficacia di questi terreni nel trattenere l'azoto è dimostrata anche da saltuari campionamenti effettuati nel 2013, con lisimetri posti in pieno campo, in cui sono state misurate concentrazioni di azoto nitrico ben più elevate.

Figura 22 – Concentrazioni medie dei nitrati (sopra) e dell'azoto totale (sotto) in diversi momenti nelle tre zone della Fascia Tampone afferente al Campo 2 "Deroga".



Nei campioni d'acqua raccolti l'11 marzo 2013 a 90 cm di profondità sono state registrate concentrazioni di 25,9 e 13,9 mg/l di azoto nitrico e di 26,6 e 16,3 mg/l di azoto totale rispettivamente nel campo 1 e 2. Nei campioni raccolti il 29 maggio sempre con lisimetri posti in campo a 90 cm di profondità le concentrazioni di azoto nitrico si sono ridotte in entrambi i campi a 3,2 e 5,4 mg/l rispettivamente. A conferma vengono in aiuto anche i valori di azoto nitrico misurati nei suoli dei campi coltivati a diverse profondità durante le attività intraprese all'interno dell'azione 2 che mediamente hanno registrato valori tra i 5 e i 10 mg/kg di N-NO_3 con picchi di 35 e 25 mg di N-NO_3/kg nel campo 1 mentre nel campo 2 i valori massimi si sono mantenuti tra i 15 e i 20 mg/kg (si veda azione 2).

La capacità tampone

Alla luce di quanto sopra emerso e considerando l'efficacia di questi sistemi, rilevata in altre ricerche effettuate nella stessa azienda sperimentale (si vedano Report RIDUCAREFLUI 6.2 e progetto NICOLAS), possiamo affermare che le due fasce tampone qui indagate sono sovradimensionate, per lo meno in riferimento alla loro capacità tampone. In effetti come si può vedere dai grafici riportati in Figura 21 e Figura 22, una rimozione consistente sia di nitrati che di azoto totale avviene già nei primi 5 metri di fascia tampone.

Mentre la riduzione di nitrati e azoto totale tra la fila 1 e 2 mette in evidenza l'atteso effetto tampone, meno attesi sono i valori di concentrazione in uscita dalla fascia tampone del campo 1, che in alcune date di campionamento risultano aumentare rispetto alla fila 2. Questo aumento può essere imputabile a sorgenti interne alla fascia tampone che ha una larghezza complessiva considerevole in rapporto all'area di campo sottesa idrologicamente alla fascia tampone. Queste sorgenti interne di azoto possono essere dovute a processi di mineralizzazione e *leaching* dell'abbondante lettiera e/o da processi di nitrificazione.

5.3.1 Bilancio di massa

Come si può osservare dalle tabelle Tabella 6 e Tabella 7, le quantità complessive di azoto veicolate in uscita dal campo 1 e 2 tramite deflussi sub-superficiali sono dell'ordine dei 4-10 Kg/ha/anno con carichi leggermente superiori (21 contro 16 nel intero periodo monitorato) nel campo 1 rispetto al campo 2. Le perdite dal campo rispetto al distribuito sono dell'ordine del 1-3% e quindi estremamente contenute; questo può dipendere sia dalla buona capacità

Tabella 6 – Quantità di N in uscita dal campo 1 "NON DEROGA".

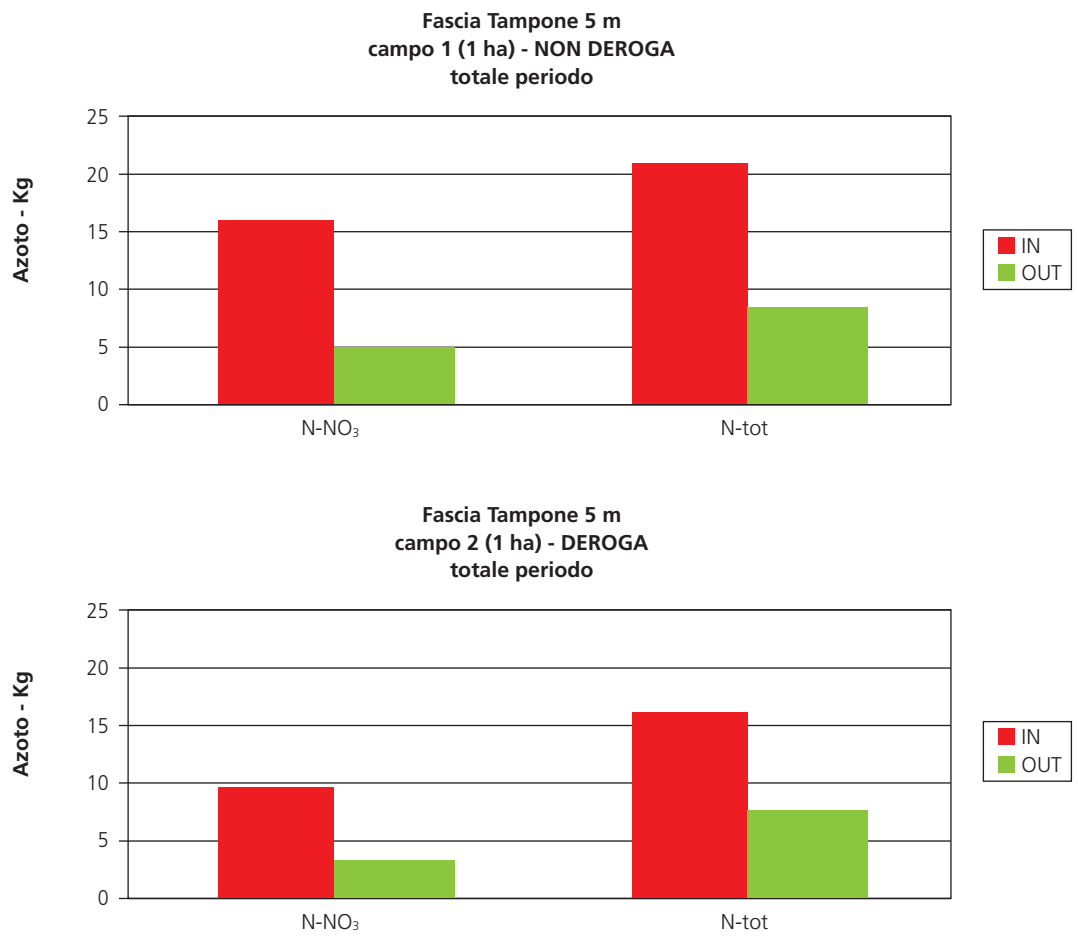
Periodo	USCITA CAMPO 1 Azoto veicoltato tramite deflusso subsuperficiale (Kg/ha)		USCITA FT Azoto residuo dopo passaggio attraverso a FT di 5 m adiacente a un campo di 1 ha (Kg)		% rimozione N		USCITA FT Azoto veicolato tramite RUNOFF (Kg/ha)	
	N-NO_3	N tot	N-NO_3	N tot	N-NO_3	N tot	N-NO_3	N tot
2011 (Apr- Dic)	4,5	5,8	1,2	2,2	74,4	62,5	nd	nd
2012	2,9	3,6	0,9	1,4	70,0	59,6	0,4	1,4
2013	8,7	11,6	3,1	4,6	64,6	59,9	1,1	1,6
Totale	**16,0**	**21,0**	**5,1**	**8,3**	**69,6**	**60,6**	**1,5**	**3,0**

Tabella 7 – Quantità di N in uscita dal campo 2 "DEROGA".

Periodo	USCITA CAMPO 2 Azoto veicoltato tramite deflusso subsuperficiale (Kg/ha)		USCITA FT Azoto residuo dopo passaggio attraverso a FT di 5 m adiacente a un campo di 1 ha (Kg)		% rimozione N		USCITA FT Azoto veicolato tramite RUNOFF (Kg/ha)	
	N-NO_3	N tot	N-NO_3	N tot	N-NO_3	N tot	N-NO_3	N tot
2011 (Apr- Dic)	3,9	5,2	1,2	2,1	70,3	60,0	nd	nd
2012	2,7	5,2	0,7	2,0	75,5	61,7	0,5	0,8
2013	3,0	5,8	1,6	3,7	48,0	36,5	0,6	2,4
Totale	**9,7**	**16,2**	**3,4**	**7,7**	**64,6**	**52,7**	**1,1**	**3,3**

protettiva dei suoli in questione sia dalla bontà delle scelte colturali e delle modalità di distribuzione.
Le percentuali di abbattimento dell'azoto contenuto nei deflussi sub-superficiali (Tabella 6 e Tabella 7, Figura 23) sono in linea con le precedenti indagini effettuate nel sito Nicolas (65% azoto totale e 85% nitrati).
I rilasci molto contenuti di azoto dai campi e la complessità delle dinamiche idrologiche in atto rendono difficoltosi i confronti fra i due siti in quanto le differenze in gioco sono dello stesso ordine di grandezza dell'errore d'analisi. Generalmente i sistemi tampone hanno efficienze anche superiori in situazioni di carico maggiore quando le condizioni idrologiche sono più stabili (ad esempio deflusso di falda costante nel corso dell'anno).

Figura 23 – Confronto delle quantità di N in ingresso ed uscita dalle fasce tampone arboreo-arbustive monofilari di ampiezza 5 m per ciascuno dei 2 plot sperimentali.



6. CONCLUSIONI

In sintesi dall'elaborazione dei risultati ottenuti in questo monitoraggio possiamo concludere che:

- Non ci sono differenze significative tra le due tesi: Campo 2 in DEROGA e Campo 1 NON DEROGA. Le eventuali differenze che si possono creare tra i due Campi sono dovute ad episodi saltuari e puntiformi o ad errori di misura.
- I rilasci di azoto dai due campi sono estremamente contenuti ma in linea con quanto riportato in letteratura, per questa tipologia di suoli estremamente conservativi, con perdite del 1-3% rispetto al distribuito.
- I primi 5 metri di fascia tampone sono sufficienti per raggiungere valori di abbattimento dell'azoto dell'ordine di 70% per i nitrati e 60 % per l'azoto totale (Error: Reference source not found e Error: Reference source not found). Gli abbattimenti più contenuti calcolati nel campo 2 per il 2013, sono anche in questo caso da imputare alle concentrazioni molto basse (vedi Tabella 5).
- L'intera fascia tampone di 11 metri è sovradimensionata rispetto all'area sorgente e la stessa fascia in sporadici momenti può divenire sorgente di azoto per lo più in forma organica.
- Entrambi gli appezzamenti generano un carico di azoto, diretto alla rete idrica superficiale, molto contenuto.

Benefici ambientali diretti e futuri ed effetti socio economici

I risultati di molte ricerche effettuate fino ad oggi sull'efficacia tampone delle fasce vegetate lungo i corsi idrici sono sicuramente positivi così come lo sono i risultati conseguiti in questo progetto. Le fasce tampone sono quindi il sistema di rimozione dell'azoto diffuso potenzialmente più efficacie a patto che tali sistemi siano a loro volta diffusi sul territorio e in grado di captare le acque di dilavamento dei terreni ricche di nutrienti (es. azoto). Relativamente a questo secondo punto emerge l'importanza, in particolare per la rimozione dell'azoto diffuso, di verificare che i deflussi sub-superficiali defluiscano attraverso la fascia tampone nello strato interessato dalle radici (rizosfera). Come conseguenza delle attività di ricerca e di monitoraggio sull'efficacia delle fasce tampone, nell'applicabilità delle prescrizioni di condizionalità della nuova PAC, è stato introdotto il nuovo obiettivo 5 "protezione e gestione delle risorse idriche" nell'ambito delle Buone Condizioni Agronomiche e Ambientali (BCAA) che le aziende agricole devono rispettare. Tale obiettivo è suddiviso in due standard di cui il 5.2 è relativo all'introduzione di fasce tampone lungo i corsi d'acqua i cui obiettivi vengono così descritti: *"Le siepi, le fasce erbacee e boscate con finalità di "tampone" sono elementi naturali polifunzionali per cui è importante l'integrazione nel paesaggio rurale e nella struttura delle aziende agricole; rappresentano inoltre elementi funzionali alla moderna agricoltura, contribuendo altresì alla valorizzazione ambientale ed economica delle aree fluviali e più in generale delle aree di prossimità dei corpi idrici."* Vincolando in questo modo le aziende agricole a seguire tale standard al fine di poter conseguire il 100% del sostegno diretto. Inoltre nei nuovi PSR sarà possibile avere ulteriori finanziamenti per lo sviluppo di questi sistemi tampone al fine di renderli il più possibile efficaci e diffusi sul territorio.
Da ricordare infine che queste fasce vegetate lungo la rete idrica oltre alla funzione tampone possono dare ulteriori e numerosi benefici all'ambiente, e "servizi" all'uomo creando sinergie positive e quindi un'analisi dei costi e benefici sicuramente favorevole.

Tra queste ulteriori funzioni delle fasce tampone possiamo annoverare: i) riqualificazione del sistema ecologico, ambientale e paesistico degli ambiti rurali; ii) miglioramento della fruibilità delle aree perifluviali per ridare ai fiumi centralità nelle politiche di sviluppo; iii) riduzione dell'inquinamento dell'aria, con particolare riferimento al contenimento delle emissioni in atmosfera; iiii) azione idrogeologica e di protezione del suolo; iiiii) promuovere una nuova cultura dell'utilizzo sostenibile e della valorizzazione delle risorse naturali.

Replicabilità della sperimentazione

Volendo estendere i risultati di questo monitoraggio per tutte le aziende agricole è importante sottolineare che non sarà possibile ripercorrere, da parte dell'agricoltore, la stessa precisione e attenzione nello spandimento dei liquami. Di conseguenza le perdite dal campo registrate in questo progetto potrebbero essere sottostimate se utilizzate in un'estrapolazione ad ampia scala.

In effetti uno degli ostacoli alla distribuzione dei digestati o liquami nell'attività agricola sta nella mancanza di mezzi in grado di permettere un controllo e una gestione precisa sulla quantità di azoto distribuito. Questo aspetto incide relativamente in terreni conservativi come quelli qui monitorati ma potrebbe diventare rilevante in terreni permeabili in particolare nelle zone vulnerabili.

Un altro aspetto da non trascurare, infatti, sono sicuramente le caratteristiche pedologiche dei campi coltivati. I terreni con una forte presenza di argilla (vedi i siti monitorati in questa sperimentazione) vengono definiti conservativi perché, quando piove, agiscono come spugne aumentando considerevolmente di volume e trattenendo l'acqua per tempi anche molto lunghi. Per questo motivo i fertilizzanti siano essi minerali od organici tendono a rimanere in loco determinando un'elevata efficienza di assorbimento degli stessi e dall'altra parte perdite ridotte. Diversamente nei terreni tendenzialmente sabbiosi, con falde abbastanza superficiali, le acque defluiscono relativamente più in fretta determinando una maggior perdita di nutrienti. In questo caso a parità di percentuale di efficienza della fascia tampone i quantitativi di azoto rimosso risulterebbero di gran lunga più elevati, conferendo alla fascia tampone una maggior efficacia in termini assoluti. Risulteranno invece del tutto inutili le fasce tampone nelle zone ad elevata permeabilità e con falda molto profonda poiché i percorsi delle acque nel suolo sono prevalentemente verticali.

Sostenibilità e le sfide per il futuro

Anche alla luce delle sempre nuove esigenze richieste ai soggetti implicati sulla pianificazione (condizionalità, nuovi PSR, ecc..), si ritiene che il robusto quadro informativo conseguito fino ad ora permetta di fare un "salto di scala". Partendo dai dati di monitoraggio di tanti siti sperimentali eterogenei tra loro sarà necessario giungere ad una estensione a scala territoriale vasta con l'intento in particolare di unire le informazioni locali a quelle di alcuni strati informativi di scala ampia già disponibili quali in particolare la Carta dei suoli. Sulla base di questo quadro informativo sarebbe utile definire una serie di proposte per la realizzazione/gestione di sistemi forestali priorizzate e localizzate su scala ampia. In pratica delle vere e proprie mappe di "vocazionalità" come ad esempio aree a diverso grado di idoneità per la realizzazione di fasce tampone boscate. Queste mappe non solo sarebbero utili a "guidare" le scelte pianificatorie ma permetterebbero di stimare con maggiore precisione i benefici attesi (monitoraggio degli effetti ambientali delle misure).

7. BIBLIOGRAFIA

Allen R., Pereira L. S., Raes D., Smith M.: Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO, Irrigation and drainage Paper 56, 1998.

Braden H. Ein Energiehaushalts und Verdunstungsmodell for Wasswr und Stoffhaushaltsunter-suchungen landwirtschaftlich genutzer Einzugsgebiete. Mittelungen Deutsche Bodenkundliche Geselschaft, 42, pp. 294-299, 1985.

Di Molfetta A. Sethi R. 2002. – *Piano della caratterizzazione: metodologie di campionamento del mezzo saturo e non saturo*. - Politecnico di Torino. Corso di caratterizzazione e bonifica siti contaminati. Bologna 12-15 marzo 2002.

Facciorusso J., C. Madiai, G. Vannucchi, 2007 - Terreni non saturi. Dispense di Geotecnica Dipartimento di Ingegneria Civile – Sezione Geotecnica, Università degli Studi di Firenze

Farina E., 2004 - Sonde FDR per l'automazione irrigua in fuori suolo. Colture protette – N. 2

Fox R.H., Piekielek W.P., Macneal K.E. 2001 - Comparison of late-season diagnostic tests for predicting nitrogen status of corn. Agronomy Journal, 93: 590-597.

Fumagalli L, Beretta GP, 1996 - Flusso idrico e trasporto inquinanti "non puntuali" nella zona non satura: predisposizione di campi prova e primi risultati sperimentali. Quaderni di Geologia Applicata,3-2 87-104

Fumagalli L., Mantovi P. 2001. - Sito sperimentale per lo studio del trasporto dei nitrati dal suolo alle acque sotterranee. Confronto tra i dati rilevati in campo e i risultati di *MACRO – SOILN*. - PAM - SinaBO.doc – Rev. 0 – 14/06/01

Gorla M., 2009 – Idrogeofisica Geofisica applicata all'idrogeologia. Dario Flaccovio editore

Green, W. H., and G. A. Ampt., 1911. Studies on soil physics. *J. Agric. Sci.* 4(1): 1-24.

Gumiero, B., Boz, B., Cornelio, P. and Casella, S. (2011), Shallow groundwater nitrogen and denitrification in a newly afforested, subirrigated riparian buffer. Journal of Applied Ecology, 48: 1135–1144. doi: 10.1111/j.1365-2664 .2011.02025.x – ISI listed Journal. Impact Factor: 4.9.

Gumiero, B., Cornelio and Boz, B. (2011). Nitrogen removal by an irrigated wooded buffer area. Water Practice and Technology. First Published online September 2011.

Gumiero B. & Boz B, 2004 - "*La riduzione dei carichi inquinanti per mezzo della riqualificazione delle fasce fluviali*"– I Piani di Tutela delle acqua – Politecnico di Milano a cura di L. Bonomo e R. Vismara Ed. CIPA Milano.

Gumiero B., Boz B. & Cornelio P., 2008 – *Efficacia delle fasce tampone arboree nella riduzione dei carichi di azoto. Monitoraggio e sperimentazione presso l'azienda pilota e dimostrativa "Diana" di Veneto Agricoltura*. Ed. Veneto Agricoltura. Scheda tecnica (bilingue)

Gumiero B., Cornelio P., Boz B., 2003 - "*Efficia delle fasce Tampone forestali. Monitoraggio e sperimentazione presso Az. Ag. Diana nell'ambito del progetto Ue* – Nicolas. Atti del convegno, la Fitodepurazione: applicazione e prospettive. Ed. ARPAT – pp. 385-391

Haycock N., B. Gumiero, B. Boz, V. Vardiero, G. Baldo, P. Cornelio., 2004 – "Il progetto Fasce Tampone Boscate (FTB) del Consorzio di Bonifica Acque Risorgive: uno strumento utile al risanamento della Laguna di Venezia" - Atti del Convegno "Sistemi Agricoli e inquinamento da Nitrati – Perugina 11 – 12 Dicembre 2003" Ed. Arpa Umbria.

Haycock N., B.Gumiero, B. Boz, V. Vardiero, G. Baldo, P. Cornelio., 2005 – "*Il progetto Fasce Tampone Boscate (FTB) del Consorzio di Bonifica Acque Risorgive: uno strumento utile al risanamento della Laguna di Venezia*" - Atti dei convegni Lincei 216 – Giornata Mondiale dell'Acqua - Acqua e copertura vegetale (Roma, 22 marzo 2004) – Accademi Nazionale dei Lincei – Barbi Editore pp. 127-134.

Lawrence Dingman S., 2002 - Physical Hydrology. Cap 6 Water in Soils. Infiltration e redistribution. Waveland Press, Inc

Mantovi P. 2004 - *I nitrati nei terreni*. Fertilizzanti, 3: 35-39.

Mantovi P., Beretta G.P., Cortellini L., Fumagalli L., Guermandi M., Preti D. 2003 – *Monitoraggio e modellazione matematica della migrazione dei nitrati nel mezzo insaturo in un'area vulnerabile della provincia di Reggio Emilia*. IA Ingegneria Ambientale, 6: 314-327.

Mantovi P., Ligabue M., Dall'Olio N. 2005. – *Rilascio di nitrati da un suolo vulnerabile*. - Estimo e territorio 9 dossier

Mastrocicco M., Colombani N., Palpacelli S. 2009 - *Fertilizers mobilization in alluvial aquifer: laboratory experiments*. - Environ Geol 56:1371–1381

Moreno F., J.A. Cayuela, J.E. Femiindez, E. Femiindez-Boy, J.M. Murillo, F. Cabrera. 1996 - Water balance and nitrate leaching in an irrigated maize crop in SW Spain. Agricultural water management.

Richards LA., 1931 - Capillary conduction of liquids in porous media. Physics 1, 318-333

Risse LM, Nearing MA, Zhang XC, 1995 - Variability in Green. Ampt effective Hydraulic conductivity under fallow conditions. Journal of Hydrology 169, 1-24

Sànchez Pérez J.M., Antiguedad I., Iñaki I., García-Linares C., Morell I. 2003 - The influence of nitrate leaching through unsaturated soil on groundwater pollution in an agricultural area of the Basque country: a case study. *The Science of the Total Environment*.

Santini, A. 1997 - "Proprietà idrologiche del suolo." In Metodi di Analisi Fisica del Suolo

(a cura di M. Pagliai), Cap. VIII, pp. 1-107, Ed. Franco Angeli, Milano.

Schröder J.J:, Aarts H.F.M., ten Berge H.F.M., van Keulen H., Neeteson J.J. 2003 – An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. European Journal of Agronomy 20: 33-44.

Silvestri N., Risaliti R., Ginanni M., Pampana S. 2001 - *La valutazione del deflusso di superficie in sistemi colturali di pianura: alcune esperienze svolte in provincia di Pisa*. Rivista di Irrigazione e Drenaggio, 48(2): 36-42.

Šimunek, J., van Genuchten, M. T., Gribb M. M., Hopmans J. W. 1998a. - Parameter estimation of unsaturated soil hydraulic properties from transient flow processes. Soil & Tillage Research 47, 27- 36.

Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. 2003 Produzione di biomassa dalle siepi alberate nel Basso Padovano Progetto AIEL – CCIAA Padova

Tabaglio V., Mantovi P., Ligabue M., Cortellini L. 2000 - *Il controllo del passaggio dei nitrati dal suolo alle acque*. L'Informatore Agrario, LVI (26): 69-73.

Von Hoyningen, Hune J. Die Interception des Niederschlags in landwirtschaftlichen Bestanden. Schriftenreihe des DVWK 57, pp. 1-53, 1983.

ATTIVITÀ 2:

EFFICACIA DI UNO STAGNO DI FITODEPURAZIONE NELLA RIMOZIONE DELL'AZOTO CONTENUTO NELLE ACQUE DI DRENAGGIO DI PARCELLE FERTILIZZATE CON LIQUAMI ZOOTECNICI

Progetto Finanziato dall'Unione Europea nel Programma Life Plus Ambiente
Organismo responsabile dell'informazione: **Veneto Agricoltura**
Coordinatore: **Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. S.p.A.**

Coordinamento per il Veneto: Arduin M., Sartori A. - *Veneto Agricoltura*

Coordinamento: Maurizio Borin - *DAFNAE*

Responsabile scientifico: Maurizio Borin - *Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente (DAFNAE) – Università di Padova (maurizio.borin@unipd.it)*

Elaborazioni e testi:
Maurizio Borin - *DAFNAE*
Carmelo Maucieri - *DAFNAE*
Anna Mietto - *DAFNAE*
Francesca Pavan - *DAFNAE*
Marco Politeo - *DAFNAE*
Michela Salvato - *P.A.N. s.r.l.*
Jessica Tamiazzo - *DAFNAE*
Davide Tocchetto - *P.A.N. s.r.l.*
Eugenio Pappalardo - *DAFNAE*

Ringraziamenti:
Giovanni Albertini
Gino Malimpensa
Riccardo Polese
P.A.N. - Piante, Acque, Natura, s.r.l.
Spin off dell'Università di Padova
Via Croce Rossa, 112 - Padova
e-mail: info@panspinoff.com

SOMMARIO

1. FITODEPURAZIONE A FLUSSO SUPERFICIALE COME PROTEZIONE DEI CORPI D'ACQUA IN AREE AGRICOLE ..... pag. 43

2. ATTIVITÀ 2010-2011 ..... » 45

2.1 Campionamenti e analisi dell'acqua ..... » 45

2.2 Drenaggio controllato ..... » 45

2.2.1 Gestione colturale ..... » 45

2.2.2 Rilievi ..... » 45

2.3 Zona umida di fitodepurazione ..... » 46

2.3.1 Rilievi idrologici ..... » 46

2.3.2 Prelievi vegetali e del terreno ..... » 46

2.4 Risultati ..... » 46

2.4.1 Drenaggio controllato ..... » 46

2.4.2 Qualità dell'acqua ..... » 48

2.4.3 Perdite di azoto ..... » 50

2.4.4 Produzione del mais ..... » 50

2.5 Fitodepurazione in zona umida ..... » 50

2.5.1 Comportamento idrologico e qualità dell'acqua ..... » 50

2.6 Conclusioni ..... » 51

3. ATTIVITÀ 2011-2012 ..... » 53

3.1 Campionamenti e analisi dell'acqua ..... » 53

3.2 Gestione colturale ..... » 54

3.3 Rilievi ..... » 54

3.4 Risultati ..... » 54

3.4.1 Qualità dell'acqua ..... » 54

3.4.2 Produzione del mais ..... » 54

3.4.3 Azoto nitrico nel terreno ..... » 56

3.5 Conclusioni ..... » 56

4. ATTIVITÀ 2012-2013 ..... » 57

4.1 Campionamenti e analisi dell'acqua ..... » 57

4.2 Drenaggio controllato ..... » 57

4.2.1 Gestione colturale ..... » 57

4.2.2 Rilievi ..... » 58

4.3 Zona umida di fitodepurazione ..... » 58

4.3.1 Rilievi idrologici ..... » 58

4.4 Risultati ..... » 59

4.4.1 Drenaggio controllato (periodo dicembre 2012 - aprile 2013) ..... » 59

4.5 Qualità dell'acqua ..... » 63

4.5.1 Acque di falda ..... » 63

4.5.2 Perdite di azoto ..... » 65

4.5.3 Drenaggio controllato (periodo aprile – novembre 2013) ..... » 67

4.5.4 Qualità dell'acqua ..... » 69

4.6 Analisi chimica delle acque di drenaggio ..... pag. 71
4.6.1 Analisi chimica del suolo ..... » 72
4.7 Produzione del mais ..... » 73
4.8 Fitodepurazione in zona umida ..... » 74
4.8.1 Bilancio idrologico ..... » 74
4.8.2 Comportamento della falda e condizioni di sommersione ..... » 78
4.8.3 Analisi chimica delle acque ed abbattimento dei carichi di azoto ..... » 80
4.9 Modello Drainmod-NII per la valutazione dell'effetto del drenaggio controllato nelle perdite di azoto ..... » 83
4.10 Conclusioni ..... » 84

5. BIBLIOGRAFIA ..... » 86

1. FITODEPURAZIONE A FLUSSO SUPERFICIALE COME PROTEZIONE DEI CORPI D'ACQUA IN AREE AGRICOLE

L'azione 3 del progetto LIFE-AQUA si concentra sulle possibilità applicative della fitodepurazione per ridurre le perdite di azoto proveniente dai campi coltivati verso la rete idrica superficiale. Essa è rinforzata anche da un monitoraggio mirato sulle possibilità applicative e sui risultati conseguibili con il drenaggio controllato.
Per fitodepurazione si intende un insieme di processi naturali di trattamento di acque inquinate basati sullo sfruttamento del sistema suolo-vegetazione quale filtro naturale per la depurazione dell'acqua. Per drenaggio, in idraulica agraria, si intende il complesso dei sistemi naturali o artificiali che permettono lo smaltimento in profondità dell' acqua in eccesso del terreno.
Il drenaggio controllato è un sistema di gestione della falda che consente di regolarne l'altezza. In particolare vengono limitati i deflussi idrici dai terreni agrari, eliminando solo l'acqua degli strati più superficiali che potrebbe danneggiare la coltura o ostacolare la normale trafficabilità dei campi.
Per drenaggio, in idraulica agraria, si intende il complesso dei sistemi naturali o artificiali che permettono lo smaltimento in profondità dell' acqua in eccesso del terreno. Il drenaggio controllato è un sistema di gestione della falda che consente di regolarne l'altezza. In particolare vengono limitati i deflussi idrici dai terreni agrari, eliminando solo l'acqua degli strati più superficiali che potrebbe danneggiare la coltura o ostacolare la normale trafficabilità dei campi.
Alcune decine di anni fa, negli Stati Uniti, è stata proposta la pratica del drenaggio controllato col fine di ridurre le perdite di N dal campo coltivato. Questo è stato possibile riducendo i volumi drenati e incrementando l'attività di denitrificazione del terreno (Borin, 2003). Le prime esperienze in territorio italiano sono relative all' inverno 1997-1998 ed evidenziano perdite di azoto nitrico pari a 15 kg/ha in appezzamenti a drenaggio libero mentre dagli appezzamenti a drenaggio controllato le perdite sono risultate inferiori a 1 kg/ha (Borin, 1999).

