

DOI: [10.4081/ija.2015.772](https://doi.org/10.4081/ija.2015.772)

Efficacia dello Standard di condizionalità 5.2 “Fasce Tampone” nella protezione delle acque dall’inquinamento

Bruna Gumiero,¹ Bruno Boz,² Alessandra Lagomarsino,³ Paolo Bazzoffi,³ Rosario Napoli,⁴ Francesco Montemurro,⁵ Lamberto Borrelli,⁶ Rosa Francaviglia,⁴ Silvia Carnevale,³ Andrea Rocchini,³ Alessandro Elio Agnelli,³ Angelo Fiore,⁵ Giovanni Cabassi,⁶ Bruno Pennelli,⁴ Giorgio Moretti,³ Andrea Gasparini,⁶ Giuseppina Pipitone,⁷ Luigi Sansone⁷

¹Dipartimento di Scienze Biologiche Geologiche ed Ambientali BiGeA, Università di Bologna

²Biologo libero professionista, Belluno

³CREA-ABP, Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l’Analisi dell’Economia Agraria, Centro di Ricerca per l’Agrobiologia e la Pedologia, Firenze

⁴CREA-RPS, Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l’Analisi dell’Economia Agraria, Centro di Ricerca per lo studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo, Roma, Italia

⁵CREA-SSC, Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l’Analisi dell’Economia Agraria, Unità di Ricerca per i Sistemi Colturali degli Ambienti Caldo-Aridi, Metaponto (MT)

⁶CREA-FLC, Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l’Analisi dell’Economia Agraria, Centro di Ricerca per le Produzioni Foraggere e Lattiero Casearie, Lodi

⁷CREA-VIT, Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l’Analisi dell’Economia Agraria, Centro di Ricerca per la Viticoltura, Conegliano (TV), Italia

Lavoro svolto nell’ambito del Progetto MO.NA.CO. (Rete di monitoraggio nazionale dell’efficacia ambientale della condizionalità e del differenziale di competitività da essa indotto a carico delle imprese agricole) finanziato dal Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali (MiPAAF) nell’ambito del Programma Rete Rurale Nazionale nel contesto dell’Azione 1.2.2 “Laboratori interregionali per lo sviluppo” del Programma Operativo denominato “Rete Rurale Nazionale 2007-2013”. Coord. Paolo Bazzoffi.

Riassunto

Sette Fasce Tampone, realizzate secondo le indicazioni tecniche contenute nello standard di condizionalità 5.2, in diversi ambiti e contesti climatici, sono state monitorate per un periodo biennale, al fine di quantificare la loro efficienza nella rimozione di azoto inorganico disciolto. Tale azoto è costituito per lo più da molecole di azoto nitrico che vengono veicolate principalmente tramite deflussi sub-superficiali da zone soggette a diverse pratiche colturali verso i corpi idrici superficiali adiacenti. Ad eccezione di due casi: i siti di Lodi e Metaponto, in tutti i sistemi monitorati è stata confermata la presenza di deflussi trasversali ai sistemi tampone, permanenti o temporanei, in grado di veicolare inquinanti e con portate variabili fra 919 e 8.590 m³/anno per 100 m lineari di FT. Le differenze di portata sono imputabili principalmente alla diversa superficie dei bacini agricoli afferenti ai sistemi tampone, che nei casi analizzati occupano superfici variabili fra il 3,6 ed il 33,3% del bacino agricolo. Sulla base dei bilanci di massa è emerso che dai campi coltivati giungono ai sistemi tampone percentuali variabili fra l'1,6 ed il 29,4% dell'azoto inorganico applicato. Ad eccezione dei sistemi in cui i maggiori deflussi non hanno alcuna interazione con la rizosfera (deflussi profondi) oppure non attraversano la Fascia Tampone, in tutti gli altri siti si registra un effetto di riduzione dell'azoto fra entrata ed uscita, con percentuali variabili fra il 33 ed il 62 %. Percentuali di abbattimento non elevate sono giustificate dallo scarso grado di maturazione dei siti monitorati, in molti casi recentemente convertiti a Fascia Tampone. Ancora una volta si conferma l'estrema eterogeneità delle risposte di questi sistemi ed il ruolo prioritario delle forzanti idrologiche nel determinarne l'efficacia.

Oltre ai 7 siti sopra descritti è stato monitorato anche un vigneto (**CREA-VIT**) in cui, anziché le forme di azoto sono stati monitorati i solidi sospesi e le concentrazioni di Glifosate per le ragioni di seguito esposte. Numerose ricerche hanno descritto l'efficacia di Fasce Tampone vegetate, - sia arboree che erbacee, frapposte fra le zone coltivate ed i corpi idrici-, nella rimozione di solidi sospesi e/o di altri inquinanti quali il Glifosate. veicolati tramite processi di runoff superficiale. La ricerca realizzata ha quantificato gli effetti su questi processi di una Fascia Tampone erbacea ampia 5 m e realizzata secondo le indicazioni tecniche riportate nello Standard di condizionalità 5.2 (D. M. 27417) limitrofa ad un vigneto. Le quantità di runoff generato sono risultate pari al 3,9% del totale delle precipitazioni annue, con differenze trascurabili in termini di volumi dopo il passaggio attraverso la Fascia Tampone. L'efficacia della Fascia Tampone nella rimozione dei solidi sospesi è risultata, in termini di bilancio di massa, pari al 45,5%. Le uscite di Glifosate dal vigneto, diversamente da altre esperienze, sono risultate nulle e non è stato quindi possibile valutare l'efficienza di abbattimento della Fascia Tampone. Si ritiene che ciò sia

imputabile alle ridotte precipitazioni avvenute nel periodo successivo alla distribuzione le quali hanno favorito la possibilità di degradazione in loco del Glifosate.

Introduzione

L'inquinamento di origine puntiforme ha subito una forte contrazione negli ultimi decenni, grazie ai sempre più numerosi ed efficienti impianti di depurazione, mentre non si può dire lo stesso per l'inquinamento di origine diffusa. L'importanza dell'inquinamento diffuso è stata riconosciuta quando a partire dagli anni 80 lo sviluppo di impianti di depurazione non ha determinato l'atteso miglioramento della qualità delle acque (Campbell *et al.*, 2004).

L'inquinamento diffuso è quasi sempre intermittente essendo legato principalmente alle attività agricole e ad eventi meteorologici intensi, come conseguenza la sua gestione e controllo presenta notevoli difficoltà prima fra tutte pianificare un monitoraggio efficiente. Inoltre le molecole inquinanti subiscono trasformazioni complesse mentre vengono trasportati attraverso l'aria, il suolo e l'acqua all'interno del bacino imbrifero (Dhondt *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2012; Cheng *et al.*, 2013).

In un territorio a principale vocazione agricola l'inquinamento diffuso è composto in maggior misura da pesticidi e nutrienti, in particolare fosforo e azoto nitrico. L'uso di quantità elevate di fertilizzanti inorganici e organici, al fine di massimizzare la produttività agricola, causano spesso un eccesso di queste molecole che si possono accumulare nei suoli e negli ambienti acquatici. Sebilo *et al.* (2013) hanno riportato i risultati di 30 anni di studio sui movimenti dei composti azotati contenuti nei fertilizzanti, marcando l'azoto con isotopi ^{15}N come tracciante. Essi hanno trovato che il 61-65% di azoto dei fertilizzanti applicati sono stati utilizzati, durante questo periodo, dalle piante, una percentuale tra l'8-12 % è stata trasportata verso le acque superficiali o sotterranee mentre il 12-15% dopo tre decenni si trovava ancora nella sostanza organica del suolo. Si prevede che questo residuo continuerà in parte ad essere utilizzato dalle colture e in parte lisciviato negli ambienti acquatici per almeno altri 5 anni. L'azoto immagazzinato nel suolo viene movimentato dalla lavorazione del terreno e dai processi di erosione delle acque sui suoli. L'azoto inoltre può andare in atmosfera attraverso la volatilizzazione di NH_3 e la produzione a seguito di processi microbici di N_2O (gas a effetto serra e catalizzatore della distruzione dell'ozono) (Carpenter *et al.*, 1998).

Nonostante i crescenti sforzi a livello nazionale ed europeo (direttiva 91/976/CEE sui nitrati, attualmente inclusa nella direttiva quadro sulle acque 2000/60/CE) per ridurre le sorgenti di nitrati da agricoltura intensiva, l'azoto è ancora uno dei principali contaminanti delle risorse superficiali e

sotterranee di acqua dolce (<http://isonitrate.brgm.fr>). L'eccesso di nutrienti in ecosistemi acquatici chiusi quali: laghi, lagune etc. può avere conseguenze molto impattanti sull'intero ecosistema rendendolo eutrofico. Inoltre l'azoto nitrico a causa della sua elevata solubilità in acqua tende anche ad accumularsi nelle acque di falda, spesso utilizzate a scopo potabile, creando di conseguenza problemi per la salute umana (Carpenter *et al.*, 1998; Weyer *et al.*, 2001).

In un bacino imbrifero le fonti principali di nitrati sono:

1. i nitrati sintetizzati nel suolo dai processi microbici di mineralizzazione (e nitrificazione) della materia organica dei suoli
2. i nitrati provenienti dall'ossidazione della materia organica legata alle attività antropiche, agricole (letame) o urbane (rifiuti domestici)
3. i nitrati (più in generale l'azoto) di sintesi industriale (concimi)

Per ridurre l'intensificazione dell'inquinamento diffuso si può agire principalmente con due strategie: a) ridurre l'utilizzo di fertilizzanti mediante una gestione più sostenibile e attenta delle attività agricole e/o b) facilitando i processi naturali di fitodepurazione delle acque.

Per fitodepurazione si intendono tutti quei processi ad opera del sistema piante-microorganismi che rimuovono gli inquinanti dalle acque dei suoli o libere. Ci sono processi che immagazzinano temporaneamente i nutrienti come l'assimilazione da parte delle piante e dei microorganismi e altri che rimuovono permanentemente l'azoto come la denitrificazione. Numerosi studi hanno evidenziato la denitrificazione come il principale processo di rimozione dei nitrati nelle acque. Ratei elevati di denitrificazione sono strettamente legati alle condizioni di saturazione dei suoli che creano le condizioni di anaerobiosi necessarie perché il processo avvenga. Oltre alla presenza di nitrati un altro fattore limitante è la quantità di carbonio organico presente nei suoli necessario al metabolismo dei batteri denitrificanti (Gumiero *et al.*, 2011; Boz, 2011). Questi processi avvengono in quasi tutti i sistemi naturali ma sono veramente efficienti in pochi di essi quali le Fasce Tampone e le zone umide, come hanno dimostrato numerosi studi (Clement *et al.*, 2002; Coops and van Geest, 2007; Billy *et al.*, 2013; Gumiero *et al.*, 2011, 2013; Hefting *et al.*, 2013).

Affinché le fasce riparie vegetate possano essere definite sistemi tampone è necessario innanzitutto che esse siano attraversate dai deflussi che dilavano i campi coltivati dall'eccesso di nutrienti prima di raggiungere la rete idrica o la falda; in secondo luogo esse devono avere un ruolo nel trasformare/rimuovere gli inquinanti veicolati attraverso tali deflussi. Affinché questi sistemi siano particolarmente efficaci nel rimuovere l'eccesso di nutrienti, e in particolare di azoto, che li attraversano, le acque nel suolo dovrebbero defluire più superficialmente possibile (prime decine di

centimetri) a una velocità contenuta. Da ciò si evince l'estrema importanza che riveste l'idrologia in questi sistemi e l'assoluta necessità di conoscere le sue dinamiche spaziali e temporali.

Le comunità vegetali giocano un ruolo importante nella funzione tampone degli ecotoni ripari. Le specie arboree possono presentare una diversa efficienza nel rimuovere l'azoto a seconda della specie. Il pioppo ad esempio, se non trattato, ha un'elevata capacità di filtrare e immobilizzare l'azoto. Fortier *et al.* (2015) hanno riscontrato che una Fascia Tampone coltivata a Pioppo ha accumulato da 9 a 31 volte più C organico, da 4 a 10 volte più N, e da 3 a 7 volte più P rispetto a una Fascia Tampone erbacea adiacente, e che le maggiori differenze sono dovute alla diversa fertilità dei siti. La capacità di ritenzione e di assimilazione dei nutrienti da parte delle piante è fortemente influenzata dalla loro età e dalle condizioni fitosanitarie. Infatti in un sistema maturo questa capacità è inferiore rispetto a quella di un sistema giovane in crescita.

Solidi sospesi e Glifosate

Il principale mezzo di trasporto verso i corpi idrici delle particelle fini di suolo e di eventuali pesticidi ad esse adsorbiti è il runoff superficiale (Warnemuende *et al.*, 2007) anche se in alcuni contesti prevalgono fenomeni di infiltrazione verticale diretti verso la falda (Landry *et al.*, 2005). La generazione di runoff superficiale può avvenire a seguito di diversi meccanismi (Uusi-Kamppa *et al.*, 1997); in suoli a ridotta permeabilità si genera ad esempio occasionalmente quando l'intensità delle precipitazioni supera la capacità di infiltrazione dei suoli.

Tra i pesticidi con elevata capacità di adsorbimento alle particelle di suolo, e quindi veicolabili attraverso i solidi sospesi contenuti nel runoff, riveste particolare importanza il Glifosate (Warnemuende *et al.*, 2007), un erbicida non selettivo ampiamente applicato nei vigneti (Borggaard and Gimsing, 2008; Landry *et al.*, 2005). A fronte di numerose ricerche (Busse *et al.*, 2001; Vereecken, 2005) che evidenziano un ruolo contenuto del Glifosate nel creare problemi di inquinamento ambientale grazie ai ridotti tempi di permanenza nei suoli, altre esperienze (Veiga *et al.*, 2001; Landry *et al.*, 2005; Siimes *et al.*, 2006; Shipitalo *et al.*, 2008) indicano problemi di tossicità legati al suo utilizzo evidenziando una forte variabilità nei processi di assorbimento e degradazione strettamente dipendenti dalla composizione e dalle proprietà dei suoli.

Alcune ricerche (Dillaha and Inamdar, 1997; Syversen and Bechmann, 2004; Borin *et al.*, 2005; Carluer *et al.*, 2011) hanno evidenziato un ruolo significativo delle Fasce Tampone vegetate nella riduzione di solidi sospesi e di pesticidi ad essi adsorbiti nel runoff che si genera nelle zone coltivate e diretto verso i corpi idrici. I meccanismi che determinano la rimozione sono principalmente legati all'intrappolamento/deposizione dei sedimenti veicolati tramite runoff nella

Fascia Tampone (nel suolo o nella vegetazione) e a successivi processi di trasformazione delle sostanze accumulate.

Le Direttive Europee e l'acqua

La tutela delle risorse idriche nelle direttive europee è un tema di cruciale importanza. L'Unione europea si è posta come obiettivo di politica generale di garantire a tutti i suoi cittadini un buono stato ecologico di tutti i corpi idrici in Europa, che implica la disponibilità di acqua di buona qualità, e in quantità adeguate.

Già nel 1991 l'UE ha adottato la direttiva sui nitrati (direttiva 91/676 / CEE del Consiglio, del 12 dicembre 1991), il cui obiettivo era la riduzione dell'inquinamento delle acque provocato dai nitrati provenienti principalmente da fonti agricole. Con questa direttiva l'Unione Europea chiede agli Stati membri di monitorare le acque di superficie e quelle sotterranee al fine di determinare le aree più vulnerabili ai nitrati. Più tardi - nel 2000 - la stessa UE ha adottato una direttiva con un approccio più globale al problema, la direttiva quadro sulle acque (WFD-2000/60/CE). La direttiva 2000/60/CE inizia sostenendo che "L'acqua non è un prodotto commerciale al pari degli altri, bensì un patrimonio che va protetto, difeso e trattato come tale." Essa impone agli Stati membri "di raggiungere un buono stato delle acque superficiali e sotterranee" entro il 2015 (articolo 4 della direttiva quadro) con la possibilità di richiedere una proroga fino al 2021. Per ottenere questo importante obiettivo gli stati membri devono elaborare i piani di gestione dei bacini idrografici (RBMP) e i programmi di misure, che sono i principali strumenti utilizzati per raggiungere gli obiettivi della direttiva.

Gli Stati membri possono effettuare tali programmi utilizzando parte dei fondi di altre politiche settoriali, come ad esempio quelle previste dalla Politica agricola comune (PAC). Poiché più del 50% della superficie totale dell'Europa è destinata all'uso agricolo, l'Agricoltura ha fortemente modellato il paesaggio agricolo europeo svolgendo, nel contempo, un ruolo cruciale nella gestione sostenibile delle risorse idriche, sia in termini di qualità che di quantità. È per questo motivo che il Consiglio UE ha chiesto a più riprese la necessità di inserire la tutela della risorsa idrica nella PAC (COM (2012) 673 del 14 novembre 2012, "Blueprint per salvaguardare le risorse idriche europee").

Per realizzare gli obiettivi della politica dell'UE in materia di acqua la PAC utilizza due strumenti: la **Condizionalità** e il Fondo europeo per lo sviluppo rurale (**FEASR o PSR**). Questi strumenti aiutano a promuovere l'agricoltura sostenibile, incoraggiando le buone pratiche agricole e la promozione di servizi per l'ambiente.

Condizionalità

Negli standard della Condizionalità ci sono diversi obblighi che direttamente influenzano la qualità e la quantità dell'acqua, tra i quali lo standard GAEC 5.2 che riporta l'obbligo di introdurre Fasce Tampone lungo i corsi d'acqua al fine di proteggere le acque superficiali dall'inquinamento e dal runoff prodotto dalle attività agricole. Questa richiesta introdotta nel 2009, disciplinata dal D.M.30125/20093 successivamente modificato dal D.M. n. 10346 del 13 maggio 2011, è stata resa obbligatoria con D. M. 27417 del 22 dicembre 2011 a partire dal 1 gennaio 2012. Con il termine Fascia Tampone si intende una fascia di territorio, tra il campo agricolo e il corso idrico, ricoperta da vegetazione, indifferentemente erbacea, arbustiva o arborea, spontanea o meno, ampia almeno 5 metri dai quali devono essere escluse le superfici occupate da strade. L'ampiezza della fascia potrà variare in funzione degli stati ecologico e/o chimico associati ai corpi idrici superficiali monitorati, individuando una serie di specifiche classi di stato indicate dalla direttiva 2000/60. Tra i corpi idrici sono da escludere: le scoline e fossi collettori, le strutture idrauliche artificiali prive di acqua propria e destinate alla raccolta e al convogliamento di acque meteoriche, gli adduttori d'acqua per l'irrigazione e i corpi idrici pensili e arginati.

Gli obblighi dello standard 5.2 relativamente alle Fasce Tampone sono: il divieto di fertilizzazione azotata, chimica o organica; il divieto di lavorazione del terreno, eccetto le lavorazioni utili al mantenimento della fascia stessa. Questi impegni devono essere osservati in tutte le aree agricole ad eccezione di quelle a pascolo permanente o occupate da oliveti. Nel resto d'Europa gli impegni dello standard 5.2 sono praticamente gli stessi per tutti i paesi membri. Quello che cambia maggiormente è l'ampiezza della Fascia Tampone o zona di rispetto che, escluse alcune eccezioni, può variare da un minimo di 2 metri ad un massimo di 10 metri. E' importante sottolineare che il rispetto dei 10 metri di solito fa riferimento al solo divieto di concimazione organica (www.agricoltura24.com).

Obiettivi

L'attività di monitoraggio, condotta a partire da ottobre 2012 in otto siti localizzati in diverse parti d'Italia – sei dei quali all'interno di aziende del CRA e due all'interno dell'azienda sperimentale Diana di Veneto Agricoltura – ha avuto lo scopo di verificare l'efficacia dell'applicabilità dello standard di condizionalità 5.2, prevalentemente nella riduzione dei nitrati nelle acque superficiali. Al fine di dare una risposta esaustiva sono stati individuati alcuni obiettivi specifici per 7 degli otto siti monitorati:

- descrivere l'idrologia di ogni sito per comprendere le dinamiche dei processi in atto;
- effettuare un bilancio di massa tra entrate e uscite delle molecole di azoto per avere indicazioni quantitative dell'efficacia delle Fasce Tampone nel rimuovere l'azoto disciolto dai deflussi che le attraversano;
- individuare le ragioni della diversa efficacia dei sistemi tampone monitorati.

Il monitoraggio effettuato nell'ottavo sito localizzato a Ponte di Piave presso il CREA-VIT ha avuto come scopo quello di stimare i solidi sospesi totali e le concentrazioni di glifosate rilasciati tramite runoff superficiale (generatosi a seguito di precipitazioni naturali) da un vigneto e sull'efficienza nella rimozione di tali sostanze da parte di una Fascia Tampone erbacea ampia 5 metri e realizzata secondo i criteri dello Standard di condizionalità 5.2 (D. M. 27417).

Infine lo scopo ultimo sarà quello, se possibile, di fornire eventuali indicazioni operative per il miglioramento dello standard di condizionalità 5.2.

Piano di attività

Al fine del conseguimento degli obiettivi sopra descritti sono state previste le seguenti fasi preliminari (descritte in dettaglio nel report WP14 FT piano sperimentale):

- ✓ screening di idoneità: le aziende che si sono rese disponibili ad effettuare il monitoraggio delle Fasce Tampone sono state soggette a verifica di idoneità per far parte della rete progettuale MONACO in relazione alle condizioni di applicazione dello standard di condizionalità 5.2;
- ✓ predisposizione degli appezzamenti;
- ✓ modalità di esecuzione;
- ✓ misure da effettuare;
- ✓ strumenti e metodi;
- ✓ analisi ed elaborazione dei risultati

Area di studio

Per lo svolgimento delle attività sperimentali relative allo standard 5.2 “Fasce Tampone” della condizionalità sono stati considerati 8 siti sperimentali, distribuiti in diverse Regioni italiane con diversi contesti climatici, secondo la descrizione sintetica riportata nella seguente Tabella 1.

Tabella 1. Fasce Tampone sperimentali e loro principali caratteristiche.

STRUTTURA	PARCELLA sperimentale	Tipologia fascia tampone	Tipologia corso d’acqua
CRA-SSC (Metaponto)	CAMP7-WP14	erbacea	canale di scolo
CRA-RPS (Roma)	TORMA-WP14	erbacea + arborea/arbustiva	fosso collettore
CRA-ABP (Firenze)	FAGNA-WP14_FT1	erbacea + arborea/arbustiva	corso d’acqua naturale
	FAGNA-WP14_FT2	erbacea + arborea/arbustiva	corso d’acqua naturale
CRA-FLC (Lodi)	BARON-WP14	erbacea + arborea	canale irriguo e di scolo
CRA-VIT (Conegliano)	SNICC-WP14	erbacea	corso d’acqua naturale
VEN-AGR (Mogliano Veneto)	DIANA-WP14_FT1	erbacea	scolina interpodereale
	DIANA-WP14_FT2	erbacea + arborea/arbustiva	scolina interpodereale

Le attività colturali realizzate nelle parcelle agricole adiacenti alla Fascia Tampone durante il periodo di monitoraggio vengono sintetizzate nella Tabella 2.

Tabella 2. Piani culturali nelle aree afferenti ai siti di monitoraggio delle Fasce Tampone indagate.

STRUTTURA (Parcella) località	tipo di coltura	Lavorazione terreno	periodo di semina	tempistiche concimazioni	composti azotati	attrez. E metodo di distribuz. Fert.	periodo di raccolta	irrigazione	N Kg/ha/anno
CRA-SSC Metaponto CAMP7-ST 5.2	RAPA da consumo fresco e vecchia da sovescio	a) aratura a 30-35 cm - b) erpicatura	ott.	1 in inverno - 2 in primavera		manuale	fine marzo	se necessaria, di soccorso	
CRA-RPS Roma (TORMA-ST 5.2)	Frumento	a) aratura a 30-35 cm - b) erpicatura	ott-nov	1 autunnale e 1 primaverile	fosfato biammonico (18/46); Urea (46%)	spandiconcime centrifugo	giugno/luglio	no	2012/13=188; 2013/14= 96
CRA-ABP Firenze (FAGNA-ST 5.2_FT1)	2013=Frumento	a) aratura a 30-35 cm - b) 2 erpicatura	nov/dic	1 autunnale e 1 primaverile	fosfato biammonico (18/46); Urea (46%); 8-24-24	spandiconcime e sarchiatore per urea	giugno/luglio	no	2012=180; 2013=72; 2014=108.
CRA-ABP Firenze (FAGNA-ST 5.2_FT2)	2013=girasole; 2014=mais	a) aratura a 30-35 cm - b) 2 erpicatura	maggio/giugno	1 autunnale e 1 primaverile	8-24-24; urea; nitrato ammonico	spandiconcime e sarchiatore per urea	dicembre; settembre	no	2012=136; 2013=120; 2014=118
CRA-FLC Lodi (BARON-ST 5.2)	Mais	a) aratura a 30-35 cm - b) 2 erpicatura	maggio/giugno	a) presemina b) concimazione in copertura + liquame	Urea; liquame bovino	spaglio; sistema ombelicale	agosto settembre	irrigazione per scorrimento	2013=113; 2014=69
VEN-AGR Mogliano Veneto (DIANA-ST 5.2_FT1)	Mais/soia	aratura 35-40 cm; ripuntatura; sarchiatura; erpicatura; estirpatura	mar-apr	a) presemina	8-24-24; urea	spandiconcime e sarchiatore per urea	ago/sett	no	2013= 78
VEN-AGR Mogliano Veneto (DIANA-ST 5.2_FT2)	Mais/Loiessa	su sodo	ott-nov; apr/mag	a) pre semina; b) in copertura	liquame bovino	a) sistema ombelicale con interratori sottosuperficiali; b) carbotte e barra con distribuzione raso-terra; c) carbotte equipaggiato con cinque calate in sarchiatura	apr-mag sett-ott	no	2012=80 2013=170
CRA-VIT Conegliano Veneto (SNICC-ST 5.2)	VIGNETO	Inerbimento spontaneo		N, P, K post raccolta e apporti ogni 2 anni di S.O. (letame)	Apporto U.F. (Kg/Ha): N 63; P205 43; K2O 92	Fertirrigazione		Subirrigazione	2013=170

Le operazioni gestionali previste per ciascuna delle Fasce Tampone sperimentali sono riportate nella seguente Tabella 3.

Tabella 3. Operazioni colturali e gestionali delle Fasce Tampone nei diversi siti.

Denominazione sito	Operazioni gestionali eseguite sulla Fascia Tampone
CREA-SSC (Metaponto) CAMP7-WP14	La copertura della fascia erbacea si presenta discontinua tuttavia non sono stati effettuati interventi di semina o irrigazione ma solo uno o due sfalci nel periodo primaverile-estivo.
CREA-RPS (Roma) TORMA-WP14	La fascia richiede sfalci periodici della vegetazione arbustiva per consentire l'accesso alla strumentazione.
CREA-ABP (Firenze) FAGNA-WP14_FT1	Fascia erbacea già consolidata; ha richiesto 1 o 2 sfalci all'anno.
CREA-ABP (Firenze) FAGNA-WP14_FT2	Fascia erbacea già consolidata; ha richiesto 1 o 2 sfalci all'anno. Inizialmente si era ritenuto necessario realizzare un solco di carico in uscita da campo coltivato al fine di raccogliere le acque di deflusso superficiale. In seguito è stato osservato che a causa sia della permeabilità del suolo sia di avvallamenti nel campo non si formano deflussi superficiali significativi in uscita dal campo. Come conseguenza la prevista manutenzione del solco è stata eseguita.
CREA-FLC (Lodi) BARON-WP14	La componente arborea è matura e non richiede manutenzione, la fascia erbacea è stata mantenuta con una o due sfalci all'anno.
CREA-VIT Conegliano SNICC-WP14	La fascia erbacea esistente è stata mantenuta con una o due sfalci all'anno.
DIANA-WP14_FT1 Mogliano	All'avvio del monitoraggio di MONACO la FT1 faceva parte del campo coltivato di conseguenza sono state seminate essenze erbacee prima di procedere alla raccolta dei campioni, in seguito sono stati effettuati 2-3 sfalci con decespugliatore.
DIANA-WP14_FT2 Mogliano	Nella fascia FT-2 dove è presente una copertura erbacea consolidata sono stati effettuati 2 sfalci all'anno e all'occorrenza attività di manutenzione della fascia arborea mediante operazioni manuali con uso di motosega e forbicione per contenerne le dimensioni.

Si riporta inoltre un riassunto delle principali caratteristiche dei siti sperimentali eccetto quello di CREA-VIT (Tabella 4).

Tabella 4. Principali caratteristiche dei siti sperimentali. FT, Fascia Tampone.

Sito sperimentale	Fagna-FT1 CREA-ABP (Firenze)	Fagna-FT2 CREA-ABP (Firenze)	Baroncina CREA-FLC (Lodi)	Diana-FT1 Veneto Agric.	Diana-FT2 Veneto Agric.	Torma-CREA-RPS (Roma)	CAMP7-CREA-SSC (Metaponto)
Coordinate geografiche	43°58' 49.90" N 12°18' 43.00" E	43°58' 57.30" N 11°20' 36.75" E	45°17' 24.24" N 9°29' 55.76" E	45°34' 27.88" N 12°19' 01.87" E	45°34' 47.65" N 12°18' 40.65" E	42° 05' 31.19"N 12° 38' 05.46"E	40°22' 12.78" N 16°48' 33.13" E
Ambito	Collinare	Collinare	Pianura	Pianura	Pianura	Collinare	Pianura
Topografia							
Pendenza* (%)	4,4 / 9,2	6,5 / 1,7	0,2 / 0,7	4,3 / 4,5	3,9 / 4,3	7,4 / -2,3	0,52/0,63
Coltura	Frumento	Girasole/mais	Mais	Mais	Loiessa/mais	Frumento	Orticole
Tipologia corso d'acqua	Piccolo corso d'acqua naturale	Corso d'acqua naturale	Fosso irriguo	Scolina	Scolina	Fosso collettore	Fosso collettore
Tipologia FT	Erbacea + arborea/arbustiva	Erbacea	Erbacea + arborea/arbustiva	Erbacea	Erbacea + arborea/arbustiva	Erbacea + arborea/arbustiva	Erbacea
Ampiezza FT (m)	5	5	5	5	5	8,53	5
Lunghezza bacino afferente (m)	135	130	n.d.	10	13	176	n.d.
Area FT/area bacino afferente (%)	3,7	3,6	n.d.	33,3	27,8	4,8	n.d.

Schemi di monitoraggio

Gli schemi di monitoraggio sono stati progettati in coerenza con quanto riportato nello “standard 5.2 Fasce Tampone” nel D.M. 27417.

In particolare, nella definizione dei punti di monitoraggio, sono state adottate le seguenti definizioni:

Controfattuale – Trattasi della zona di interfaccia (confine) fra la zona denominata “margine della coltura” e “margine del campo”, ove è stato monitorato il flusso di inquinanti diretti dalla coltura verso l’ingresso della Fascia Tampone. Rappresenta di fatto la situazione presente in assenza di applicazione dello standard.

Fattuale – Rappresenta la zona posta dopo una porzione o l’intera Fascia Tampone e fornisce quindi informazioni sugli effetti dell’applicazione dello standard. Poiché sono possibili diverse tipologie di Fasce Tampone, la zona fattuale viene ulteriormente specificata secondo le seguenti tipologie:

- *Fattuale I* - Fascia Tampone solo erbacea di almeno 5 metri di ampiezza fraposta fra la coltura ed il corpo idrico;
- *Fattuale II* - Fascia Tampone erbacea di almeno 3 metri tra margine della coltura e la zona definita come “bordo del campo” (vedere schema Figura 1); si tratta di fatto di un punto di controllo intermedio posto fra la fine della fascia erbacea e l’inizio di quella arborea in una Fascia Tampone data dalla combinazione di entrambe.
- *Fattuale III* - punto di uscita di una Fascia Tampone composta da fascia erbacea di almeno 3 metri + fascia arborea di almeno 2 metri.

In coerenza con queste definizioni e in funzione della necessità di monitorare sia i parametri idrologici che quelli chimico-fisici, ciascun sito sperimentale è stato allestito seguendo uno schema sperimentale diversificato come specificato qui di seguito per ciascuno di essi.



Figura 1. Schematizzazione del sistema tampone sperimentale da D. M. 27417.

CREA-ABP (Firenze) Fagna-WP14_FT1

La Fascia Tampone monitorata è composta sia da una fascia erbacea di circa 3 metri (Fattuale II) sia da una arborea di 2 metri (Fattuale III) con un'ampiezza complessiva di circa 5 m frapposta tra il campo e il canale di scolo; la superficie sottesa è coltivata principalmente a frumento.

Ai fini del monitoraggio il sito è stato così strutturato:

- ✓ 9 piezometri profondi 2 metri, posti in tre file parallele composte da tre piezometri ciascuna (repliche) come da schema (Figura 2), di cui una fila è posizionata al bordo del campo coltivato (C = contro fattuale), una all'uscita della Fascia Tampone in prossimità del canale (A = F III) ed una intermedia tra le due, posta all'uscita della fascia erbacea (Ea=Fattuale II);
- ✓ 1 piezometro di 1 metro posizionato nel mezzo del campo coltivato;
- ✓ 2 trasduttori di pressione per misure in continuo della profondità di falda posizionati uno all'entrata della Fascia Tampone e uno all'uscita;
- ✓ 5 sonde FDR poste a diverse profondità: 15, 30, 60 e 130 cm all'entrata della fascia e a 30 e 60 cm all'uscita della Fascia Tampone
- ✓ 3 lisimetri a suzione con coppa porosa in ceramica posti a tre diverse profondità 30, 60 e 90 cm all'interno del campo coltivato.

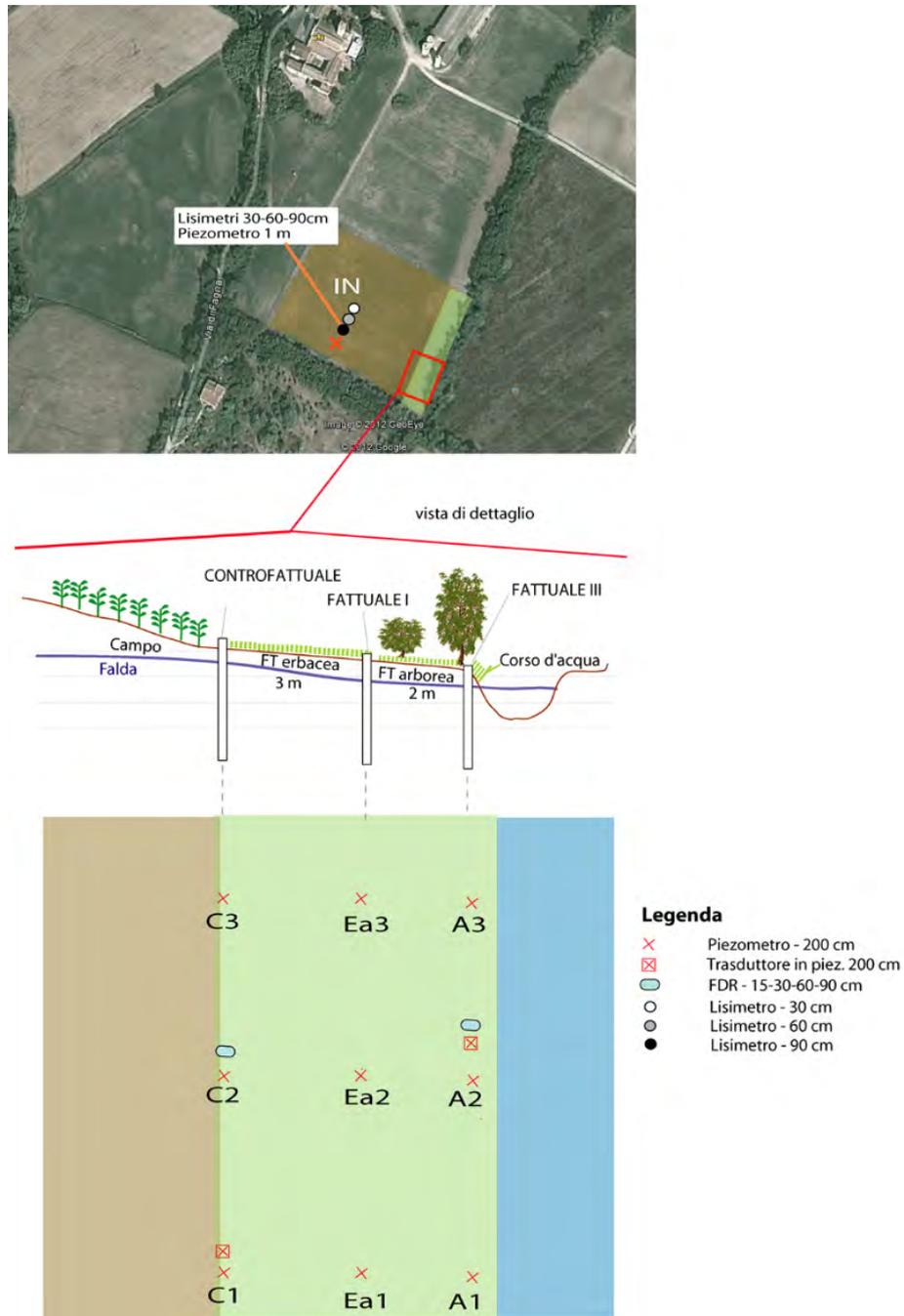


Figura 2. Schema sperimentale del sito CREA-ABP_WP14-FT1_Fagna. C=controfattuale; Ea=FII; A=FIII.

Durante il periodo di monitoraggio le normali attività colturali sono state notevolmente modificate a causa del perdurare di condizioni meteorologiche atipiche dovute alla elevata frequenza degli eventi piovosi anche nel periodo estivo (Figure 3 e 4). Nella

Tabella 5 vengono riportate in dettaglio le attività colturali svolte durante il periodo di monitoraggio.

Tabella 5. Attività colturali effettuate nel sito FT1 nell'azienda del CREA-ABP di Fagna dall'ottobre 2012 a dicembre 2014.

FAGNA FT1	ATTIVITA'	DESCRIZIONE	N kg/ha
2012			
ottobre	lavorazione terreno	ripuntatura profonda su prato di medica	
ottobre	concimazione	5 ql/ha fosfato biammonico (18; 46) 18 %N	90
ottobre	concimazione	2 ql/ha urea (46%)	94
2013			
Marzo/aprile	lavorazione terreno	frangizollatura con erpice a dischi	
agosto	lavorazione terreno	ripuntatura	
settembre	lavorazione terreno	frangizollatura	
fine sett	concimazione	4 ql/ha fosfato biammonico 18%N su 3ha	72
fine sett	semina	grano - solo fascia di 5000mq	
2014			
maggio	diserbo	solo fascia grano con Logran	
maggio	concimazione	in copertura 4ql/ha di nitrato ammonico	108
agosto	lavorazione terreno	ripuntatura	
settembre	lavorazione terreno	frangizollatura con erpice a dischi	
fine ottobre	concimazione	in copertura 2ql/ha di nitrato ammonico	54

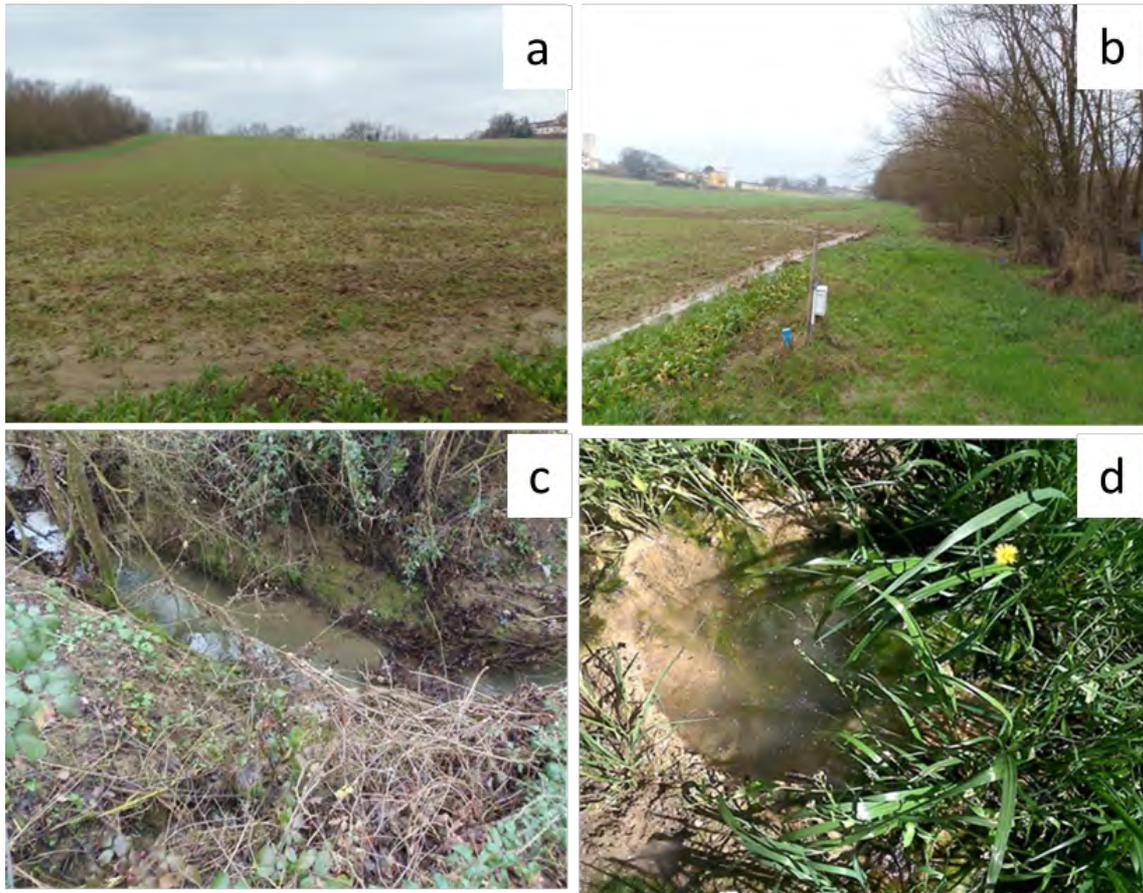


Figura 3. Immagini del sito sperimentale FT1. a) panoramica del campo afferente alla Fascia Tampone, b) la Fascia Tampone, c) torrente limitrofo alla Fascia Tampone, d) fenomeno di upwelling all'interno della Fascia Tampone.



Figura 4. Ristagni d'acqua all'interno della Fascia Tampone.

CREA-ABP (Firenze) - Az. Fagna FT2

La Fascia Tampone monitorata è composta da una fascia erbacea di circa 5 metri frapposta tra il campo e il corso idrico; la superficie sottesa alla Fascia Tampone viene coltivata a rotazione a girasole, mais o grano (Tabella 6).