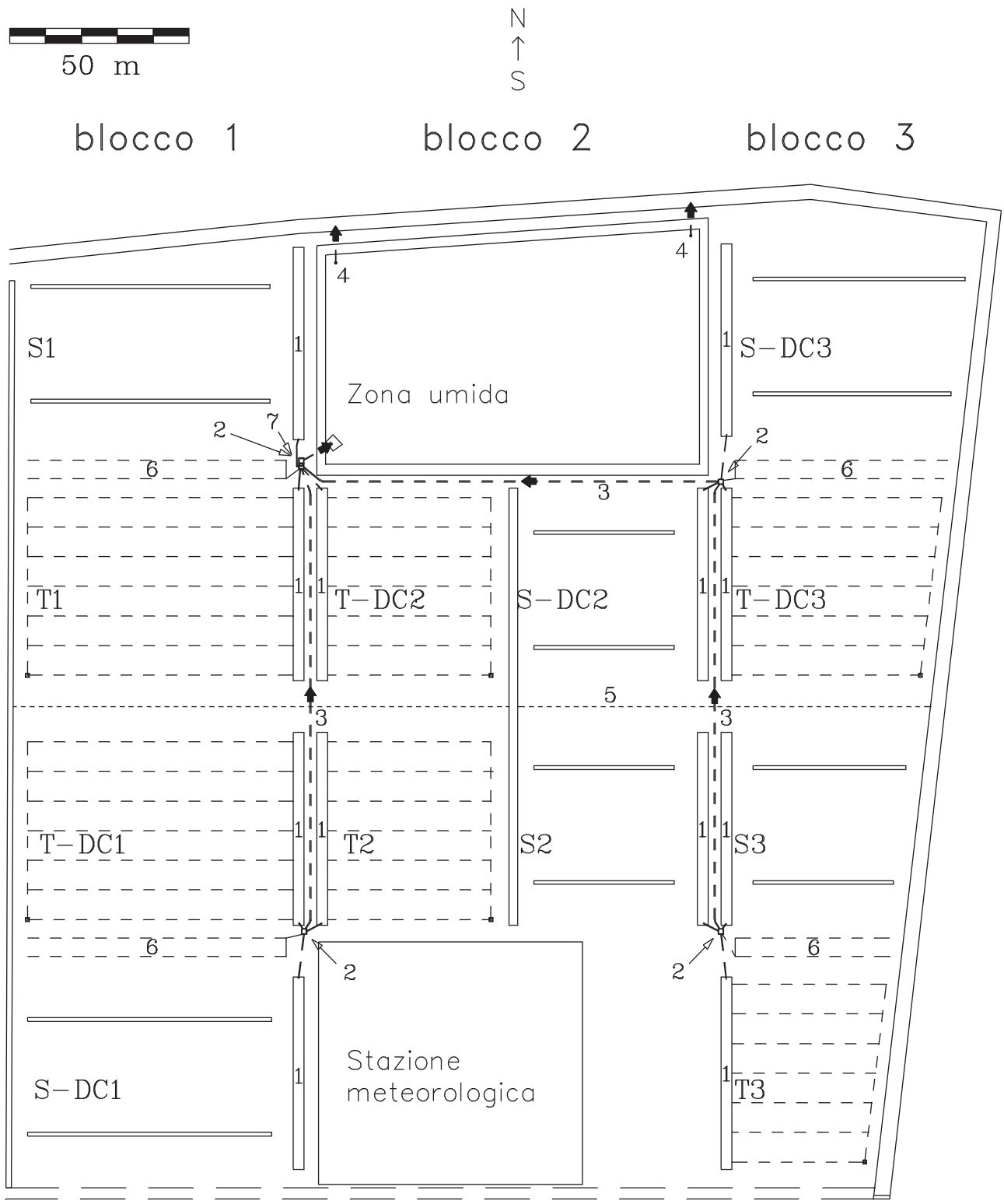
Nel periodo in esame l'attività di monitoraggio è stata condotta sia sul dispositivo di drenaggio controllato che sulla zona umida di fitodepurazione.

La prova presenta uno schema sperimentale "split-plot" con il confronto di 4 tesi derivate dalla combinazione di due fattori di studio: la gestione della falda e il sistema di regimazione delle acque di drenaggio:

- drenaggio convenzionale tubolare sotterraneo (T);
- drenaggio controllato tubolare sotterraneo (T-DC);
- drenaggio convenzionale con sistemazione alla ferrarese (S);
- drenaggio controllato con sistemazione alla ferrarese (S-DC).

Ciascuna tesi viene ripetuta 3 volte, per un totale di 12 parcelle sperimentali (Fig. 1), con superficie variabile tra 3000 e 5000 m². La zona umida è inserita a valle del sito sperimentale di drenaggio controllato dal quale riceve le acque. L'area interessata è stata divisa da un argine che separa il bacino ovest, predisposto a zona umida, dal bacino est, predisposto a risaia fino al 1998. La zona umida occupa un'area di circa 3300 m², è situata 0,4 m sotto il piano di campagna ed è circondata da un argine di 0,3 m sopra il piano di campagna.

Figura 1 – Planimetria del dispositivo sperimentale. T: drenaggio tubolare sotterraneo (i dreni sono tratteggiati); S: drenaggio superficiale (sistemazione alla ferrarese); DC: drenaggio controllato. 1: fossato di raccolta delle acque di scolo; 2: pozzetti in cemento; 3: collettori sotterranei in PVC per il trasferimento delle acque di scolo tra i pozzetti; 4: sbocchi della zona umida; 5: telo in PVC per l'isolamento delle parcelle; 6: dreni di intercettazione per l'isolamento delle parcelle; 7: pompa; 8: pozzetti per la subirrigazione; le frecce indicano il percorso dell'acqua.



2. ATTIVITÀ 2010-2011

2.1 Campionamenti e analisi dell'acqua

Sono stati eseguiti rilievi sulla falda, sui volumi di afflusso e deflusso. La falda è stata campionata con cadenza mensile alle seguenti date: 22/11/10, 17/12/10, 19/01/11, 18/02/11, 25/03/11, 29/04/11, 27/05/11, 01/07/11, 27/07/11, 25/08/11.

Sono stati raccolti campioni idrici in entrata, in uscita dagli appezzamenti in relazione all'andamento pluviometrico e in particolare il 22/11/10, 24/11/10, 26/11/10, 03/12/10, 12/01/11, 18/02/11, 16/03/11.

Campioni di acque in ingresso e in uscita dalla zona umida sono stati eseguiti alle seguenti date: 22/11/10, 24/11/10, 26/11/10, 03/12/10, 12/01/11, 19/01/11, 29/04/11, 27/05/11, 01/07/11, 27/07/11, 04/01/11, 18/02/11, 16/03/11.

I campioni prelevati vengono congelati e conservati in freezer per mantenere inalterate le caratteristiche chimiche nel tempo.

Dai campioni di acqua, provenienti dal drenaggio e dalla zona umida, sono state ricavate le concentrazioni (mg/L) di azoto totale.

Per le acque provenienti dalla prova di drenaggio sono stati analizzati circa 120 campioni provenienti dalla falda e 60 ricavati dalle acque drenate. Per quanto riguarda la *wetland* i campioni analizzati sono stati 10, 5 ricavati dalle acque in entrata e 5 da quelle in uscita. Il tempo richiesto per ogni ciclo di analisi (12 campioni) è stato di circa 2 giorni.

Una volta scongelati i campioni, l'acqua viene filtrata e versata in provette falcon da 50 ml.

Il metodo di analisi si basa sulla trasformazione di tutti i composti dell'azoto in nitrati e nella successiva determinazione di questa forma. Questo avviene grazie all'utilizzo dell'autoclave che permette l'ossidazione mediante una miscela di perossidi solfato, acido borico e idrossido di sodio. Per i campioni di suolo è stato determinato l'azoto totale utilizzando il metodo Kjeldahl. Tale metodo si basa sulla digestione dell'acido solforico che converte tutte le componenti dell'azoto in ammonio. Il campione digerito viene iniettato in un flusso portante e mescolato con idrossido di sodio. Il flusso arriva fino alla cella di diffusione dove il gas ammoniacale si espande attraverso una membrana in teflon creando un flusso indicatore che viene misurato a 590 nm.

2.2 Drenaggio controllato

2.2.1 Gestione colturale

Nel 2011 gli appezzamenti sono stati coltivati a mais ceroso. Il 14 ottobre 2010 il terreno è stato fertilizzato con di liquame bovino per un apporto totale di 200 kg/ha. L'8 aprile 2011 è stata effettuata la semina preceduta da una concimazione pre-semina dall'apporto di 25 kg/ha di azoto. È stato effettuato un diserbo pre-emergenza con 4 L/ha di Primagram Gold e tra il 9 e 10 maggio sono stati eseguiti dei diserbi post-emergenza con 1.5 L/ha di Ghibli e 1 L/ha di Banvel. Il 25 maggio è stata effettuata una concimazione di copertura a base di urea per un totale di 106 kg/ha di azoto. La raccolta è stata effettuata il 12 agosto.

2.2.2 Rilievi

I rilievi sono stati effettuati nel periodo tra novembre 2010 e settembre 2011. In tale periodo sono stati monitorati i volumi di afflusso e di deflusso degli appezzamenti, misurata l'altezza della falda e sono stati raccolti campioni d'acqua provenienti dal drenaggio e dalla falda. Dalle acque di drenaggio sono stati raccolti in tutto 40 campioni mentre dalla falda ne sono stati raccolti 90.

Per mantenere l'altezza della falda desiderata nelle tesi a drenaggio controllato vengono utilizzati gli sfioratori. Dal primo novembre 2010 fino al 26 dello stesso mese non sono stati utilizzati sfioratori, successivamente sono stati portati ad un'altezza di 15 cm inferiore al piano di campagna, e mantenuti per l'intero periodo di sperimentazione.

Sono stati monitorati i volumi d'acqua di afflusso e deflusso negli appezzamenti delle 4 tesi.

In particolare sono state effettuate misure dei volumi di afflusso, consistenti nella pioggia caduta e misure dei volumi di deflusso, ovvero i volumi di acqua drenati dalle singole parcelle dopo eventi piovosi. Inoltre, quando ci sono consistenti eventi piovosi, viene prelevato un campione di acqua di deflusso per l'analisi chimica.

Una volta alla settimana è stata misurata la profondità della falda nei 12 freatimetri all'interno dei quali vengono prelevati campioni di acqua una volta al mese o in seguito ad eventi piovosi.

Alla raccolta sono state realizzate aree di saggio per campionare la produzione di mais ceroso, espressa in sostanza secca.

Un campione per ogni parcella è stato essiccato in stufa a 65 °C per determinare la concentrazione di azoto.

2.3 Zona umida di fitodepurazione

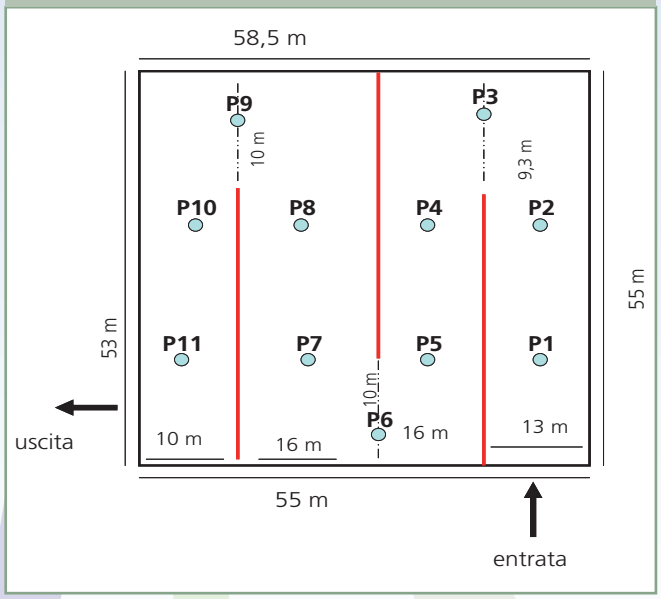
2.3.1 Rilievi idrologici

Sommersione. Questi rilievi sono stati effettuati nei periodi di sommersione misurando l'altezza dell'acqua dal fondo della superficie sommersa della *wetland*. Questo è stato reso possibile grazie all'inserimento di una prolunga di 30 cm nel freatimetro, regolabile in funzione delle necessità. I rilievi nei periodi di sommersione sono giornalieri.
Profondità di falda. I rilievi sono stati eseguiti misurando la distanza tra il pelo libero della falda all'interno del freatimetro e fondo del freatimetro stesso, con una frequenza di 2 volte alla settimana.
Volumi in entrata e uscita. I volumi giornalieri in entrata sono stati calcolati moltiplicando le ore giornaliere di funzionamento della pompa per la portata della stessa. I volumi d'acqua in uscita vengono conteggiati mediante un conta litri prima di essere scaricati nel collettore finale. Le portate in entrata ed uscita avvenivano qualora ci fosse acqua disponibile, per più volte al mese.
Pioggia. I dati relativi alla piovosità giornaliera sono stati raccolti dall'ARPAV per mezzo di un pluviometro e un pluviografo della stazione meteorologica di Legnaro, situati all'interno del sito sperimentale.

2.3.2 Prelievi vegetali e del terreno

Ad inizio della stagione vegetativa sono stati raccolti campioni di suolo e della vegetazione di *Phragmites australis* in 11 punti disposti lungo il percorso obbligato dell'acqua (Fig. 2). Per ogni punto è stato ricavato un quadrato di 50*50 cm e si è raccolta tutta la parte aerea e lo strame corrispondente. Poi si è scavato a una profondità di 0-20 cm e di 20-50 cm raccogliendo tutto il terreno, tutti i rizomi e tutte le radici. Il materiale sotterraneo è stato accuratamente lavato e pesato. Tutto il materiale vegetale è stato poi seccato in stufa a 65° C per la determinazione del contenuto in N. Successivamente è stato posto in stufa a 105°C per la determinazione della sostanza secca.
Per i campioni di suolo è stato analizzato l'azoto totale. In tutto sono stati analizzati 22 campioni provenienti dagli 11 punti di campiomento, alle profondità di 0-20 e 20-50 cm.
Per la vegetazione sono stati analizzati 22 campioni per la parte sotterranea prelevati tra 0-20 e 20-50 cm di profondità e 22 campioni per la parte aerea.

Figura 2 – Schema wetland e punti campionamento.



2.4 Risultati

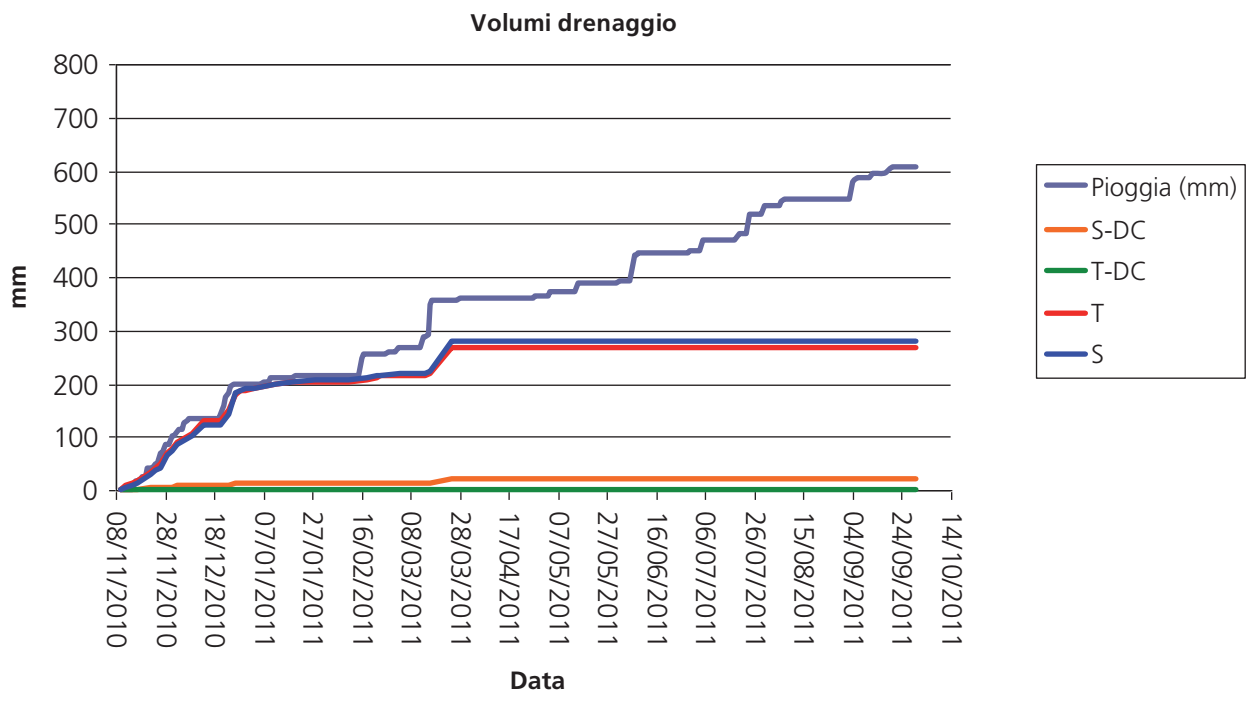
2.4.1 Drenaggio controllato

Il bilancio idrologico va ad esaminare i volumi di ingresso ed uscita di un determinato bacino idrologico. Considerando la superficie dedita al drenaggio controllato, gli afflussi sono costituiti dalla pioggia mentre i deflussi dalle acque drenate dai vari appezzamenti. In figura 3 i volumi di acqua drenata sono stati divisi per tesi evidenziando perdite nettamente minori nel drenaggio controllato rispetto al drenaggio tradizionale.
Nel periodo considerato, tra il 10 novembre 2010 e il 30 settembre 2011, sono caduti 604.6 mm di pioggia. I primi 4 mesi (fino a metà marzo) sono stati i più piovosi determinando un apporto totale di 346.7 mm d'acqua. In questo periodo le entrate sono state proporzionalmente accompagnate dalle uscite, principalmente evidenti nelle tesi a drenaggio tradizionale. Da metà marzo fino a fine periodo le piogge sono diminuite impedendo la fuoriuscita di acque di drenaggio. Conseguentemente i valori dell'acqua in uscita dalle diverse tesi è rimasto invariato da metà marzo fino a fine periodo.
In tabella 1 vengono riportati i volumi totali della pioggia caduta e del drenaggio per l'intero periodo considerato. Da notare i volumi nettamente inferiori delle tesi a drenaggio controllato (S-DC, T-DC) rispetto quelle a drenaggio tradizionale (T,S). Le differenze tra i volumi drenati dalla gestione tubolare e quelli drenati dalla gestione alla ferrarese risultano minime a parità di tecnica di drenaggio: controllato o tradizionale.

Tabella 1 – Volumi totali (mm) per pioggia e drenaggio.

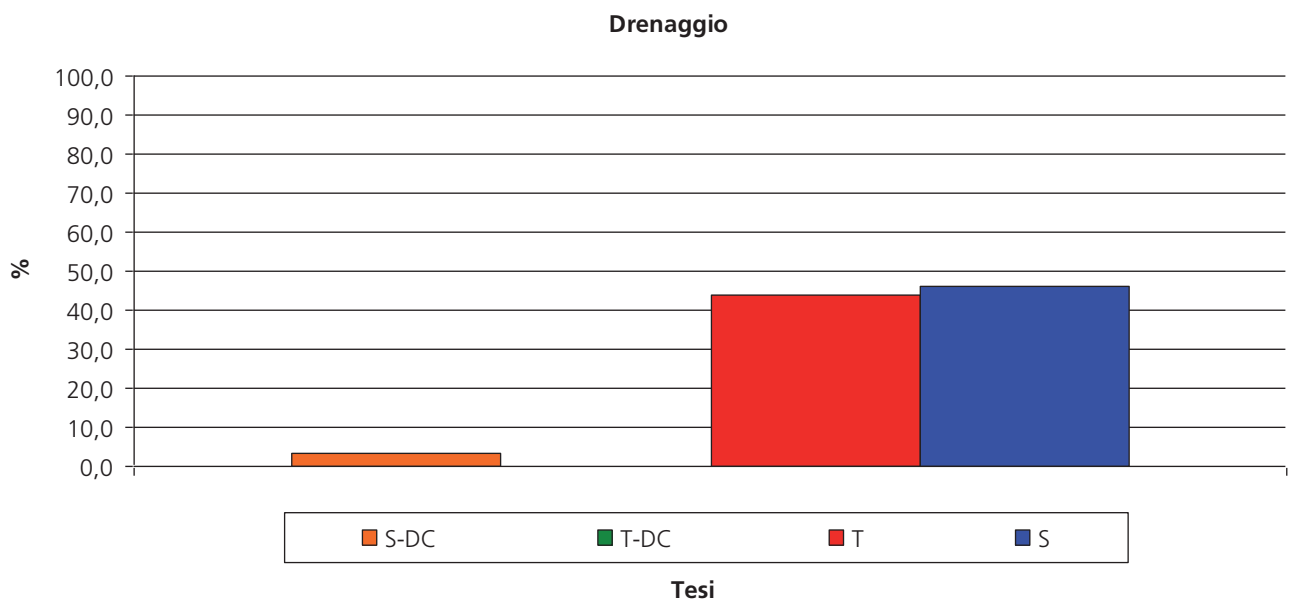
Anno	H pioggia	S-DC	T-DC	T	S
Nov-10/ set-11	604,6	20,2	0,4	266,1	277,7

Figura 3 – Volumi di pioggia e volumi medi di drenaggio cumulati per tesi "drenaggio superficiale" (S), "drenaggio tubolare" (T), "drenaggio controllato tubolare" (T-DC), "drenaggio controllato con sistema alla ferrarese" (S-DC).



Per ogni tesi è stata calcolata la percentuale di acqua drenata rispetto al volume derivato dalla pioggia. Come si può osservare in figura 4 le percentuali più elevate sono state drenate nelle tesi a drenaggio convenzionale T ed S. In T-DC non è evidente il dato in quanto la percentuale è bassissima (0.1%). In particolare il sistema tradizionale drena in media il 79.8% della pioggia totale contro l'1.7% drenato dal sistema controllato. La tesi S drena il 45.9%, la percentuale più elevata, subito seguita dal 44% della tesi T. Le tesi a drenaggio controllato drenano percentuali molto basse, rispettivamente 0.1% per T-DC e 3.3% per S-DC.

Figura 4 – % di acqua drenata rispetto alla pioggia caduta.



L'andamento idrico della falda è regolato dalle condizioni climatiche e dall'utilizzo di sfioratori nelle tesi a drenaggio controllato. Dal primo novembre 2010 non sono stati utilizzati sfioratori fino al 26 dello stesso mese quando sono stati immessi esclusivamente nelle tesi a drenaggio controllato e a un'altezza di 15 cm inferiore al piano di campagna. I dati relativi l'altezza della falda partono dal 27 novembre 2010 in cui il range di profondità delle falde era tra i 50 e i 70 cm (Fig. 5).

2.4.2 Qualità dell'acqua

Dalle analisi dell'azoto totale (Fig. 6) notiamo che le mediane delle concentrazioni in azoto totale dell'acqua uscita dagli appezzamenti con drenaggio controllato risultano essere inferiori rispetto quelle del drenaggio tradizionale. La tesi T-DC risulta avere la mediana più bassa (3.14 mg/L) e una dispersione molto elevata mentre la mediana più alta la troviamo in T con 9.2 mg/L. Le altre due tesi, T ed S-DC, sono caratterizzate da una dispersione ridotta e

Figura 5 – Relazione tra precipitazioni giornaliere (mm) e altezza falda (cm).

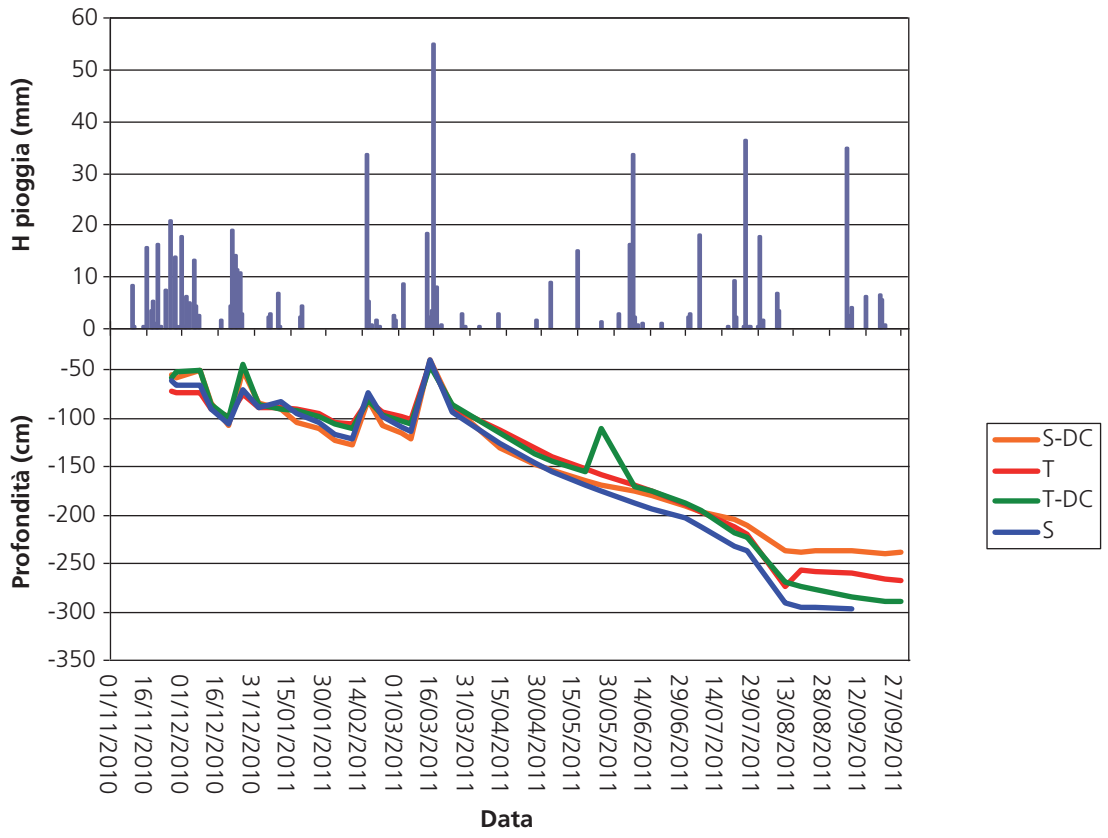
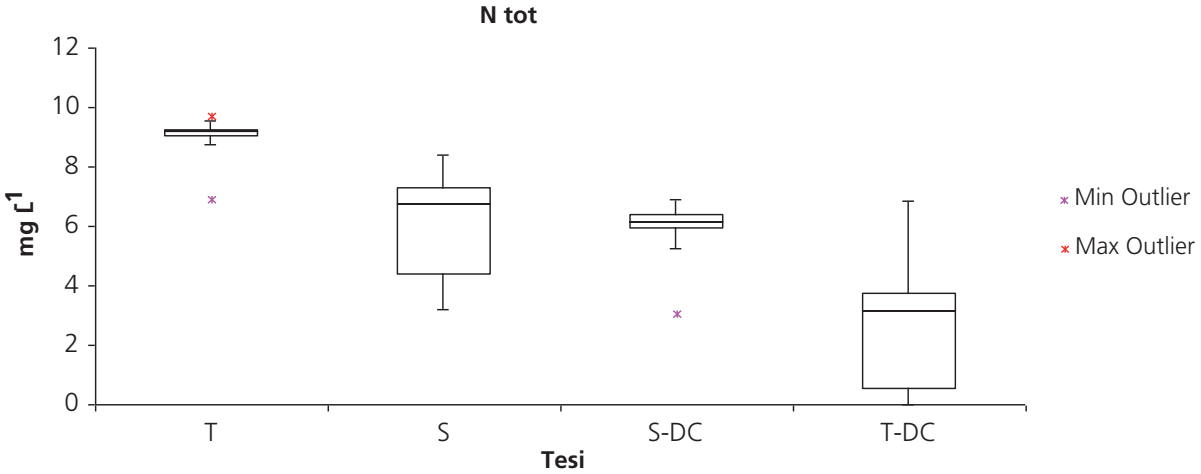


Figura 6 – Box and Whiskers delle concentrazioni di azoto totale nell'acqua di drenaggio nelle quattro tesi.



sono abbastanza simmetriche rispetto la mediana a differenze di S e T-DC dove i valori inferiori alla mediana presentano una dispersione maggiore.
Nella falda (figura 7) le concentrazioni di azoto totale risultano quasi tutte inferiori ai 14 mg L^{-1} ad eccezione della tesi S che in data 22/11/2010 raggiunge i 20.5 mg L^{-1}, valore elevato come per le altre tesi in questa data. Le tesi con la concentrazione maggiore risultano quasi sempre quelle a drenaggio superficiale S ed S-DC. Le concentrazioni di luglio e agosto presentano valori molto più bassi, a volte non rilevabili all'analisi.

Dalle singole concentrazioni di elementi chimici presenti nei campioni sono stati ricavati quattro grafici box and whiskers riassuntivi (Fig. 8).
Le tesi a drenaggio tubolare presentano concentrazioni più basse rispetto le tesi a drenaggio superficiale. Le mediane di T e T-DC risultano quasi uguali, rispettivamente di 1.0 e 1.1 mg L^{-1}. La mediana più alta è nella tesi S-DC che con 6.3 mg L^{-1} supera la mediana della tesi a drenaggio tradizionale superficiale S. Quest'ultima presenta una dispersione molto elevata con un valore estremo massimo di 12.7 mg L^{-1}.

Figura 7 – Concentrazione di azoto totale in falda.

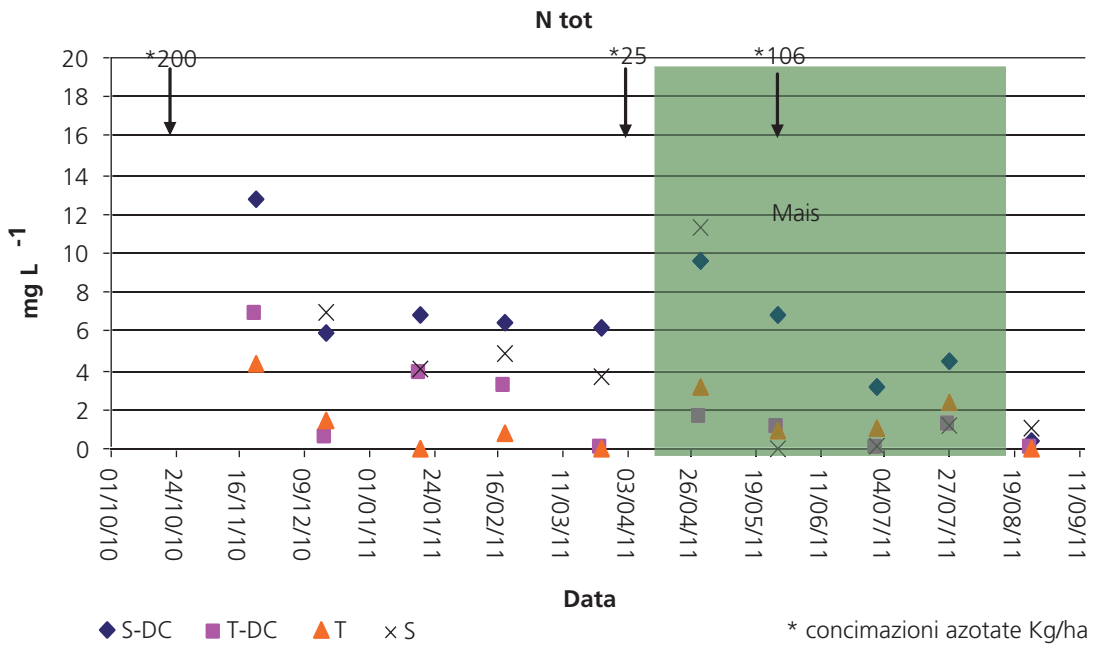
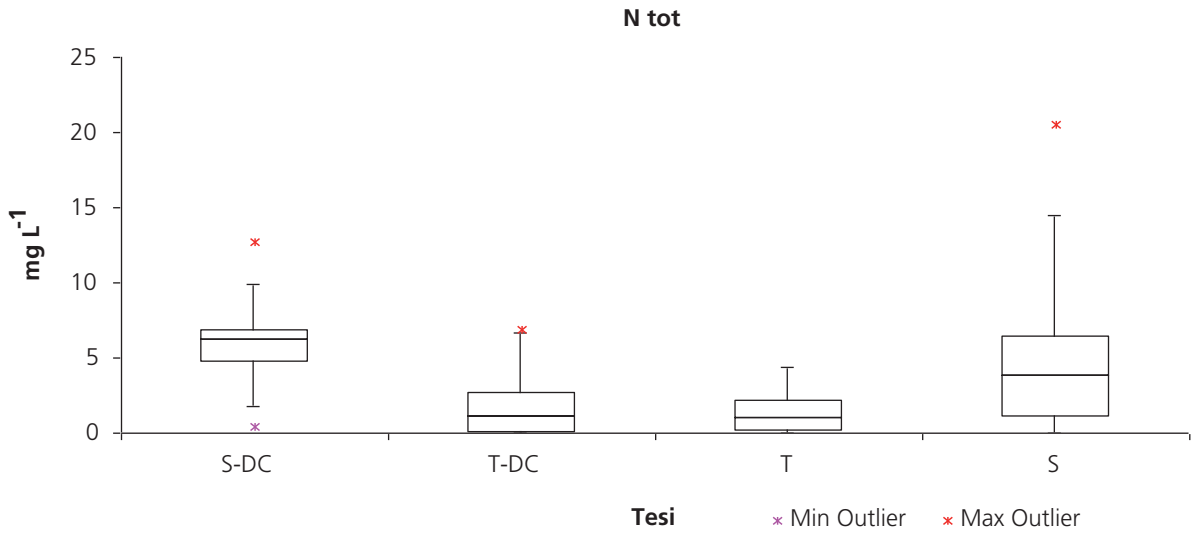


Figura 8 – Box and Whiskers delle concentrazioni di azoto totale in falda per le quattro tesi.