Ai fini del monitoraggio il sito è stato così strutturato:

- ✓ 9 piezometri profondi 3 metri posti in tre file parallele composti da tre piezometri ciascuna come da schema (Figura 5): una fila è posizionata al bordo del campo coltivato (C=contro fattuale), una all'uscita della Fascia Tampone in prossimità del corso idrico (Eb=F I) ed una intermedia tra le due a circa 3 metri dal bordo del campo (Ea=F II);
- ✓ 1 piezometro di 1 metro posizionato nel mezzo del campo coltivato;
- ✓ 2 trasduttori posizionati uno all'entrata della Fascia Tampone e uno all'uscita;
- ✓ 6 sonde FDR poste a tre profondità 20, 50 e 70 cm sia all'entrata che all'uscita della Fascia Tampone;
- ✓ 3 lisimetri a suzione con coppa porosa in ceramica posti a tre diverse profondità 30 - 60 e 90 cm all'interno del campo coltivato.

In Figura 6 vengono riportate alcune immagini del sito sperimentale.

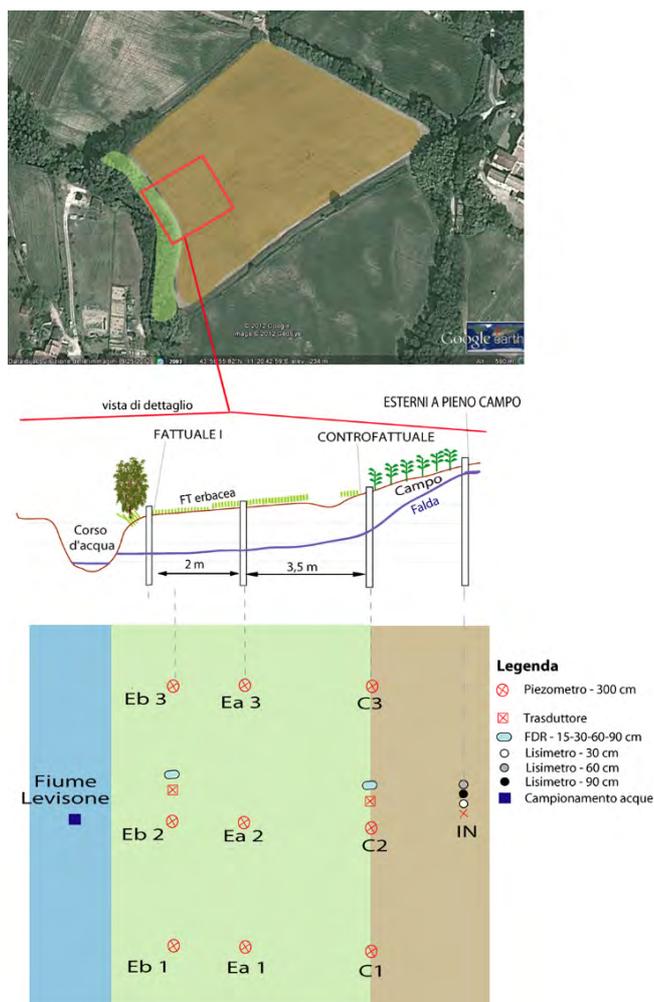


Figura 5. Schema sperimentale del sito CREA-ABP_WP14-FT2_Fagna. C=controfattuale; Ea= FII; Eb=FI.

Tabella 5. Attività colturali effettuate nel sito FT2 nell'azienda del CREA-ABP di Fagna dall'ottobre 2012 a dicembre 2014.

FAGNA FT2	ATTIVITA'	DESCRIZIONE	N kg/ha
2012			
agosto	lavorazione terreno	ripuntatura profonda su prato di medica	
agosto	lavorazione terreno	frangizollatura con erpice a dischi	
24/10/2012	concimazione	4,2 quintali di (13-12-10)	55
24/10/2012	concimazione	3 quint nitrato ammonico 27%	81
24/10/2012	concimazione	3 quintali perfosfato 19%	
2013			
25/06/2013	concimazione	3 q.li/ha 8-24-24 + 2 q.li/ha Urea 46%	120
25/06/2013	semina	girasole	
18/12/2013	raccolta		
2014			
fine aprile	lavorazione terreno	ripuntatura + frangizollatura	
13/05/2013	concimazione	3 q.li/ha 8-24-24	24
15/05/2013	semina	mais	
21/05/2014	concimazione	2 q.li/ha Urea 46%	94



Figura 6. Immagini del sito sperimentale FT2. a) Il torrente Levisone in prossimità della Fascia Tampone, b) panoramica del campo coltivato a girasole, c) scorcio della Fascia Tampone d) Pannelli solari e datalogger), e) panoramiche del sito.

Veneto Agricoltura – Az. Diana_FT1

La Fascia Tampone monitorata è composta da una fascia solo erbacea di circa 5 metri frapposta tra il campo e la scolina; la superficie sottesa alla Fascia Tampone è stata coltivata a mais (Tabella 7).

Ai fini del monitoraggio il sito è stato così strutturato:

- ✓ 6 piezometri profondi 1 metro posti in due file parallele composti da tre piezometri ciascuna come da schema (Figura 7) una fila è posizionata al bordo del campo coltivato (C=contro fattuale), una all'uscita della Fascia Tampone in prossimità della scolina (E = F I);
- ✓ 1 piezometro di 1 metro posizionato nel mezzo del campo coltivato;
- ✓ 2 trasduttori posizionati uno all'entrata della Fascia Tampone e uno nella scolina in piezometri dedicati;
- ✓ 4 sonde FDR poste a diverse profondità 0, 20, 50 e 80 cm all'entrata della Fascia Tampone
- ✓ 3 lisimetri a suzione con coppa porosa in ceramica posti a tre diverse profondità 30 - 60 e 90 cm all'interno del campo coltivato.

In Figura 8 sono riportate alcune immagini del sito sperimentale.

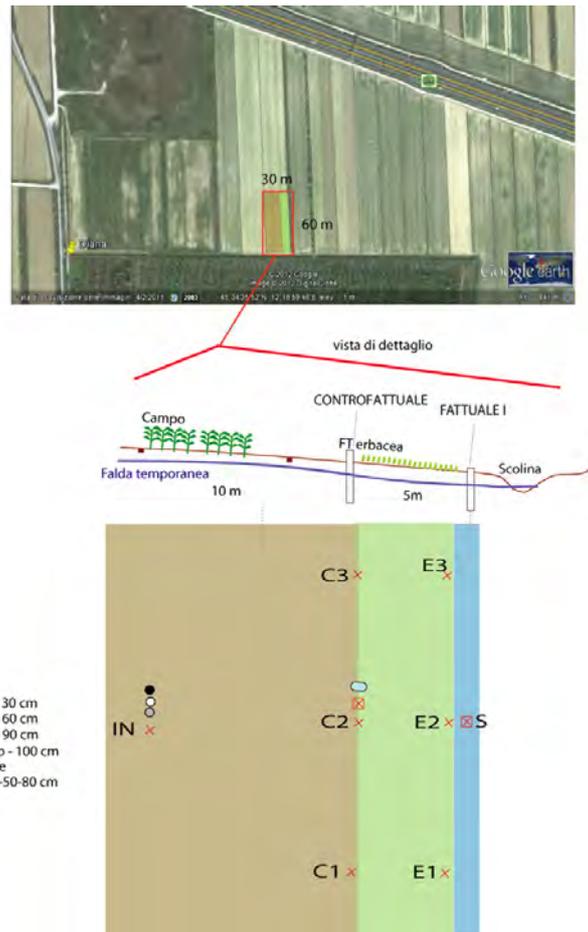


Figura 7. Schema sperimentale del sito FT1 nell'azienda Diana di Veneto Agricoltura a Mogliano Veneto (TV). C=controfattuale; E= FI.

Tabella 6. Attività colturali effettuate nel sito FT1 nell'azienda Diana di Veneto Agricoltura dall'ottobre 2012 a ottobre 2014.

Diana_FT1	ATTIVITA'	DESCRIZIONE	N kg/ha
2012			
22-ott	Lavorazione terreno	Aratura appezzamento intero	
2013			
16-apr	Lavorazione terreno	Vibrocoltivatore	
24-apr	Concimazione chimica	Presemina - Spandiconcime a spaglio Agrex (400 Kg./HA di 8.24.24 + 100 Kg./HA di Urea 46%)	78
10-mag	Semina	Erpicatura e semina Mais	
12-giu	Diserbo	Diserbo Mais	
17-giu	Lavorazione terreno	Sarchiatura Mais	
25-ott	Raccolta	Raccolta Mais	
17-dic	Lavorazione terreno	Ripuntatura	
20-dic	Lavorazione terreno	Aratura	
2014			
11-feb	Lavorazione terreno	Estirpatura	
25-mar	Lavorazione terreno	Erpicatura	
29-apr	Concimazione	presemina-Spandiconcime a spaglio Agrex (250 Kg./HA di 0.20.20)	0
29-apr	Lavorazione terreno	Erpicatura	
30-apr	semina	Semina soia	



Figura 8. Visione d'insieme della Fascia Tampone Diana_FT1 ed il campo coltivato; a dx particolare su scolina afferente alla Fascia Tampone.

Veneto Agricoltura – Az. Diana_FT2

La Fascia Tampone monitorata è composta sia da una fascia erbacea di circa 3 metri (Fattuale II) sia da una arborea di 2 metri (Fattuale III) con un'ampiezza complessiva di circa 5 m, la superficie sottesa alla Fascia Tampone è coltivata principalmente a Loïssa/Mais (Tabella 8). Ai fini del monitoraggio il sito è stato così strutturato:

- ✓ 9 piezometri profondi 1 metro posti in tre file parallele composti da tre piezometri ciascuna come da schema (Figura 9) una fila è posizionata al bordo del campo coltivato (C=contro fattuale), una all'uscita della Fascia Tampone (A=F III) ed una intermedia tra le due all'uscita della fascia erbacea (Ea=F II);
- ✓ 1 piezometro di 1 metro nel mezzo del campo coltivato;
- ✓ 1 trasduttore all'entrata della Fascia Tampone
- ✓ 6 sonde FDR poste a tre profondità 30, 60 e 90 cm sia all'entrata che all'uscita della Fascia Tampone
- ✓ 3 lisimetri a suzione con coppa porosa in ceramica posti a tre diverse profondità 30 60 e 90 cm all'interno del campo coltivato.

In Figura 10 sono riportate alcune immagini del sito sperimentale.

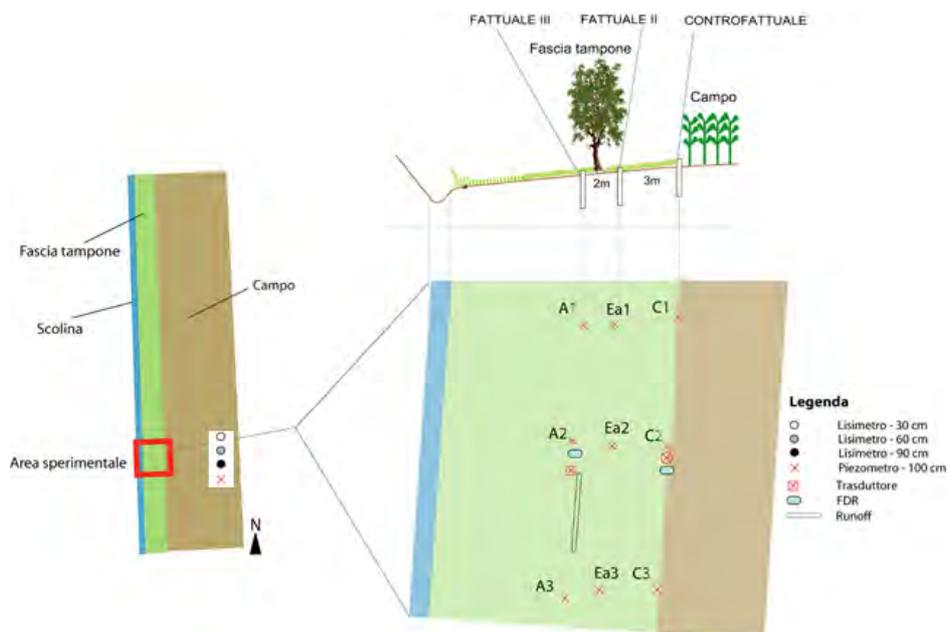


Figura 9. Schema sperimentale del sito FT2 nell'azienda Diana di Veneto Agricoltura a Mogliano Veneto (TV). C=controfattuale; Ea= FII; A=FIII.

Tabella 7. Attività colturali effettuate nel sito FT2 nell'azienda Diana di Veneto Agricoltura dall'ottobre 2012 a dicembre 2013.

Diana_FT2	Operazione	Descrizione	Kg/ha/anno di azoto
2012			
19/03/2012	concimazione organica	"liquame Bovino" in copertura	70
15/05/2012	raccolta	loiessa	
06/06/2012	semina	mais	
10/07/2012	concimazione organica	"liquame Bovino"	60
08/10/2012	raccolta	mais	
16/10/2012	concimazione organica	"liquame Bovino"	80
24/10/2012	semina	loiessa	
2013			
10/06/2013	raccolta	loiessa	
18/06/2013	aratura+semina	mais	
19/08/2013	concimazione organica	"liquame Bovino"	170
08/11/2013	raccolta mais	mais	



Figura 10. Visione d'insieme della Fascia Tampone Diana_FT2 e del campo coltivato a mais.

CREA-RPS (Roma) – Az. Tormancina CAMP7

La Fascia Tampone monitorata è composta sia da una fascia erbacea sia da una arborea con un'ampiezza complessiva di circa 8 m (Fattuale III) frapposta tra il campo e il fosso collettore. Il bacino agricolo sotteso alla Fascia Tampone è coltivato principalmente a orzo e grano duro (Tabella 9). Durante il periodo di monitoraggio non è stato fatto alcun tipo di manutenzione.

Ai fini del monitoraggio il sito è stato così strutturato:

- ✓ 9 piezometri profondi 2 metri posti in tre file parallele composti da tre piezometri ciascuna come da schema (Figura 11); una fila è posizionata in mezzo al campo coltivato (I), una al bordo del campo coltivato (C=contro fattuale), una all'uscita della Fascia Tampone in prossimità del canale (FIII=fattuale III);
- ✓ 1 trasduttore posizionato all'entrata della Fascia Tampone;
- ✓ 2 sonde a profilo multiple del tipo TDR per la misura del contenuto d'acqua nei suoli con i sensori posti a sei diverse profondità 10, 20, 30, 40, 60, 100 cm sia all'entrata che all'uscita della Fascia Tampone

6 lisimetri a suzione con coppa porosa in ceramica posti a due diverse profondità 30, 60 cm in prossimità del piezometro centrale di ognuna delle tre file (centro campo, C, ed FIII). In figura 12 sono riportate alcune immagini del sito sperimentale.

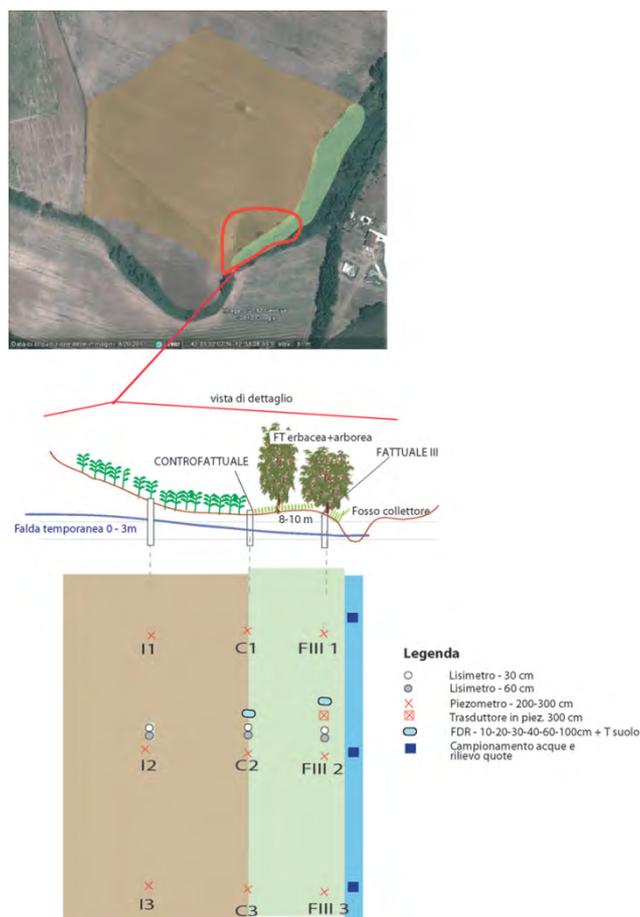


Figura 11. Schema sperimentale del sito CREA-RPS_WP14_Tormancina. I= in campo; C= controfattuale; FIII= FIII.

Tabella 8. Attività colturali effettuate nel sito dell'azienda CRA di Tormancina dall'ottobre 2012 a dicembre 2014.

Roma-Tormancina	ATTIVITA'	DESCRIZIONE	N kg/ha
2012			
agosto	Lavorazione terreno	aratura	
16/11/2012	Lavorazione terreno	erpertura a dischi e semina grano duro con seminatrice pneumatica	
16/11/2012	Concimazione chimica	fosfato biammonico 18/46 - 1,5 q.li/ha con spandiconcime centrifugo	27
2013			
22/02/2013	Concimazione chimica	Urea 2 q.li/ha, con spandiconcime centrifugo	92
17/04/2013	Diserbo		
19/04/2013	Concimazione chimica	Urea 1,5 q.li/ha, con spandiconcime centrifugo	69
03/07/2013	Lavorazione terreno	raccolta con mietitrebbia autolivellante	
sett-ott	Lavorazione terreno	aratura	
30/10/2013	Lavorazione terreno	erpertura a dischi e semina grano tenero con seminatrice pneumatica	
30/10/2013	Concimazione chimica	Fosfato biammonico (18/46) 1,5 q.li/ha, con spandiconcime centrifugo	27
2014			
14/03/2014	Concimazione chimica	Urea 1,5 q.li/ha, con spandiconcime centrifugo	69
30/06/2014	Lavorazione terreno	raccolta con mietitrebbia autolivellante	



Figura 12. Fasi di installazione della strumentazione e vista complessiva del sito CREA-RPS_WP14_Tormancina.

CREA-FLC (Lodi)

La Fascia Tampone monitorata è composta sia da una fascia erbacea di circa 3 metri (FI=Fattuale II) sia da una arborea di 2 metri (FIII=Fattuale III) con un ampiezza complessiva di circa 5 m frapposta tra il campo e il canale di scolo. La superficie sottesa alla Fascia Tampone è di circa 5 ettari coltivati a monocoltura di Mais (Tabella 10). Nell'anno 2013 la Fascia Tampone non ha sviluppato copertura erbosa completa a causa delle condizioni di elevatissima piovosità fino a inizio giugno, è stato eseguito uno sfalcio nell'autunno 2013 lasciando i residui in loco. Nel 2014 non sono stati effettuati interventi. Ai fini del monitoraggio il sito è stato così strutturato:

- ✓ 9 piezometri profondi 2 metri posti in tre file parallele composti da tre piezometri ciascuna come da schema (Figura 13); una fila è posizionata al bordo del campo coltivato (C=contro fattuale), una all'uscita della Fascia Tampone in prossimità del canale (FIII=fattuale III) ed una intermedia tra le due all'uscita della fascia erbacea (FI=Fattuale II);
- ✓ 2 piezometri di 1 metro ciascuno sono stati posizionati uno in testa al campo e l'altro al limite laterale del campo come da schema;
- ✓ 2 trasduttori posti uno all'entrata della Fascia Tampone e uno all'uscita
- ✓ 6 sonde FDR poste a tre profondità 30, 60 e 90 cm sia all'entrata che all'uscita della Fascia Tampone
- ✓ 9 lisimetri a suzione con coppa porosa in ceramica posti a tre diverse profondità 30, 60 e 90 cm all'interno del campo coltivato.

In Figura 14 sono riportate alcune immagini del sito sperimentale.

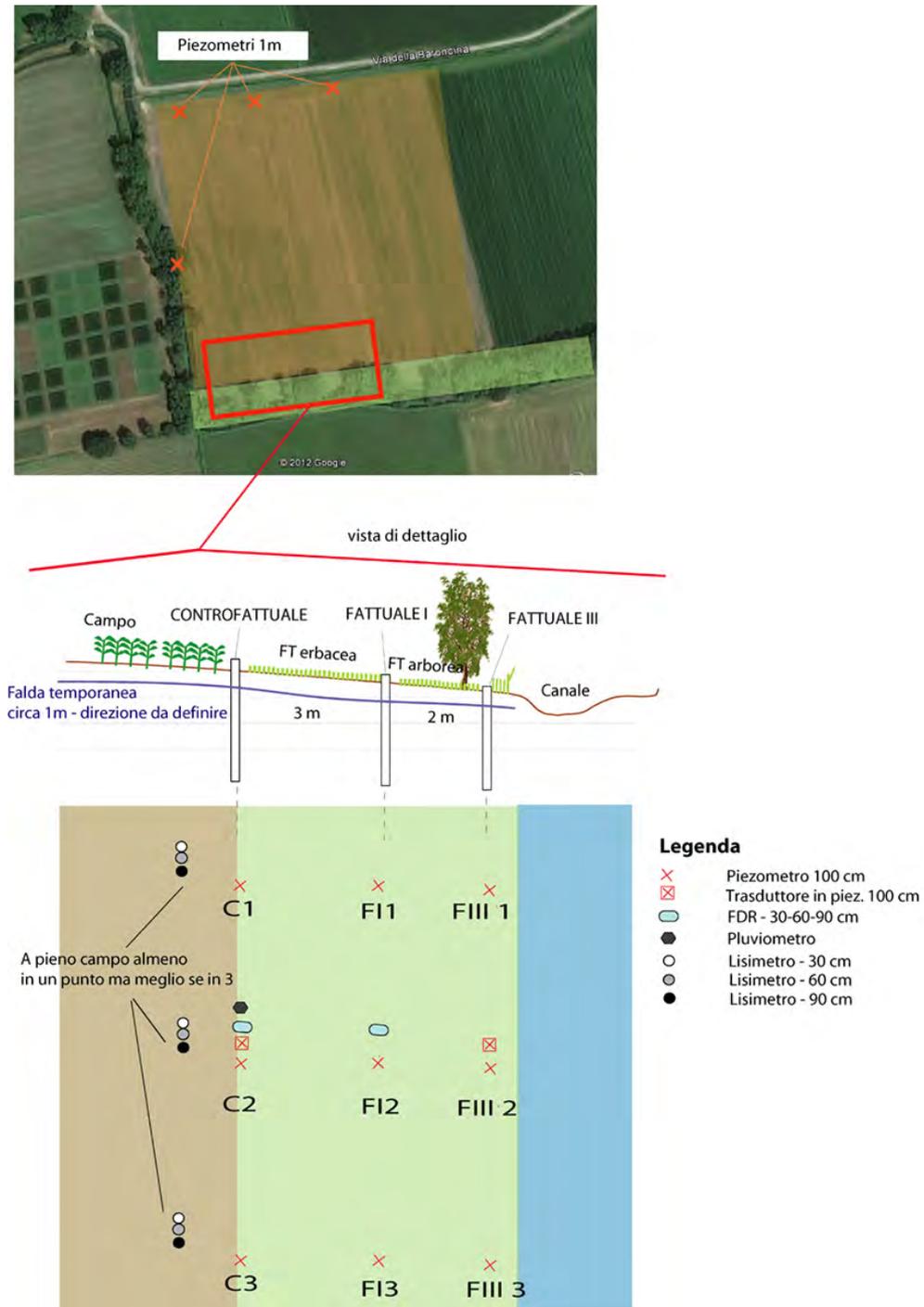


Figura 13. Schema sperimentale del sito CREA-FLC_WP14_Lodi. C=controfattuale; FI= FII; FIII=FIII.

Tabella 9. Attività colturali effettuate nel sito dell'azienda CRA di Lodi da marzo 2013 a dicembre 2014.

LODI-FLC	ATTIVITA'	DESCRIZIONE	N kg/ha
2013			
02/06/2013	Lavorazione terreno	aratura ed erpicatura	
04/06/2013	semina	semina	
08/06/2013	Diserbo	in pre-semina	
26/06/2013	Diserbo	in post-emergenza	
02/07/2013	Concimazione chimica	Urea 1q.l/ha a spaglio	44
10/07/2013	Concimazione organica *	165 m ³ (25 m ³ /ha) sistema ombelicale	?
09/08/2013	Concimazione organica *	165 m ³ (25 m ³ /ha) sistema ombelicale	?
17/09/2013	raccolta	raccolta trinciato per silomais	
	Irrigazione	3 interventi irrigui da 100-120 mm ciascuno	
2014			
07/04/2014	Concimazione organica *	180 m ³ (30 m ³ /ha) sistema ombelicale	
08/04/2014	Lavorazione terreno	aratura ed erpicatura	
11/04/2014	Lavorazione terreno	semina	
11/04/2014	Diserbo	in pre-semina	
15/05/2014	Diserbo	in post-emergenza	
25/05/2014	Concimazione chimica	Ure 3 q.li/ha a spaglio	144
27/06/2014	Irrigazione	120 mm	

* Liguame al 7% di ss Ntot (su secco) 3,8% N-NH4 (su secco) 1,6%



Figura 14. a) Panoramica del campo coltivato a mais sotteso alla F T di Lodi; b) panoramica della Fascia Tampone; c) strumenti installati nella Fascia Tampone.

CREA-SSC (Metaponto) - CAMP7

La Fascia Tampone monitorata è solo erbacea (Fattuale I) con un ampiezza di circa 5 m frapposta tra il campo e il canale di scolo, la superficie sottesa alla Fascia Tampone è di circa un ettaro coltivato principalmente con rapa da consumo fresco e veccia da sovescio.

- ✓ Ai fini del monitoraggio il sito è stato così strutturato:
- ✓ 9 piezometri profondi 2 metri posti in tre file parallele composti da tre piezometri ciascuna come da schema (Figura 15), una fila è posizionata al bordo del campo coltivato (CF=contro fattuale), una all'uscita della Fascia Tampone in prossimità del canale (F=fattuale I) ed una intermedia tra le due che verrà utilizzata solamente per misurare l'altezza di falda puntiforme;
- ✓ 1 piezometro di 2 metri in testa al campo;
- ✓ 1 trasduttore posto in testa al campo all'interno di un piezometro di 2 metri
- ✓ 1 trasduttore all'interno della scolina perpendicolare al canale
- ✓ 3 sonde FDR poste a tre profondità 30, 60 e 90 cm in prossimità del bordo campo
- ✓ 9 lisimetri a suzione con coppa porosa in ceramica posti a tre diverse profondità 30 60 e 90 cm all'interno del campo coltivato.

In Figura 16 sono riportate alcune immagini del sito sperimentale.

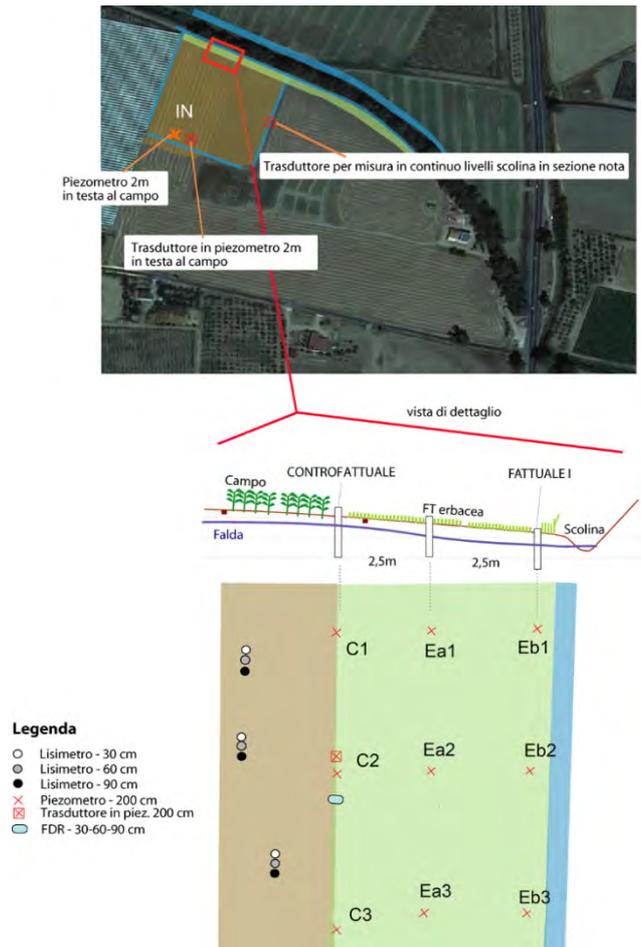


Figura 15. Schema sperimentale del sito CREA-SSC_WP14_Metaponto. C=controfattuale; Eb= FI;Ea=utilizzati solo per misure di altezza di falda.



Figura 16. Fasi di installazione della strumentazione e vista complessiva del sito CREA-SSC_WP14_Metaponto.

CREA-VIT (Conegliano)

L'indagine è stata condotta presso un'azienda viticola, sita nel comune di Ponte di Piave, Treviso, dove sono stati predisposti gli appezzamenti FT (fattuale) e CFT (controfattuale) secondo lo Standard 5.2.

L'azienda (45° 42' 27.65'' N, 12° 27' 50.37'' E, altitudine 5 m a.s.l.), coltivata con *Vitis vinifera* L. cv. Pinot grigio innestato su SO4, presenta una densità d'impianto pari a 4400 viti per ettaro. Il vigneto, con inerbimento spontaneo perenne, è stato realizzato su un suolo limoso-argilloso nella gola del Fiume Piave; la forma di allevamento è a controspalliera con potatura a cordone libero; è presente il sistema d'irrigazione a goccia e viene effettuato il diserbo con glifosate lungo i filari. Quello scelto è un sito significativo e diverso da altri, in cui si è preferito adottare questo particolare piano di monitoraggio perché gli inquinanti generati dalle operazioni colturali del vigneto, sono diversi da quelli di altre colture agrarie (es. non si applica azoto). Lo studio ha interessato il ruscellamento superficiale (runoff) in entrata e in uscita dalla Fascia Tampone (Figura 17).

Lo schema di monitoraggio è stato progettato in coerenza con la schematizzazione proposta per lo "standard 5.2 Fasce Tampone" nel D. M. 27417. Per la realizzazione della sperimentazione sono state scelte due parcelle (tesi sperimentali), denominate rispettivamente VIG (tesi controfattuale corrispondente al punto di uscita dal vigneto) ed FT (tesi fattuale corrispondente al punto di uscita da una Fascia Tampone erbacea) di lunghezza pari a 2,5 metri (corrispondente a 1 interfilare) e con un bacino afferente, definito in base alle quote del piano campagna, con dimensione rispettivamente pari a 268,9 m² e 281,4 m². L'unica differenza fra i due appezzamenti è la presenza, in FT, di una Fascia Tampone erbacea frapposta fra il vigneto ed il Fiume Piave di ampiezza pari a 5m e soggetta a due sfalci annui (giugno ed agosto) con asportazione della vegetazione sfalciata. Conformemente a quanto previsto dallo Standard di condizionalità 5.2 (D. M. 27417) in nessun caso sono state effettuate operazioni di distribuzione di fertilizzanti o altri prodotti fito-sanitari nella Fascia Tampone. I due appezzamenti sono separati da uno spazio di 5 m per evitare interferenze; la pendenza media è pari a 0,56% nel vigneto e a 0,53% nella Fascia Tampone.

All'uscita di ciascuna tesi è stato posto uno strumento per la raccolta e la misura dei volumi di runoff superficiale (Figura 17) appositamente progettato e realizzato da Borgatti & Peruch adattando le indicazioni riportate in Hudson, 1993 e di seguito descritto: una grondaia di raccolta delle acque è posta perpendicolarmente rispetto alla linea di pendenza dei suoli,

definita con un rilievo appositamente realizzato mediante un Sistema GPS Leica 1200+ costituita da due ricevitori geodetici GPS/GNSS Leica AS10.

Lo schema sperimentale viene completato attraverso l'istallazione in situ di un Pluviometro (WatchDog 1120 Data-Logging Rain Gauge, Spectrum) e di tre sonde FDR (WaterScout SM 100) collegate a un datalogger (WatchDog 1400 Micro Station - w/4 External Ports) per la misura delle precipitazioni e dell'umidità volumetrica dei suoli rispettivamente in superficie, a 15 e a 30 cm da p.c.

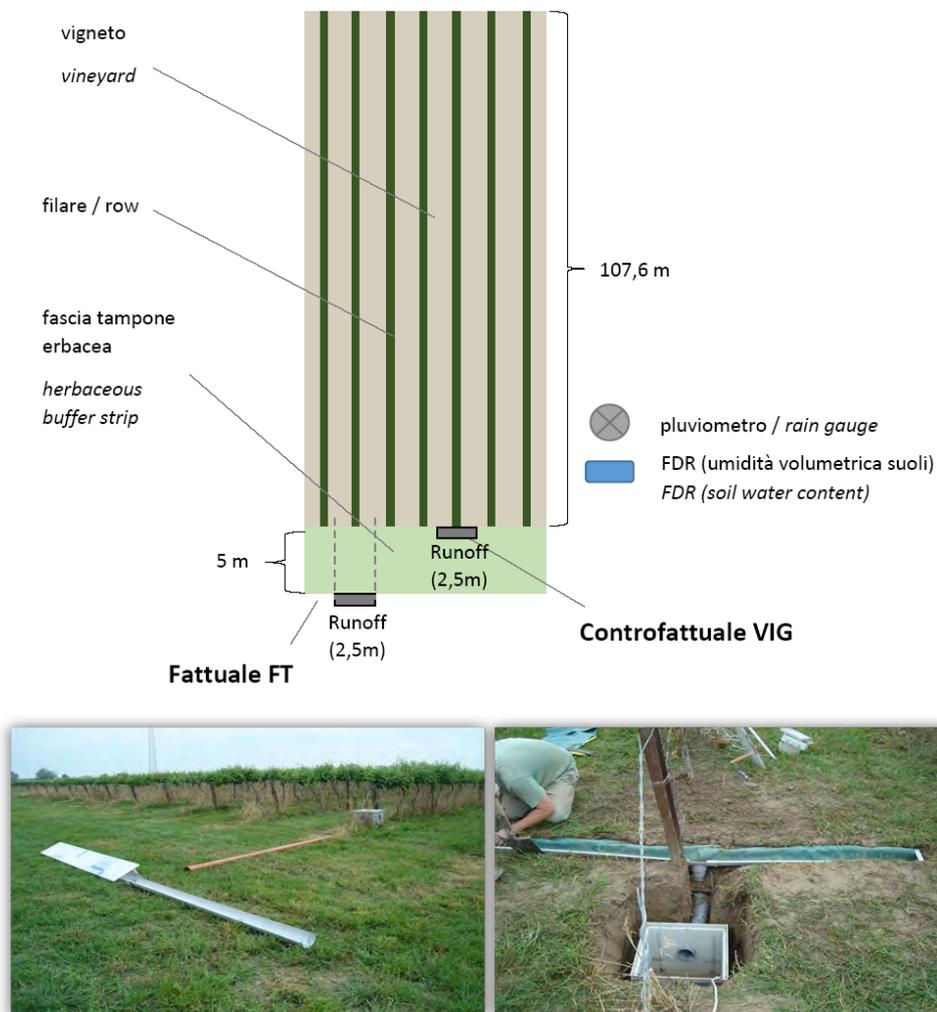


Figura 17. Schema di monitoraggio generale, con evidenziati i punti di prelievo e la strumentazione posta in sito e fasi di installazione dei campionatori per il runoff nel sito di CREA-VIT.

Confronto tra i siti sperimentali eccetto CREA_VIT

In Figura 18 vengono riportati sinteticamente gli schemi sperimentali visti in sezione trasversale adottati da ogni sito mediante.

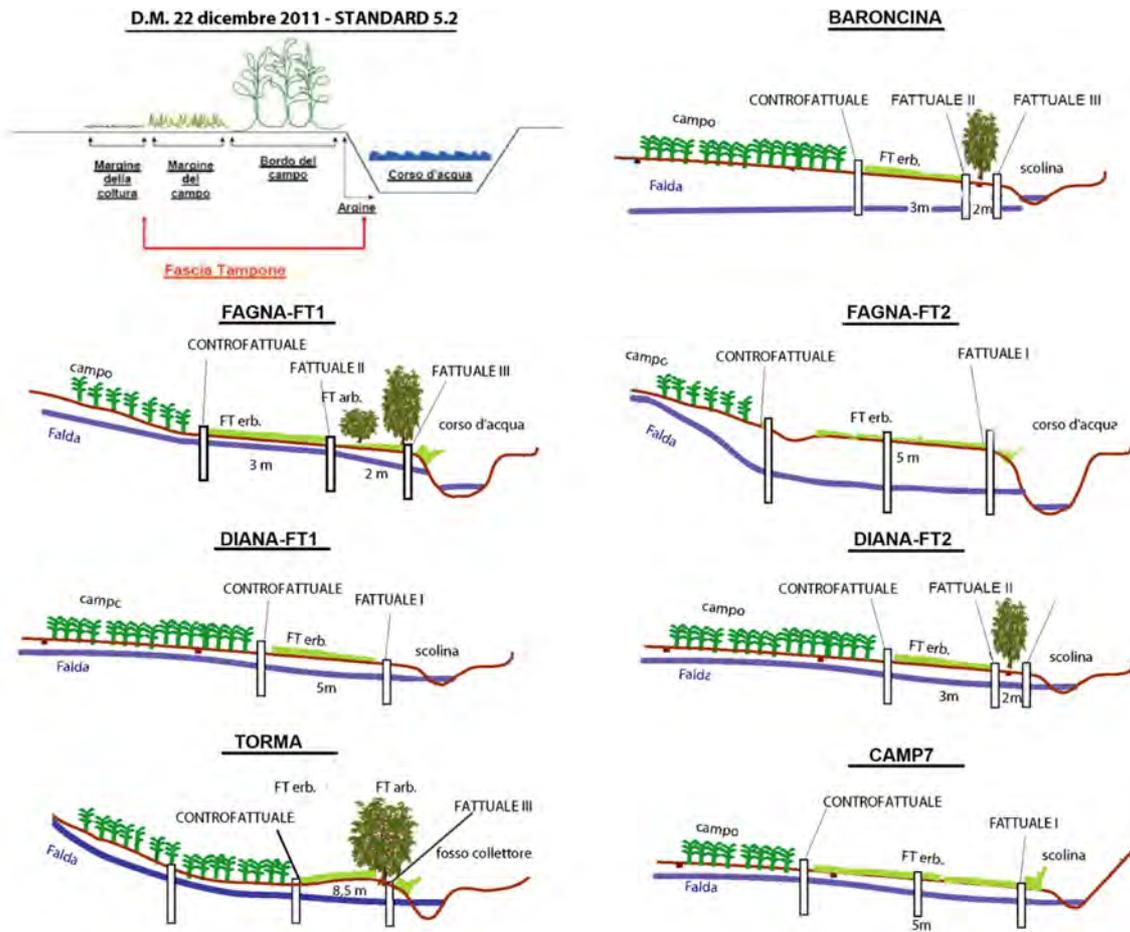


Figura 18. Schemi sperimentali delle Fasce Tampone nei sei siti sperimentali e loro confronto con il caso generale contenuto nel D.M. 27417.

Materiali e metodi

Parametri rilevati: prioritari e ancillari

I parametri prioritari nel caso dello standard 5.2 delle Fasce Tampone sono da intendersi quelli necessari ad effettuare un giudizio di merito relativo al bilancio di massa dell'azoto tra entrata ed uscita e sono: misura delle altezze di falda in continuo, k_s del suolo, concentrazioni delle diverse forme di azoto inorganico, rilievi topografici di precisione. Nonostante lo standard faccia riferimento solo al parametro dei nitrati non è possibile valutare l'efficienza dei sistemi tampone senza un bilancio idrologico adeguato (Tabella 10).

Per parametri ancillari sono da intendersi tutti quelli che permettono di costruire un modello concettuale dell'andamento idrologico (altezze di falda puntiformi, contenuto volumetrico dell'acqua nel suolo a diverse profondità, precipitazioni) e di interpretare e confermare quanto verificato con i parametri principali (conducibilità, ossigeno disciolto). Al fine di effettuare un bilancio dell'azoto tra entrata ed uscita dai sistemi tampone si è ritenuto necessario effettuare alcune misure chimiche del suolo all'inizio del monitoraggio ed alla fine, tra le quali: N_{tot} , N nitrico, C_{org} , infine è stata fatta la tessitura del profilo del suolo (Tabella 10).

Tabella 10. Descrizione dei parametri prioritari ed ancillari monitorati.

Prioritari	Punto di rilevamento	Frequenza	Metodo di rilievo/analisi	Finalità
Tessitura	1 profilo completo, internamente alla Fascia Tampone da piano campagna fino alla zona satura	1 sola volta ad inizio monitoraggio	Tessitura definita con il metodo della pipetta	Comprensione del sistema e calcolo di vari parametri dipendenti dalla tessitura
Profondità della zona satura (in continuo)	1 punto in ingresso (Fattuale) e 1 in uscita dalla Fascia Tampone	In continuo con frequenza di un dato ogni 30'	trasduttori di pressione (SLB1 in acciaio inossidabile, uscita in corrente 4-20mA due fili, alimentazione 8-28 Vdc) inseriti in piezometri dedicati e collegati ad un datalogger (WatchDog datalogger serie 1000 mod 1650 con sensori T/RH aria esterni + 4 porte per sensori esterni).	Comprendere le dinamiche della zona satura ed effettuare un bilancio orario delle portate di deflusso sub-superficiale
Profondità della zona satura (misure istantanee)	In ciascun piezometro	In occasione dei campionamenti delle acque (indicativamente quindicinale)	Freatimetro	Integrare i dati registrati in continuo in una sezione con dati relativi ad una rete piezometrica e possibilità di

Prioritari	Punto di rilevamento	Frequenza	Metodo di rilievo/analisi	Finalità
				definire la direzione dei deflussi di falda
Precipitazioni	In ciascun sito sperimentale	In continuo	Pluviometro collegato a datalogger (WatchDog data-logging rain Gauge 3554WD1-Spectrum Technologies collegato a un self-emptying tipping bucket).	Bilanci idrologici, andamento climatico
Chimiche acque (N-tot, N-NO ₃ , N-NH ₄ , N-NO ₂)	Tutti piezometri e lisimetri. Corpo idrico (saltuariamente)	15-30 giorni	N-NO ₃ , N-NH ₄ , N-NO ₂ : analizzatore FIAstar™ 5000 a tecnologia Flow injection per matrici liquide Ntot: Thermo Flash 2000 CN soil analyzer	Confronto fra concentrazioni in entrata ed uscita, bilancio per stima abbattimento
Conducibilità idraulica a saturazione (Ks)	Tutti piezometri	1 sola volta	Slug test	Bilancio idrologico
Quote altimetriche	Intero sito (campo + FT) con griglia di punti funzionale ad ottenere un DEM (modello digitale delle quote) ad alta risoluzione (20x20 cm)	1 sola volta	Sistema GPS Leica 1200+ costituita da due ricevitori geodetici GPS/GNSS Leica AS10	Determinazione quote di falda, e parametri dimensionali utilizzati nel bilancio idrologico
Ancillari	Punto di rilevamento	Frequenza	Metodo di rilievo/analisi	Finalità
Umidità volumetrica dei suoli	1 punto in ingresso e 1 in uscita dalla Fascia Tampone a diverse profondità di suolo.	In continuo con frequenza di un dato ogni 30'	Sonde FDR (Frequency Domain Reflectometry, spectrum SM 100 waterscout soil moisture sensor) collegate ad un data logger (WatchDog data-logging series 1000 Spectrum Technologies).	Comprensioni delle dinamiche idrologiche
Chimiche acque (OD, T e Cond.)	Tutti piezometri	15-30 giorni	OD: Ossimetro AL200xi (Aqualytic, Dortmund Germany). Temperatura e Conducibilità elettrica: conduttimetro portatile con sensore della temperatura integrato (Schott-Geräte Conductivity meter handylab LF con).	Dati ancillari per una migliore comprensione dei processi in atto
Chimiche suoli (TOC, TN, WSC, NO ₃ , NH ₄).	3 punti (repliche) a diverse profondità sia nel campo che nella Fascia Tampone	2-3 volte anno	TOC e TN: analizzatore elementare Thermo Flash 2000 CN soil analyzer; WSC: analizzatore Thermo Flash 2000 CN soil analyzer; NO ₃ , NH ₄ : analisi colorimetriche	Stima dell'accumulo o perdita di azoto nei suoli

Rilievi topografici di precisione e definizione del bacino agricolo afferente la Fascia Tampone

A cura del Dr. Paolo Bazzoffi

Sui micro bacini idrografici tributari delle Fasce Tampone il piano di campagna è stato definito attraverso un rilievo topografico di precisione utilizzando un sistema GPS geodetico. Sono seguite le elaborazioni in ambiente GIS per la definizione delle linee di deflusso e del perimetro del bacino idrografico afferente alla zona ove sono stati installati i piezometri.