2.4.3 Perdite di azoto

Le perdite sono state calcolate mediante il prodotto tra i volumi d'acqua mensili e la concentrazione media mensile di elementi chimici per ogni tesi. La figura 9 mette in evidenza il rapido incremento delle tesi a drenaggio convenzionale, in particolare la tesi T che a fine periodo risulta perdere 53.3 kg ha^{-1} di azoto totale. La tesi S raggiunge i 16.5 kg ha^{-1} e le tesi a drenaggio controllato assumono valori pari allo zero per T-DC e di 1.2 kg ha^{-1} per S-DC. Perdite nettamente inferiori per il drenaggio controllato sono la conseguenza di bassi volumi d'acqua in uscita.

2.4.4 Produzione del mais

La produzione media di mais è stata compresa fra 14-16 t ha^{-1} (Tab. 2); la tesi S-DC con 16.4 t ha^{-1} riscontra avere la produzione maggiore mentre T-DC la minore con 14.8 t ha^{-1}. Non risultano differenze tra le tesi a drenaggio controllato e quelle a drenaggio tradizionale, né per quanto riguarda la produzione di sostanza secca, né per quanto riguarda il contenuto di azoto totale, mentre gli appezzamenti con scoline sono stati più produttivi di quelli con dreni sottosuperficiali.

2.5 Fitodepurazione in zona umida

2.5.1 Comportamento idrologico e qualità dell'acqua

Per il bilancio idrologico della *wetland* vengono considerati i volumi d'acqua provenienti dal drenaggio delle parcelle e le precipitazioni come afflussi e le acque in uscita come deflussi.

Il bilancio idrico della *wetland*, riassunto in tabella 3, evidenzia che gli apporti di acqua maggiori derivano dai volumi provenienti dal drenaggio per un totale di 7893 mm mentre dalle precipitazioni derivano 604.6 mm. Le uscite

Figura 9 – Perdite medie cumulate di azoto totale per le quattro tesi.

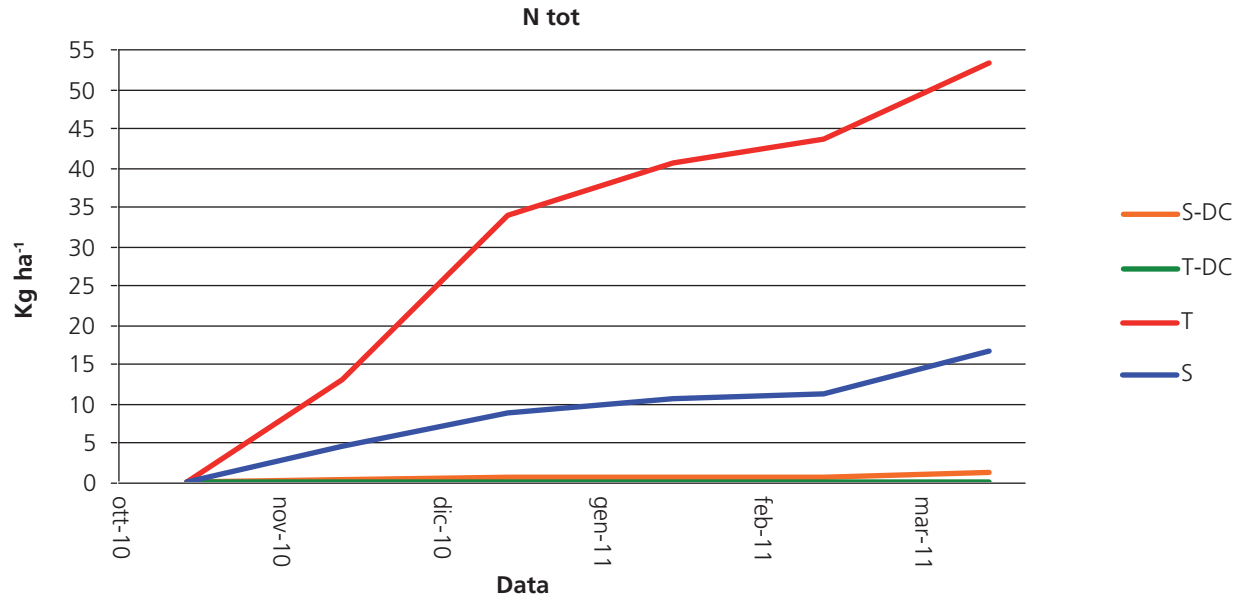


Tabella 2 – Sostanza secca, % N totale e asportazioni N nelle diverse tesi.

Tesi	ss (t/ha)		%N	N (kg/ha)
T	15,2	+ -1,7	0,77	116
T-DC	14,8	+ -2,6	0,90	132
S	15,7	+ -1,5	0,93	147
S-DC	16,4	+ -1,8	0,84	138
DRENAGGIO TRADIZIONALE	15,5	±1,5	0,85	132
DRENAGGIO CONTROLLATO	15,6	+ -2,2	0,87	135
T	15,0	+ -2,0	0,83	124
S	16,1	+ -1,5	0,88	143

sono pari a 5818 mm. Sia i volumi in entrata, sia quelli in uscita presentano una crescita più o meno costante fino al 06/05/2011. Da questa data fino a fine periodo non si verificano più né entrate provenienti dal drenaggio né uscite dalla zona umida.

Dalle concentrazioni di azoto totale espresse in figura 10 si possono notare mediane simili per le entrate e le uscite, in particolare per le prime la mediana corrisponde a 5.0 mg L^{-1}, per le seconde a 4.5 mg L^{-1}. Sia le entrate che le uscite risultano simmetriche rispetto le relative mediane ma le uscite presentano una dispersione maggiore verso concentrazioni inferiori alla mediana registrando un minimo di 1.43 mg L^{-1}. Per le entrate la concentrazione massima è di 7.07 mg L^{-1} mentre per le uscite è di 6.21 mg L^{-1}.

Moltiplicando la concentrazione mensile e la somma mensile dei volumi d'acqua si ottiene il bilancio di massa della *wetland* (figura 11), dal quale si può notare che gli apporti in entrata sono costanti nei vari mesi con un leggero incremento nel mese di marzo. A fine periodo risultano entrati nella *wetland* 356 kg ha^{-1}. Le uscite presentano un incremento nei mesi di novembre per poi stabilizzarsi e raggiungere i 74.4 kg ha^{-1} a fine periodo, per un abbattimento prossimo all'80%.

La produzione di sostanza secca della vegetazione della *wetland* raccolta nel 2011 è stata suddivisa in base al comparto vegetale (figura 12): biomassa ipogea a 20-50 cm di profondità a 0-20 cm, strame e parte aerea. La maggior parte di sostanza secca si trova nella biomassa dei primi 20 cm di profondità che risulta in ogni punto superiore alle 24 t ha^{-1}.

La figura 13 rappresenta la ripartizione dell'azoto nella biomassa vegetale per ogni punto di campionamento ed evidenzia che le asportazioni della parte ipogea risultano nettamente superiori rispetto a quelle della biomassa epigea, specialmente nei primi 20 cm di profondità dove viene registrata l'asportazione massima di 452 kg ha^{-1} a 144 m di distanza. A 54 metri di distanza dalla pompa viene registrata l'asportazione massima con 824 kg ha^{-1} di cui 673 kg ha^{-1} derivano dalla parte ipogea. Paragonando i due grafici non risultano specifiche relazioni tra il punto di campionatura e l'asportazione totale.

2.6 Conclusioni

I dati del monitoraggio del primo anno di attività testimoniano le ottime prestazioni del drenaggio controllato e della fitodepurazione nel limitare le perdite di azoto dai terreni coltivati e confermano le tendenze evidenziate in cicli di monitoraggio precedenti.

Tabella 3 – Bilancio idrico della *wetland* nel periodo novembre 2010-settembre 2011.

Tesi	Giorni somm.	H media somm. Cm	H media falda cm	Vol. In mm	Vol. Out mm	mm pioggia
nov-10/set-11	69	19,07	143,00	7893	5818	604,6

Figura 10 – Box and Whiskers delle concentrazioni in entrata e uscita di azoto totale.

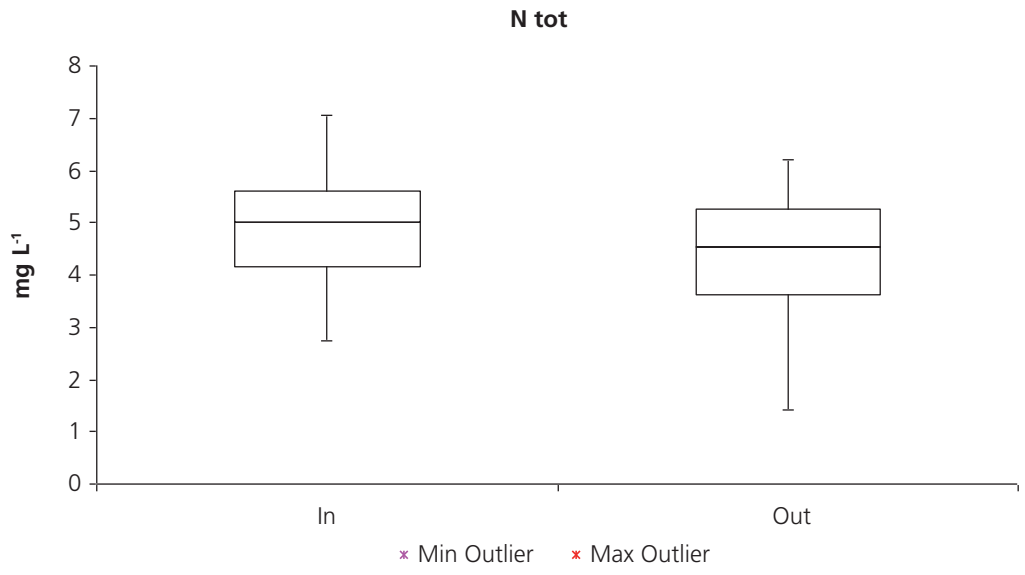


Figura 11 – Bilancio di massa cumulato dell'azoto totale.

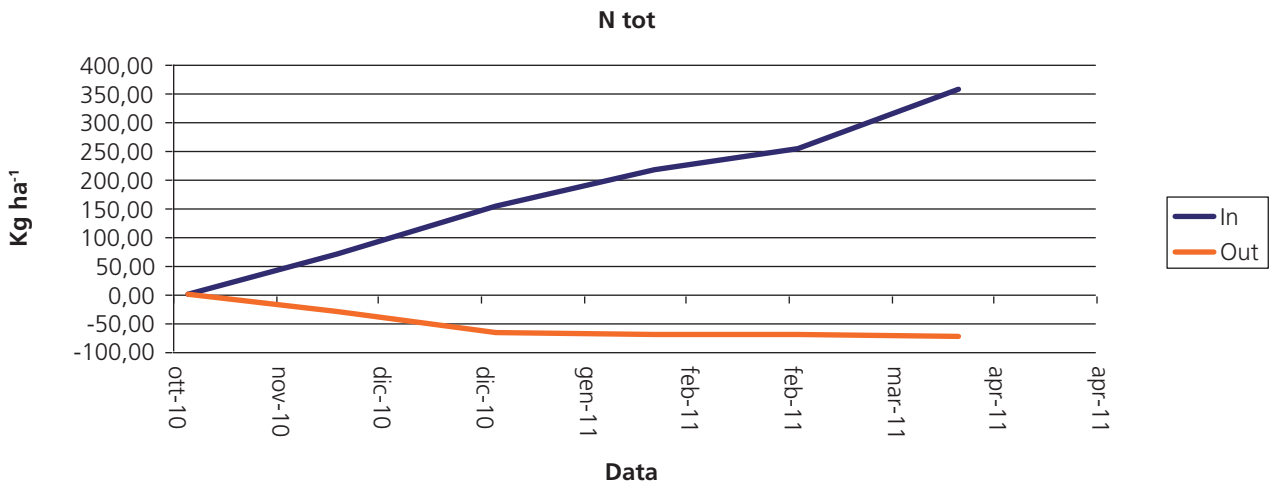


Figura 12 – Produzione di sostanza secca (t ha^{-1}) per gli 11 punti di campionatura della wetland nel 2011.

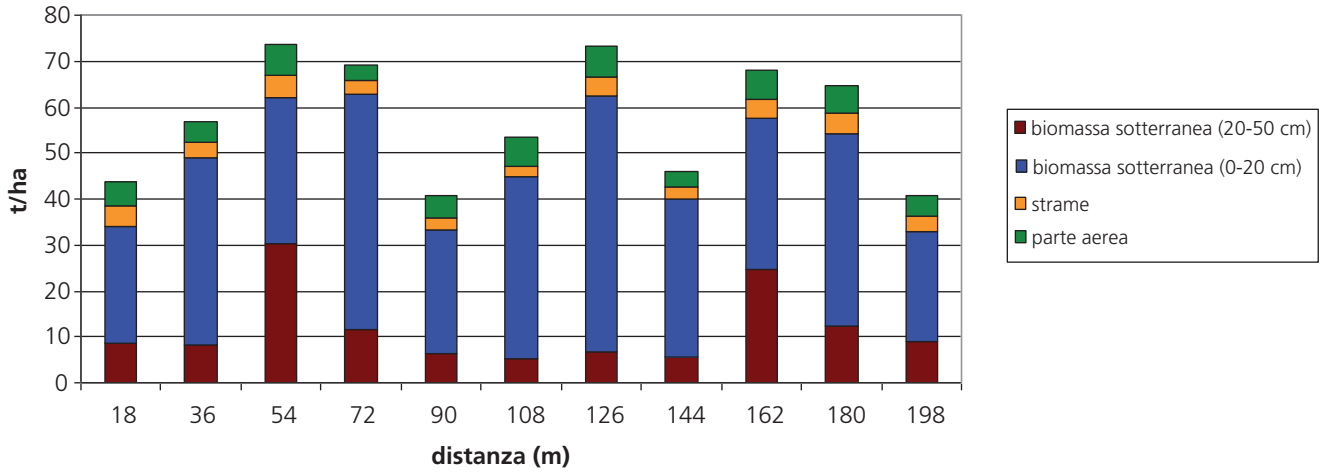
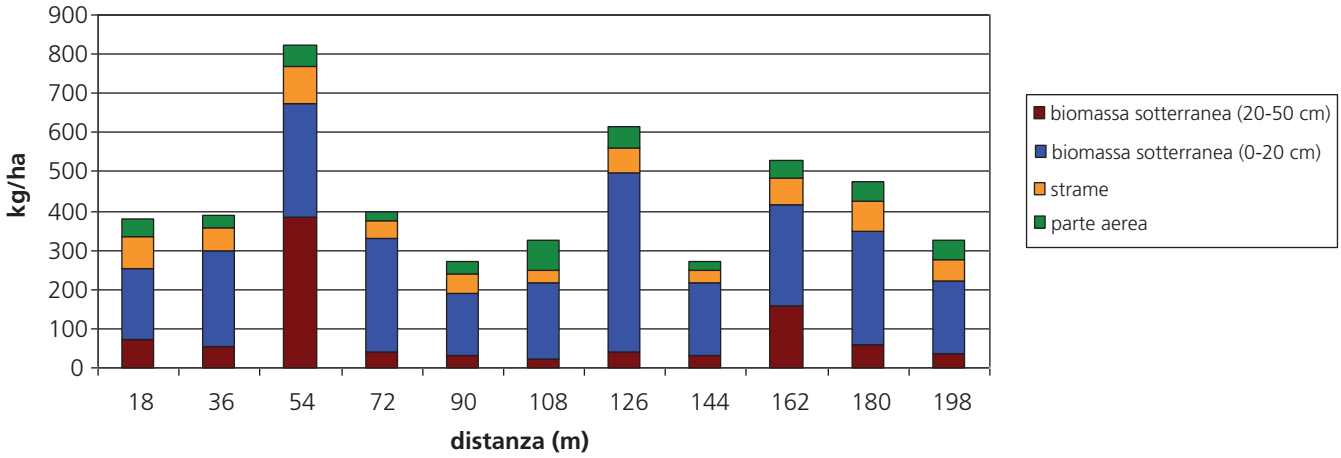


Figura 13 – Asportazione di N totale (kg ha^{-1}) per gli 11 punti di campionatura della wetland nel 2011.



3. ATTIVITÀ 2011-2012

3.1 Campionamenti e analisi dell'acqua

La falda è stata campionata con cadenza mensile alle seguenti date: 22/12/2011, 25/01/2012, 01/03/2012, 03/04/2012, 19/04/2012, 25/05/2012, 01/06/2012, 29/06/2012, 30/07/2012, 28/09/2012, 29/10/2012, 09/11/2012, 23/11/2012, 30/11/2012 e 17/12/2012.
Campioni di acque drenate e, quindi, di acque in ingresso e in uscita dalla zona umida vengono raccolte in relazione all'andamento pluviometrico. L'anno preso in analisi in questa relazione, così come quello precedente, sono caratterizzati da una piovosità media ridotta e da un generale innalzamento delle temperature rispetto alla media. (Figure 14 e 15). Non sono, quindi, presenti campioni delle suddette acque fino al 17/12/2012 e di conseguenza non è presente un bilancio idrico del drenaggio.

Figura 14 – Andamento delle precipitazioni negli anni 2011 e 2012, rispetto alla media storica 1995-2010.

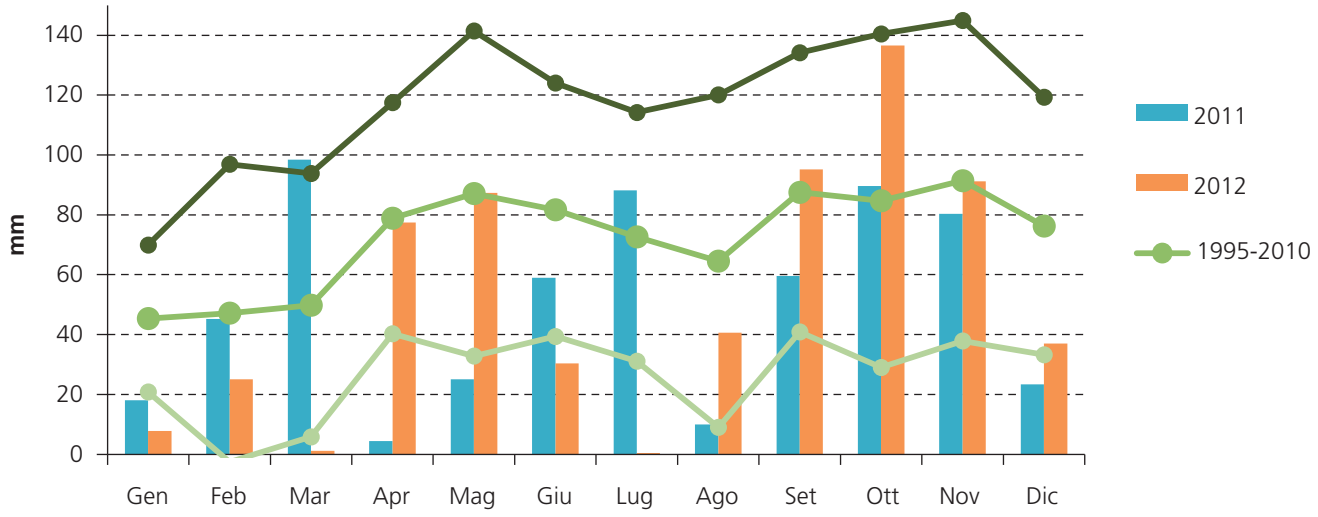
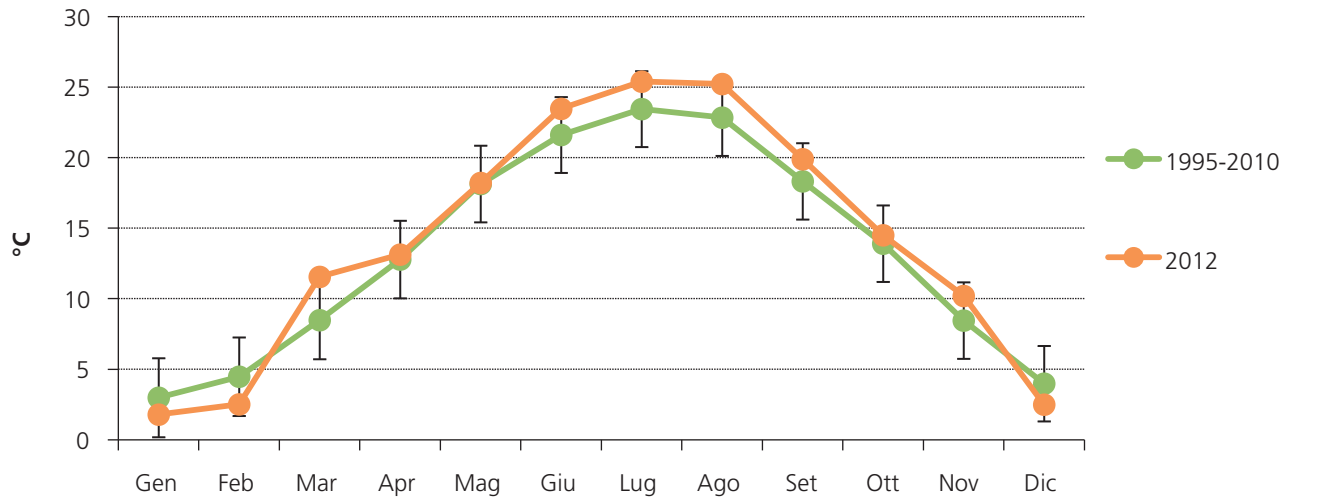


Figura 15 – Andamento delle temperature nell'anno 2012, rispetto alla media storica 1995-2010.



I campioni prelevati, per un totale di 140, sono stati congelati e conservati in freezer per mantenere inalterate le caratteristiche chimiche nel tempo. Successivamente sono state ricavate le concentrazioni (mg/l) di azoto totale.
Il tempo richiesto per ogni ciclo di analisi (12 campioni) è stato di circa 4 giorni.
Una volta scongelati i campioni, l'acqua viene filtrata e versata in provette falcon da 50 ml.
Il metodo di analisi si basa sulla trasformazione di tutti i composti dell'azoto in nitrati e nella successiva determinazione di questa forma. Questo avviene grazie all'utilizzo dell'autoclave che permette l'ossidazione mediante una miscela di perossidi solfato, acido borico e idrossido di sodio. Per i campioni di suolo è stato determinato l'azoto totale utilizzando il metodo Kjeldahl. Tale metodo si basa sulla digestione dell'acido solforico che converte tutte le componenti dell'azoto in ammonio. Il campione digerito viene iniettato in un flusso portante e mescolato con idrossido di sodio. Il flusso arriva fino alla cella di diffusione dove il gas ammoniacale si espande attraverso una membrana in teflon creando un flusso indicatore che viene misurato a 590 nm.

3.2 Gestione colturale

Nel 2012 gli appezzamenti sono stati coltivati a mais ceroso (PR 31D24), seminato in data 11 maggio su terreno precedentemente preparato con erpice rotante.
La fertilizzazione è stata differenziata in 3 tesi con le seguenti modalità:

- Liquame: blocco 2 fertilizzazione solo con liquame bovino in pre-semina con 250 kg/ha di N.
- Minerale: blocco 1, fertilizzato solo con concimi minerali in dosi da equiparare l'apporto del liquame. In pre-semina è stato distribuito perfosfato triplo (46%) pari a 136 kg/ha di P_20_5 e solfato di potassio, pari a 195 kg/ha di K_2O. In copertura poi è stata distribuita Urea (46%), pari a 250 kg/ha di N, divisa in due applicazioni in sarchiatura il 6 e il 18 di giugno.
- Misto: blocco 3 fertilizzazione con liquame in pre-semina, pari a 125 kg/ha N ed integrato con fertilizzanti minerali ovvero perfosfato triplo (46%) pari a 65 kg/ha di P_20_5 e solfato di potassio, pari a 93 kg/ha di K_2O. In copertura è poi stata distribuita con sarchiatura Urea (46%), pari a 125 kg/ha di N, in data 6 giugno.

Con tal modo di procedere si son pertanto voluti valutare gli effetti produttivi e ambientali dell'applicazione della deroga alla Direttiva Nitrati.
Per quanto riguarda i trattamenti è' stato effettuato un diserbo pre-emergenza con 2 l/ha di Lumax mentre in data 6 agosto stato distribuito l'antipiralide Bayteroid ew con 4 l/ha.
Viste le temperature elevate dei mesi estivi (Figura 15) e la siccità intensa sono state attuate due irrigazioni di soccorso, una l'1 di luglio e l'altra il 31, rispettivamente di 30 e 40 mm.
La raccolta è avvenuta il 17 settembre.

3.3 Rilievi

I rilievi sono stati effettuati nel periodo tra dicembre 2011 e settembre 2012. In tale periodo è stata monitorata la falda: una volta alla settimana ne è stata misurata la profondità nei 12 freatimetri all'interno dei quali sono stati prelevati campioni di acqua una volta al mese o in seguito ad eventi piovosi. Come già spiegato in precedenza, non erano presenti campioni di acqua drenata e quindi neppure di acqua in ingresso ed in uscita dalla zona umida.
Alla raccolta del mais sono state realizzate aree di saggio per campionare la produzione di mais ceroso. Successivamente un campione per ogni parcella è stato essiccato per determinare la resa della granella in sostanza secca e la concentrazione di azoto.
Prima della semina del mais e dopo la sua raccolta sono stati prelevati campioni di terreno a due profondità (0-30 cm e 30-60 cm) per poterne misurare in laboratorio la quantità di azoto nitrico presente.

3.4 Risultati

3.4.1 Qualità dell'acqua

Nella falda (Figura 16) le concentrazioni medie di azoto totale risultano tutte inferiori ai 3 mg/l. Le concentrazioni di marzo presentano valori molto più bassi, a volte non rilevabili all'analisi. Le tesi con la concentrazione maggiore risultano quasi sempre quelle a drenaggio superficiale S ma le varie tesi non hanno un andamento omogeneo. Si può notare invece come fra le diverse modalità di fertilizzazione si siano ottenute delle tendenziali differenze: in linea generale le parcelle in cui è stato distribuito liquame risultano avere basse concentrazioni di azoto totale nelle loro acque di falda, seguite da quelle con fertilizzazione mista ed infine quelle che hanno ricevuto solo concimi minerali.

3.4.2 Produzione del mais

L'annata 2012 è stata caratterizzata da un clima anomalo, che ha messo a dura prova il mais di tutta la pianura padana. Anche nella nostra sperimentazione le rese hanno valori molto ridotti, con media pari a 11.02 q/ha (Tabella 4). Osservando le varie tesi si può comunque notare che, in media, la fertilizzazione che da rese maggiori è quella mista con 12.44 q/ha, seguita dalle altre 2 con valori molto simili. Per quanto riguarda i diversi sistemi di drenaggio, invece, la tesi TC con 15.22 q/ha riscontra avere la produzione maggiore mentre T la minore con 7.37 q/ha.

Figura 16 – Concentrazione di azoto totale in falda.

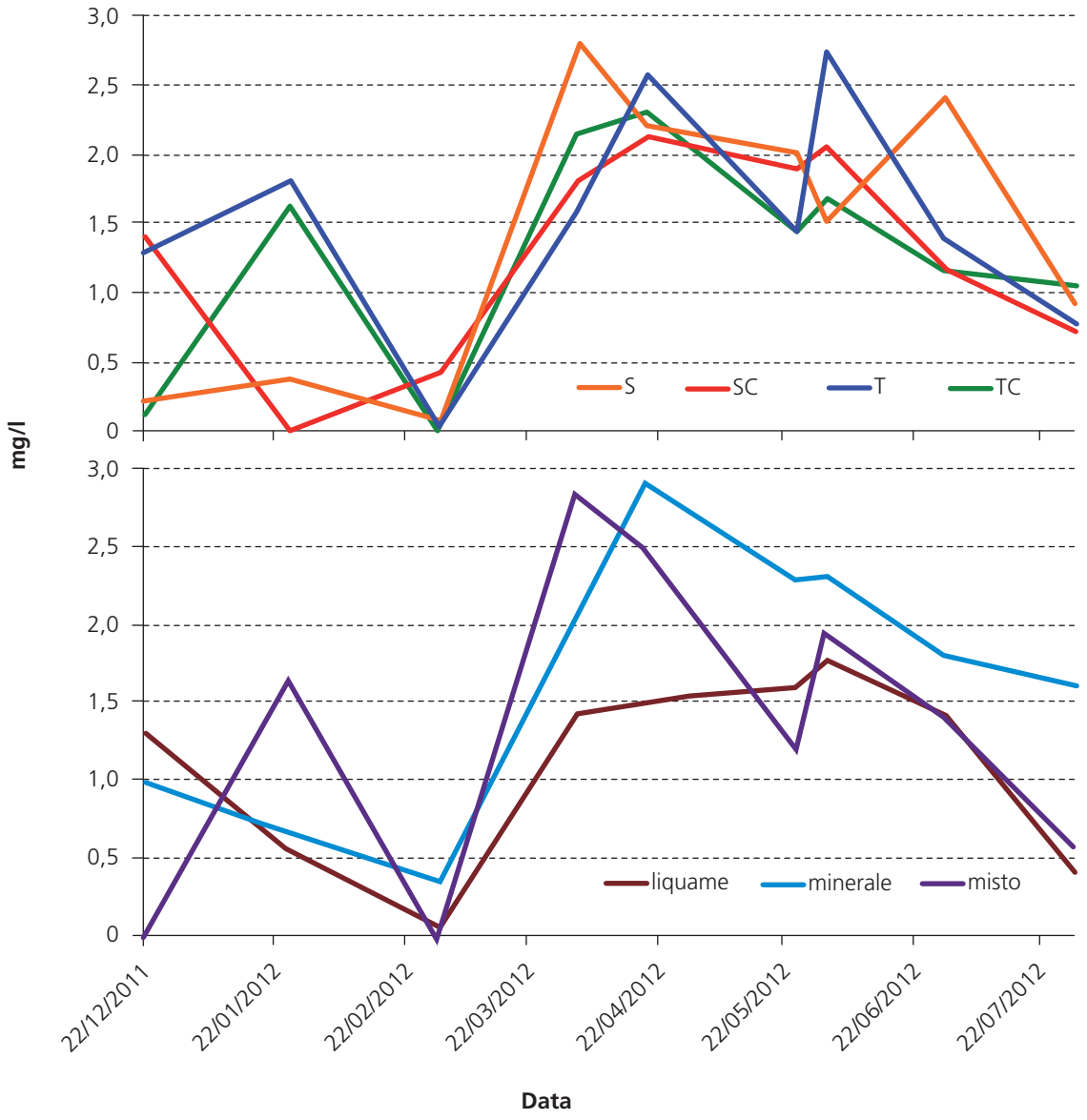


Tabella 4 – Sostanza secca della granella nelle diverse tesi.

Resa granella q/ha S.S.		FERTILIZZAZIONE			
		minerale	liquame	misto	media
DRENAGGIO	S	10.05	13.68	6.39	10.04
	T	4.45	4.09	13.58	7.37
	SC	10.56	9.03	14.74	11.45
	TC	16.09	14.54	15.03	15.22
	media	10.29	10.34	12.44	11.02

3.4.3 Azoto nitrico nel terreno

Le analisi eseguite sui campioni di terreno riportano i valori in Tabella 5.

Dai valori si evince che prima della semina la presenza di N nitrico nel terreno era mediamente di 17.5 ppm e dopo la raccolta era salita a 20.1 ppm. Si sono evidenziate differenze fra le tesi di fertilizzazione, in quanto, in presenza di concime minerale si è avuto un accumulo di N nitrico a fine ciclo (10.2 ppm), con liquame la concentrazione è variata di poco e con fertilizzazione mista vi è stato un leggero decremento. Dal punto di vista ambientale la concimazione minerale, con una media di 30 ppm di N nitrico, si presenta quale la più potenzialmente impattante per le lisciviazioni invernali.

3.5 Conclusioni

Il particolare decorso meteorologico della stagione primaverile estiva 2012 ha in parte compromesso i risultati della sperimentazione, che mirava a valutare gli effetti produttivi e ambientali dell'applicazione della deroga alla Direttiva Nitrati.

In linea di massima la concimazione con solo azoto da liquame ha dato una resa non differente rispetto a quella con solo azoto minerale, ma ha fornito valori migliori di qualità dell'acqua di falda e minore presenza di azoto residuale nel terreno dopo la raccolta. I migliori risultati sono stati conseguiti con la fertilizzazione mista.

Tabella 5 – Azoto nitrico presente nel suolo dei vari appezzamenti prima della semina del mais e dopo la sua raccolta.

Azoto nitrico (ppm)			date e profondità rilievi			
			03/05/2012		24/09/2012	
parcella	drenaggio	fertilizzazione	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
1	SC	minerale	34.1	11.0	58.7	23.6
2	TC	minerale	22.5	10.4	40.6	14.6
3	T	minerale	22.1	9.6	37.3	14.4
4	S	minerale	26.5	22.3	32.5	18.0
5	TC	liquame	32.2	20.2	17.3	11.2
6	T	liquame	12.5	12.2	19.6	12.7
7	SC	liquame	11.3	12.2	13.5	12.7
8	S	liquame	22.5	12.2	23.9	15.2
9	SC	misto	25.7	14.5	30.8	14.1
10	TC	misto	23.4	14.2	15.2	8.7
11	S	misto	24.4	11.3	22.2	10.2
12	T	misto	18.0	14.4	10.1	6.1

4. ATTIVITÀ 2012-2013

4.1 Campionamenti e analisi dell'acqua

I campioni di acqua raccolti sono di tre diverse tipologie: acqua di falda, acqua drenata dagli appezzamenti, acqua in entrata e acqua in uscita dalla zona umida. Per quanto riguarda il monitoraggio del sistema parcellare i dati ed i campioni sono stati raccolti a partire dal 17/12/12 (post-raccolta del mais anno 2012), fino al 15/04/13 (pre-fertilizzazione, anno 2013) con rilievi in campo a cadenza bi-settimanale. In tale modo è stato possibile monitorare il comportamento delle 4 tesi di drenaggio e delle 3 tesi di concimazione nel periodo di suolo nudo, senza che vi fosse apporto di elementi fertilizzanti dall'esterno. Una seconda fase di rilievi è stata realizzata nel periodo aprile-novembre 2013 durante le svolgimento delle attività agricole e la messa a coltura del sistema. Tale campagna di monitoraggio, impostata con una frequenza bi-settimanale, si è articolata in campionamenti delle falde all'interno di ogni singolo appezzamento e della zona umida nelle seguenti date: 29/04/2013, 09/05/2013, 29/05/2013, 08/06/2013, 18/06/2013, 18/06/2013, 28/06/2013, 08/07/2013, 18/07/2013, 17/08/2013, 28/07/2013, 07/08/2013, 17/08/2013, 27/08/2013, 06/09/2013, 16/09/2013, 26/09/2013, 06/10/2013, 16/10/2013, 26/10/2013, 05/11/2013 e 25/11/2013.

È stato inoltre impostato un programma per il campionamento delle acque di drenaggio in relazione all'andamento pluviometrico, effettuando rilievi in entrata ed in uscita da ciascun appezzamento del sistema a drenaggio controllato. I campionamenti sono stati effettuati nelle seguenti date: 30/04/2013, 06/05/2013, 20/05/2013, 27/05/2013, 03/06/2013, 15/07/2013, 13/08/2013, 01/10/2013, 09/10/2013, 24/10/2013, 18/11/2013, 25/11/2013. Il monitoraggio ha riguardato prevalentemente il periodo primavera-inizio autunno, contraddistinto dalla presenza della vegetazione, da temperature più elevate e da scarsa piovosità, fattori che vanno ad aumentare l'evapotraspirazione. Per tali motivi gli appezzamenti hanno drenato esigue quantità di acqua, consentendo di prelevare 20 campioni suddivisi in cinque parcelle.

Il monitoraggio delle acque di drenaggio della zona umida è stato effettuato nell'intero anno 2013, eseguendo il rilievo delle acque in ingresso ed in uscita nelle seguenti date: 15/01/2013, 18/01/2013, 21/01/2013, 22/01/2013, 23/01/2013, 24/01/2013, 25/01/2013, 28/01/2013, 30/01/2013, 01/02/2013, 04/02/2013, 05/02/2013, 06/02/2013, 08/02/2013, 14/02/2013, 15/02/2013, 18/02/2013, 25/02/2013, 08/03/2013, 13/03/2013, 14/03/2013, 15/03/2013, 19/03/2013, 20/03/2013, 21/03/2013, 22/03/2013, 26/03/2013, 29/03/2013, 02/04/2013, 08/04/2013, 11/04/2013 e 15/04/2013.

I campioni d'acqua prelevati in campo (circa 500 ml ciascuno) sono stati congelati e conservati in freezer al fine di mantenere inalterate le caratteristiche chimiche nel tempo. Essi sono stati analizzati rispettando una metodologia articolata in tre fasi: scongelamento, filtraggio ed analisi chimica. Dalle analisi qualitative delle acque sono state quindi ricavate le concentrazioni (espresse in ppm, equivalenti a mg/l) di azoto totale, azoto nitrico, fosforo totale e fosfato (fosforo solubile).

Per quanto riguarda il sistema a drenaggio controllato, sono stati raccolti ed analizzati in totale 150 campioni di acque di falda e di scolo degli appezzamenti. Per quanto riguarda il bacino adibito a fitodepurazione (zona umida) sono stati raccolti 122 campioni.

I campioni sono scongelati per una notte in vaschette di plastica. Dopo lo scongelamento vengono filtrati: l'acqua viene versata in cilindri graduati, sulla cui sommità è stato posto un imbuto con della carta filtro. Una volta filtrata, l'acqua di ogni campione viene versata in 4 provette falcon da 50 ml: una utilizzata per l'analisi di azoto totale e nitrico, una per l'analisi del fosforo totale, una per l'analisi del fosfato ed una di riserva, in caso di necessità di analisi di verifica. Le falcon vengono successivamente conservate in cella frigorifera, alla temperatura di 4 °C, fino al momento dell'analisi. Il metodo di analisi si basa sulla trasformazione di tutti i composti dell'azoto in nitrati e nella successiva determinazione di questa forma. Questo avviene grazie all'utilizzo dell'autoclave che permette l'ossidazione mediante una miscela di perossidi solfato, acido borico e idrossido di sodio. Per l'analisi chimica dell'azoto totale è stato utilizzato il metodo Kjeldahl che permette di determinare il contenuto in azoto di sostanze organiche ed inorganiche (azoto ammoniacale). La somma di azoto organico e ammoniacale viene definita come azoto totale Kjeldahl (TKN, *Total Kjeldahl Nitrogen*). Per quanto riguarda il fosforo è stato utilizzato il metodo Valderrama che consente di quantificare le concentrazione mediante mineralizzazione acida.

4.2 Drenaggio controllato

4.2.1 Gestione colturale

Nell'annata 2013, tutti gli appezzamenti del sistema sono stati coltivati con mais ceroso (PR31 D24), di qualità 700, seminato il 15/05. La fertilizzazione è stata effettuata con 3 tesi differenti, una per ognuno dei 3 blocchi, in modo tale da distribuire una quantità di azoto equivalente a 300 kg/ha. La fertilizzazione, iniziata il 06/05/2013 su suolo

nudo, rispecchia le 3 tesi del 2012, in modo tale da valutare gli effetti produttivi ed ambientali dell'applicazione della deroga alla Direttiva Nitrati:

- Blocco 1 (ovest): concimazione minerale. Dimensione blocco 1,92 ha. 300 kg/ha di N da urea, distribuiti mediante sarchiatura dopo la semina; 153 kg/ha di P_2O_5 da perfosfato triplo (46%), distribuiti in presemina; 370 kg/ha di K_2O da solfato di potassio (50%), distribuiti in presemina.
- Blocco 2 (centrale): concimazione organica. Dimensione blocco 1,2 ha. 1531 q di liquame (0,235% di N, 0,12% di P_2O_5 e 0,29% di K_2O), distribuiti in presemina, corrispondenti a: 300 kg/ha di N, 153 kg/ha di P_2O_5 e 370 kg/ha di K_2O.
- Blocco 3 (est): concimazione mista. Dimensione blocco 1,43 ha. 910 q di liquame (0,235% di N, 0,12% di P_2O_5 e 0,29% di K_2O), distribuiti in presemina, corrispondenti a: 150 kg/ha di N, 76,4 kg/ha di P_2O_5 e 184,5 kg/ha di K_2O. La concimazione organica è stata integrata con quella minerale: 150 kg/ha di N da urea (dopo la semina), 75,9 kg/ha di P_2O_5 da perfosfato triplo e 184,5 kg/ha di K_2O da solfato di potassio (in presemina).

Per quanto riguarda i trattamenti è stato effettuato un diserbo pre-emergenza con 2 l/ha di Lumax.
Considerate le temperature elevate dei mesi estivi ed importanti fenomeni siccitosi state effettuate due irrigazioni d'emergenza, rispettivamente di 30 e 40 mm.
La raccolta è stata effettuata, mediante mietitrebbia, in data 12/09/2013. Durante la raccolta sono state realizzate due *aree di saggio* di 30 m^2 per ogni appezzamento (una *nord* ed una *sud*), per un totale di 24 aree al fine di calcolare la produzione di mais ceroso espresso in sostanza secca di biomassa epigea.
I campioni sono stati seccati in forno a 65°C per la determinazione del peso secco, è stato inviato in laboratorio per l'analisi del contenuto di azoto totale, avvenuta mediante il metodo Kjeldahl, per un totale di 24 campioni.

4.2.2 Rilievi

I rilievi sono stati effettuati nel periodo tra dicembre 2012 e novembre 2013. In tale periodo sono stati monitorati i volumi di afflusso e di deflusso degli appezzamenti, misurata l'altezza della falda di ogni singola parcella e della zona umida, e sono stati raccolti campioni d'acqua provenienti dal drenaggio e dalla falda. La programmazione dei rilievi ha pertanto consentito di monitorare il comportamento delle 4 tesi di drenaggio e delle 3 tesi di concimazione sia nel periodo di suolo nudo che durante la coltura.
Al fine di mantenere l'altezza della falda desiderata nelle parcelle a drenaggio controllato gli sfioratori sono stati mantenuti a -40 cm dal piano di campagna durante il periodo 17/12/2012-15/04/2013.

Nel periodo sopramenzionato sono stati misurati i volumi in entrata ed in uscita dal sistema. L'afflusso è stato calcolato mediante l'acquisizione ed elaborazione dei dati relativi agli eventi pluviometrici *in situ* (stazione agrometeorologica ARPAV, Legnaro); il deflusso è stato calcolato mediante la lettura periodica dei volumi di acqua (in m^3) che, arrivando dai fossati di raccolta ai pozzetti, transitano attraverso dei flussometri a lettura. Le letture sono state effettuate a seguito di ogni evento piovoso e per tutta la durata del periodo in cui si è registrata la presenza di un flusso d'acqua in uscita.
I livelli di falda sono stati effettuati mediante rilievi freatimetrici, programmati successivamente ad ogni evento piovoso o, in condizioni normali, su base settimanale, all'interno di ogni singolo appezzamento del sistema sperimentale. Al centro di ogni parcella infatti, è stato collocato un pozzetto in PVC per effettuare, tramite freatimetro a cordella metrica, la misurazione del livello di falda.
Al fine di quantificare la produzione di mais ceroso (sostanza secca) sono state realizzate, durante le attività di raccolta, due aree di saggio per parcella. Un campione per parcella è stato inoltre prelevato ed essiccato in stufa a 65°C per determinare la concentrazione di azoto.
Al fine di valutare il bilancio di massa rispetto all'azoto, sono stati inoltre effettuati rilievi ed analisi di campioni di terreno relativi ad ogni singola parcella del sistema: un primo rilievo è stato effettuato in fase pre-fertilizzazione (16/04/2013); un secondo dopo la raccolta della coltura (16/09/2013). Lo scopo di tale campionamento è quello di valutare il contenuto di azoto nitrico nel suolo, a due diverse profondità (0-30 cm e 30-60 cm), in condizioni di suolo nudo e non concimato ed in condizioni di suolo nudo a seguito di concimazione ed asporto della vegetazione. In totale sono stati raccolti ed analizzati mediante il metodo Kjekdahl 96 campioni di suolo.

4.3 Zona umida di fitodepurazione

4.3.1 Rilievi idrologici

Sommersione. Tale rilievo è effettuato nei periodi di sommersione, effettuando misure dell'altezza dell'acqua dal fondo, utilizzando il pozzetto situato a nord-ovest della zona. In condizioni di sommersione il rilievo è giornaliero; in mancanza di tali condizioni il valore registrato è zero.
Profondità della falda. Al centro della *wetland* è stato posizionato un freatimetro, profondo 3 m a cui è stata aggiunta una prolunga di 30 cm che permette di misurare il livello della falda anche in condizioni di sommersione. Per la misura del livello della tavola d'acqua si è proceduto analogamente alle misure effettuate per il dispositivo di drenaggio. In questo caso, però, alla profondità misurata sono stati detratti 20 cm, ossia l'altezza della bocca del freatimetro sopra il piano campagna.

Valori di afflusso e deflusso. I valori di afflusso corrispondono ai valori delle precipitazioni registrate *in situ* (stazione agrometeorologica ARPAV) ed ai volumi di acqua che vengono immessi dalla pompa elettrica nella *wetland*. Tali volumi sono misurati giornalmente moltiplicando le ore di funzionamento della pompa per la portata; il risultato è stato espresso in mm per equipararlo alle precipitazioni.
I valori di deflusso, corrispondenti ai volumi di acqua in uscita dalla zona umida, vengono misurati mediante la lettura dei flussometri a lettura, posizionati sui due collettori di scarico delle acque nel fosso aziendale. Sia per le entrate che per le uscite, la frequenza del monitoraggio dipende dall'andamento meteorologico: maggiori sono le precipitazioni e maggiori sono i rilievi, che possono arrivare anche ad una frequenza giornaliera.
Il monitoraggio ed il campionamento hanno riguardato, anche in questo caso, diversi aspetti, per la maggior parte complementari alla prova di drenaggio: valori di afflusso e deflusso dell'acqua; rilievi di sommersione; profondità della falda; prelievo di campioni di acqua.
Campionamento delle acque. I campioni di acqua raccolti sono di tre diverse tipologie: acqua della falda, acqua in entrata e acqua in uscita dalla zona umida. In totale, nel periodo di monitoraggio considerato, sono stati raccolti 122 campioni.
Le modalità di prelievo sono analoghe a quelle per il dispositivo di drenaggio. Le differenze riguardano l'acqua in entrata che è captata dal collettore di ingresso (il cui flusso, in caso di mancanza, può essere azionato manualmente mediante la centralina elettrica della pompa e che l'acqua in uscita è captata dai due collettori di uscita che passano attraverso i rispettivi contalitri.

4.4 Risultati

4.4.1 Drenaggio controllato (periodo dicembre 2012 - aprile 2013)

Il bilancio idrologico si basa sulla quantificazione dei volumi di ingresso ed uscita di un determinato bacino. Gli afflussi sono determinati dalle precipitazioni, mentre i deflussi dalle acque drenate dai vari appezzamenti. Sulla base dei rilievi idrologici, sono stati calcolati i deflussi giornalieri medi per ciascuna tesi per effettuare un confronto con i dati pluviometrici (Fig. 17).
Successivamente, sono stati calcolati i volumi cumulati (Fig. 18) e le percentuali di acqua drenata (Fig. 3) per ciascuna tesi. La figura 19 mette in luce i volumi di acqua drenata, evidenziando perdite nettamente inferiori nel drenaggio controllato rispetto al drenaggio tradizionale.
Dai grafici si nota che, ad eventi piovosi di diversa intensità, sono seguiti con regolarità i deflussi idrici, con differenze tra le varie tesi, ma con i picchi dei volumi in uscita distribuiti nelle medesime date (figura 18). In particolare, le tesi a drenaggio libero hanno drenato quantità di acqua notevolmente superiori rispetto a quelle a drenaggio controllato, ma vi sono sensibili differenze anche tra sistemazioni con scoline e drenaggio tubolare. Nello specifico, nel periodo considerato, a fronte di circa 495 mm di pioggia caduta, le diverse tesi hanno drenato in totale i seguenti volumi:

- tesi T: 404 mm, corrispondenti all'82% dei volumi in afflusso
- tesi S: 280 mm, corrispondenti al 57% dei volumi in afflusso
- tesi S-DC: 84 mm, corrispondenti al 17% dei volumi in afflusso
- tesi T-DC: 60 mm, corrispondenti al 12% dei volumi in afflusso

In media, le tesi a drenaggio libero hanno drenato il 69% dei volumi in afflusso, quelle a drenaggio controllato il 15%.
Il comportamento idrico della falda (Fig. 20) è principalmente regolamentato dall'intensità e dalla frequenza degli eventi piovosi, mentre non ha mostrato variazioni significative sulla base del raggruppamento per tesi di drenaggio.
All'inizio del periodo, la falda presenta profondità comprese tra i 110 e i 90 cm sotto il piano di campagna, per l'assenza di precipitazioni. Successivamente presenta un picco (tra i -60 e i -50 cm) a metà gennaio, per via delle piogge frequenti, uno a inizio febbraio (tra i -60 e i -40 cm), causato da un evento piovoso di notevole intensità (oltre 50 mm in un giorno), e diversi picchi a marzo (fino a circa -20 cm di profondità), a causa delle precipitazioni frequenti ed intense.
Osservando il comportamento della falda secondo le tesi L (drenaggio libero) e DC (drenaggio controllato) si può notare che, all'inizio del periodo, il livello di falda delle tesi DC è più alto di quello delle tesi L. Nel periodo di maggiore piovosità (marzo), la falda nel drenaggio controllato si mantiene costantemente più alta di quella nel drenaggio libero, e quando le precipitazioni diminuiscono, il suo livello si abbassa più lentamente.

Figura 17 – Precipitazione e deflussi giornalieri per tesi di drenaggio.

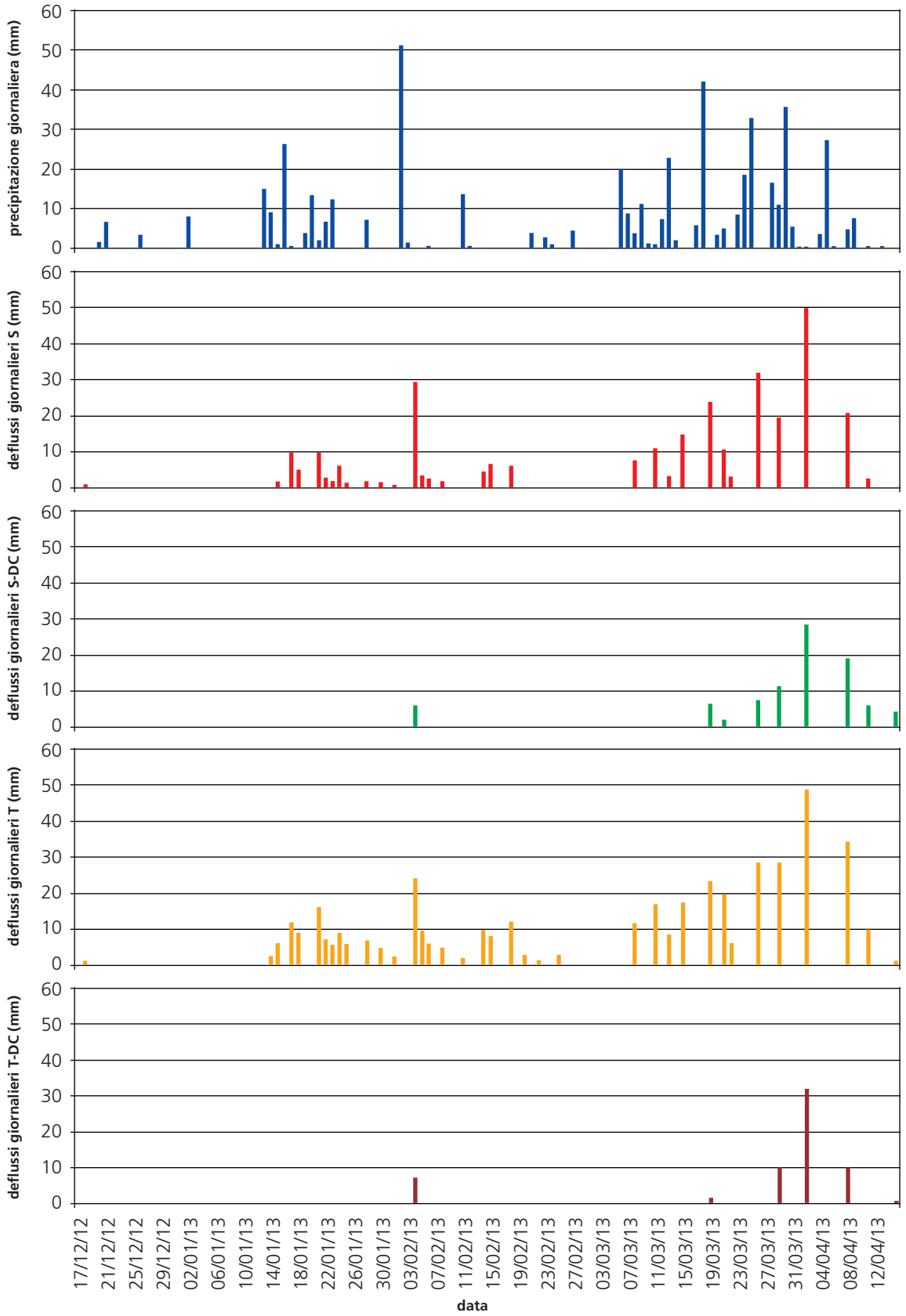


Figura 18 – Pioggia e volumi di deflusso cumulati per tesi a "drenaggio superficiale" (S), "drenaggio tubolare" (T), "drenaggio controllato con sistemazione alla ferrarese" (S-DC) e "drenaggio tubolare controllato" (T-DC).

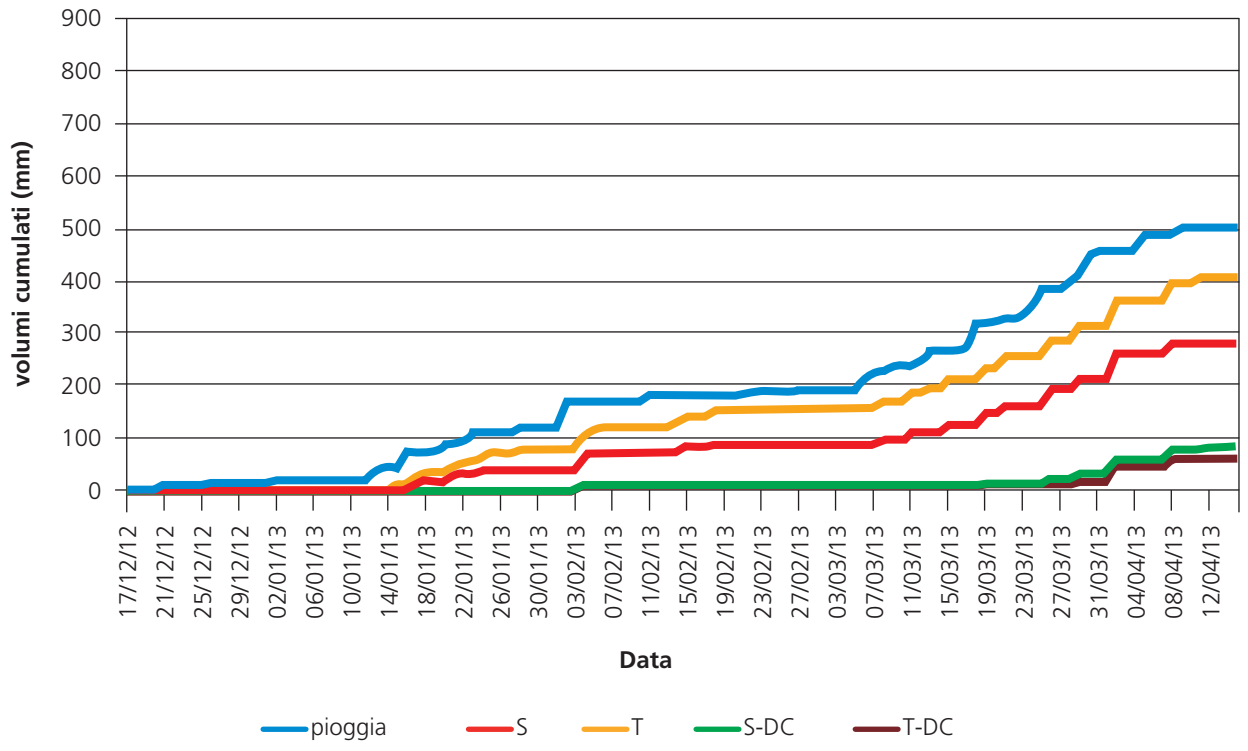


Figura 19 – Percentuali di acqua drenata rispetto alla pioggia caduta, divise per tesi.

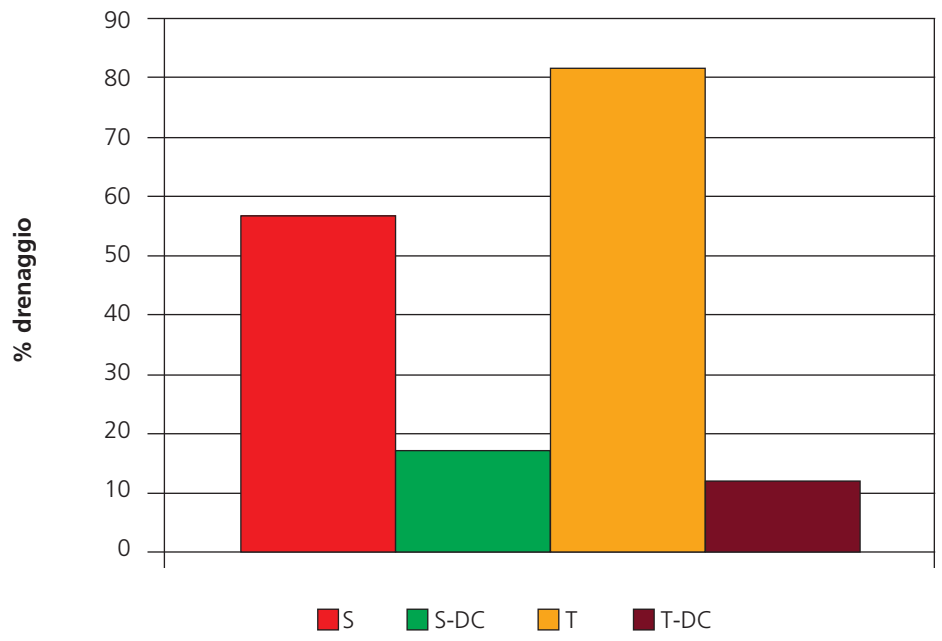
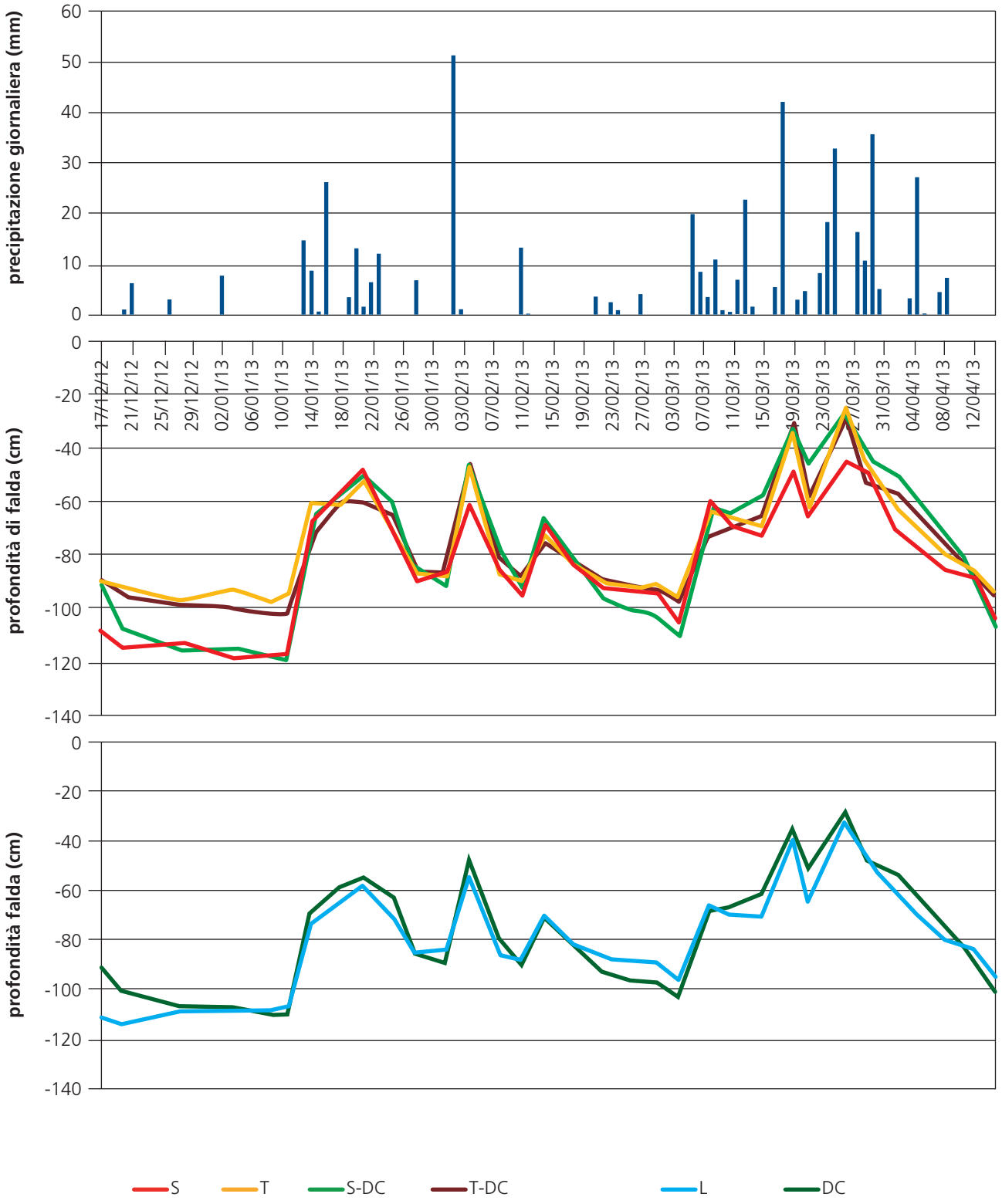


Figura 20 – Relazione tra altezza della falda (cm) per le tesi di drenaggio e precipitazioni (mm).



4.5 Qualità dell'acqua

4.5.1 Acque di falda

I campioni di acqua della falda (14 per ogni parcella) sono stati analizzati in laboratorio per individuare le concentrazioni degli inquinanti. Dalle analisi dell'azoto totale (Fig. 21) si può notare che la mediana della tesi "drenaggio controllato con sistemazione alla ferrarese" (S-DC3) presenta il valore più alto. Nella Figura 22, viene mostrato il comportamento nel tempo delle concentrazioni di N totale e di N-NO_3.

L'andamento delle due forme azotate è molto simile: il contributo fondamentale alle concentrazioni di Ntot (nitrico + Kjeldahl) è dato dall'N-NO_3, mentre l'azoto organico ed ammoniacale vanno a costituirne solo una minima frazione. Ciò è facilmente comprensibile se si tiene presente che l'azoto nitrico costituisce la forma più facilmente dilavabile.