La strumentazione utilizzata per il rilievo è composta da una sistema GPS Leica 1200+ costituita da due ricevitori geodetici GPS/GNSS Leica AS10 con relativa componentistica, allestiti per due configurazioni: Reference (su treppiede) e Rover (su palina). Questi ultimi dispositivi sono ricevitori a tripla frequenza caratterizzati dalla capacità di tracciamento in continuo su 14 canali GPS in L1 (fase portante e codice C/A e P) e L2 (fase portante e codice L2C e P2) e dodici canali in L1 e L2 (GLONASS) più tracciamento SBAS su due canali, codice e fase. Il rilievo è stato effettuato in modalità cinematica RTK *stop and go* (con sosta di 1 secondo per 3 epoche su ciascun punto) con distanze ridotte (al massimo 400 metri) fra la stazione base e la rover, per ottenere la massima precisione plano altimetrica (risultate pari a 10 mm + 1 ppm in orizzontale e 20 mm + 1 ppm sulla verticale).

Per ciascun sito la griglia di punti da rilevare è stata pianificata in modo da ottenere un DEM (modello digitale delle quote) ad alta risoluzione (20x20 cm). Completata la sessione di misure in campo, si è proceduto al post processing delle baseline tramite il software Leica GeoOffice, ottenendo un sistema radiale rigido a compensazione lineare in coordinate ellissoidiche. In considerazione delle specifiche necessità del monitoraggio sulle Fasce Tampone, si è scelto il sistema di posizionamento plano-altimetrico di tipo satellitare GPS (Global Position System) con coordinate spaziali angolari determinate in campo dal ricevitore base e riferite all'ellissoide WGS84. Ovvero, senza ricorrere all'allacciamento delle misure ai vertici GPS IGM 95, poiché non era assolutamente necessario alla rappresentazione dell'idrologia. Inoltre, ciò avrebbe costituito un notevole incremento dei costi per l'acquisizione delle monografie IGM e un inutile rallentamento delle operazioni di rilievo in campo per l'allacciamento dei rilievi alla rete geodetica nazionale. Solo per l'azienda di Fagna, in cui si disponeva di un centrino GPS, le coordinate ottenute dalla stazione Rover risultano allacciate alla rete GPS IGM 95 (tramite il punto GPS 106621 "Le Maschere").

Dopo l'elaborazione dei files RAW del GPS in ambiente Leica GeoOffice, si è utilizzato il software Verto3 (IGM), per la trasformazione da coordinate geografiche (e quota ellissoidica) a coordinate piane cartesiane UTM (Universal Trasversal Mercator) su ellissoide WGS84. Successivamente, i punti sono stati importati in ambiente GIS (ArcMap 10, ESRI) e sovrapposti all'immagine satellitare tratta da Google Earth. La geo-referenziate dell'immagine è stata possibile attraverso l'utilizzo dei valori di coordinate rilevati in campo di punti riconoscibili sulla medesima immagine e corrispondenti a manufatti ritenuti sufficientemente stabili (es: spigoli di basamenti in cemento di tralicci di elettrodotti o altri elementi puntiformi). In ambiente GIS si sono quindi utilizzate le funzioni di Spatial Analyst per l'interpolazione delle quote e l'ottenimento del modello digitale delle quote. Il DEM è stato successivamente processato con il Tool Hydrology (di Spatial Analyst) per l'elaborazione delle linee di deflusso (Flow accumulation). I passaggi intermedi sono consistiti nella generazione dei raster: fill-sink e flow direction.

La determinazione del bacino idrografico afferente alla Fascia Tampone è stata effettuata facilmente a video, creando un poligono contenente le linee di flusso, dal crinale alla zona dei piezometri. Non è stato possibile utilizzare lo strumento di delineazione automatica del bacino idrografico poiché l'outlet bacinale non era puntiforme ma corrispondeva all'allineamento dei piezometri.

Idrologia

Uno degli aspetti chiave da monitorare per comprendere l'efficacia di una Fascia Tampone nel rimuovere gli inquinanti è lo studio dell'idrologia del sito. Con alcune differenze, in tutti i sistemi sperimentali, sono stati misurati i seguenti parametri idrologici: misura in continuo della falda mediante trasduttometri, misure puntiformi della falda con freatimetro, misura in continuo dell'umidità dei suoli a diverse profondità con sonde FDR e precipitazioni.

Altezze di falda

Per la misura delle altezze di falda sono state effettuate misure puntuali (frequenza indicativa ogni 20 giorni) mediante freatimetro in tutta la rete di piezometri presente nel sito sperimentale. In alcuni piezometri dedicati, generalmente 2 posti uno in entrata ed uno in uscita dalla Fascia Tampone, sono state effettuate misure in continuo (frequenza 20-30 minuti) mediante trasduttori di pressione (SLB1 in acciaio inossidabile, uscita in corrente 4-

20mA due fili, alimentazione 8-28 Vdc) (Figura 19) collegati ad un datalogger (WatchDog datalogger serie 1000 mod 1650 con sensori T/RH aria esterni + 4 porte per sensori esterni).

I piezometri utilizzati hanno diametro pari a 50 mm e sono fessurati per la loro intera estensione; sono posti a profondità diversa nei vari siti in funzione della profondità in cui si trova il primo strato impermeabile dove scorre la falda superficiale e come descritto negli schemi sperimentali. In genere sono stati posizionati con una griglia data da tre repliche per ciascuna sezione di campionamento (pieno campo, ingresso FT, sezione intermedia –e sezione di uscita della Fascia Tampone); la distanza fra repliche è in genere di 5m nei sistemi più omogenei e circa 7-8 m in sistemi tampone più complessi; le distanze fra i punti di rilievo sono variabili da sito a sito come descritto negli schemi sperimentali.

precipitazioni e condizioni meteo

Le precipitazioni, quando non sono presenti in azienda centraline meteo, sono state registrate con frequenza oraria mediante un pluviometro posizionato nella Fascia Tampone sperimentale e collegato ad un datalogger (WatchDog data-logging rain Gauge 3554WD1-Spectrum Technologies collegato a un self-emptying tipping bucket).

ks del suolo

Per stimare la *Ks* nei diversi strati e zone sono stati realizzati degli slug test per l'intera sezione in tutti i piezometri con le attenzioni procedurali descritte in Rovey II and Niemann, 2001.

I dati ottenuti sono stati analizzati seguendo il metodo di Bouwer and Rice, 1976. Il valore per ciascuna zona è stato ottenuto con una media dei valori dei singoli piezometri (repliche). I dati sono stati comparati con i valori di riferimento per le classi tessiturali presenti.

Contenuto volumetrico d'acqua

Per la misura in continuo dell'umidità del suolo sono state posizionate delle sonde FDR (*Frequency Domain Reflectometry*, spectrum SM 100 waterscout soil moisture sensor) collegate ad un data logger (WatchDog data-logging series 1000 Spectrum Technologies) (Figura 19). Il dato viene espresso direttamente come umidità volumetrica e misurato attraverso la determinazione della costante dielettrica. La frequenza di registrazione è di 30 minuti. Le sonde sono state poste a profondità ed in punti diversi in ciascun sito come riportato negli schemi di dettaglio per ciascun sito. Nel solo sito di Tormancina è stato utilizzato un trasduttore a profilo, fino a 1 m, composto da diverse sonde TDR (Figura 19) per

la misura volumetrica dell'umidità del suolo poste a 10, 20, 30, 40, 60, e 100 cm. Lo strumento della Delta_T device è collegato ad un datalogger DL6.

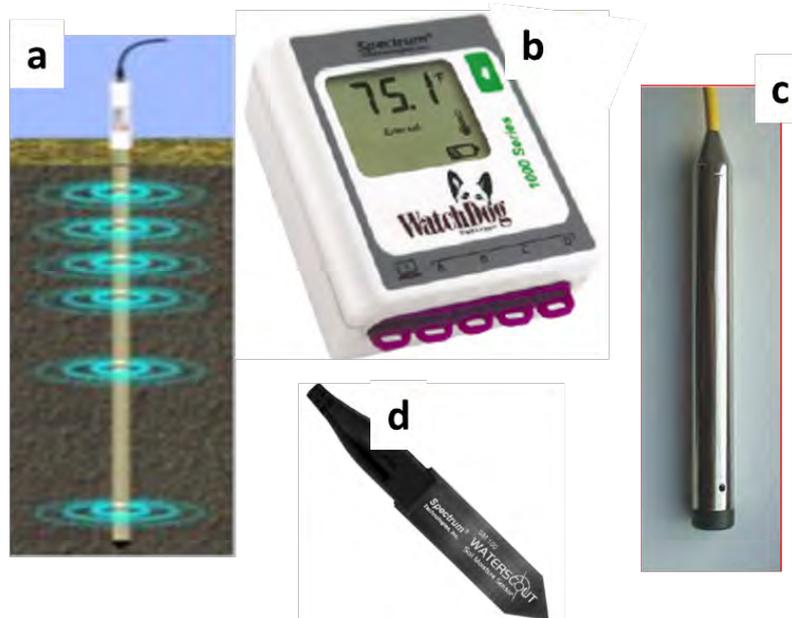


Figura 19. Alcuni degli strumenti utilizzati in campo: a) Trasduttore a profilo con sonde TDR, b) data logger, c) trasduttore a pressione, d) sonda FDR.

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 17). In sintesi lo strumento è costituito da una grondaia in PVC, coperta e di lunghezza pari a 2,5 m, posta appena al di sotto del piano campagna e raccordata ad un pozzetto di raccolta in PVC con un volume di 128 L. Eventuali volumi eccedenti tale capienza vengono fatti defluire attraverso un sistema separatore (regolato su un rapporto 1:500) che consente il prelievo in una tanica in PVC di un ulteriore campione rappresentativo dei volumi eccedenti. I campioni vengono prelevati (dopo mescolatura) nei due sistemi di raccolta e analizzati separatamente; le concentrazioni derivanti dalle analisi chimiche vengono moltiplicate per i corrispondenti volumi ai fini di ottenere il bilancio di massa. Il campionamento viene effettuato indicativamente in corrispondenza di ogni evento piovoso significativo (in genere il giorno successivo).

Bilancio dei deflussi sub-superficiali

Essendo ritenute valide le assunzioni alla base del metodo, la stima delle portate di falda è stata effettuata (bilancio orario) con la nota formula di Darcy:

$$Q = k_s S \vec{i}$$

dove Q è la portata di deflusso, i la pendenza fra i due punti (piezometri) considerati e S è la superficie dell'area perpendicolare al deflusso. La portata di runoff è stata ottenuta per misura diretta, grazie allo strumento precedentemente descritto, solo in due siti rappresentativi.

Acque

Analisi chimiche

Per la raccolta dei campioni d'acqua nel suolo sono stati utilizzati gli stessi piezometri descritti per monitorare l'altezza delle falde. All'interno dei piezometri sono stati collocati dei campionatori composti da un cordino appesantito con un piombo a cui vengono fissati da 5 a 10 boccettini di plastica con un volume di 10cc o 35 cc a seconda dei siti. Essi sono in grado di raccogliere le acque di deflusso ipodermico e trattenerle fino al momento del campionamento. Questo strumento risulta particolarmente utile quando i movimenti della falda temporanea, che defluisce attraverso la Fascia Tampone in seguito ad eventi meteorologici, sono molto veloci. La frequenza di campionamento è indicativamente di 20-30 giorni con maggiore frequenza in corrispondenza delle fasi di fertilizzazione del campo coltivato e di successivi eventi piovosi. I campioni prelevati sono stati immediatamente congelati e successivamente inviati al laboratorio per le analisi.

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.

In laboratorio sono stati misurati i seguenti parametri: $N-NO_3$, $N-NO_2$ e $N-NH_4$. Il contenuto di $N-NO_3 + N-NO_2$ è stato misurato usando un'analisi ad iniezione di flusso (Foss-Tecator FIAStar 5000). I campioni di acqua filtrati sono stati fatti passare attraverso una colonna di cadmio per ridurre tutto il NO_3 presente a NO_2 , e la concentrazione del NO_2 risultante è stata determinata colorimetricamente, usando sulfanilamide e N -(1-naphthyl)-ethelenediamina dihydrochloride (FOSS-Tecator 2000a). Il contenuto di $N-NO_3$ è stato calcolato sottraendo il valore di $N-NO_2$ determinato senza riduzione del NO_3 .

Il contenuto di N-NH_4 è stato misurato usando un'analisi ad iniezione di flusso (Foss-Tecator FIAStar 5000). I campioni di acqua filtrati sono stati iniettati in un flusso portante insieme ad idrossido di sodio e il gas alcalino risultante è stato misurato colorimetricamente a 590 nm (FOSS-Tecator, 2000b). **L'azoto totale** nelle acque è stato determinato mediante analizzatore elementare Thermo Flash 2000 CN soil analyzer equipaggiato con modulo di iniezione per liquidi.

Suoli

Tessitura

E' stato usato il metodo della pipetta, che equivale a 20 gr di suolo vagliato a 2 mm, addizionato di 10 cc Esametafosfato di Na, agitazione overnight, prelievi con pipetta (20cc) in cilindri di 500 cc immersi in vasca termostata a 20 C, ad altezza di 15, 10 e 7 dal bordo dopo agitazione di 1' a tempi di circa 1'-5'-5h30', essiccazione e pesata.

Parametri chimici

I suoli sono stati campionati all'inizio e alla fine del periodo sperimentale, a diverse profondità, mediante una trivella manuale sia all'interno della Fascia Tampone che nel campo limitrofo ed analizzati i seguenti parametri:

TOC-TN: il contenuto di C organico totale (TOC) e azoto totale (TN) del suolo è stato determinato mediante analizzatore elementare Thermo Flash 2000 CN soil analyzer. Da 20 a 40 mg di suolo sono stati pesati in capsule d'argento e trattati con HCl 10% per rimuovere i carbonati.. Dopo essiccazione del suolo a 65 °C per circa 3 ore le capsule contenenti il campione vengono chiuse e poste nell'autocampionatore. Il campione viene quindi rilasciato nel reattore dove avviene un'ossidazione completa del campione per "flash combustion" e la successiva determinazione gas cromatografica mediante thermal conductivity detector (TCD) (Metodi di Analisi Chimica del Suolo, 2000) **WSC nel suolo:** il carbonio solubile del suolo (WSC) è stato determinato dopo estrazione in acqua fredda di 15 g di suolo in 30 ml di acqua deionizzata, agitazione per 30 min a 250 rpm e filtrazione a $0.45\mu\text{m}$. (Whatman 42). Il contenuto di C degli estratti è stato determinato mediante analizzatore elementare Thermo Flash 2000 CN soil analyzer equipaggiato con modulo di iniezione per liquidi.

NO_3 e NH_4 : i nitrati e l'azoto ammonico sono stati estratti dal suolo aggiungendo KCl 2M in rapporto 1:5, agitazione di un'ora a 250 rpm e filtrati a $0.45\mu\text{m}$. (Whatman 42). Gli estratti sono stati analizzati mediante analisi ad iniezione di flusso (Foss-Tecator FIAStar 5000) seguendo la stessa procedura riportata per le acque.

Risultati

CREA-ABP (Firenze) - Az. Fagna FT1

Dinamiche idrologiche

La determinazione del bacino idrografico afferente alla Fascia Tampone è riportata in Figura 20 in cui sono state messe in evidenza anche le linee preferenziali di deflusso superficiale. La massima distanza fra l'inizio del bacino e la Fascia Tampone è pari a 135 m; pertanto ad un metro lineare di FT corrisponde un bacino agricolo di carico pari a 0,013 ha. Il rapporto tra l'area della Fascia Tampone monitorata e l'area del bacino è di 3,7%.

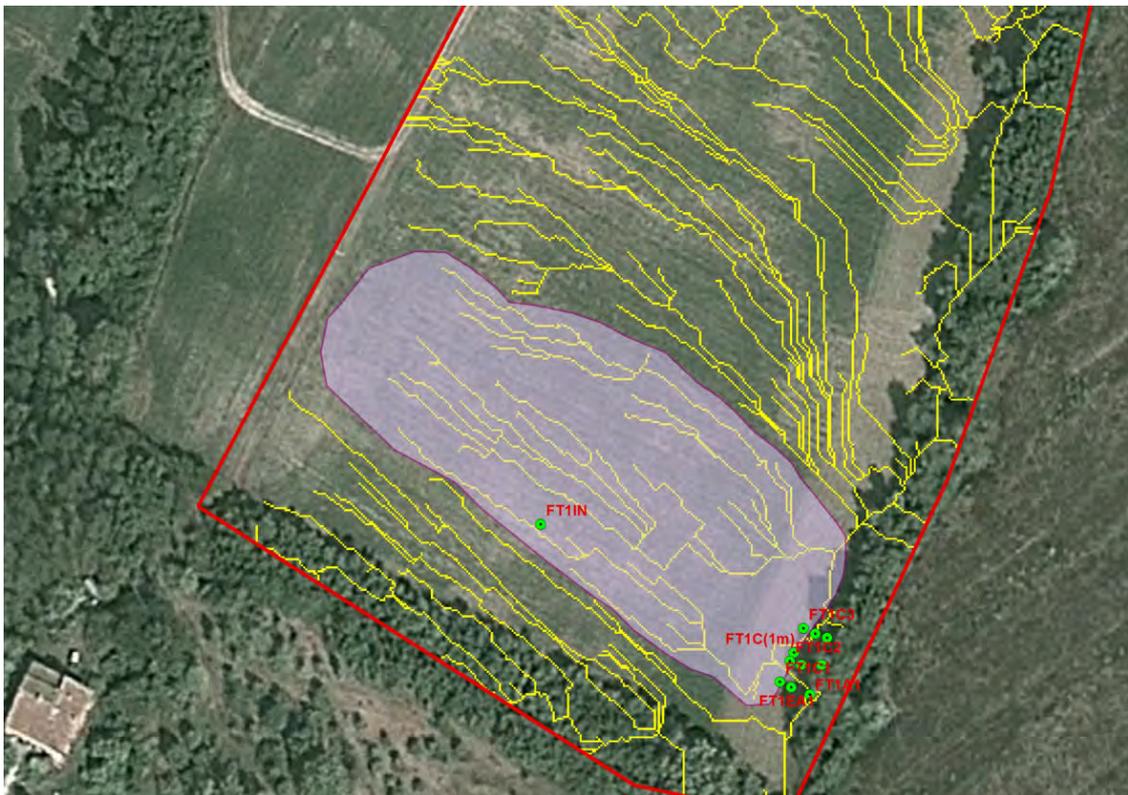


Figura 20. Individuazione dell'area del bacino sotteso alla Fascia Tampone, in giallo le linee di maggior deflusso superficiale.

La falda è confinata inferiormente dalla presenza di uno strato impermeabile di argille pleistoceniche posto indicativamente a 2 metri di profondità. I deflussi di falda avvengono

all'interno di uno strato di suolo fine composto principalmente da limo e argilla come evidenziato dalla Tabella 12.

Tabella 11. Tessitura dei suoli a diverse profondità all'uscita del campo e nella Fascia Tampone.

FAGNA FT1 FT	Sabbia %	Limo %	Argilla %	deniminzazione ITALIA
0-25 cm	19	44	36	franco argilloso limoso
25-50 cm	22	47	31	franco argilloso limoso
50-85 cm	22	49	29	franco argilloso limoso

FAGNA FT1 Campo	Sabbia %	Limo %	Argilla %	deniminzazione ITALIA
0-30 cm	20	48	32	franco argilloso limoso
30-60 cm	23	46	31	franco argilloso limoso
60-85 cm	15	47	38	franco argilloso limoso
85-110 cm	8	52	41	argilloso limoso
110-140 cm	9	50	41	argilloso limoso
140-160 cm	6	45	49	argilloso limoso
160-185 cm	6	46	49	argilloso limoso

Come si può osservare dalla Figura 21 la falda del sito FT1 nel periodo monitorato è risultata continua, grazie probabilmente alle precipitazioni eccezionalmente abbondanti che hanno mantenuto la falda per quasi tutto il periodo estivo. Inoltre per gran parte del monitoraggio, da ottobre a maggio, la falda si è mantenuta al livello del piano campagna creando una zona acquitrinosa in prossimità dei piezometri Ea2 ed Ea3 (vedi Figura 2). Durante il monitoraggio, per motivi non ben accertati, si è verificato un fenomeno di *upwelling* che ha contribuito all'impaludamento della zona. Al fine di arginare questo inconveniente si è provveduto a creare un piccolo scolo per isolare la sorgente.