Valutando le concentrazioni di N-NO_3 e Ntot sulla base delle sistemazioni, le tesi a drenaggio tubolare T(tot), rispetto alle tesi con scoline S(tot), presentano minori concentrazioni nelle acque di falda e maggiori concentrazioni nelle acque di deflusso. Ponendosi come obiettivo ambientale la soglia di 20 mg/l di N-NO_3 per le acque di scarico nei corpi idrici superficiali (Dlgs 152/06), si può concludere che la sistemazione con scoline (che non presenta valori sopra i 20 mg/L) è da preferire alla sistemazione tubolare per prevenire le perdite di nitrati. Tale risultato è coerente con i rilievi e le considerazioni precedenti sulla stessa prova sperimentale. La mobilità dei nitrati, probabilmente, ha come conseguenza un maggiore accumulo nelle acque di deflusso delle tesi in cui prevalgono i fenomeni di infiltrazione e il dilavamento per via dell'emungimento da parte dei dreni. Dove prevale il ruscellamento superficiale (sistemazioni con scoline) i nitrati non vengono allontanati dall'appezzamento e si accumulano nella falda, dove prevale la percolazione (sistemazioni con drenaggio tubolare) i dreni allontanano, assieme all'acqua, anche i nitrati (Fig. 23).

Da questi grafici risulta evidente che le concentrazioni di Ntot nelle acque di falda sono maggiori nelle parcelle a drenaggio superficiale rispetto a quelle a drenaggio tubolare; sono inoltre maggiori nelle parcelle a drenaggio controllato rispetto a quelle a drenaggio libero.

Figura 21 – Box and Wiskers della distribuzione delle concentrazioni di azoto totale in acqua di falda per parcella.

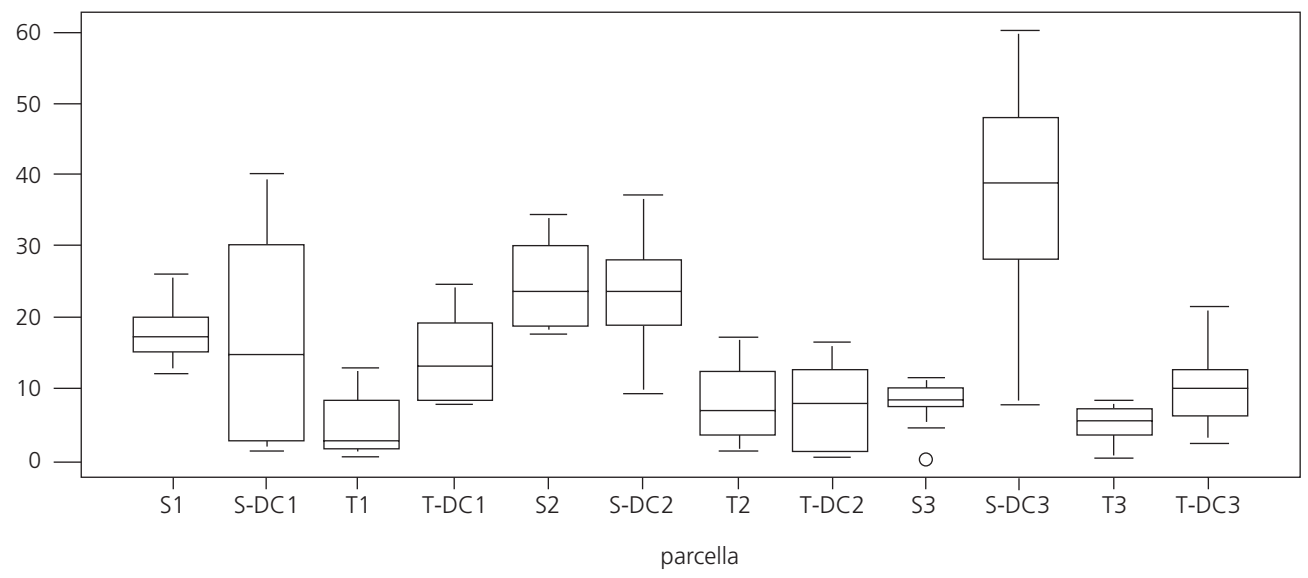


Figura 22 – Concentrazioni di N-NO_3 e Ntot (ppm) in falda per tesi di drenaggio nel tempo.

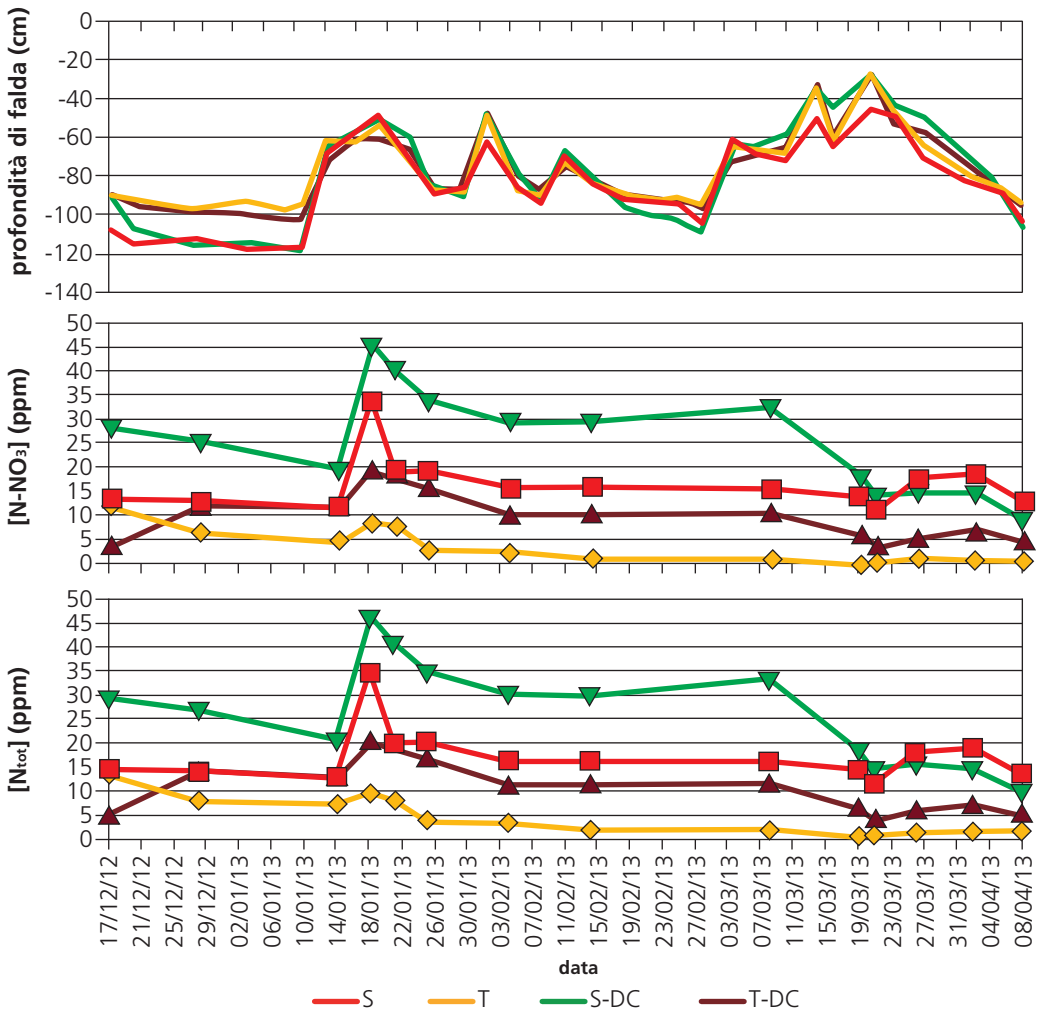
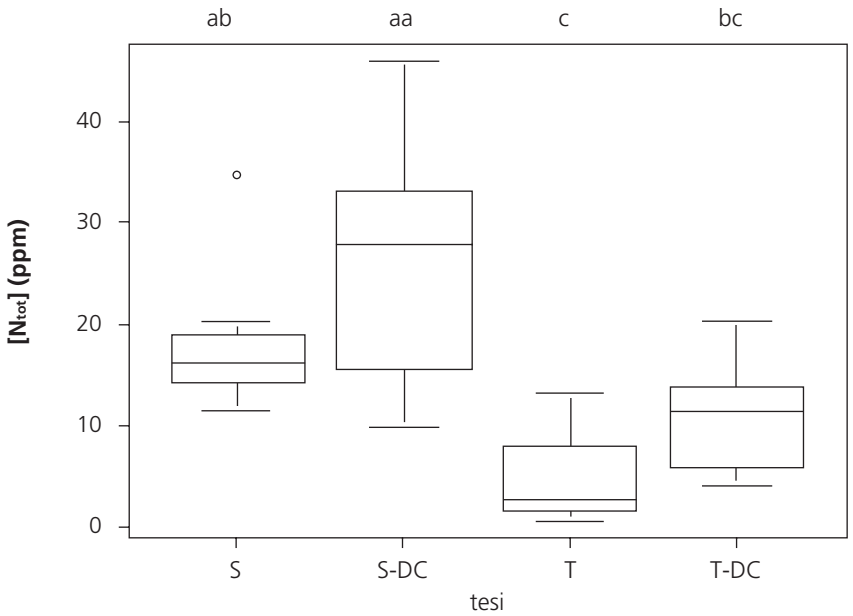


Figura 23 – Box and Wiskers delle concentrazioni di N totale dell'acqua di falda nelle quattro tesi di drenaggio.

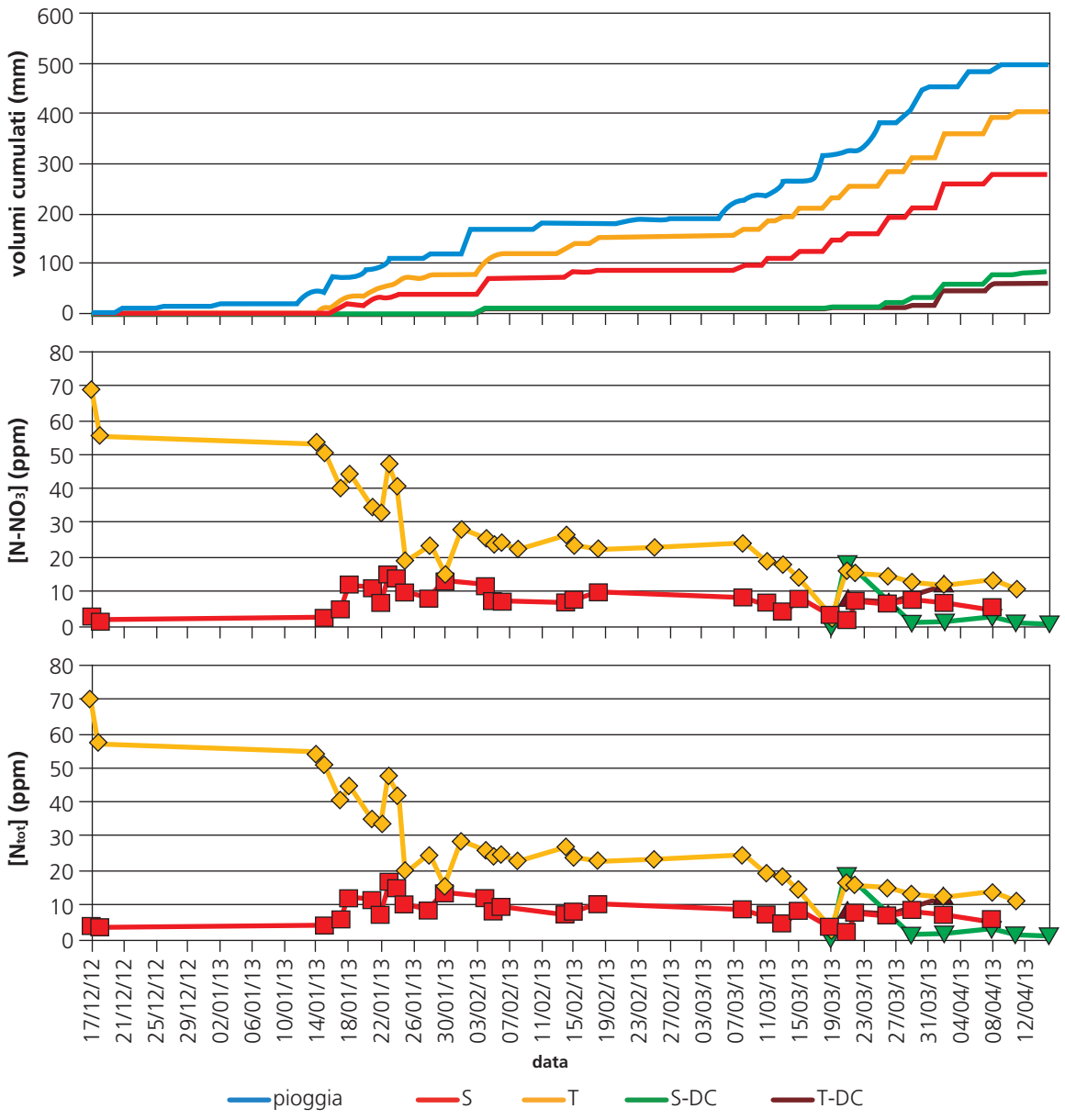


4.5.2 Perdite di azoto

Dai grafici di Figura 24 risulta evidente che le concentrazioni maggiori di azoto nelle acque di deflusso sono raggiunte nelle parcelle a drenaggio tubolare e presenta comunque un trend decrescente nel tempo: infatti le concentrazioni di azoto risultano maggiori quando vi sono minori volumi di deflusso (acque più concentrate, all'inizio del periodo), viceversa quando i volumi di deflusso aumentano velocemente (a marzo) le concentrazioni iniziano a scendere.

I grafici mostrano che le concentrazioni di N totale (Fig. 25 e 26) di deflusso sono maggiori nelle parcelle a drenaggio tubolare rispetto a quelle a drenaggio superficiale. Sono inoltre maggiori nelle parcelle a drenaggio libero rispetto a quelle a drenaggio controllato (Fig. 26). Tali risultati sono confermati dalle differenze riscontrate mediante l'utilizzo di metodologie di statistica non parametrica, come il test di Kruskal-Wallis. Le maggiori infiltrazioni di acqua meteorica e la maggiore capacità di drenaggio della tesi T implicano, rispetto alla tesi S, un maggiore dilavamento dell'azoto nitrico dalle parcelle, con conseguente aumento delle concentrazioni nelle acque di deflusso.

Figura 24 – Concentrazioni di N-NO_3 e Ntot (ppm) di deflusso per tesi di drenaggio nel tempo, in relazione ai volumi cumulati di deflusso (mm).



Valutando le concentrazioni di N-NO_3 e N_{tot} sulla base della gestione del drenaggio, il drenaggio controllato DC, rispetto al drenaggio libero L, presenta concentrazioni di azoto più alte in falda, ma più basse nelle acque di deflusso. Probabilmente, non avendo allontanato del tutto i nitrati con i deflussi idrici, il drenaggio controllato ha aumentato le concentrazioni in falda. Bisogna tenere conto, inoltre, che nel periodo considerato, le differenze tra i livelli di falda DC e L non sono state così marcate e stabili da consentire al drenaggio controllato di promuovere una maggiore denitrificazione rispetto al drenaggio libero, come ci si aspetterebbe se le differenze fossero più evidenti.

Figura 25 – Box and Wiskers della distribuzione delle concentrazioni di N_{tot} nelle acque di deflusso per tesi di drenaggio .

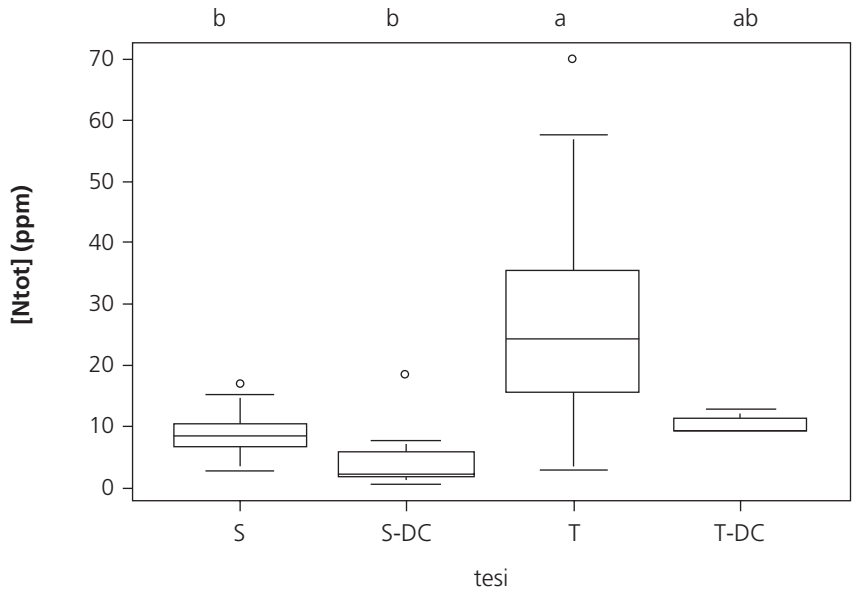
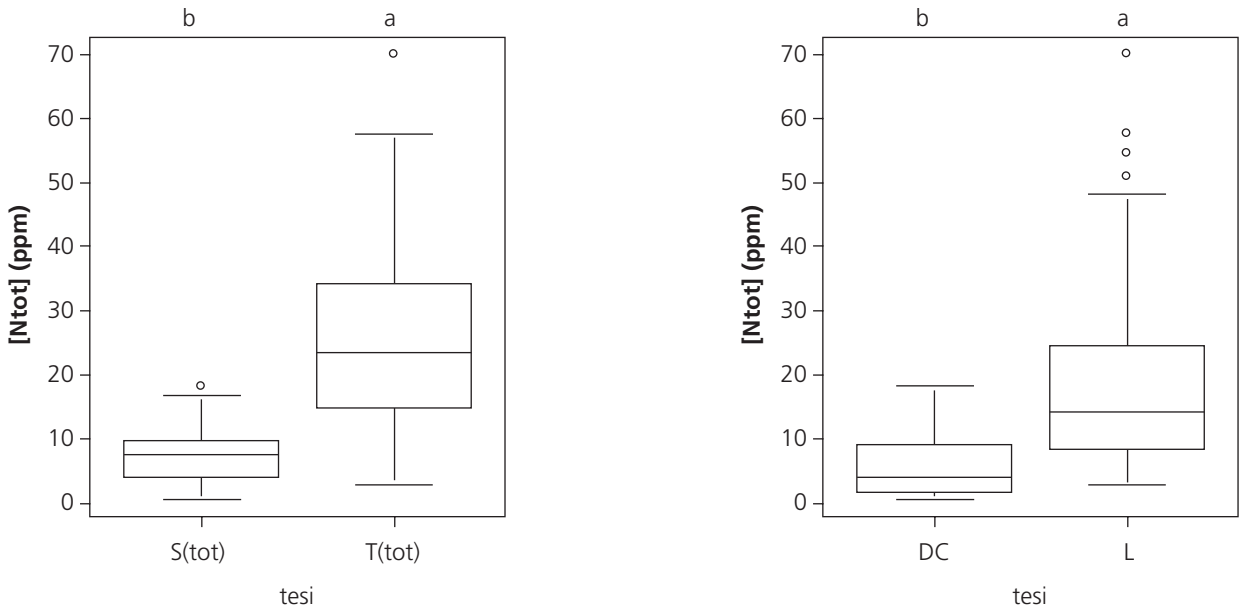


Figura 26 – Distribuzione delle concentrazioni di concentrazioni di N_{tot} nelle acque di deflusso per tesi a drenaggio libero e tubolare (a sinistra) e drenaggio controllato e libero.



4.5.3 Drenaggio controllato (periodo aprile – novembre 2013)

Bilancio idrologico

In tale periodo la dinamica idrologica del sistema è stata influenzata della scarsa attività pluviometrica legata alla stagione. I deflussi idrici dalla parcelle sono stati pertanto assai contenuti limitando notevolmente le attività di rilievo. Osservando la Figura 27 si può notare come, in generale, da fine maggio a metà ottobre l'intero sistema idraulica sia rimasto sostanzialmente fermo. Si può inoltre notare una differenza tra le sistemazione a drenaggio libero e controllato: gli appezzamenti a drenaggio libero hanno drenato più velocemente l'acqua, prima dell'arresto dell'impianto

Risulta inoltre evidente come le sistemazioni a drenaggio convenzionale (T e S), rispetto a quelle a drenaggio controllato (S-DC e T-DC), drenino i maggiori volumi di acqua. Nello specifico i valori massimi sono relativi alle tesi con drenaggio libero tubolare (T), mentre i valori minimi sono relativi alle tesi con drenaggio controllato tubolare (T-DC). Infine è possibile notare come all'interno dello stesso tipo di drenaggio (convenzionale o controllato) vi è una differente variabilità: le tesi T ed S presentano una maggiore differenza tra i volumi drenati rispetto alle tesi S-DC e T-DC (Fig. 28).

Figura 27 – Confronto tra volumi medi cumulati per tipo di sistemazione (S-DC, T-DC, T e S) in uscita dalle parcelle (deflussi) ed in entrata (afflussi).

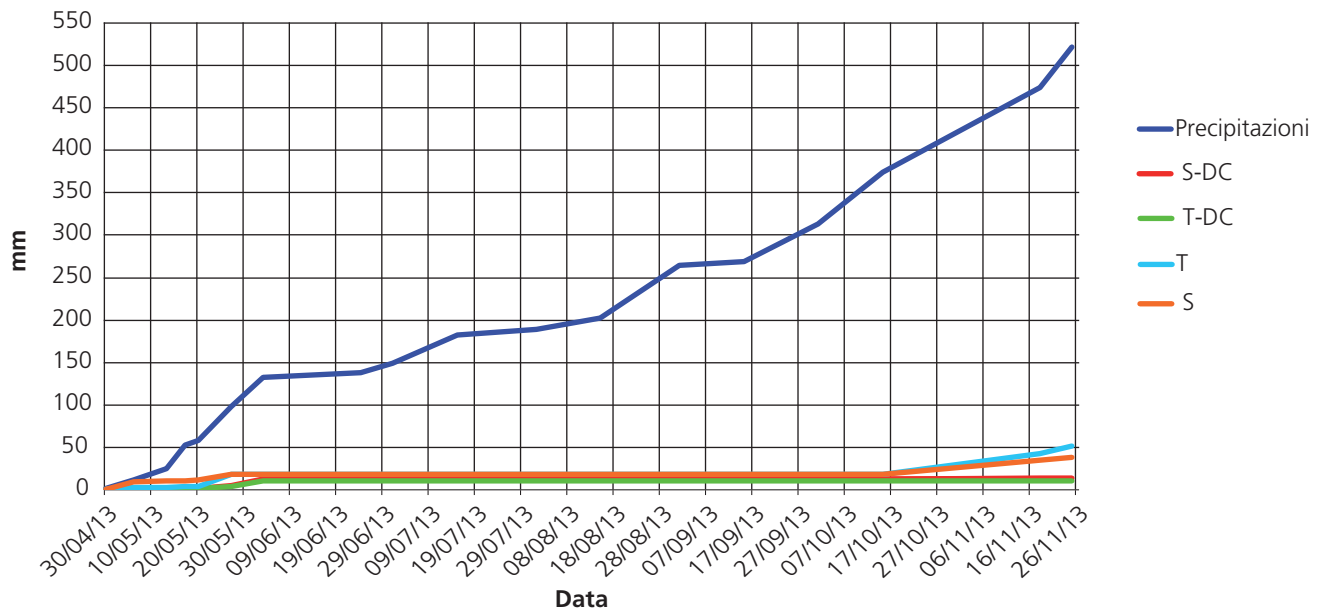
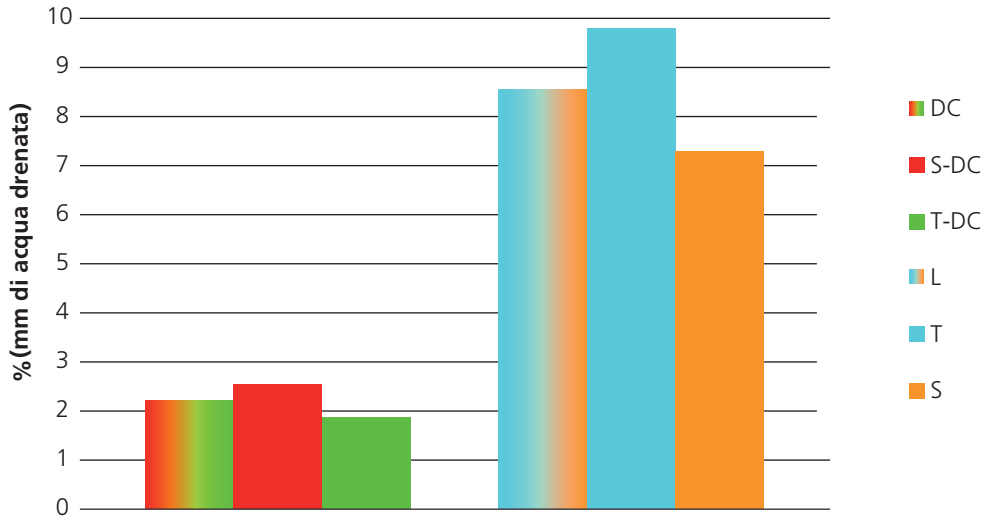


Figura 28 – Percentuali di acqua drenata dalle 4 sistemazioni (S-DC, T-DC, T e S) e media tra drenaggio controllato (DC) e libero (L).



In generale, a fronte di 520 mm di pioggia caduti da maggio a novembre, sono stati drenati:

- **T**: 51,1 mm, equivalenti al 9,8% degli afflussi;
- **S**: 38 mm, equivalenti al 7,3% degli afflussi;
- **S-DC**: 13,2 mm, equivalenti al 2,5% degli afflussi;
- **T-DC**: 9,8 mm, equivalenti al' 1,9% degli afflussi;
- **L**: 44,5 mm, equivalenti al 8,5% degli afflussi (calcolato come media di T e S);
- **DC**: 11,5 mm, equivalenti al 2,2% degli afflussi (calcolato come media di S-DC e T-DC).

Analizzando il grafico in Figura 29 si può notare come l'andamento della profondità della falda, per quanto riguarda il drenaggio controllato, sia più costante rispondendo in maniera meno repentina alla presenza o assenza di precipitazioni. Ovviamente la valutazione inversa va effettuata per il drenaggio convenzionale. Questo si evince anche dall'analisi della Tabella 6. Anche in questo caso non ci sono particolari differenze tra le profondità medie: le parcelle con drenaggio libero hanno tuttavia una maggior variabilità tra massimi e minimi registrati.

Figura 29 – Andamento complessivo medio delle falde per tipo di drenaggio (DC e L) rispetto alla piovosità.

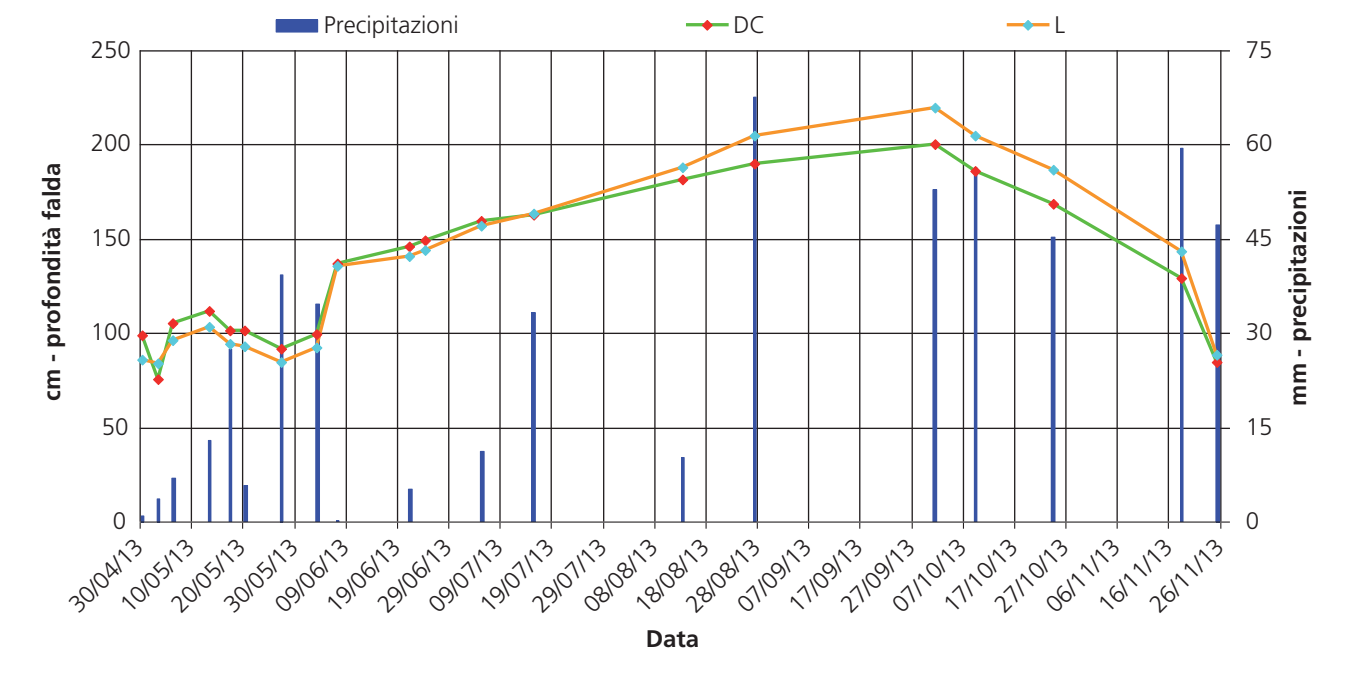


Tabella 6 – Media, massimo, minimo e differenza tra massimo e minimo per profondità falda nei 2 tipi di drenaggio (in rosso i valori max ed in blu quelli min).

	Profondità media (cm)	Profondità massima (cm)	Profondità minima (cm)	Range max-min (cm)
DC	134	201	76	125
L	136	220	84	136

4.5.4 Qualità dell'acqua

Falda. In totale, nel periodo monitorato, sono stati raccolti 11 campioni di acqua di falda per ciascuna parcella, a distanza di 10 gg l'uno dall'altro. La raccolta dei campioni è cominciata il 06/05/2013, giorno in cui è stata effettuata la fertilizzazione mediante le 3 diverse tesi (minerale, organica e mista). L'analisi chimica di queste acque ha permesso di rilevare la concentrazione (espressa in mg/l o ppm) di azoto nitrico (*N-NO3*) e azoto totale Kjeldahl: dalla somma delle concentrazioni di queste due diverse forme di azoto è stato ottenuto l'azoto totale (N_{tot}). Dai risultati delle analisi qualitative delle acque di falda è emerso che la sistemazione tubolare (T) risulta avere le concentrazioni minori di azoto e sembra avere, inoltre, l'andamento più costante, probabilmente spiegato dal fatto che drena i maggiori volumi di acqua (Tab. 7).

Nel grafico della Figura 30 sono rappresentate, rispettivamente, le distribuzioni delle concentrazioni di N_{tot} in falda per le 4 tesi di drenaggio (S-DC, T-DC, S e T). Ogni sistemazione è rappresentata da 33 campioni.

La spiegazione di questa differenza potrebbe essere data dal fatto che le parcelle a drenaggio convenzionale, drenando i maggiori volumi di acqua vadano ad aumentare il dilavamento dei nitrati verso l'esterno dei terreni.

La Figura 31 rappresenta l'analisi dei 66 campioni riguardanti il drenaggio tubolare e dei 66 riguardanti quello superficiale. Dall'analisi si riscontra come le parcelle a drenaggio tubolare presentino le minori concentrazioni di azoto in falda. Questo comportamento è stato confermato anche dal test di *Kruskal Wallis* ed è evidente dal confronto del valore delle mediane (superficiale: 13,4 ppm $N\text{-}NO_3$ e 14,5 ppm N_{tot}; tubolare: 4 ppm $N\text{-}NO_3$ e 5 ppm N_{tot}). La causa di questa differenza è data dai valori delle concentrazioni di azoto in falda riscontrati nelle parcelle a drenaggio tubolare convenzionale.

Successivamente è stato effettuato il confronto tra le sistemazioni a drenaggio controllato (DC) e drenaggio libero (L), rappresentate entrambe da 66 campioni (Figura 32). Come per il grafico precedente il test ha evidenziato differenze significative tra le due tesi e ciò si riscontra anche dalla valutazione del valore delle mediane (DC: 11,9 ppm $N\text{-}NO_3$ e 12,2 ppm N_{tot}; L: 6,4 ppm $N\text{-}NO_3$ e 7,1 ppm N_{tot}).

Dopo aver fatto una valutazione complessiva sulle differenti tipologie di drenaggio adottate nel sistema sperimen-

Tabella 7 – Mediana, massimo, minimo e differenza tra massimo e minimo per le concentrazioni di N_{tot} nelle acque di falda delle 4 tesi di drenaggio (in rosso i valori max ed in blu quelli min).

	Concentrazione N_{tot} mediana (ppm)	Concentrazione N_{tot} max (ppm)	Concentrazione N_{tot} min (ppm)	Range max-min (ppm)
T-DC	10	24,6	0,5	24,1
S-DC	14,9	25,5	0,5	25,1
T	2	8,4	0	8,4
S	14	25,3	3,7	21,7

Figura 30 – Distribuzione delle concentrazioni in falda di Ntot per tesi di drenaggi.

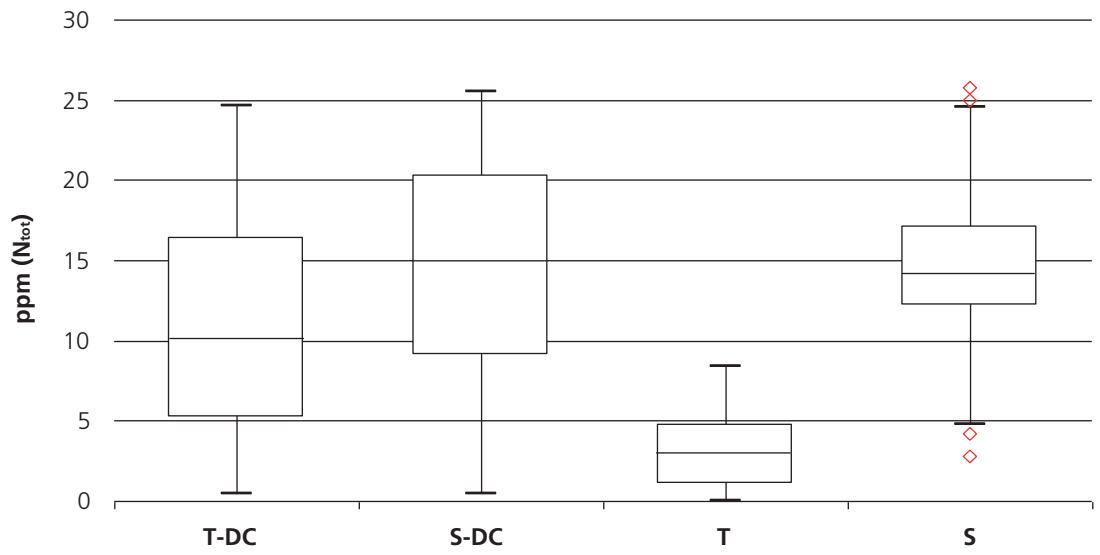


Figura 31 – Distribuzione delle concentrazioni in falda di N_{tot} (a destra) per drenaggio superficiale e tubolare.

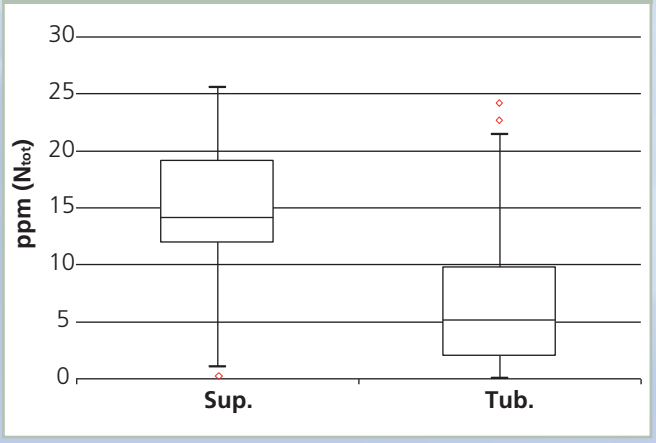
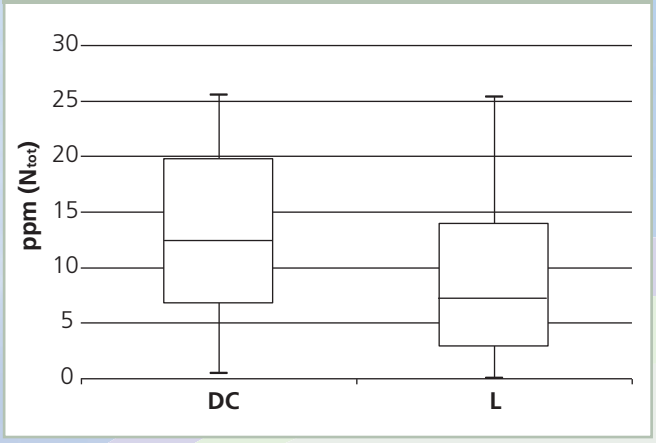


Figura 32 – Distribuzione delle concentrazioni in falda N_{tot} per tipo di drenaggio (drenaggio controllato e libero).



tale, si rende necessario proporre una valutazione sulle tre differenti tesi di concimazione (*minerale* -blocco 1-, *organica* -blocco 2- e *mista* -blocco 3-), al fine di determinarne l'importanza nel rilascio di azoto nelle falde acquifere. Tale distribuzione è raffigurata in Figura 33 (N_{tot}), in cui ogni blocco è rappresentato da 44 campioni. In questo caso, come si evince anche direttamente dai due box-plot, il test di *Kruskal Wallis* ha evidenziato differenze significative tra il blocco 3 e gli altri due blocchi, mentre non ha evidenziato differenze tra il blocco 1 ed il blocco 2.

In Tabella 8 sono riportati i valori delle mediane, i massimi, i minimi e la differenza tra massimo e minimo per le concentrazioni, rispettivamente di $N\text{-}NO_3$ ed N_{tot}, riscontrate nella falda delle tre tesi di concimazione.

Osservando le due tabelle risulta evidente il fatto che i primi due blocchi abbiano una serie di valori molto simili tra loro ma molto differenti con il blocco 3.

Nel grafico in Figura 34 è illustrato l'andamento nel tempo delle concentrazioni medie di azoto nelle acque di falda per tesi di concimazione. L'andamento generale è molto

Figura 33 – Distribuzione delle concentrazioni in falda di Ntot per tesi di concimazione (minerale -blocco 1-, organica -blocco 2- e mista -blocco 3-).

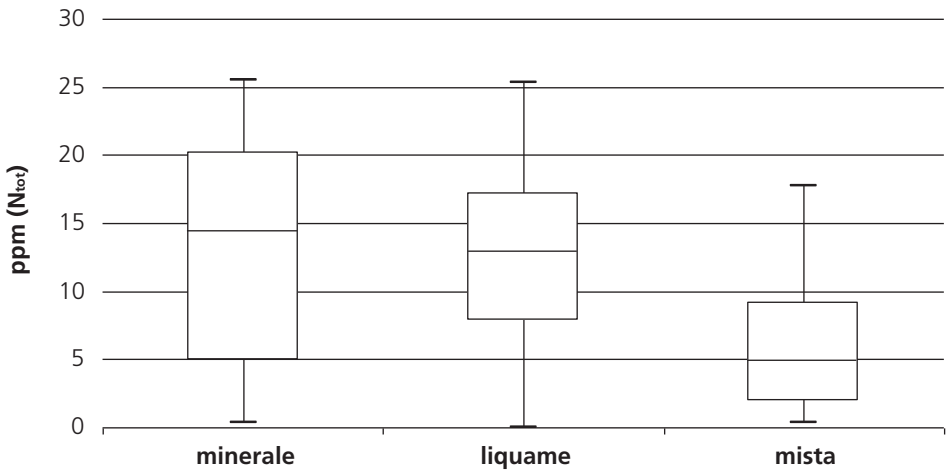


Tabella 8 – Mediana, massimo, minimo e differenza tra massimo e minimo per le concentrazioni di N_{tot} nelle acque di falda delle tre tesi di concimazione (in rosso i valori max ed in blu quelli min).

	Concentrazione N_{tot} mediana (ppm)	Concentrazione N_{tot} max (ppm)	Concentrazione N_{tot} min (ppm)	Range max-min (ppm)
Minerale	13,3	25,5	0,3	25,2
Liquame	12,9	25,3	0	25,3
Mista	6,1	17,7	0,3	17,4

simile a quello delle Figure 3.9 e 3.10, con un picco iniziale registrato dopo la fertilizzazione, seguito da una graduale riduzione nel periodo estivo e concluso con un aumento dopo l'avvento della stagione più piovosa (sono sempre presenti anche le anomalie per le parcelle S1 e T-DC1 relative al blocco 1 e registrate il 25/11/2013). Nello specifico si può notare come la tesi a concimazione minerale abbia un andamento medio più regolare rispetto alle altre tesi, fatta eccezione per i due valori estremi. La tesi a concimazione organica sembra avere il comportamento medio più variabile, con dei rilasci di azoto in falda più repentini.

4.6 Analisi chimica delle acque di drenaggio

Il monitoraggio ha riguardato prevalentemente il periodo fine primavera-inizio autunno, contraddistinto dalla presenza della vegetazione, da temperature più elevate e da scarsa piovosità, fattori che vanno ad aumentare l'evapotraspirazione. Per questo motivo gli appezzamenti hanno drenato poca acqua ed in totale è stato possibile prelevare 20 campioni suddivisi tra 5 parcelle.

Come si evince dal grafico (Fig. 35) le distribuzioni delle concentrazioni di N_{tot} per queste 5 parcelle i valori di mediana più bassi sono rappresentati dalla parcella S-DC3, mentre quelli più alti dalla parcella T1. Considerato il numero di campioni e la scarsa distribuzione tra le parcelle risulta tuttavia difficoltoso effettuare dei confronti tra le varie tipologie di tesi di drenaggio e di concimazione.

Basandosi sui risultati finora ottenuti e sulla letteratura riportata (Borin, 1999; Cooke *et al.*, 2006) si può confermare che il drenaggio tubolare convenzionale (T), rispetto alle altre sistemazioni, dreni i maggiori volumi di acqua.

La stessa valutazione può essere effettuata confrontando il drenaggio controllato (DC) con il drenaggio libero (L). Il primo infatti presenta minori valori di acqua drenata e le maggiori concentrazioni di azoto in falda, determinando quindi delle minori concentrazioni nelle acque di drenaggio.

Figura 34 – Andamento medio delle concentrazioni di N_{tot} in falda per le tre tesi di concimazione.

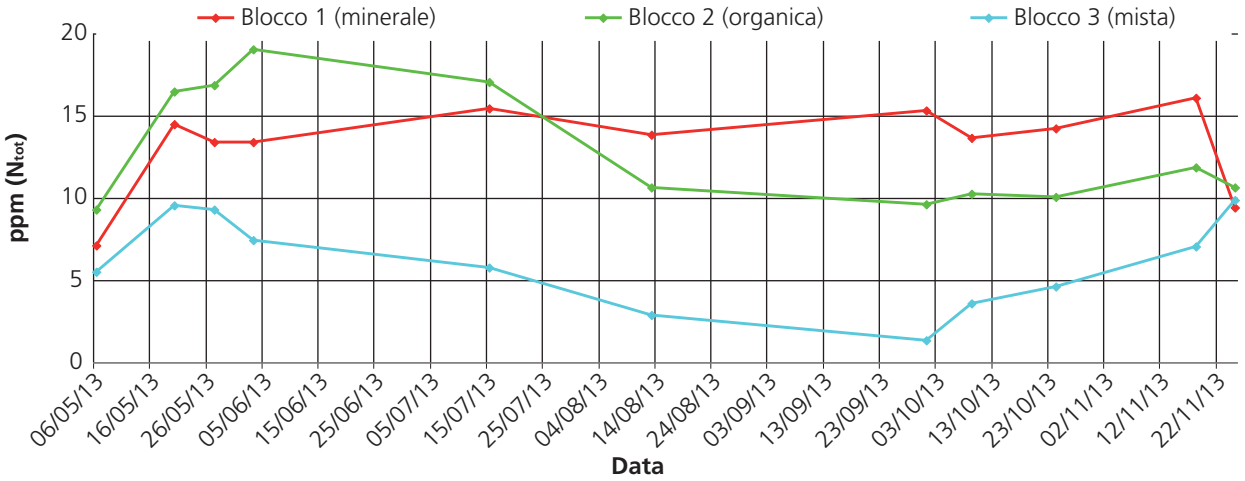
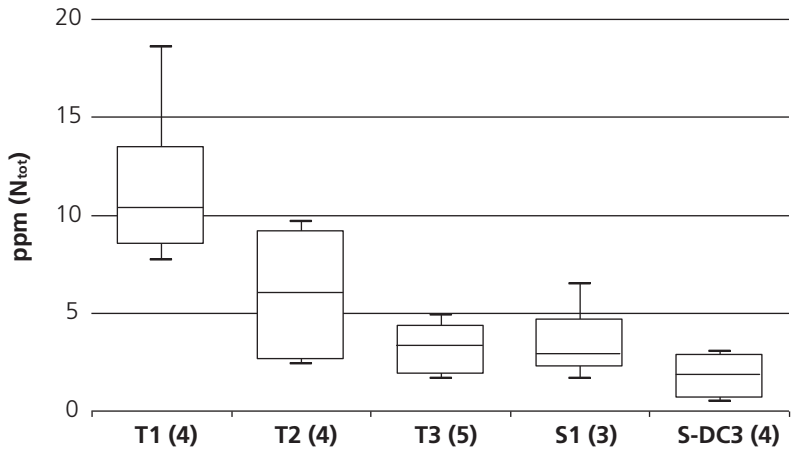


Figura 35 – Distribuzione delle concentrazioni di Ntot nelle acque di drenaggio degli appezzamenti. Tra parentesi il numero di campioni.



4.6.1 Analisi chimica del suolo

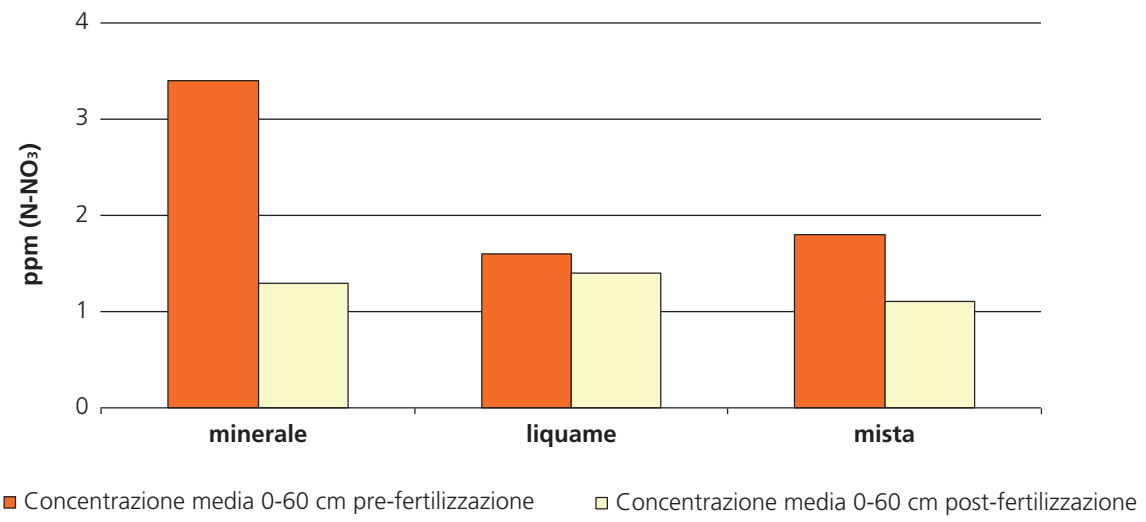
Nel periodo monitorato sono stati effettuati due prelievi di terreno per ogni parcella (prima e dopo la concimazione, la semina e la raccolta del mais) con lo scopo di valutare il contenuto di azoto nitrico nel suolo a due diverse profondità: 0-30 cm e 30-60 cm (per un totale di 96 campioni). In Tabella 8 e Tabella 9 sono presenti i risultati di tali analisi, rispettivamente per tutte le parcelle e come media tra le 3 tesi di concimazione.

In generale, si evince come prima della semina e della concimazione il valore medio totale di azoto nitrico nel terreno fosse equivalente a circa 2,3 ppm; dopo la raccolta della vegetazione tale valore è risultato essere di circa 1,3 ppm, con una riduzione complessiva delle concentrazioni. Non si evidenziano particolari differenze tra le tesi di concimazioni: tutte e tre presentano un decremento delle concentrazioni tra le due date. Dal punto di vista ambientale la concimazione organica, con una media di 1,4 ppm di azoto nitrico, si presenta come la più potenzialmente impattante per le lisciviazioni invernali; al contrario, la concimazione mista, con una media di 1,1 ppm di azoto nitrico, si presenta come la meno impattante. Nel grafico ad istogrammi (Fig. 36) sono raffigurati gli importi dei valori medi per blocco (tesi di concimazione), da 0 a 60 cm, pre-fertilizzazione e post-fertilizzazione.

Tabella 9 – Contenuto di azoto nitrico presente nel suolo come media delle parcelle, a due diverse profondità, prima e dopo la concimazione, la semina e la raccolta del mais. In rosso gli aumenti ed in blu i decrementi rispetto alla data precedente. La diversa colorazione delle righe corrisponde alla distinzione tra i 3 blocchi.

	Azoto nitrico (ppm)			Valori medi per blocco				Valori medi per blocco	
				16/04/2013		16/09/2013		16/04/2013	16/09/2013
	parcella	drenaggio	fertilizzazione	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-60 cm	0-60 cm
Blocco 1	1	S-DC	minerale	5,1	1,7	2,2	0,7	3,4	1,3
	2	T-DC	minerale						
	3	T	minerale						
	4	S	minerale						
Blocco 2	5	T-DC	organica	2,3	0,9	2,6	0,2	1,6	1,4
	6	T	organica						
	7	S-DC	organica						
	8	S	organica						
Blocco 3	9	S-DC	mista	2,4	1,1	2,1	0,2	1,8	1,1
	10	T-DC	mista						
	11	S	mista						
	12	T	mista						

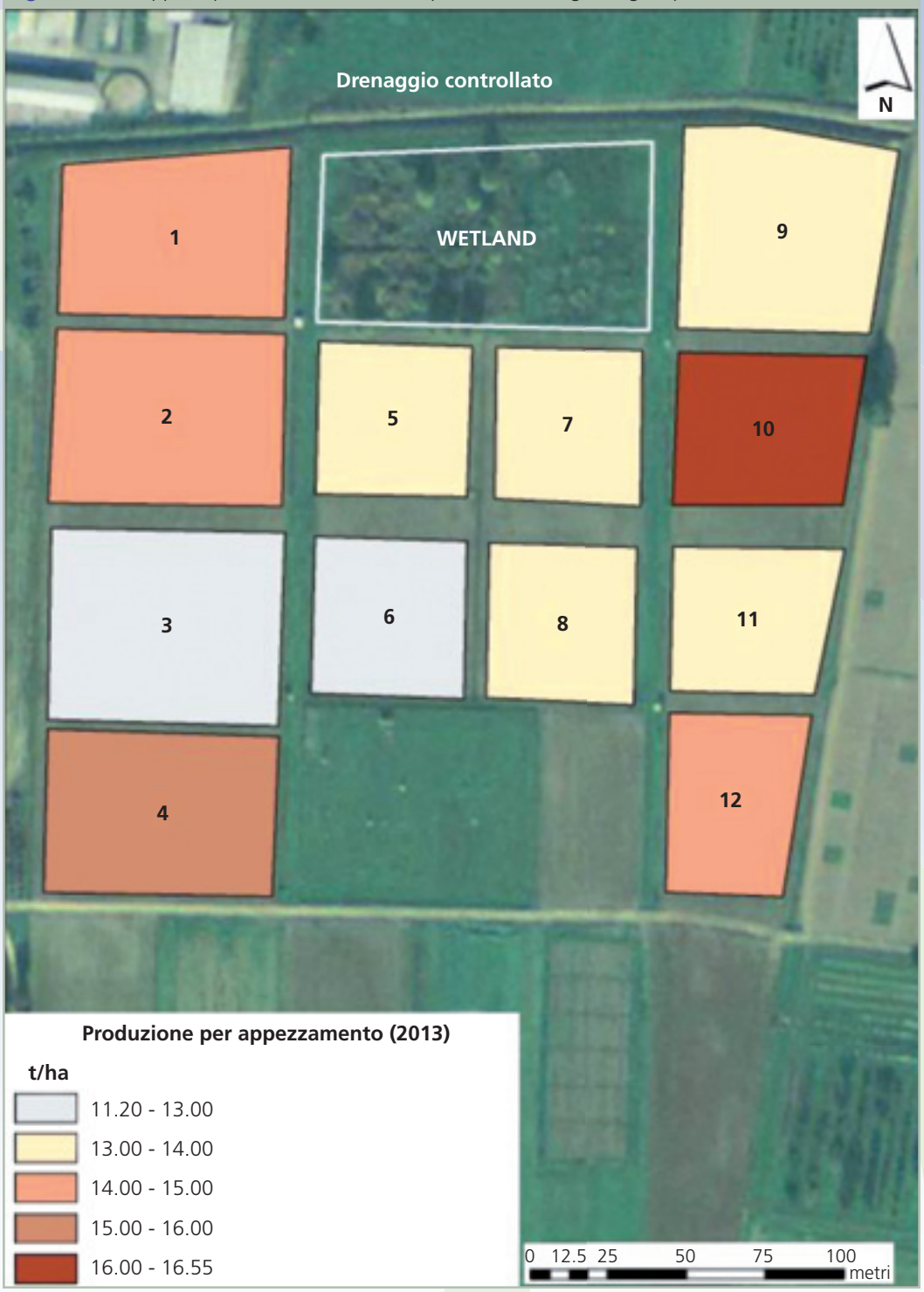
Figura 36 – Valori medi per blocco pre-fertlizzazione e post-fertilizzazione.



4.7 Produzione del mais

Gli appezzamenti sono stati coltivati con mais ceroso (PR31 D24), di qualità 700. A fine ciclo colturale sono state selezionate due aree di saggio, per ogni parcella, al fine di analizzare la produttività degli appezzamenti e l'asportazione di azoto dal suolo ad opera delle colture. L'analisi spaziale della produzione (Fig. 37) è possibile osservare la mappa di produzione elaborata sulla base di dati georeferenziati. Per arrivare a questi valori è stata prima calcolata, dopo essicazione a 65 °C, la percentuale di sostanza secca (ss) della vegetazione dei vari appezzamenti (mediamente pari al 35%); moltiplicando tale valore per il peso medio delle colture delle due aree di saggio (nord e sud) è stata ricava la produzione delle singole parcelle; infine tale valore è stato normalizzato su ettaro (t/ha).

Figura 37 – Mappa di produzione con i valori spazializzati su ogni singola parcella.

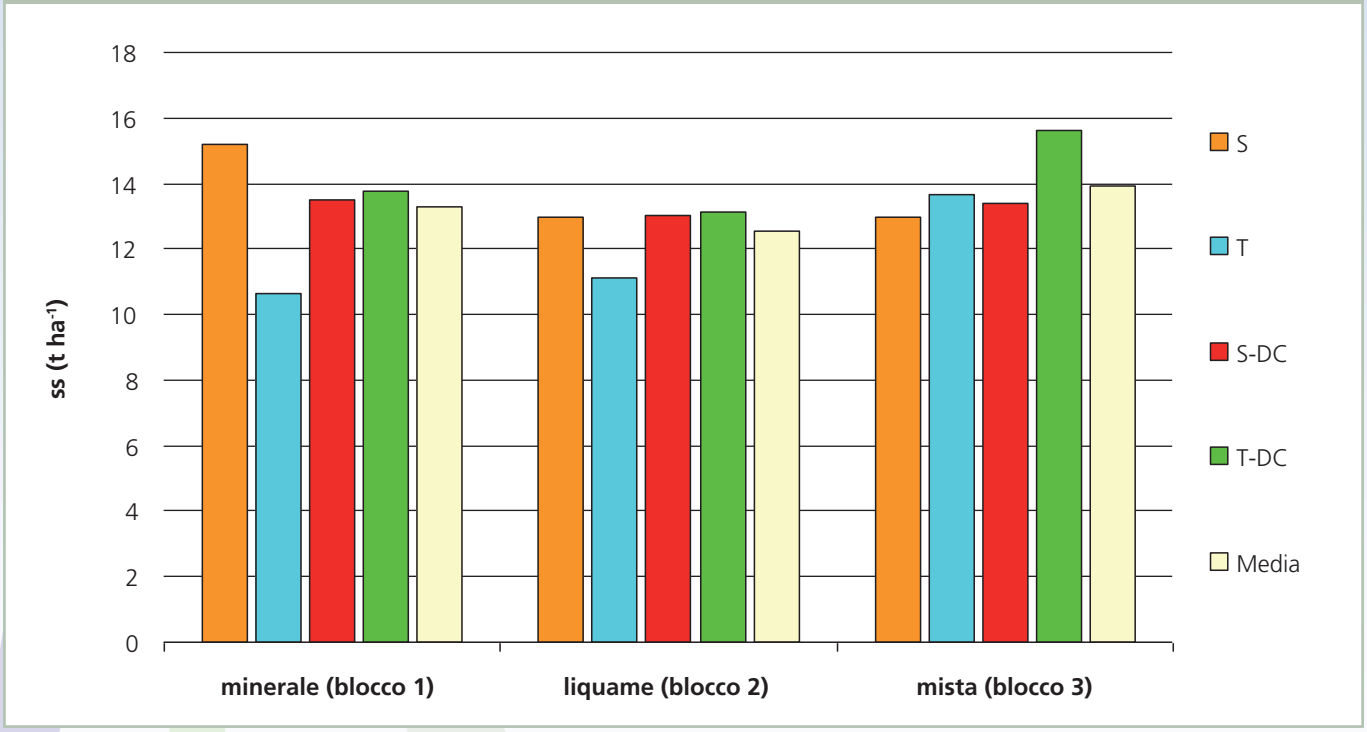


Analizzando la mappa di produzione non si notano particolari differenze, anche se sembra che la tesi a concimazione organica abbia dato luogo alle produzioni minori.
In Tabella 10 ed in Figura 38 sono presenti i valori di produttività raggruppati per tipo di drenaggio (T-DC, S-DC, S e T) e per tipo di tesi di concimazione (minerale, organica e mista).
Analizzando i dati in Tabella 10 è possibile confermare ciò che si vede nella mappa della produzione: la tesi a concimazione organica presenta la minore produttività (12,57 t/ha), mentre quella a concimazione mista presenta la maggiore produttività (13,9 t/ha). Le differenze tra le tre tipologie di fertilizzazione non sono comunque così marcate.
Per quanto riguarda i diversi sistemi di drenaggio, la produzione maggiore spetta alle sistemazioni con drenaggio tubolare controllato (T-DC, 14,17 t/ha), mentre la minore spetta alle sistemazioni con drenaggio tubolare libero (T, 11,8 t/ha). Nel complesso, l'intero sistema ha prodotto, mediamente, 13,25 t/ha di sostanza secca (Fig. 38).
Una volta calcolata la produttività dei vari appezzamenti è stato possibile determinare la quantità di azoto asportato dal terreno ad opera delle colture. Nella Tabella 11 e nel grafico ad istogrammi (Fig. 39) vengono analizzate le quantità di azoto asportate, raggruppate per tipo di drenaggio (T-DC, S-DC, S e T) e per tipo di tesi di concimazione (minerale, organica e mista). Questi calcoli sono stati preceduti dall'analisi chimica della vegetazione, effettuata per determinare la percentuale di azoto nelle piante delle 12 parcelle. La percentuale media di azoto è risultata essere 1,07 %. In tabella si può notare come la tesi a concima-

Tabella 10 – Produzione del mais ceroso in base alla tipologia di fertilizzazione.

Produzione ss (t/ha)		FERTILIZZAZIONE			
		minerale (blocco1)	organica (blocco2)	mista (blocco3)	media
Drenaggio	S	15,19	12,99	12,95	13,71 (± 1,28)
	T	10,63	11,12	13,64	11,80 (± 1,62)
	S-DC	13,50	13,04	13,38	13,31 (± 0,24)
	T-DC	13,77	13,11	15,63	14,17 (± 1,31)
	media	13,27 (± 1,91)	12,57 (± 0,96)	13,90 (± 1,19)	**13,25** (± 0,67 / ± 1,03)

Figura 38 – Produzione di mais ceroso dell'intero sistema, divisa per parcelle.

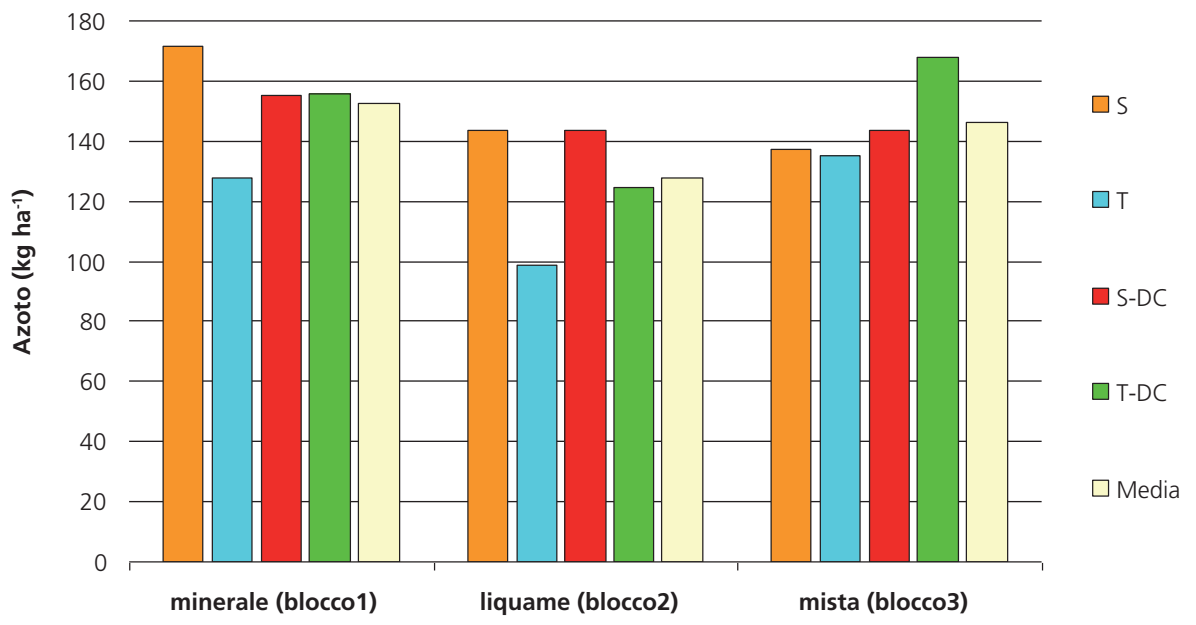


zione organica presenti i valori minori di azoto asportato (127,7 kg/ha di N), mentre quella a concimazione minerale i valori maggiori (152,2 kg/ha di N). Questa analisi è congruente con il tipo di azoto utilizzato per la fertilizzazione: l'azoto già in forma minerale è più prontamente disponibile per l'assorbimento ad opera delle piante. A differenza di quanto avvenuto per la produzione, in questo caso le differenze tra tesi di concimazione sono molto più marcate, con un range tra massimo e minimo di circa 25 kg/ha di N. Per quanto riguarda i differenti tipi di drenaggio, la quota di asportazione più alta è relativa al drenaggio superficiale convenzionale (S, 150,7 kg/ha di N), mentre quella più bassa è relativa al drenaggio tubolare convenzionale (T, 120,6 kg/ha di N). Nel complesso, l'intero sistema ha asportato, mediamente, 142,1 kg/ha di N: poco meno della metà della quantità di azoto utilizzata per la concimazione.