La differenza di quota tra la sezione di entrata e quella di uscita della Fascia Tampone risulta significativa durante i periodi di falda superficiale, con valori che mediamente variano da 80 a 150 cm, il che determina un flusso diretto dal campo al corso idrico.

Andamento dei livelli di falda in rapporto alle precipitazioni

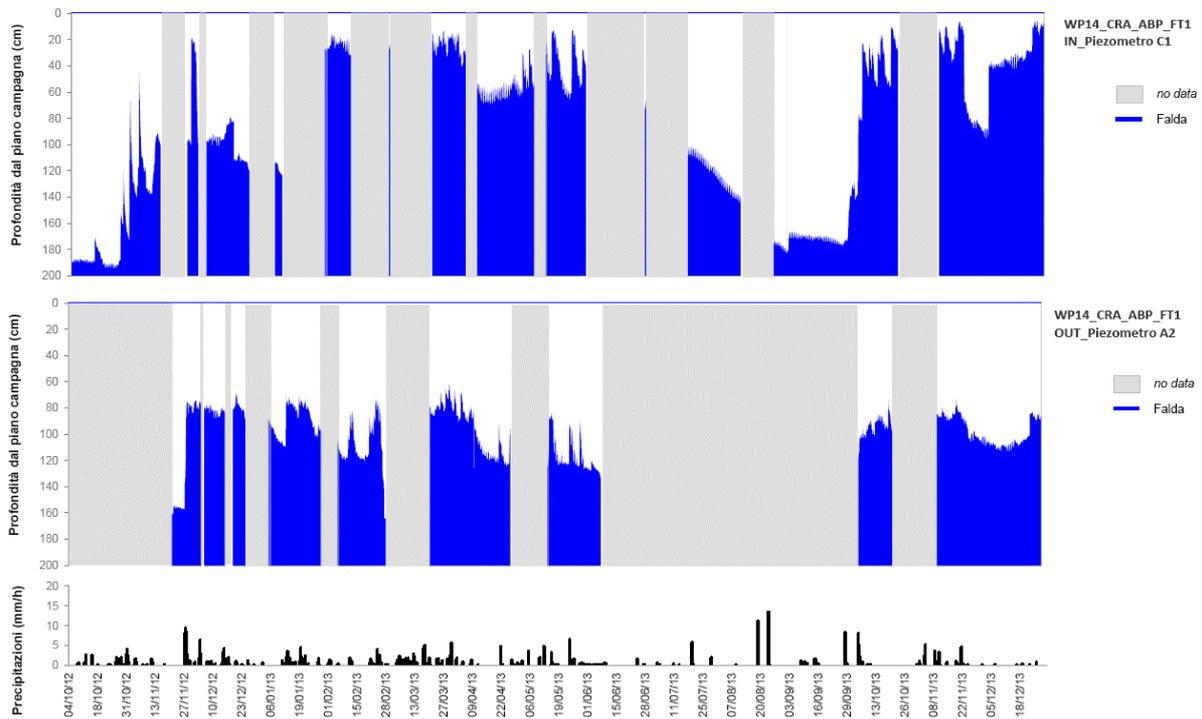


Figura 21. Profondità della falda dal piano di campagna nella sezione di entrata (in alto) e in quella di uscita (in basso) monitorata in continuo. I dati orari sono stati ottenuti partendo da dati rilevati con frequenza di 30 minuti. Nella parte inferiore del grafico sono state riportate le precipitazioni orarie nel periodo corrispondente.

Questa direzione dei deflussi viene confermata anche dalla Figura 22, i cui grafici rappresentano le linee di quota del suolo e della falda in 2 momenti idrologici diversi. Essi evidenziano come nel periodo autunnale la falda abbia un andamento diretto dal campo verso la Fascia Tampone ed il corso d'acqua adiacente e segua con buona approssimazione l'andamento delle quote del terreno. Durante il periodo estivo, quando la falda si abbassa fino a raggiungere una profondità di circa 2 metri dal p.c., localmente può avvenire un'inversione di tendenza anche se per periodi limitati.

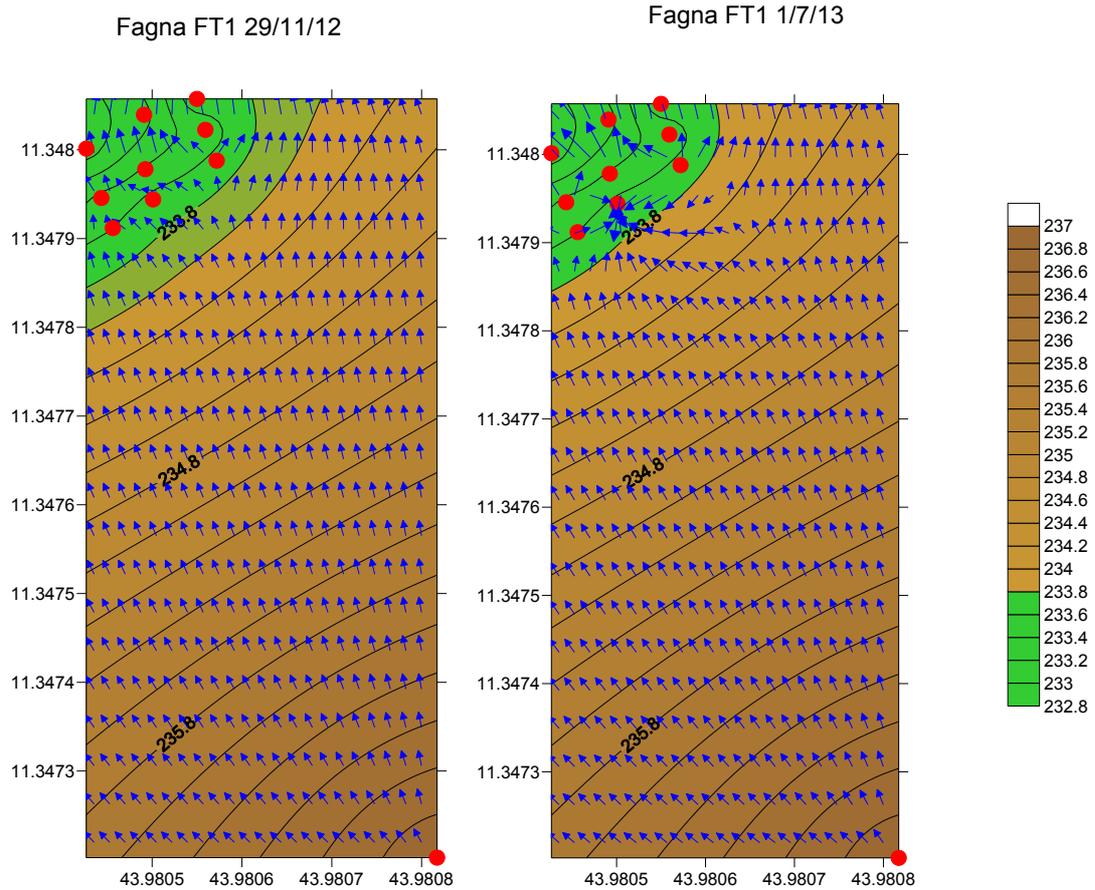


Figura 22. Altezze piezometriche in diversi momenti idrologici; si rappresenta anche l'andamento delle quote del piano campagna. I pallini rossi indicano la posizione georeferenziata dei diversi piezometri.

Il grafico di Figura 23 mostra l'andamento nel tempo delle quote medie di falda ed evidenzia un andamento molto stabile nel tempo in tutti i piezometri. Si osserva inoltre come le quote di falda a pieno campo siano nettamente superiori rispetto a quelle della zona C di ingresso alla Fascia Tampone mettendo in evidenza la forte pendenza del campo coltivato. Al contrario la differenza di quota tra la sezione C (Contro fattuale) e la Ea (fattuale II) è praticamente nulla, mentre è netta quella tra la zona Ea e quella A (fattuale III) posta nella zona arborea al di là di un piccolo argine che si è formato a causa delle continue lavorazioni del terreno. Proprio per la presenza di questo piccolo argine che tende a contenere le acque di runoff le quali col tempo si infiltrano nella Fascia Tampone, si è ritenuto non necessario misurare i deflussi superficiali.

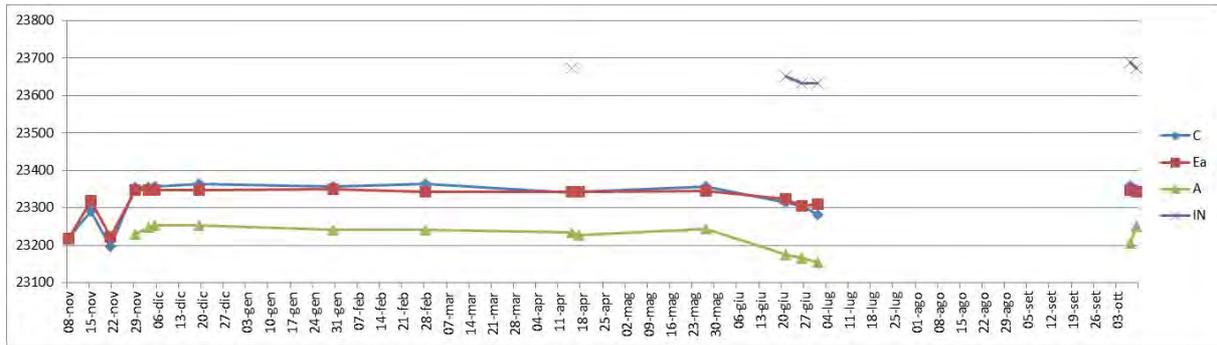


Figura 23. Altezze piezometriche nel tempo rilevate in tutta la rete di piezometri.

Il deflusso di falda in 100 m di FT è pari a circa $3152 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ e costituisce solo il 17,8% dei volumi d'acqua provenienti dalle precipitazioni; il restante 81% oltre all'errore, è imputabile prevalentemente all'evapotraspirazione accentuata dall'impaludamento superficiale ed in minor misura da perdite tramite fenomeni di deflusso superficiale che attraversano l'arginello.

L'analisi delle variazioni dell'umidità volumetrica dei suoli in funzione delle precipitazioni, registrata a diverse profondità permette di verificare e approfondire la comprensione delle dinamiche idrologiche del sito (Figura 24). Il contenuto massimo d'acqua di questi terreni (saturazione) varia tra 50 ed il 60%, valori leggermente superiori a quelli tipici di terreni argillosi dovuti al ristagno d'acqua. Queste condizioni persistono senza subire grosse variazioni da ottobre a maggio, mentre il periodo estivo è caratterizzato da forti oscillazioni dell'umidità del suolo raggiungendo valori minimi per gli strati più superficiali. Lo strato che solitamente presenta il maggior contenuto d'acqua è quello posto a 60 cm, dove evidentemente è presente uno strato con un elevato contenuto di argilla che favorisce una maggior ritenzione dell'acqua. Solo durante il periodo estivo si evidenziano forti escursioni dovute a picchi di umidità a seguito di eventi piovosi ed il successivo ritorno a contenuti minimi d'acqua dovuti ad un'elevata evapotraspirazione.

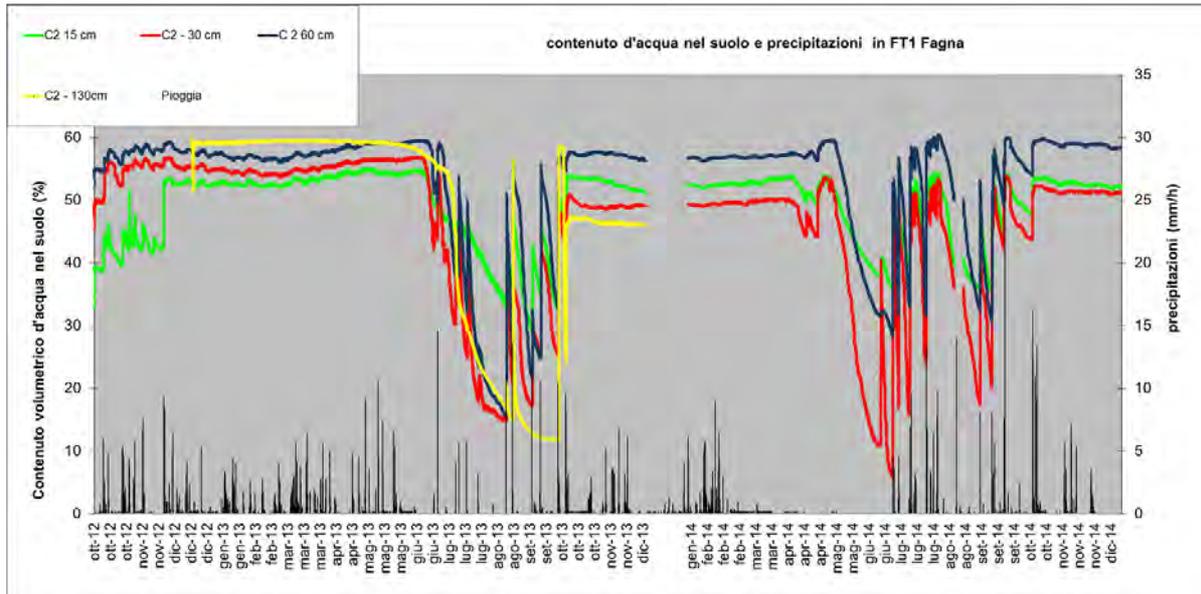


Figura 24. Variazione dell'umidità volumetrica dei suoli, registrata a 4 diverse profondità, e relativi dati di precipitazioni.

Dinamiche dell'azoto nei deflussi

L'andamento delle concentrazioni di azoto inorganico nelle acque di falda (che rappresenta la quasi totalità dell'azoto disciolto e composto per lo più da azoto nitrico) presenta un andamento diversificato nel tempo. Nei primi 4 campionamenti i valori medi mettono in evidenza una forte riduzione tra entrata (C= controfattuale) ed uscita dalla fascia erbacea (E=F II). Dal 29 novembre 2012 sono stati installati anche tre piezometri nella fascia arborea (A= fattuale III), a partire da questa data le differenze tra C ed E tendono ad annullarsi probabilmente a causa dei fenomeni di *upwelling* ed impaludamento, mentre si evidenzia una rimozione significativa tra E ed A (Figura 25). La primavera del 2013 è caratterizzata da valori di concentrazione molto contenuti già in ingresso alla Fascia Tampone; questo a causa delle forti precipitazioni che hanno caratterizzato la stagione al punto da impedire le normali pratiche agronomiche tra cui lo spandimento di concime. La primavera del 2014 registra valori elevati di azoto all'interno del campo coltivato che si vanno notevolmente riducendo all'uscita del campo di conseguenza la Fascia Tampone "lavora" con quantità molto basse di azoto inorganico. Dal confronto tra i due grafici è possibile evidenziare che in giugno e luglio nella sezione E (FII) non c'è corrispondenza tra i valori (Figura 25) ad indicare che in questi caso l'azoto inorganico è composto da una percentuale elevata di ione ammonio ad indicare condizioni asfittiche del terreno createsi dal protrarsi della stagnazione delle acque fin in superficie. Ulteriore conferma della significativa presenza

di azoto ammoniacale viene data dai valori medi in percentuale della composizione dell'azoto inorganico (Figura 26).

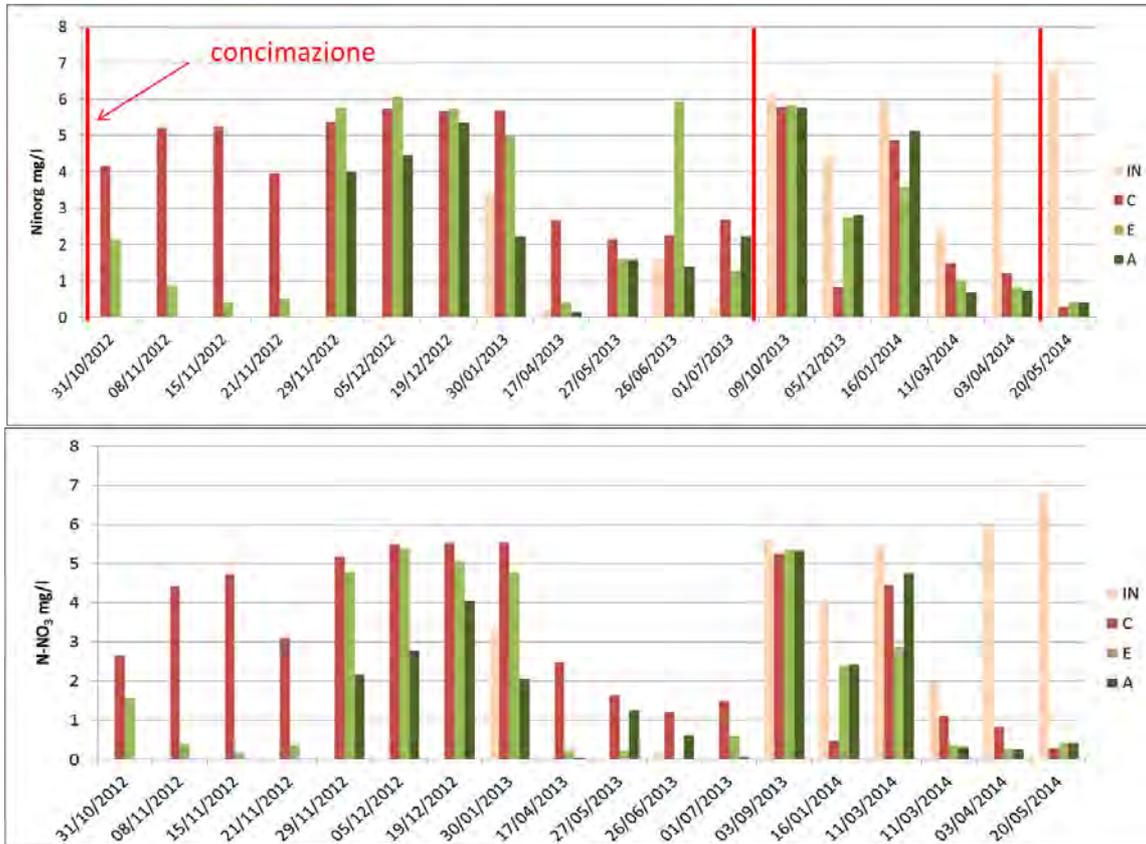


Figura 25. Concentrazioni di azoto inorganico (sopra) e azoto nitrico (sotto) per ogni data di campionamento. IN = nel campo; C= controfattuale; E=FII; A= FIII.

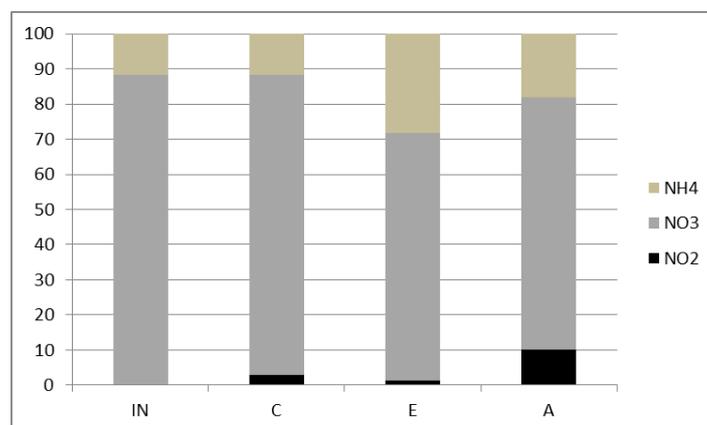


Figura 26. Composizione in percentuale dell'azoto inorganico calcolata sui valori medi del monitoraggio. IN = nel campo; C= controfattuale; E=FII; A= FIII.

E' difficile dare un giudizio sintetico e complessivo a questo sito visto il diverso comportamento nel tempo. Questa fascia presenta un elevato potenziale tampone rispetto all'azoto che la attraversa, ma che a causa di disturbi di tipo idrologico (upwelling, impaludamento, piogge elevate etc) e ridotte concimazioni durante il periodo di monitoraggio non ha potuto esprimerla al meglio (Figura 27).