Tabella 11 – Quantità di azoto asportato dalle colture nell'intero sistema.

Azoto asportato (kg/ha)		FERTILIZZAZIONE			
		minerale (blocco1)	organica (blocco2)	mista (blocco3)	media
Drenaggio	S	171,4	143,7	137,1	150,7 (± 18,2)
	T	127,9	98,6	135,3	12,6 (± 19,4)
	S-DC	155,4	143,7	143,7	147,6 (± 6,8)
	T-DC	155,5	124,6	167,8	149,3 (± 22,3)
	media	152,6 (± 18)	127,7 (± 21,3)	146,0 (± 15)	**142,1** (± 12,9 / ± 14,3)

Figura 39 – Istogramma riassuntivo delle quantità di azoto asportate dalla vegetazione dell'intero sistema.



4.8 Fitodepurazione in zona umida

In questa sezione vengono presentati i risultati relativi al monitoraggio della *wetland* di fitodepurazione: bilancio idrologico, comportamento della falda e condizioni di sommersione, analisi chimica delle acque ed abbattimento dei carichi di azoto.

4.8.1 Bilancio idrologico

Come descritto nel capitolo precedente, il bilancio idrologico rappresenta la differenza tra gli afflussi (precipitazioni e volumi d'acqua immessi dalla pompa) ed i deflussi (volumi di acqua in uscita dalla *wetland*) registrati nel dispositivo sperimentale. Sia la quantità di acqua che viene immessa dalla pompa nella zona umida che la quantità di acqua in uscita da essa sono misurate inizialmente in m^3: tali valori sono stati trasformati in mm per equipararli alle precipitazioni.

Nel grafico della Figura 40 viene illustrato l'andamento cumulativo dei volumi di acqua in entrata ed in uscita dalla *wetland*. L'acqua che arriva dalla prova di drenaggio, convogliata nel bacino di fitodepurazione dalla pompa, risulta essere il principale apporto idrico, con un totale di 9.719 mm immessi.

Le precipitazioni, seppur presenti, rappresentano l'apporto idrico secondario, con 970 mm immessi (viene esclusa la piovosità di gennaio per mancanza di correlazione con i deflussi idrici). In totale, quindi, nella *wetland* sono affluiti circa 10.69 mm di acqua. Le uscite sono state pari 1623 mm. Dall'analisi del grafico ad istogram-

Figura 40 – Grafico delle cumulate dei volumi di afflusso e deflusso idrico nella zona umida.

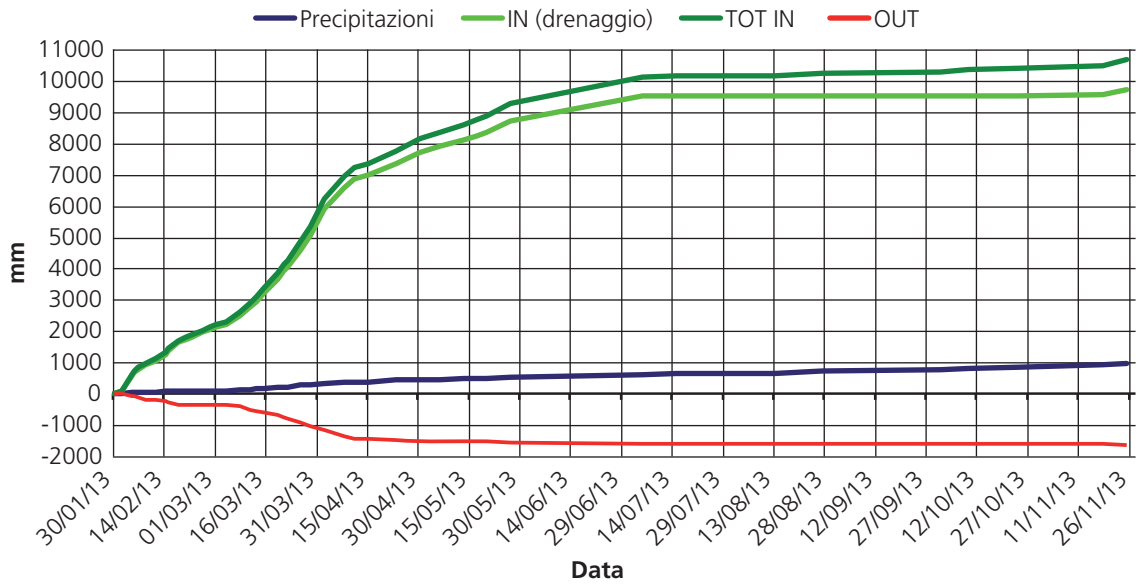
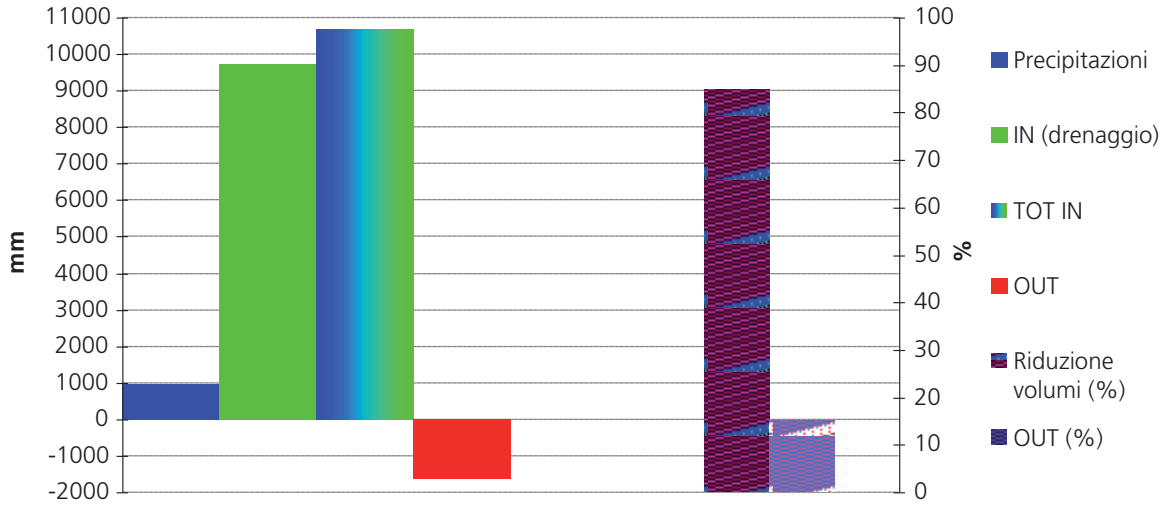


Figura 41 – Riassunto dei volumi idrici totali in entrata ed in uscita dalla zona umida. Sono inoltre presenti la percentuale di acqua drenata rispetto agli ingressi e la percentuale di riduzione dei volumi idrici in entrata.



mi (Fig. 41) si può notare come le variazioni maggiori dei volumi in entrata ed in uscita si verifichino da gennaio fino a fine maggio: questo perché i primi quattro mesi dell'anno sono stati caratterizzati da maggior intensità e frequenza delle precipitazioni. Il periodo successivo è invece caratterizzato dall'aumento delle temperature, dalla diminuzione delle precipitazioni e dalla presenza della vegetazione (sia le colture che la vegetazione della zona umida), fattori che vanno a diminuire i deflussi idrici sia dalla prova di drenaggio che dal bacino di fitodepurazione.
L'andamento appena descritto è ancora più evidente nel grafico rappresentato in Figura 42: circa l'80% dei volumi d'acqua in entrata ed in uscita è stato registrato entro il 30/05/2013. Nel medesimo grafico si può anche notare come, in linea di massima, ogni valore riscontrato in entrata sia seguito da un valore riscontrato in uscita.
In Figura 43 è presente un istogramma che riassume graficamente l'entità dei volumi in entrata ed in uscita, la percentuale di acqua drenata dalla *wetland* rispetto alle entrate e la percentuale di riduzione dei volumi idrici in ingresso. Rispetto alle entrate, la zona umida ha drenato il 15,2 % dell'acqua, producendo una riduzione dei volumi idrici in ingresso del 84,8 %, rimuovendo quindi la quasi totalità dell'acqua apportata dalla prova sperimentale di drenaggio e dalle precipitazioni.

Figura 42 – Valori puntuali dei volumi idrici in entrata ed uscita dalla zona umida.

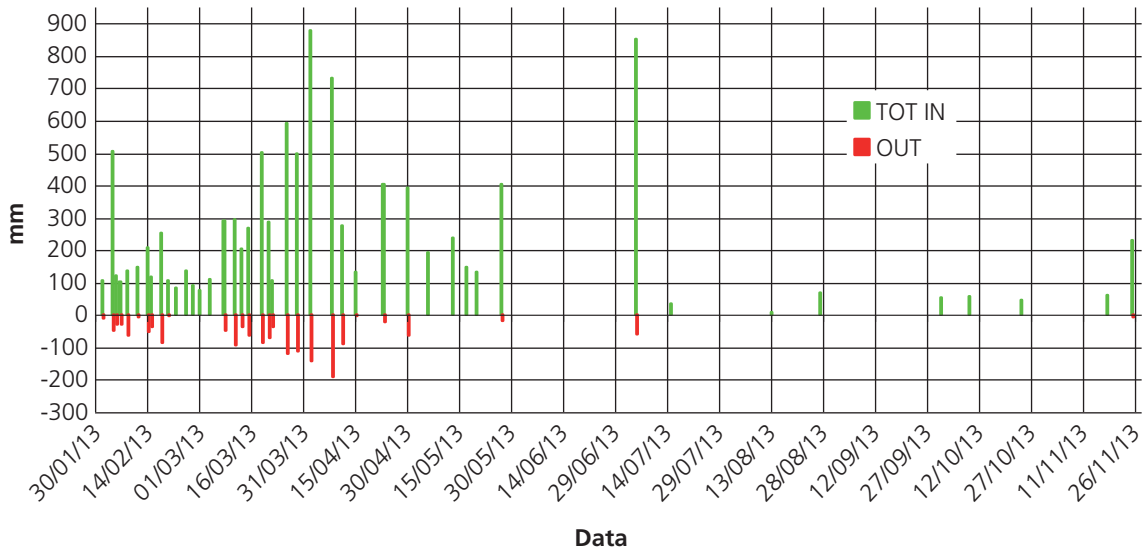
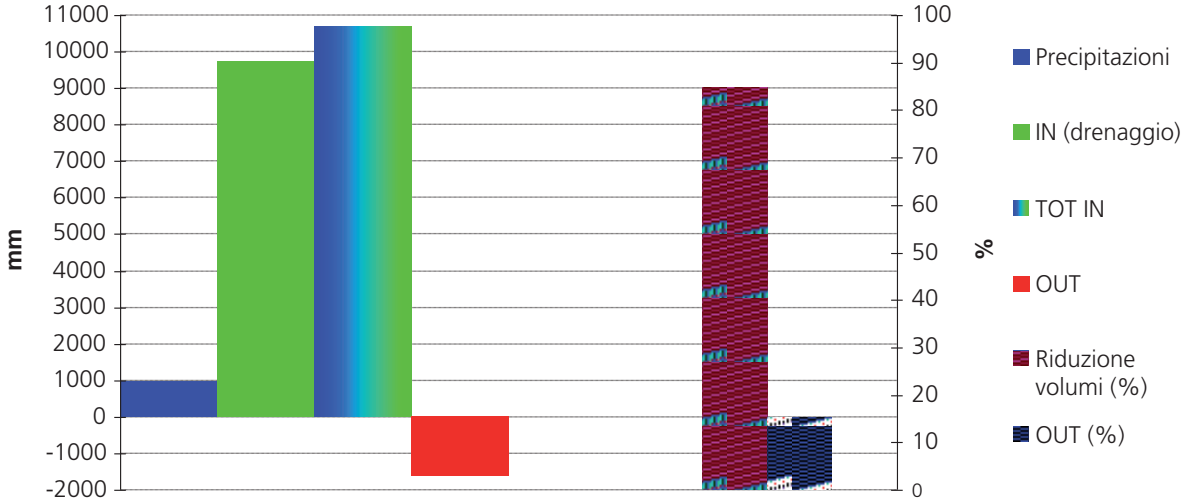


Figura 43 – Riassunto dei volumi idrici totali in entrata ed in uscita dalla zona umida. Sono inoltre presenti la percentuale di acqua drenata rispetto agli ingressi e la percentuale di riduzione dei volumi idrici in entrata.



4.8.2 Comportamento della falda e condizioni di sommersione

A differenza di quanto accade per la prova sperimentale di drenaggio, in questo caso il livello della falda non è influenzato solo dalle precipitazioni ma è fortemente influenzato anche dall'acqua in arrivo dalla prova di drenaggio stessa che, come visto nel paragrafo precedente, apporta volumi circa 10 volte superiori rispetto alle precipitazioni. Per quanto riguarda la sommersione della zona umida, questa segue abbastanza linearmente il comportamento della falda: le condizioni di sommersione sono correlate alla superficialità o meno del livello della falda.
L'andamento nel tempo dell'altezza della falda e delle condizioni di sommersione, raffigurato in Figura 44, segue linearmente l'andamento dei volumi idrici in entrata ed uscita dalla *wetland*: fino ai primi di giugno, periodo in cui vi sono i maggiori apporti idrici, la falda risulta essere superficiale con condizioni tendenzialmente costanti di sommersione; successivamente a questo periodo, la falda aumenta, abbastanza repentinamente, la propria profondità dal piano campagna. Dai primi di ottobre, per via dell'avvento della stagione più fresca e piovosa, la falda torna velocemente al livello del piano campagna. In generale, nel periodo monitorato, sono stati registrati circa 100 giorni di sommersione con una media di 18,8 cm di altezza (il valore massimo, di 35 cm, è stato registrato il 02/04/2013). L'altezza della falda ha oscillato da 21 cm sopra il piano campagna a -198 cm. Fino a fine maggio l'altezza media è di circa 4 cm, mentre nel periodo successivo, in cui si è spinta fino al valore massimo di profondità, l'altezza media è di -122 cm. In generale, nell'intero periodo monitorato l'altezza media della falda è risultata essere di -37 cm.
Il punto rosso, sulla curva dell'andamento della profondità della falda presente in Figura 44, rappresenta un rilievo di manutenzione in cui la pompa elettrica è stata fermata. Durante lo stop della pompa si nota come la falda sia scesa subito a -40 cm dal piano campagna, anche se in presenza di precipitazioni. Questo fa capire come i periodi di sommersione, così come l'andamento nel tempo del livello della tavola d'acqua, siano principalmente influenzati dai volumi idrici derivanti dalla prova di drenaggio. Questo aspetto è ben visibile in Figura 45 e 46.
Dal confronto i due grafici (Fig. 45, 46) si riscontra, inoltre, la regolarità con cui, a seguito di eventi piovosi e principalmente di afflussi relativi al funzionamento della pompa, abbiano risposto sia le condizioni di sommersione che l'altezza della falda, confermando quindi i risultati espressi dal grafico in Figura 44.

Figura 44 – Andamento nel tempo dell'altezza della falda e delle condizioni di sommersione della *wetland*. Il punto rosso nella curva dell'andamento della falda fa riferimento ad un rilievo di manutenzione in cui la pompa è stata fermata.

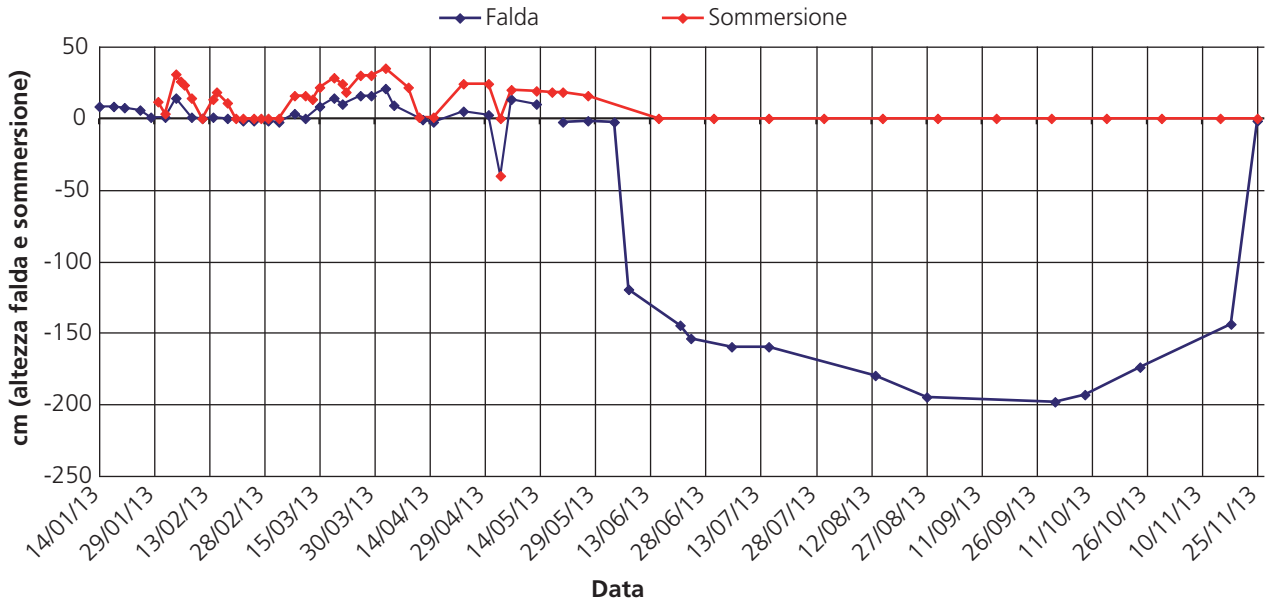


Figura 45 – Confronto tra andamento dell'altezza della falda, condizioni di sommersione ed entità precipitazioni.

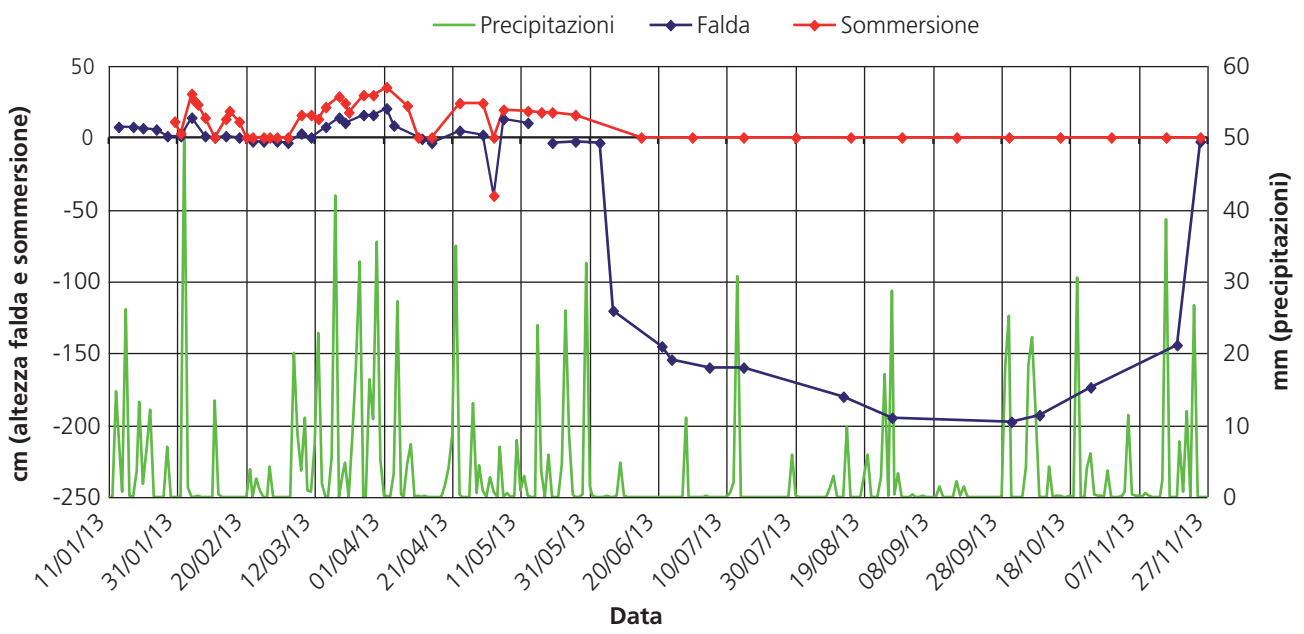
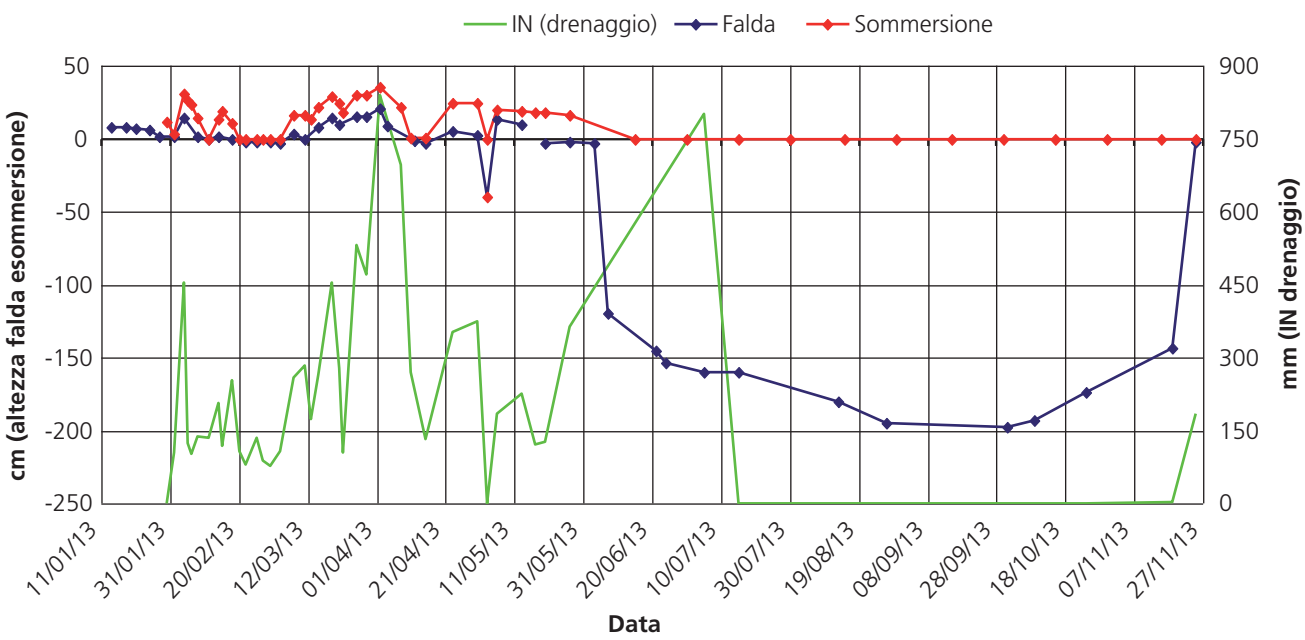


Figura 46 – Confronto tra andamento dell'altezza della falda, condizioni di sommersione e volumi d'acqua in entrata derivanti dalla prova di drenaggio.



4.8.3 Analisi chimica delle acque ed abbattimento dei carichi di azoto

In totale sono stati raccolti 100 campioni di acqua da analizzare, distribuiti tra acqua in entrata, acqua in uscita ed acqua di falda.

Come per i campioni della prova di drenaggio, anche in questo caso sono stati ricostruiti dei grafici box-plot (per analizzare la distribuzione delle concentrazioni, dell'N-NO_3 e del N_{tot}, nelle tre tipologie di acque) ed è stato effettuato il test di *Kruskal Wallis*. Osservando le Figure 47 e 48 si nota come l'acqua in entrata abbia delle concentrazioni di N-NO_3 ed N_{tot} in linea di massima maggiori dell'acqua in uscita, ma anche come presenti una maggiore dispersione di dati, con un range tra valori massimi e minimi più marcato. Questo comportamento è stato verificato con il test di *Kruskal Wallis*, i cui risultati non presentano differenze significative tra le concentrazioni di afflussi e deflussi. Il test ha invece evidenziato differenze tra le concentrazioni di azoto nell'acqua di falda e gli altri due tipi di acqua, il che si riscontra anche nelle figure successive. In generale, così come succedeva per l'acqua della prova di drenaggio, l'azoto totale è quasi esclusivamente costituito da azoto nitrico (e solo in minima parte da azoto totale Kjeldahl, per via della sua minore dilavabilità). Questa assunzione è facilmente osservabile dal confronto tra le Figure 47 e 48.

Figura 47 – Distribuzione delle concentrazioni di N-NO_3 nei tre tipi di acqua analizzata (entrata, uscita e falda). In rosso gli outliers. Tra parentesi il numero di campioni analizzati.

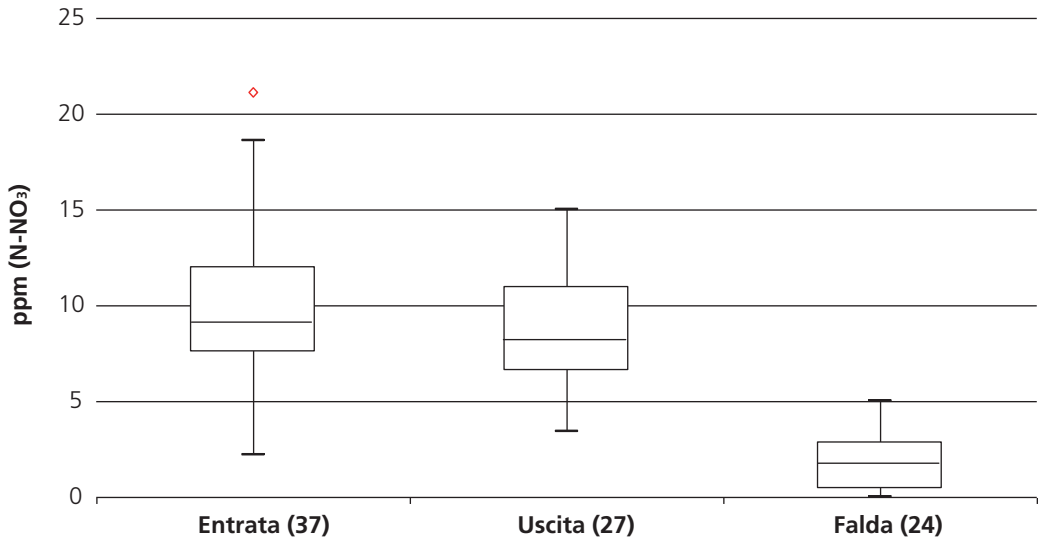
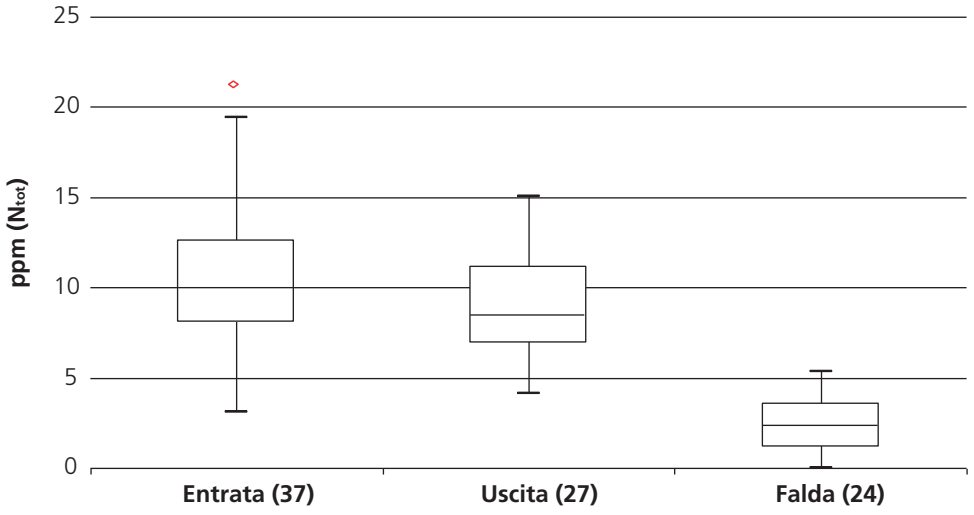


Figura 48 – Distribuzione delle concentrazioni di N_{tot} nei tre tipi di acqua analizzata (entrata, uscita e falda). In rosso gli outliers. Tra parentesi il numero di campioni analizzati.



I risultati riportati in Tabella 12 e 13 confermano le considerazioni appena effettuate, con l'acqua di falda che presenta le concentrazioni più basse. Osservando le tabelle risulta evidente come tra il valore massimo registrato nell'acqua in entrata e quello registrato nell'acqua in uscita ci sia una differenza di circa 6,5 ppm, a testimonianza del fatto che le concentrazioni di azoto nelle acque di deflusso non raggiungono mai i picchi di quelle nelle acque di afflusso. Lo stesso discorso vale per i valori delle mediane, i quali risultano sempre maggiori nelle acque in entrata.

In Figura 49 e Figura 50 è raffigurato l'andamento nel tempo delle concentrazioni, rispettivamente di $N\text{-}NO_3$ e N_{tot}, nell'acqua in entrata, in uscita e di falda. Il confronto è stato fatto fino al 03/06/2013 in quanto, oltre tale data, per via del periodo di minor attività idrica sia del sistema di drenaggio che di quello di fitodepurazione, sono stati raccolti campioni non numericamente sufficienti per un'analisi statistica. L'analisi dei deflussi idrici della *wetland* si ferma ancora prima (11/04/2013) in quanto, oltre tale data, non ha più drenato acqua (Fig. 49, 50). Il periodo esaminato corrisponde comunque al periodo di massima attività idrica della zona umida ed è quindi fortemente rappresentativo del sistema. Dall'osservazione dei grafici (Fig. 49, 50) si nota come le concentrazioni in uscita (OUT nitrati) siano prevalentemente minori di quelle in entrata (IN nitrati). In alcuni punti del grafico le due concentrazioni presentano un uguale valore: questo dipende dal fatto che non deve essere fatta una correlazione puntuale tra le due curve ma deve essere considerato il tempo di perma-

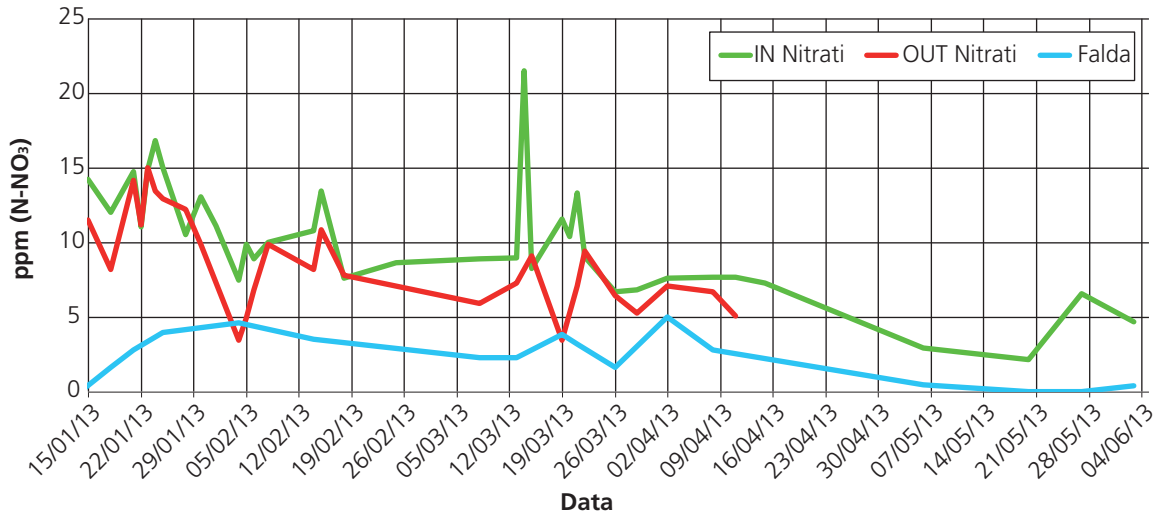
Tabella 12 – Mediana, massimo, minimo e differenza tra massimo e minimo per le concentrazioni di $N\text{-}NO_3$ nei tre tipi di acqua analizzati (in rosso i valori max ed in blu quelli min).