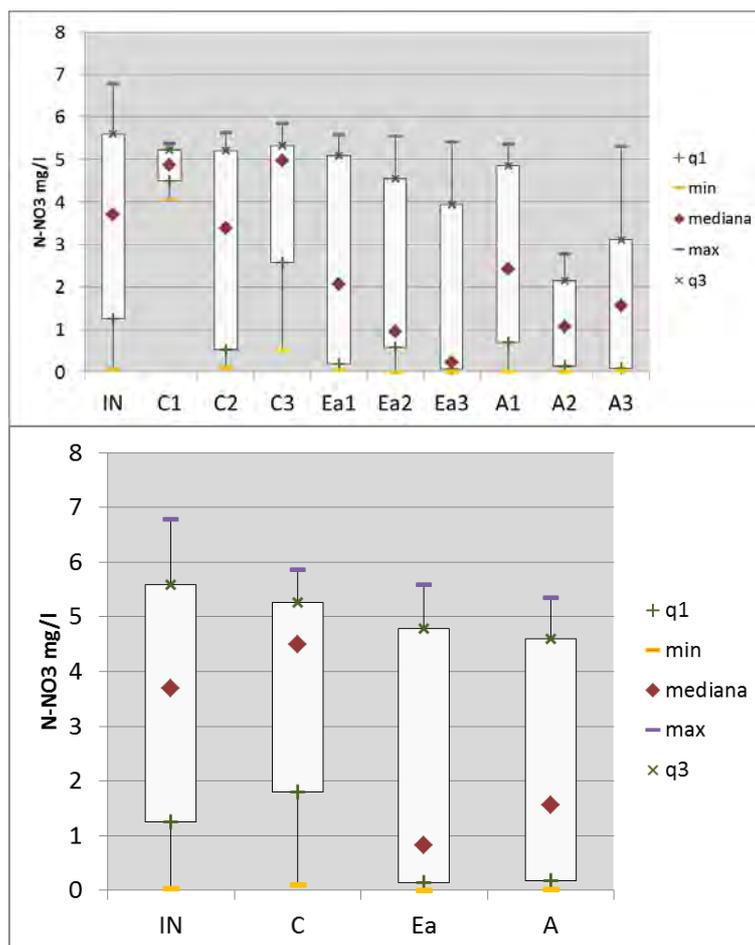


Figura 27. Il box plot mostra i valori medi dei nitrati. Nel grafico in alto le medie sono riferite ad ogni piezometro monitorato mentre nel grafico in basso i valori medi si riferiscono ai vari transetti: IN in campo, C = controfattuale, Ea =fattuale II, A = fattuale III (q1 =25% e q3 = 75%.) i valori si riferiscono al periodo di monitoraggio da novembre 2012 a maggio 2014.

Dinamiche dell'azoto nel suolo

Le analisi del suolo sono state effettuate nel campo coltivato afferente alla Fascia Tampone sia all'inizio che alla fine del periodo di monitoraggio allo scopo di rilevare eventuali accumuli o perdite. Mentre all'interno della Fascia Tampone sono stati effettuati campionamenti di suolo, e relative analisi di Ntot e C_{org}, solo alla fine del monitoraggio. Nei

suoli del campo coltivato non sono state individuate differenze significative se non nel contenuto di azoto dello strato superficiale in cui è stata individuata una perdita da 0,18 a 0,15 % probabilmente a causa delle piogge abbondanti che hanno caratterizzato il periodo di indagine. Non si evidenziano differenze nemmeno tra il campo e la fascia erbacea; quest'ultima infatti è stata sempre coltivata fino all'inizio del progetto MONACO ed era difficile attendersi una differenziazione in tempi così brevi. Al contrario la fascia arborea, che non è mai stata coltivata, nello strato superficiale presenta valori di azoto ma soprattutto di Carbonio organico doppi rispetto al campo e alla fascia erbacea. Non si differenzia invece nello strato da 40 a 60 cm che in tutti i siti campionati presenta valori minimi dell'ordine dell'1% per il carbonio e di 0,1 per l'azoto (Figura 28).

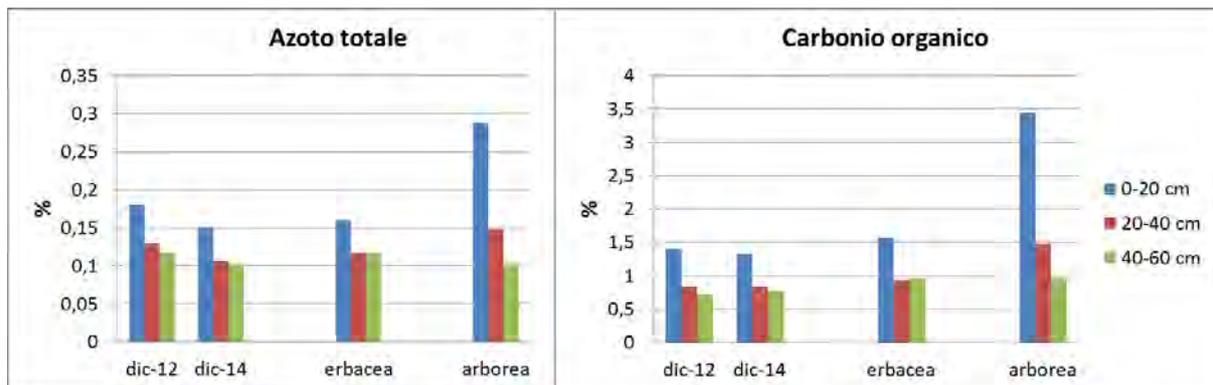


Figura 28. Concentrazioni di Ntot e Corg nei suoli nelle tre diverse sezioni di controllo. Gli istogrammi indicati come “dic-12” e “dic-14” si riferiscono alla zona a pieno campo.

Bilancio dell'azoto

Per quanto concerne i bilanci di massa calcolati nel periodo da gennaio a dicembre 2013, si osserva un ruscellamento sub-superficiale di circa $9 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ di azoto (su una distribuzione pari a 72 kg) verso il sistema tampone di cui si è stimata una rimozione del 33%; percentuali di quest'ordine di grandezza vanno intese come di media efficienza. Complessivamente si ritiene che il dato ottenuto in termini di INPUT sia in linea con le caratteristiche dell'area che tendono a favorire la generazione di fenomeni di ruscellamento superficiale e di evaporazione superficiale nella zona della Fascia Tampone. Ciò che sembra al di sotto delle potenzialità è il dato dell'efficienza di rimozione che viste le caratteristiche

complessive della fascia dovrebbe risultare significativamente più elevato. Tale andamento è spiegabile considerando che le acque di deflusso sub-superficiale defluiscono principalmente in zone di suolo con contenuto di carbonio organico abbastanza basso come deducibile dal confronto fra la Figura 21 e la Figura 28.

CREA-ABP (Firenze) - Az. Fagna sito FT2

Dinamiche idrologiche

Il bacino agricolo afferente al sistema sperimentale viene rappresentato in Figura 29 in cui vengono evidenziate in giallo anche i deflussi preferenziali superficiali. La massima distanza fra l'inizio del bacino e la Fascia Tampone è pari a 130 m; pertanto ad un metro lineare di FT corrisponde un bacino agricolo di carico pari a 0,013 ha.

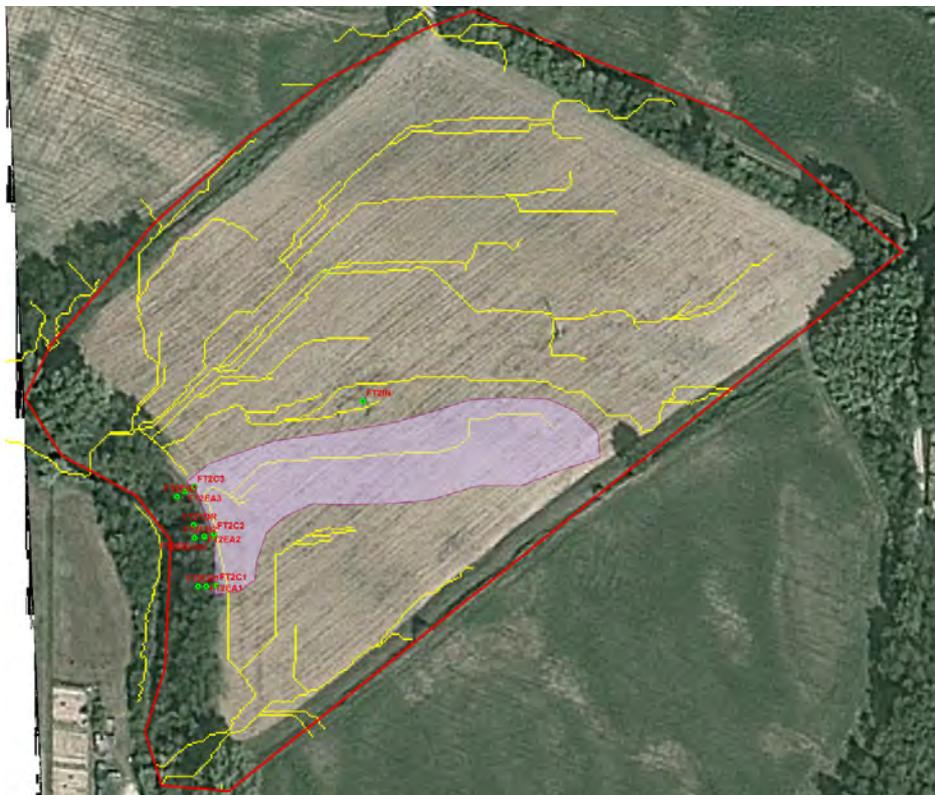


Figura 29. Bacino agricolo afferente alla Fascia Tampone sperimentale.

La situazione idrologica è completamente diversa da quella del non lontano sito FT1 precedentemente descritto.

Come emerge dalla tessitura, la falda è confinata inferiormente dalla presenza di uno strato impermeabile di argille compatte e posto indicativamente a 3 metri di profondità da p.c. (Tabella 12). In particolare tra i 120 cm e i tre metri, dove solitamente scorre la falda, il terreno è estremamente sciolto e caratterizzato da un elevato contenuto di sabbia (60%) ed una presenza minima di argilla (8%). Per questo motivo il sito è da considerarsi poco conservativo con dinamiche idrologiche veloci.

Tabella 12 .Tessitura e tipologia di suolo in diversi strati rappresentativi

FAGNA FT2	Profondità	Sabbia	Limo	Argilla
Orizzonte	(cm)	%	%	%
Ap	0-50	35	40	25
Bw	50-120	45	35	20
C1	120-170	60	32	8
C2	170-300	60	32	8
2C	300-400	3	47	50

La Figura 30 mette in evidenza la presenza di una falda continua durante l'intero periodo di monitoraggio, posta mediamente a quote inferiori ai 2 m dal p.c. Durante eventi piovosi particolarmente significativi la falda può arrivare a profondità minori di 1 m dal p.c. ma in nessun caso supera gli 0,5 m e quando questo avviene lo fa per tempi estremamente brevi.

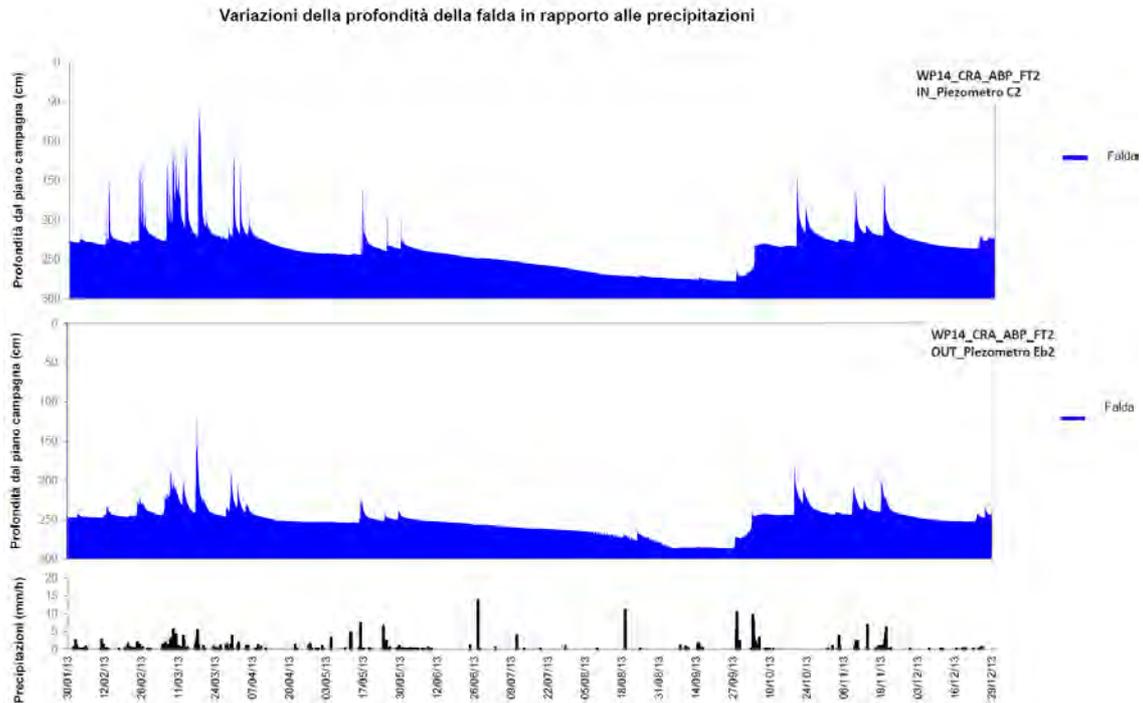


Figura 30. Profondità della falda da p.c. nei due punti con monitoraggio in continuo delle altezze di falda. I dati orari sono stati ottenuti partendo da dati rilevati con frequenza di 20 minuti. In basso vengono riportati i valori delle precipitazioni.

La differenza media di quota fra ingresso ed uscita della FT è mediamente di circa 40 cm. Dalla stretta relazione fra i picchi di pioggia, l'innalzamento e successivo rapido abbassamento dei livelli di falda si ha una conferma di una K_s elevata (1180 cm giorno) e quindi dinamiche idrologiche veloci.

Come evidenziato dai seguenti grafici di Figura 31, che rappresentano le linee di quota del suolo e della falda in 2 momenti idrologici diversi, la falda ha un andamento diretto dal campo verso la Fascia Tampone ed il corso d'acqua adiacente e segue con buona approssimazione l'andamento delle quote del terreno. Tendenzialmente i deflussi tendono ad accumularsi maggiormente nella parte centrale della Fascia Tampone.

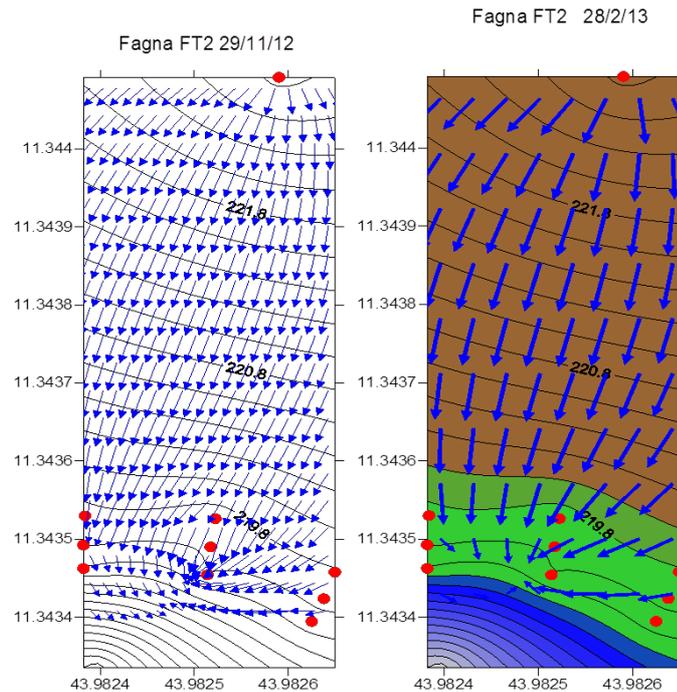


Figura 31. Posizionamento geo-referenziato della rete di piezometri, le frecce rappresentano la direzione dei deflussi definita in base alle quote rilevate dell'altezza di falda. Le curve sono isoipse ed il colore da scuro a chiaro rappresenta un decremento delle quote: marrone=campo coltivato; verde=Fascia Tampone; blu=corso d'acqua. I pallini rossi indicano la posizione geo-referenziata dei diversi piezometri.

La Figura 32 mette bene in evidenza la forte pendenza della falda all'interno del campo coltivato e per contro una differenza altimetrica quasi nulla tra la sezione di entrata ed uscita dalla Fascia Tampone determinando un brusco rallentamento dei deflussi sub-superficiali.

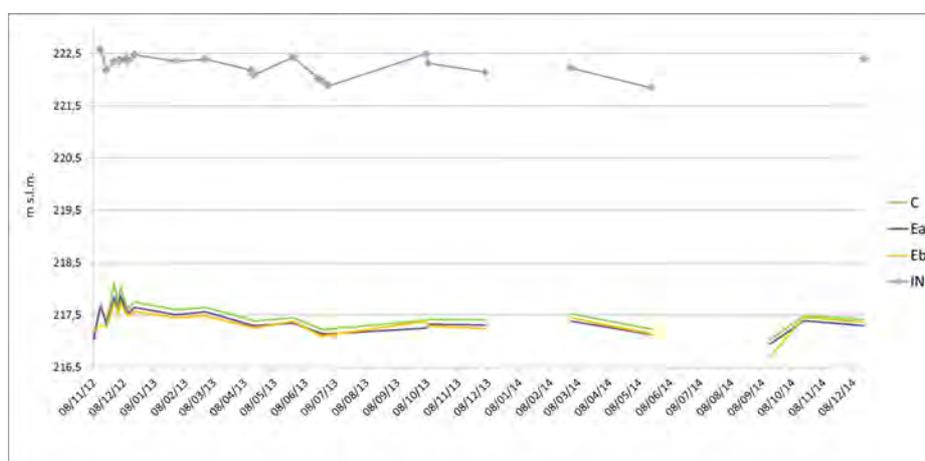


Figura 32. Valori medi temporali delle altezze di falda rilevate in tutta la rete di piezometri.

Per quanto concerne i deflussi superficiali (runoff) non sono stati installati strumenti specifici per la loro valutazione quantitativa perché di fatto non si formano. Infatti, nelle fasi iniziali della sperimentazione è stato monitorato attraverso misure manuali periodiche l'eventuale riempimento di una scolina di carico, profonda 80 cm, posta immediatamente a monte della sezione "fattuale". Dalle osservazioni è emerso che la scolina in nessuna condizione meteorologica ha accumulato acqua; si ritiene quindi che nel caso in questione, a seguito della tessitura superficiale piuttosto franca e delle operazioni di aratura, i deflussi superficiali siano trascurabili rispetto a quelli sub-superficiali.

Ad eccezione di alcuni valori registrati nei primi 20 cm che indicano un contenuto d'acqua superiore al 50%, probabilmente dovuti a forti precipitazioni, che hanno creato un momentaneo e localizzato ristagno d'acqua, i valori di umidità non superano mai il 50%. Oltre alla forte oscillazione dello strato superficiale che riporta valori minimi di circa il 15% il grafico evidenzia che il suolo a 50 cm tende sempre a trattenere un contenuto d'acqua maggiore evidenziando una variazione del contenuto di argilla tra i 50 e i 70 cm. In particolare quello che differenzia lo strato a 50 e quello a 70 è il contenuto minimo che raggiunge il 30 ed il 20 % rispettivamente (Figura 33).

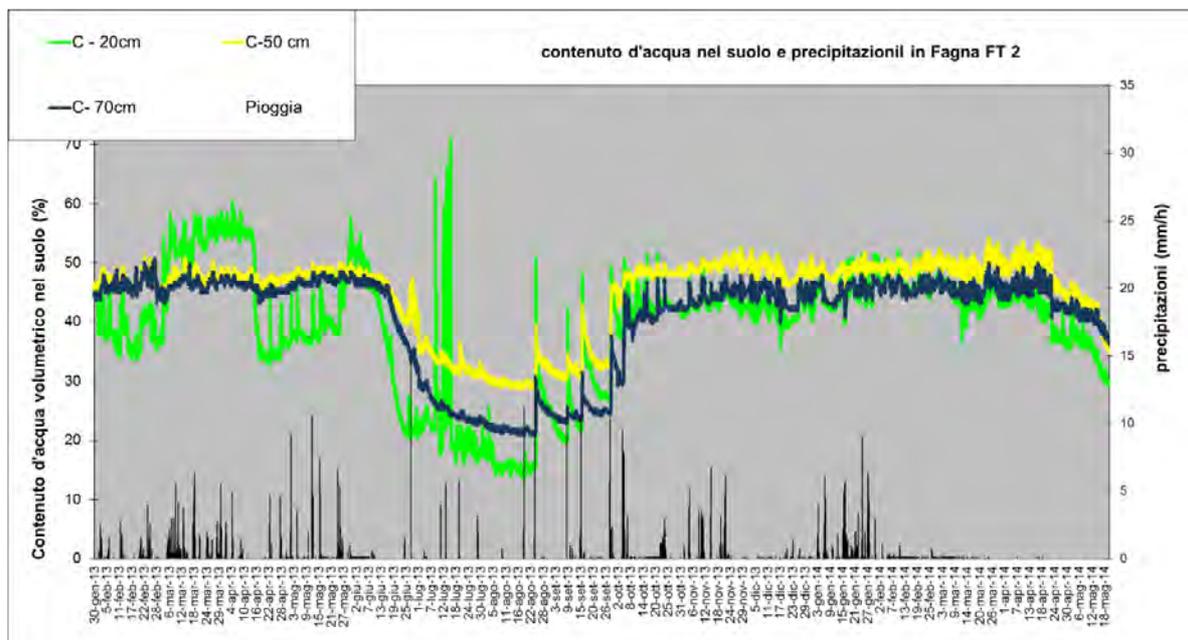


Figura 33. Variazione dell'umidità volumetrica dei suoli, registrata a 3 diverse profondità, e relativi dati di precipitazioni.

Il deflusso di falda, per circa 100 m lineari di Fascia Tampone, è pari a circa 8587 m³ anno⁻¹ e costituisce circa il 65% dei volumi d'acqua provenienti dalle precipitazioni; il restante 35%, è imputabile principalmente all'evapotraspirazione.

Dinamiche dell'azoto nei deflussi

Dall'osservazione delle Figura 34 e 35 è subito evidente come questa Fascia Tampone non sia risultata efficace nel rimuovere l'azoto inorganico durante tutto il monitoraggio effettuato. Le ragioni sono da ricercare nella eccessiva profondità della falda rispetto alla rizosfera della componente erbacea e probabilmente anche quella arborea. La componente arborea in ogni modo non è continua a causa di importanti fenomeni di erosione nella parte centrale della FT, ed è limitata, quando presente, ad un solo filare in prossimità della ripida sponda fluviale. La profondità della falda determina la mancanza di interazione fra le acque di falda e lo strato di suolo attivo in termini di processi biogeochimici (uptake, denitrificazione); questa mancata possibilità di interazione, cui si sommano le veloci dinamiche idrologiche, non permettono l'instaurarsi di condizione idonee per il verificarsi di processi depurativi, quali in particolare la denitrificazione e l'assimilazione della vegetazione.