	Concentrazione $N\text{-}NO_3$ mediana (ppm)	Concentrazione $N\text{-}NO_3$ max (ppm)	Concentrazione $N\text{-}NO_3$ min (ppm)	Range max-min (ppm)
Entrata	9	21,5	2,2	19,3
Uscita	8,2	15	3,4	11,6
Falda	1,6	5	0	5

Tabella 13 – mediana, massimo, minimo e differenza tra massimo e minimo per le concentrazioni di N_{tot} nei tre tipi di acqua analizzati (in rosso i valori max ed in blu quelli min).

	Concentrazione $N\text{-}NO_3$ mediana (ppm)	Concentrazione $N\text{-}NO_3$ max (ppm)	Concentrazione $N\text{-}NO_3$ min (ppm)	Range max-min (ppm)
Entrata	9,8	21,5	3,1	18,5
Uscita	8,4	15,1	4,1	11
Falda	2,3	5,3	0	5,3

Figura 49 – Andamento nel tempo delle concentrazioni di N-NO3 in entrata, uscita e falda. La curva delle concentrazioni in uscita (OUT nitrati) deve essere valutata tenendo presente il tempo di permanenza dell'acqua nella *wetland*, corrispondente a 5 giorni.



nenza dell'acqua nella *wetland* (5 giorni), ossia il tempo che impiega l'acqua per passare dall'entrata all'uscita. Le concentrazioni di azoto in falda risultano essere sempre inferiori rispetto alle altre, con un andamento più costante. L'andamento generale riflette una riduzione delle concentrazioni di $N\text{-}NO_3$ e N_{tot} durante l'evolversi del periodo considerato, anche se con la presenza di picchi di massimo e di minimo.

Dopo aver analizzato la concentrazione di azoto nei tre tipi di acqua ne è stato predisposto un bilancio di massa, al fine di identificare la quantità complessiva di $N\text{-}NO_3$ e N_{tot} entrata ed uscita dal sistema sperimentale, nel periodo monitorato. Tale bilancio è stato realizzato moltiplicando la concentrazione di azoto per i mm, normalizzati per ettaro, registrati per gli afflussi ed i deflussi. I valori sono stati poi convertiti in kg. In Figura 51 è rappresentato il risultato di quest'analisi. Come successo per il bilancio idrologico, il mese di gennaio non è stato considerato in quanto non sono presenti valori volumetrici riguardanti afflussi e deflussi idrici.

Confrontando il grafico (Fig. 51) con quello della Figura 40 si nota un analogo andamento. Questo testimonia il fatto che, oltre all'entità delle concentrazioni di azoto in uscita, le perdite di nutrienti da suolo agricolo sono fortemente

Figura 50 – Andamento nel tempo delle concentrazioni di Ntot in entrata, uscita e falda. La curva delle concentrazioni in uscita (OUT nitrati) deve essere valutata tenendo presente il tempo di permanenza dell'acqua nella *wetland*, corrispondente a 5 giorni.

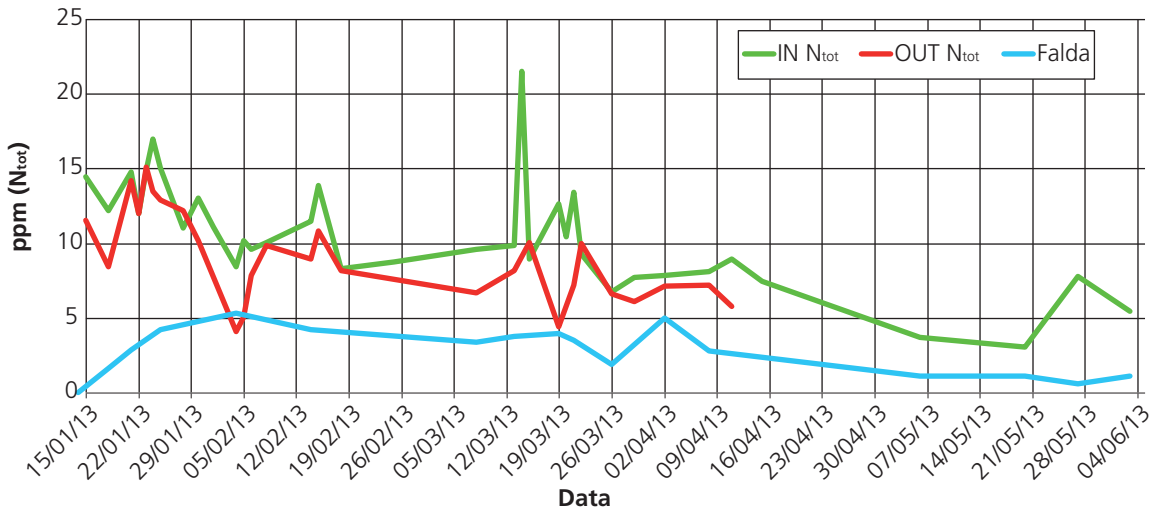
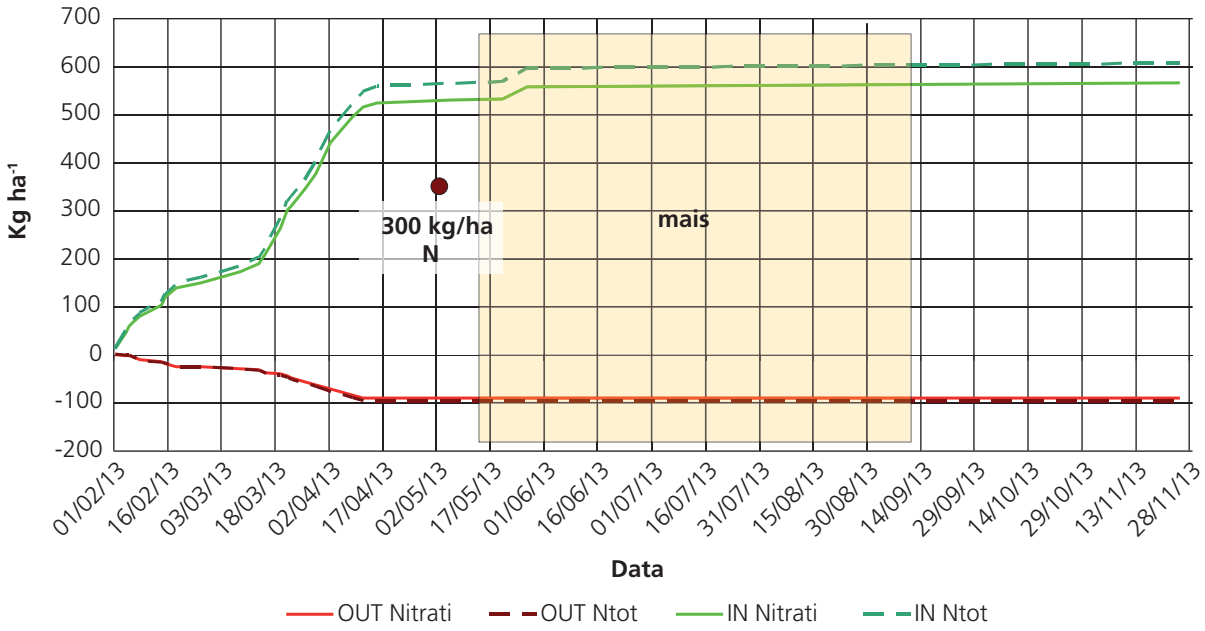


Figura 51 – Bilancio di massa dell'azoto. Sono presenti il periodo in cui le parcelle sono state coltivate a mais (ceroso, PR31 D24, di qualità 700) e la concimazione.



influenzate dai volumi di acqua drenati. Come per il bilancio idrologico, il bilancio di massa dell'azoto presenta una prima fase, fino a fine maggio, dove si riscontrano le fuoriuscite maggiori. Dopo tale periodo, con l'avvento della stagione più calda e meno piovosa e con la presenza della vegetazione (sia nelle parcelle del drenaggio che nella *wetland*), i deflussi idrici si fermano così come le fuoriuscite di azoto. Probabilmente, dopo fine novembre, la tendenza del grafico sarebbe tornata come quella della sua parte iniziale. Nell'intero periodo sono entrati nella zona umida 565,1 kg/ha di $N\text{-}NO_3$ e ne sono usciti 89,8 kg/ha, con un'efficacia di rimozione pari al 84,1%. I valori relativi all'N_{tot} variano di poco, con 605,7 kg/ha in entrata, 96,2 kg/ha in uscita e un'efficacia di rimozione equivalente alla precedente. Da questi dati si evince come la grande maggioranza dell'azoto entrato nella zona umida sia stato abbattuto durante il transito in essa. In Figura 52 ed in Tabella 14 i dati sono stati riorganizzati in un istogramma ed in una tabella, per una più semplice comprensione dei risultati ottenuti.

4.9 Modello Drainmod-NII per la valutazione dell'effetto del drenaggio controllato nelle perdite di azoto

Il modello DRAINMOD è stato sviluppato per migliorare la progettazione e la gestione dei sistemi a drenaggio controllato ed è stato successivamente implementato al fine di prevedere sia le riduzioni in produttività legate a fattori di stress (siccità, eccesso di acqua, salinità) che la qualità delle acque di drenaggio in condizioni di simulazione del ciclo completo dell'azoto nel suolo.

DRAIMOD è un modello applicabile a "scala campo", *process-based,* che è stato sviluppato per suoli caratterizzati da falde superficiali. I migliori risultati delle simulazioni sono ottenuti attraverso la calibrazione di alcuni parametri di input, tra cui le proprietà del suolo, dati agrometeorologici e caratteristiche della coltura. Il modello richiede inoltre la calibrazione della componente azoto, come il

Figura 52 – rappresentazione grafica dei carichi di azoto in entrata ed uscita dalla wetland e della percentuale di rimozione di nitrati.

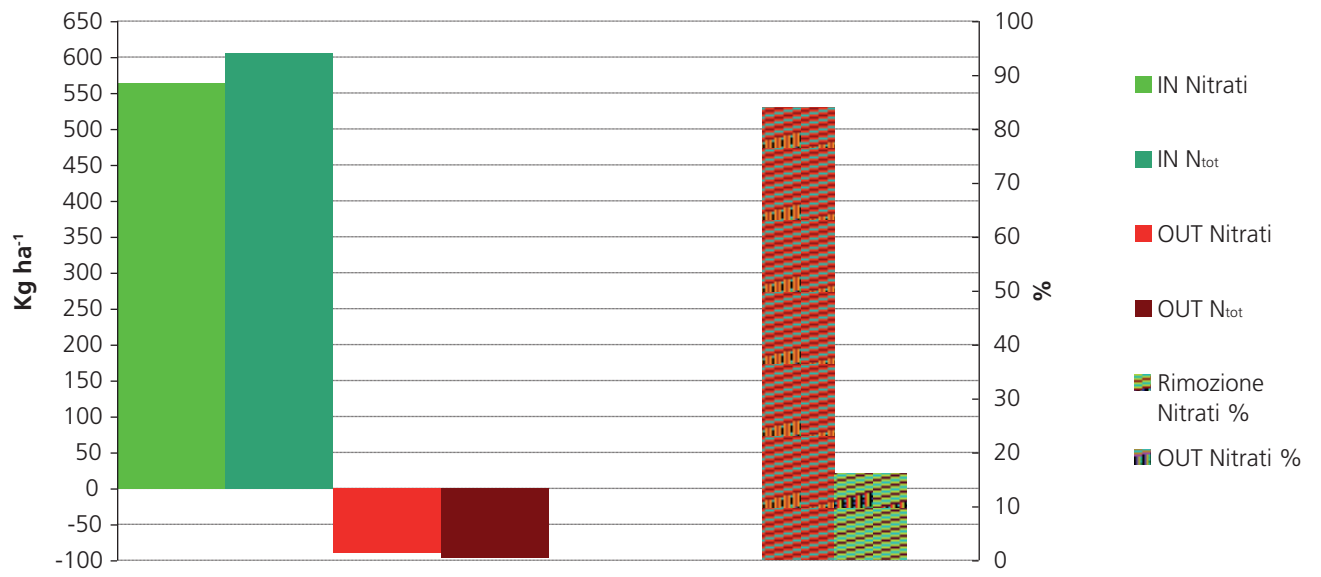


Tabella 14 – Carichi di azoto in entrata ed uscita dalla *wetland* e percentuale di rimozione di nitrati ed azoto totale.

	Entrata (kg/ha)	Uscita (kg/ha)	OUT (%)	Rimozione N (%)
$N\text{-}NO_3$	565,1	89,8	15,9	84,1
N_{tot}	605,7	96,2	15,9	84,1

trasporto e la trasformazione di carbonio ed azoto. Tale modello risulta utilizzabile anche a scala di bacino, integrando nel dataset variabili come le proprietà fisiche del suolo, modelli di produzione e caratteristiche del sistema di drenaggio all'interno del bacino idrografico.
Il modello DRAIMOD è stato testato ed applicato al dispositivo parcellare a drenaggio controllato presso l'Azienda Sperimentale "Lucio Toniolo" (Università di Padova, Agripolis, Legnaro) per valutare l'efficacia del sistema a drenaggio controllato nell'abbattere i carichi di azoto provenienti dai terreni ivi messi a produzione. Il test tale modello è stato condotto sui due tipici sistemi di gestione del drenaggio presenti in Veneto (sistemazione alla ferrarese e tubolare), dimostrando che il drenaggio controllato riduce drasticamente le perdite di azoto in entrambe le sistemazioni. Altri studi sono stati concentrati monitorando le perdite di azoto in terreni a drenaggio superficiale.
Gli obiettivi del presente lavoro insistono sull'applicazione del modello DRAINMOD-NII nella valutazione dell'effetto del drenaggio controllato in scenari differenziati di gestione dell'azoto all'interno dei sei ettari del sistema a parcelle. Lo studio è stato condotto utilizzando i parametri di calibrazione necessari per la simulazione della componente idrologica nel modello DRAINMOD realizzati in studi precedenti e i dati di campo rilevati nell'area di studio.
Il modello è stato calibrato in condizioni specifiche del sistema, ossia sulle parcelle n. 5 e 6 e durante un periodo limitato dell'anno (esclusa la stagione estiva). La calibrazione tuttavia richiede ulteriori dataset di input, come i volumi di drenaggio dal dreno centrale di ogni parcella.
I risultati della modellistica e della simulazione mettono in luce una buona rappresentazione do cosa avviene nel centroide di ogni parcella. Il drenaggio controllato è stato applicato in due periodi (da ottobre a gennaio; da maggio ad agosto) implicando una variazione dei livelli freatimetrici e dei volumi drenati.
Sulla base delle simulazioni del modello DRAIMOD è stato possibile confermare che il livello della falda si innalza notevolmente sotto regimazione a drenaggio controllato rispetto a quello convenzionale. Tuttavia non sono stati riscontrati effetti significativi sul sistema radicale delle piante coltivate. Il drenaggio controllato, inoltre, ha un importante effetto sulla riduzione dei volumi drenati, con valori in percentuale del 61%.

4.10 Conclusioni

1. Rispetto a quanto atteso dal Progetto i risultati conseguiti nel corso dei tre anni di monitoraggio mostrano che il sistema sperimentale a drenaggio controllato, integrato con una zona umida di fitodepurazione, ha evidenziato grandi potenzialità sia nel controllo dei deflussi idrici dalle parcelle, che nelle perdite di azoto e fosforo delle acque di drenaggio agricolo. I minori deflussi invernali, inoltre, si traducono in una maggiore disponibilità idrica nel corso dei mesi primaverili-estivi, quando la coltura è in piena fase vegetativa.
2. I benefici ambientali diretti e futuri derivano dall'efficacia del sistema integrato nell'abbattimento di nutrienti che ha raggiunto rimozioni medie di circa il 90% per le forme azotate e di circa 70% per il quelle fosfatiche e dall'immagazzinamento di acqua. I risultati ottenuti in tale sperimentazione trovano conferma gli studi presenti in letteratura scientifica nazionale e internazionale (Wesstrom et al., 2001; Luo W.et al., 2008; Bonaiti et al., 2010; Borin et al., 2010). Per quanto riguarda il terreno è stata riscontrata una diminuzione generale delle concentrazioni di azoto nitrico, da prima della semina a dopo la raccolta delle colture, e la tesi a concimazione mista ha dato i migliori risultati in termini di riduzione delle potenzialità di lisciviazione. Per quanto riguarda le colture, la tesi a concimazione organica risulta la meno produttiva, mentre quella a concimazione mista la più produttiva.
   Va infine considerato che il drenaggio controllato, opportunamente gestito, consente un maggiore immagazzinamento di acqua nel terreno e conseguentemente una riduzione dei fabbisogni irrigui delle colture. Nella prospettiva futura dunque il drenaggio controllato si propone come BPA per la protezione dei corpi idrici e per contribuire a una razionale gestione integrata della risorsa idrica.
3. Per quanto concerne gli aspetti innovativi e gli effetti socio economici dell'attività dimostrativa si ricorda che le soluzioni monitorate sono conosciute dalla comunità scientifica in Italia da parecchi anni, ma trovano ancora pochissimi riscontri applicativi. Un elemento di innovazione che potrebbe derivare dal progetto riguarda quindi proprio il trasferimento delle informazioni alle aziende e la creazione del quadro normativo che favorisca l'adozione di queste misure.
   La produzione agricola è stata condizionata dall'andamento climatico anomalo degli ultimi tre anni – e in particolare le assai scarse precipitazioni nel periodo maggio-settembre – che ha comportato rese decisamente basse in tutta la pianura padana. In linea di massima la concimazione con solo azoto da liquame ha dato una resa non differente rispetto a quella con solo azoto minerale, ma ha fornito valori migliori di qualità dell'acqua di falda e minore presenza di azoto residuale nel terreno dopo la raccolta. I migliori risultati sono stati conseguiti con la fertilizzazione mista.
   Dal punto di vista economico la fertilizzazione mista (liquame integrato da concime minerale) ha consentito di ottenere le rese più elevate; i risultati peggiori sono stati ottenuti utilizzando solo liquame.

4. L'approccio metodologico applicato può essere facilmente replicato al altre esperienze in altre realtà; basti pensare, ad esempio, che solo nel Veneto il 65% della superficie regionale è gestita da Consorzi di Bonifica e 190000 ha di territorio sono sotto il livello del mare. In queste realtà l'applicazione del drenaggio controllato e delle zone umide di fitodepurazione trova condizioni favorevoli.
5. Gli aspetti significativi più importanti dall'approccio utilizzato riguardano la semplicità di realizzazione e gestione degli interventi operativa e di conseguenza un favorevole rapporto benefici/costi.
6. La replicabilità delle esperienze è facile.
7. L'approccio utilizzato presenta costi e tempi differenti per fitodepurazione e drenaggio controllato. Nel primo caso bisogna considerare il valore dei terreni dedicati alle aree umide e il costo di realizzazione, ma non va dimenticato che esse possono fornire ingenti quantità di biomasse da utilizzare per scopi energetici. Per giungere a piena funzionalità un'area umida impiega due-tre anni. L'implementazione del drenaggio controllato mentre risulta meno impegnativo dal punto di vista di costi e tempi.
8. Il progetto ha validato soluzioni sostenibili. Le sfide future riguardano soprattutto la nota inerzia del sistema agricolo italiano a recepire l'innovazione. Negli Stati Uniti Il drenaggio controllato è considerato buona pratica agricola ormai da decenni e fa parte del normale modo di gestire le acque da parte degli agricoltori.

5. BIBLIOGRAFIA

Allred, B.A., Brown, L.C., Fausey, N.R., Cooper, R.L., Clevenger, W.B., Prill, G.L., 2003. Water table management to enhance crop yields in a *wetland* reservoir subirrigation system, Appl. Eng. Agric. 19, 4, 407-421.

Bendoricchio, G., Giardini, L., 1994. A controlled drainage demonstration project in Italy, in: M. Borin, M. Sattin (Eds.), Proceedings of the 3rd Congress of European Society for Agronomy, Abano, Padova, Italy, 18-22 September, 768-769.

Borin M., Bonaiti G. and Giardini L., 1998. First result on controlled drainage to reduce nitrate losses from agricultural sites. In: Water and the environment: innovation issues in irrigation and drainage, L.S. Pereira and J.W. Gowing (eds.), Selected papers of the 1st Inter-Reg. Conf. on Environment-Water: Innovative Issues in Irrigation and Drainage, Lisbon, Portugal, 16-18 Sept. 1998. E & FN Spon, London, pp. 35-42.

Borin M., Bonaiti G. and Giardini L., 2001 b. Controlled drainage and *wetland*s to reduce agricultural pollution: a lysimetric study. Journal of Environmental Quality, 30, 1330-1340.

Borin M., Bonaiti G. and Giardini L., 2002. Water conservation and crop production under controlled drainage and subirrigation: five years' experience in NE Italy. Ital. J. Agron., 7(2), 111-118.

Borin M., Bonaiti G., Santamaria G. and Giardini L., 2001 a. A constructed surface flow *wetland* for treating agricultural waste waters. Water Sci. and Technol., 44, 523-530.

Borin M., Morari F., Bonaiti G., Paasch M. and Skaggs R.W., 2000. Analysis of DRAIMOD performances with different detail of soil input data in the Veneto Region of Italy. Agricultural Water Management, 42, 259-272.

Borin, M., Bisol, T., Bonaiti, G., Morari, F., Amatya, D.M., 2004. Evaluation of actual nitrogen losses from a watershed - Preliminary results of a case study in the Po Valley (Northern Italy), in: M.S. Altinakar, S.S.Y. Wang, K.P. Holz, M. Kawahara (Eds.), Proceedings of the 6th International Conference on Hydroscience and Engineering, Brisbane, Australia, 30 May – 3 June, 329-340.

Borin, M., Bonaiti, G., 1996. Un dispositivo sperimentale di drenaggio controllato con zona umida per studiare le possibilità di controllo delle perdite di nitrati dai terreni agricoli, Riv. di Irr. e Dren. 44, 1, 39-46.

Borin, M., Bonaiti, G., G. Santamaria, L. Giardini, A constructed surface flow *wetland* for treating agricultural waste waters, Water Sci. Technol. 44, 11-12 (2001) 523-530.

Borin, M., Tocchetto, D., 2007. Five year water and nitrogen balance for a constructed surface flow *wetland* treating agricultural drainage waters, Sci. Total. Environ. 380, 1-3, 38-47.

Braskerud B.C., 2002. Factors affecting nitrogen retention in small constructed *wetland*s treating agricultural non-point source pollution. Ecol. Engin., 18, 351-370.

Chescheir G.M., Gilliam J.M., Skaggs R.W. and Broadhead R.G., 1991. Nutrient and sediment removal in forested *wetland*s receiving pumped agricultural drainage water. *Wetland*s. 11, 87-103.

Clinton, F.M., 1948. Invisible Irrigation on Egin Sench. Reclamation, 34, pp. 182-184.

Crumpton W.G., 2001. Using *wetland*s for water quality improvement in agricultural watersheds: the importance of a watershed scale approach. Water Sci. and Technol., 44, 559-564.

Evans, R.O., Parsons, J.E., Stone, K., Wells, W.B., 1992. Water table management on a watershed scale, J. Soil Water Conserv. 47, 58-64.

Evans, R.O., Skaggs, R.W., 2004. Development of controlled drainage as a BMP in North Carolina, in: R.A. Cooke (Ed.), Drainage VIII, Proceedings of the 8th International Drainage Symposium, Sacramento, CA, U.S.A., 21-24 March, 1-13.

Fouss, J.L., Skaggs, R.W., Fausey, N.R., Pitts, D.J., 2004. Implementing controlled-drainage technology to reduce nitrate loss in drainage water, in: R.A Cooke (Ed.), Drainage VIII, Proceedings of the 8th International Drainage Symposium, Sacramento, CA, U.S.A., 21-24 March, 14-16.

Gilliam, J.W., Skaggs, R.W., Weed, S.B., 1979. Drainage control to diminish nitrate loss from agricultural fields, J. Environ. Qual., 8, 1, 137-142.

Glickman, T.S. (Ed.), 2000. Glossary of Meteorology, 2nd Edition, American Meteorological Society, Boston, MA, U.S.A.

Higgins M.J., Rock C.A., Bouchard R. and Wengrezynek B., 1993. Controlling agricultural runoff by use of constructed *wetland*s. In: Constructed *Wetland*s for Water Quality Improvement, G.A. Moshiri (ed.), Lewis Publishers, Boca Raton, Fl. pp. 359-367.

Hume N.P., Fleming M.S. and Horne A.J., 2002. Plant carbohydrate limitation on nitrate reduction in *wetland* microcosms. Water Res., 36, 577-584.

Kadlec H.K. and Knight R.L., 1996. Treatment *wetland*s. Lewis Publishers, Boca Raton Fl.

Kao C.M. and Wu M.J., 2001. Evaluation of the non-point source pesticide removal by a natural *wetland*. Water Sci. and Technol., 44, 539-544.

Kliewer, B.A., Gilliam, J.W., 1995. Water management effects on denitrification and nitrous oxide evolution, Soil Sci. Soc. Am. J. 59, 1694–1701.

Kovacic D.A., David M.B., Gentry L.E., Starks K.M. and Cooke R.A., 2000. Effectiveness of constructed *wetland*s in reducing nitrogen and phosphorous export from agricultural tile drainage. J. of Environ. Qual., 29, 1262-1274.

Lowrance R., Vellidis G. and Hubbard R.K., 1995. Denitrification in a restored riparian forest *wetland*. J. of Environ. Qual., 24, 808-815.

Madramootoo, C.A., Dodds, G.T., Papadopoulos, A., 1993. Agronomic and environmental benefits of water-table management, J. Irrig. Drain. Eng. 119, 6, 1052-1065.

Melvin, S.W., Kanwar, R.S., 1995. Environmental and economic impacts of a recycling subirrigation-drainage system, in: H.W. Belcher, F.M. D'Itri (Eds.), Subirrigation and Controlled Drainage, Lewis Publishers, Boca Raton, U.S.A., pp. 315-326.

Mitsch W.J., Day J.W., Gillingham A.G., Groffman P.M., Hey D.L., Randell G.W. and Wang N., 2001. Reducing nitrogen loading to the Gulf of Mexico from Mississippi River Basin: strategies to counter a persistent ecological problem. Bioscience, 51, 373-388.

Olson R.K. and Marshall K., 1992. The role of created and natural *wetland*s in controlling nonpoint source pollution. Spec. Issue. Ecol. Eng., 1, 1-171.

Paasonen-Kivekäs, M., Karvonen, T., Vakkilainen, P., Sepahi, N., Kleemola, J., Teittinen, M., 1996. Field studies on controlled drainage and recycling irrigation drainage for reduction of nutrient loading from arable land, Water Sci. Technol. 33, 4, 333-339.

Poe C.A., Piehler M.F., Thompson S.P. and Paerl H.W., 2003. Denitrification in a constructed *wetland* receiving agricultural runoff. *Wetland*s, 23, 817–826.

Qadir, M., Sharma, B.R., Bruggeman, A., Choukr-Allah, R., Karajeh, F., 2007. Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries, Agric. Water Manage. 87, 1, 2–22.

Reddy K.R. and DeBusk W.F., 1987. Plant nutrient storage capabilities. In: Aquatic plants for water treatment and resource recovery, K.R. Reddy and Smith W.H. (eds.), Magnolia Publishing Inc., Orlando, Fl, pp. 337-357.

Reily J.F., Horne A.J. and Miller C.D., 2000. Nitrate removal from a drinking water supply with large free-surface constructed *wetland*s prior to groundwater recharge. Ecol. Eng., 14 (1-2), 33-47.

Renfro, G.Jr., 1955. Applying water under the surface of the ground, Yearbook of Aqriculture, USDA, pp. 273-278

Romero J.A., Comin F.A. and Garcia C., 1999. Restored *wetland*s as filters to remove nitrogen. Chemosphere, 39, 323-332.

Sharma, B.R., Minhas, P.S., 2005. Strategies for managing saline/alkali waters for sustainable agricultural production in South Asia, Agric. Water Manage. 78, 1-2, 136-151.

Singh, R., Helmers, M.J., Crumpton, W.G., Lemke, D.W., 2007. Predicting effects of drainage water management in Iowa's subsurface drained landscape, Agric. Water Manage. 92, 3, 299-306.

Skaggs, R.W., 2007. Controlled drainage to reduce nitrogen losses from drained lands, ASA-CSSA-SSSA Annual Meeting, New Orleans, LA, U.S.A., 4-8 November.

Skaggs, R.W., Brevé, M.A., 1995. Evironmental impacts of water table control, in: H.W. Belcher, F.M. D'Itri (Eds.), Subirrigation and Controlled Drainage, Lewis Publishers, Boca Raton, U.S.A., pp. 247-268.

Skaggs, R.W., Evans, R.O., Chescheir, G.M., Parson, J.E., Gilliam, J.W., Sheets, J.T., Liedy, R.B., 1993. Water table management effects on water quality and productivity, Tidewater Research Station, North Carolina State University, Plymouth, NC, U.S.A., (unpubl.) 16 pp.

Skaggs, R.W., van Schilfgaarde, J, (Eds.), 1999. *Agricultural Drainage,* Agronomy Monograph No. 38. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.

Tanner C.C., Nguyen M.L. and Sukias J.P.S., 2005. Nutrient removal by a constructed *wetland* treating subsurface drainage from grazed dairy pasture. Agric., Ecosyst. and Environ., 105, 145-161.

Thomas, D.L., Hunt, P.G., Gilliam, J.W., 1992. Water table management for water quality improvement, J. Sil Water Conserv. 47, 65-70.

Thomas, D.L., Shirmohammadi, A., Lowrance, R.R., Smith, M.C., 1991. Drainage-subirrigation effect on water quality in Georgia Flatwoods, J. Irrig. Drain. Eng. 117, 123-137.

Tiedje J.M., 1988. Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium. In: Zehder A.J.B. (ed.), Biology of Anaerobic Organisms. Wilder, New York, pp. 179-245.

Vellidis G., Lowrance R. and Smith M.C., 1994. A quantitative approach for measuring N and P concentration changes in surface runoff from a restored riparian forest *wetland*. *Wetland*s, 14, 73-81.

Vought L., Lacoursiere J. and Volez N., 1991. Streams in the agricultural landscape. Vatten, 47, 321-328.

Walkley, A., Black, I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method, Soil Science. 38, 29–37

Watanabe, H., Nguyen, M.H.T., Souphasay, K., Vu, S.H., Phong, T.K., Tournebize, J., Ishihara, S., 2007. Effect of water management practice on pesticide behavior in paddy water, Agric. Water Manage. 88, 1-3, 132-140.

Weestrom, I., Messing., I., 2007. Effects of controlled drainage on N and P losses and N dynamics in a loamy sand with spring crops, Agric. Water Manage. 87, 3, 229-240.

Yang, C.C., Prasher, S.O., Wang, S., Him, H.S., Tan, C.S., Drury, C., Patel, R.M., 2007. Simulation of nitrate-N movement in southern Ontario, Canada with DRAINAMOD-N, Agric. Water Manage. 87, 3, 299-306.

Coordinatore

Centro Ricerche
Produzioni Animali
C.R.P.A. S.p.A.

Viale Timavo 43/2
42121 Reggio Emilia - Italia

Tel. +39 0522 436999
Fax +39 0522 435142

http://aqua.crpa.it
Email: aqua@crpa.it

Finanziato dall'Unione europea nell'ambito
del Programma Life Plus Ambiente,
il progetto AQUA è iniziato il 01 ottobre 2010
e terminerà il 31 marzo 2014.

AQUA è coordinato da CRPA spa e
cofinanziato dalle Regioni Piemonte, Lombardia,
Veneto ed Emilia-Romagna, dalle aziende multiservizi
IREN ed HerAmbiente, da AGCO Italia.

Partners per la realizzazione sono
Fondazione CRPA Studi e Ricerche, CRA, IPLA Piemonte,
ERSAF Lombardia, Veneto Agricoltura
ed ERSA Friuli Venezia-Giulia.