Nella tarda primavera ed in estate i valori di azoto rilevati nelle acque campionate nel piezometro posto in centro campo (IN) sono molto inferiori a quelli misurati nella Fascia Tampone, la causa più probabile è il rallentamento che le acque subiscono a circa metà del campo coltivato dovuto alla brusca riduzione di pendenza. In questa zona infatti sono stati osservati anche casi di *upwelling* che hanno creato locali allagamenti superficiali.

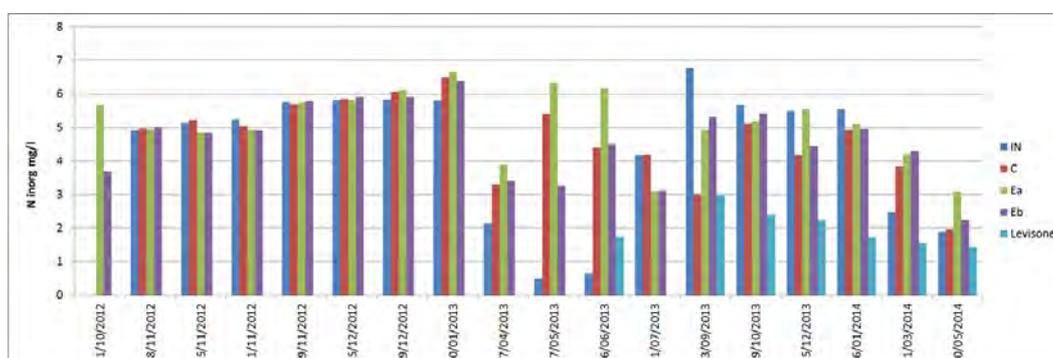


Figura 34. Concentrazioni di azoto inorganico (N_{inorg} mg/L-1) per ogni data di campionamento. IN=nel campo coltivato; C=controfattuale; Ea=fattuale II, Eb=fattuale III; Levisone=corso d'acqua adiacente alla Fascia Tampone.

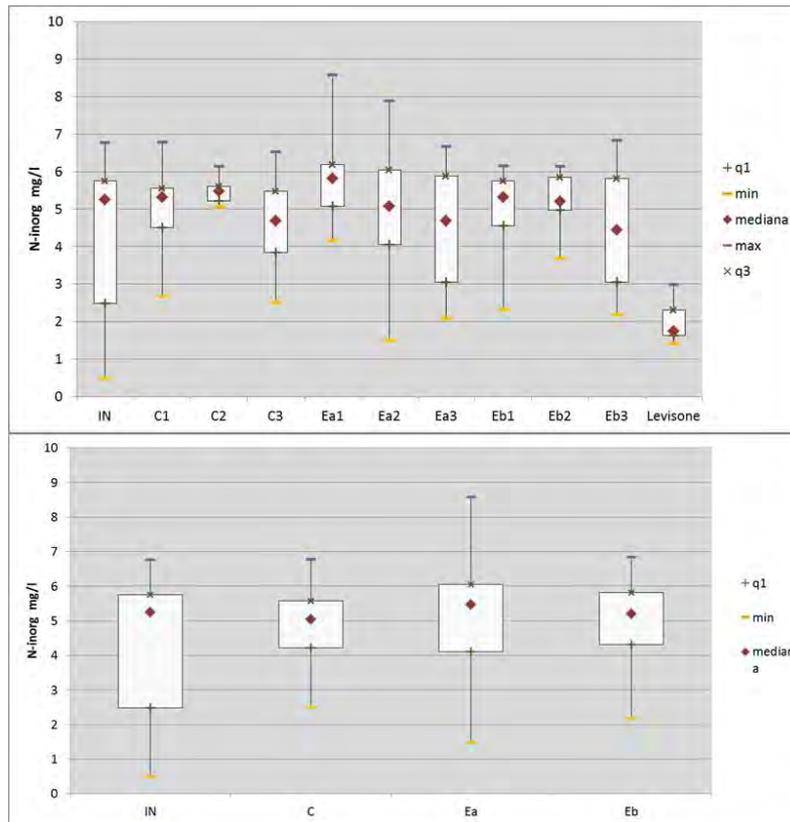


Figura 35. Il box plot mostra i valori medi dell'azoto inorganico. Nel grafico in alto le medie sono riferite ad ogni piezometro monitorato mentre nel grafico in basso i valori medi si riferiscono ai vari transetti: IN=in campo, C=controfattuale, Ea =fattuale II, Eb=fattuale III (q1=25% e q3=75%.) i valori si riferiscono al periodo di monitoraggio da ottobre 2012 a maggio 2014.

Dinamiche dell'azoto nel suolo

Le analisi del suolo sono state effettuate nel campo coltivato afferente alla Fascia Tampone sia all'inizio che alla fine del periodo di monitoraggio, allo scopo di rilevare eventuali accumuli o perdite. Mentre all'interno della Fascia Tampone sono stati effettuati campionamenti di suolo e relative analisi di N_{tot} e C_{org} solo alla fine del monitoraggio. Differenze significative sono state riscontrate tra il campo coltivato e la Fascia Tampone in particolare nel contenuto di Carbonio organico. Molto più evidente è la riduzione di carbonio organico lungo il profilo del suolo nella Fascia Tampone dove si passa ad un tenore di C_{org} del 1,65 in superficie a 0,70 a 50 cm di profondità (Figura 36).

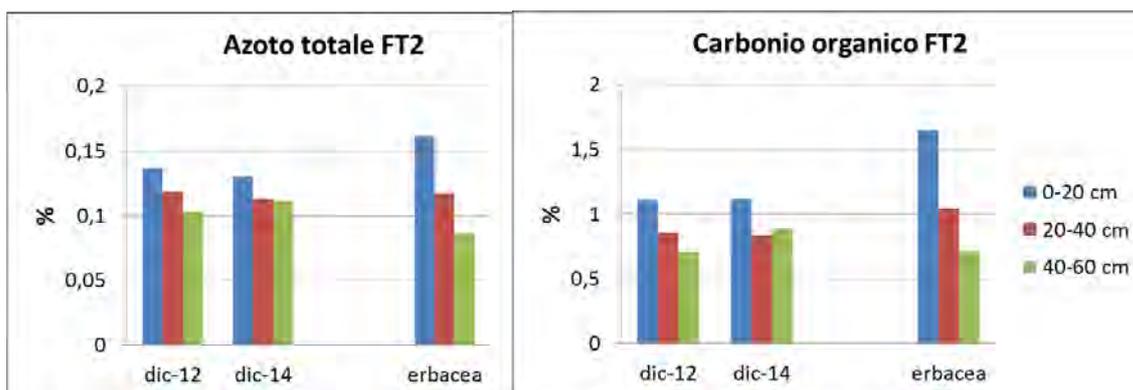


Figura 36. Concentrazioni di Ntot e Corg nei suoli del campo e della fascia erbacea. Gli istogrammi indicati come “dic-12” e “dic-14” si riferiscono alla zona a pieno campo.

Bilancio dell'azoto

Per quanto concerne i bilanci di massa calcolati nel periodo da febbraio 2013 a gennaio 2014, si osserva un cospicuo trasporto di azoto alla Fascia Tampone tramite deflussi di falda ($30,29 \pm 2,94 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) a fronte di una distribuzione pari a $120 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Come anticipato la Fascia Tampone sperimentale non ha in questo caso alcuna efficacia nel rimuovere questo carico di azoto; il bilancio calcolato in uscita è infatti pari a $29,42 \pm 5,08 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Vista la mancanza di fenomeni di ruscellamento superficiale questo valore può essere considerato l'apporto medio di inquinamento da azoto al corpo idrico. La mancata efficacia del sistema nel rimuovere azoto è ampiamente giustificabile con il passaggio dei deflussi in uno strato di suolo con dinamiche idrologiche molto veloci e molto poveri in termini di contenuto di carbonio.

Veneto Agricoltura - Azienda Diana

Dinamiche della falda ipodermica nei terreni dell'azienda Diana

L'azienda Diana è per lo più costituita da suoli con un elevato contenuto di limo e argilla 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 (si veda Gumiero *et al.* 2011 e Mastrocicco *et al.* 2013), 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 37). I movimenti di questi deflussi ipodermici vengono principalmente regolati dalla pendenza imposta ai terreni (circa 1-3%), dal campo coltivato alla scolina di drenaggio (baulatura alla ferrarese).

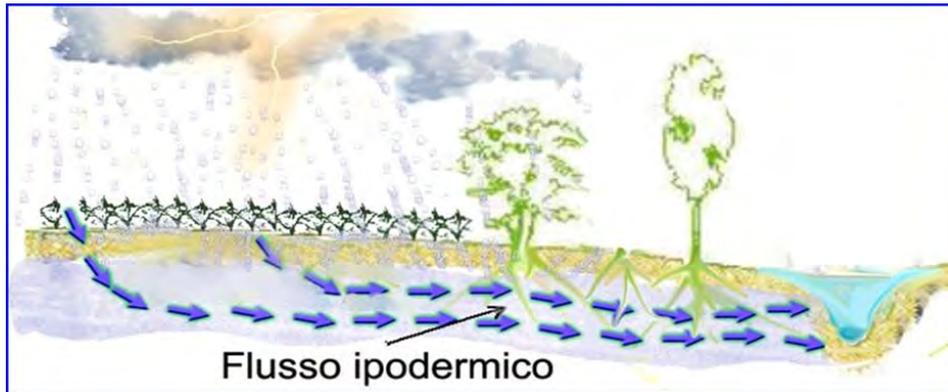


Figura 37. Schema concettuale che rappresenta i deflussi ipodermici temporanei che attraversano la Fascia Tampone nel primo metro di suolo nell'azienda Diana.

E' importante sottolineare che la durata delle condizioni di saturazione dipende molto dalle condizioni climatiche. Dall'autunno 2012 dopo un lungo periodo di scarse precipitazioni è iniziato 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. Inoltre 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.

In sintesi nei terreni monitorati in anni abbastanza piovosi si ha una falda quasi continua da fine autunno fino a primavera inoltrata. 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. 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 coltivato 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 oramai ben sviluppati. 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 precedenti studi. 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.

Azienda Diana - sito FT1

Dinamiche idrologiche

Il bacino agricolo afferente alla Fascia Tampone sperimentale FT1 è stato definito sulla base dell'andamento delle linee di quota; la larghezza è di circa 10 metri di conseguenza il rapporto tra la FT ed il bacino complessivo è di 33,3% (Figura 38). Questo assetto idrologico dipende dal tipo di sistemazione dei terreni con baulatura "alla ferrarese". La Fascia Tampone quindi occupa una superficie molto significativa rispetto a quella del bacino agricolo e di conseguenza tratta volumi molto contenuti di circa 1000 m³ anno per 100 m di FT. Nella stessa figura vengono riportate anche le linee preferenziali di deflusso principale.



Figura 38. Individuazione dell'area di bacino sotteso alla Fascia Tampone, in blu le linee di maggior deflusso superficiale.

La falda è confinata inferiormente dalla presenza di uno strato impermeabile argilloso compatto posto indicativamente a 1 metro di profondità da p.c. I deflussi di falda avvengono all'interno di uno strato di suolo franco argilloso come evidenziato dalla **Tabella 13**. Il suolo è stato soggetto fino all'inizio della sperimentazione ad azioni ripetute di aratura profonda che nel tempo hanno portato ad avere una maggior conducibilità idraulica (K_s) anche in zone interessate dai fenomeni di saturazione.

Tabella 13. Tessitura dei suoli a diverse profondità, nel campo coltivato (in alto) nella Fascia Tampone (in basso).

campo	Sabbia	Limo	Argilla	def
profondità	%	%	%	
0-20 cm	32	37	32	franco argilloso
20-40 cm	31	37	32	franco argilloso
40-60 cm	30	37	33	franco argilloso
FT	Sabbia	Limo	Argilla	
cm	%	%	%	
0-20 cm	31	39	29	franco argilloso
20-40 cm	31	39	30	franco argilloso
40-60 cm	32	39	29	franco argilloso
60-80 cm	16	56	28	franco limoso
80-110 cm	8	62	30	franco limoso
110-130 cm	10	60	30	franco limoso
130-170 cm	24	57	19	limoso
170-180 cm	22	60	18	limoso

Come si può osservare dalla Figura 39 la falda superficiale non è continua, ma si hanno delle fasi di saturazione temporanee nel corso dei mesi freddi (da Novembre a Maggio). Nei restanti mesi non si creano condizioni di saturazione se non in presenza di sporadici eventi piovosi di forte intensità. La falda temporanea presenta oscillazioni molto evidenti in occasione di eventi piovosi intensi dove sovente raggiunge il piano campagna.

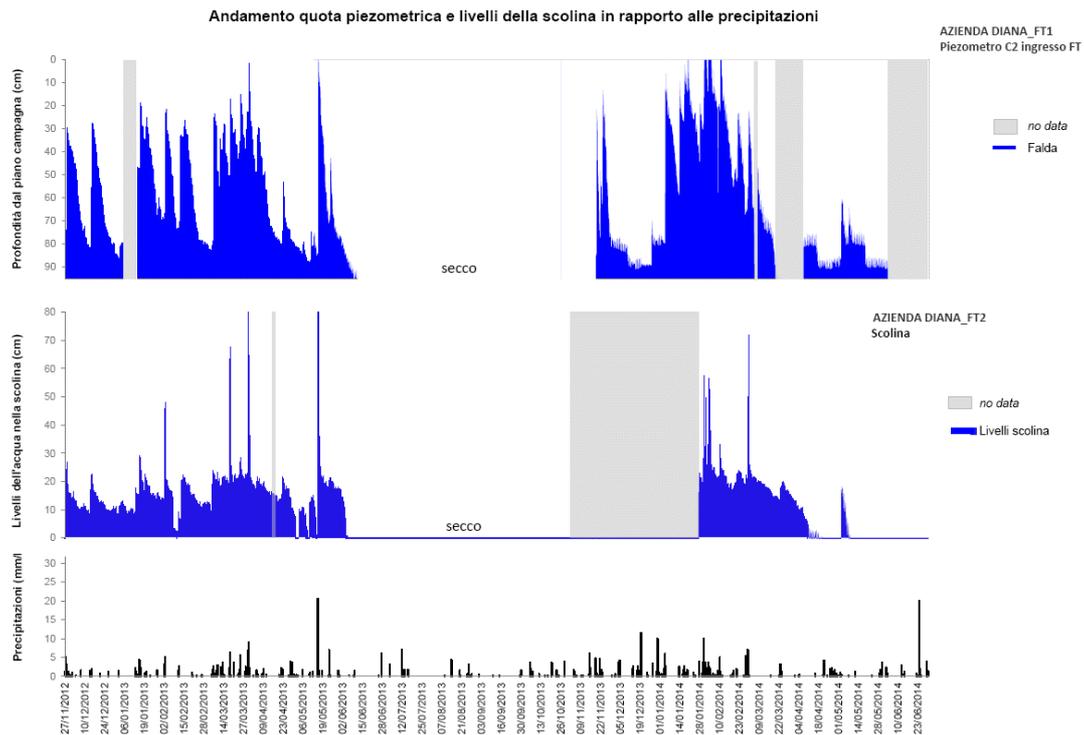


Figura 39. Profondità della falda dal piano di campagna nella sezione di entrata (in alto) e in quella di uscita (in basso) monitorata in continuo con freatimetro. I dati orari sono stati ottenuti partendo da dati rilevati con frequenza di 20 minuti. Nella parte inferiore del grafico sono state riportate le precipitazioni.

La differenza di quota tra la sezione di entrata e quella di uscita della falda superficiale è imposta dalla baulatura dei terreni fatta appositamente per drenare le acque dal campo alla scolina. Come evidenziato dai grafici di Figura 40, che rappresentano le linee di quota del suolo e della falda in 3 momenti idrologici diversi, la falda ha un andamento diretto dal campo verso la Fascia Tampone e quindi alla scolina seguendo con buona approssimazione l'andamento delle quote del terreno.

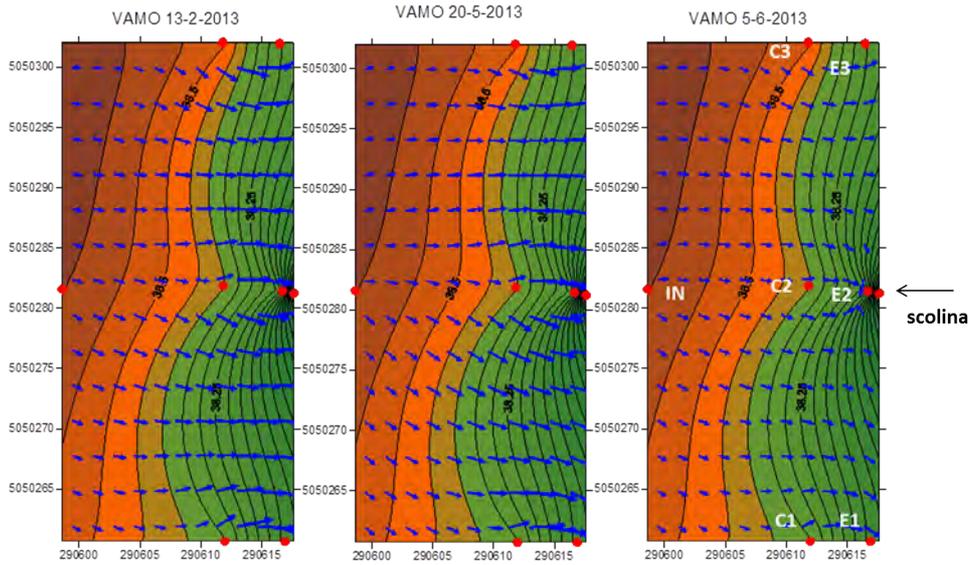


Figura 40. Altezze piezometriche in diversi momenti idrologici. I pallini rossi indicano la posizione dei diversi piezometri, per maggior chiarezza per alcuni vengono riportate le sigle.

Il grafico di Figura 41 mostra l'andamento nel tempo delle quote di falda ed evidenzia un andamento stabile nel tempo in tutti i piezometri. L'andamento dei valori medi coerentemente con quanto affermato sopra mostrano un dislivello quasi costante tra la sezione d'entrata e quella di uscita della Fascia Tampone di circa 30 cm.

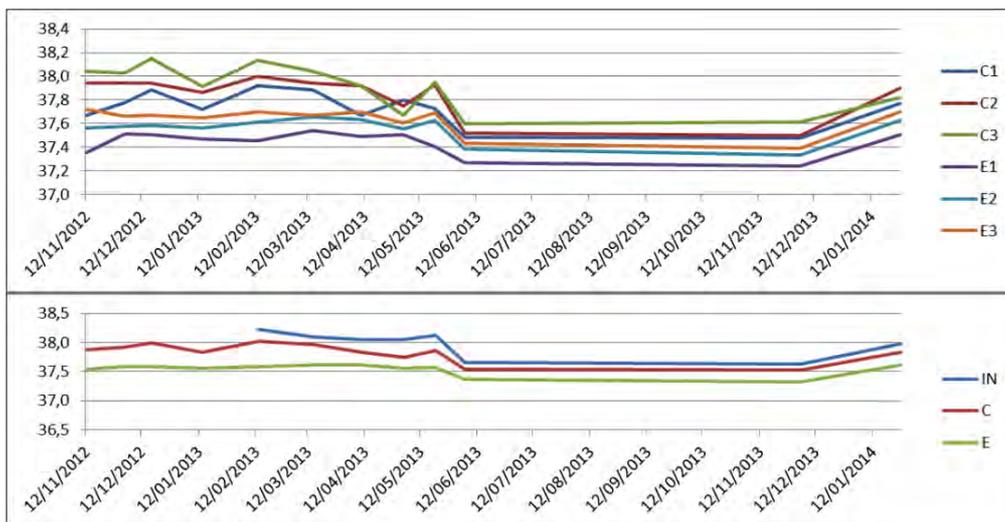


Figura 41. Altezze piezometriche nel tempo rilevate in tutta la rete di piezometri: in basso i valori medi per le diverse sezioni. IN=nel campo coltivato; C=controfattuale; E=fattuale I.

Il deflusso di falda in 100 m di FT è pari a circa $919 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ e costituisce il 55,8% dei volumi d'acqua provenienti dalle precipitazioni; il restante è imputabile prevalentemente ai fenomeni di evaporazione ed evapotraspirazione e saltuariamente a deflussi superficiali. I deflussi superficiali (runoff) sono stati misurati durante il progetto MO.NA.CO. nell'altro sito FT2 dell'azienda Diana che presenta pendenze e caratteristiche del suolo molto simili, i risultati vengono discussi di seguito in questa sezione.

L'analisi delle variazioni dell'umidità volumetrica dei suoli in funzione delle precipitazioni, registrata a diverse profondità, permette di verificare e approfondire le dinamiche idrologiche del sito (Figura 42). Il contenuto massimo d'acqua di questi terreni (saturazione) varia tra un minimo del 30, registrato nel periodo luglio-settembre a un massimo del 60%. Questo valore massimo viene mantenuto pressoché costantemente in tutti gli strati del terreno ad eccezione della sonda posta in superficie che come da attesa ha registrato continue fluttuazioni. Evidenti oscillazioni sono state misurate in tutti gli strati monitorati nel periodo estivo in assenza della falda temporanea.

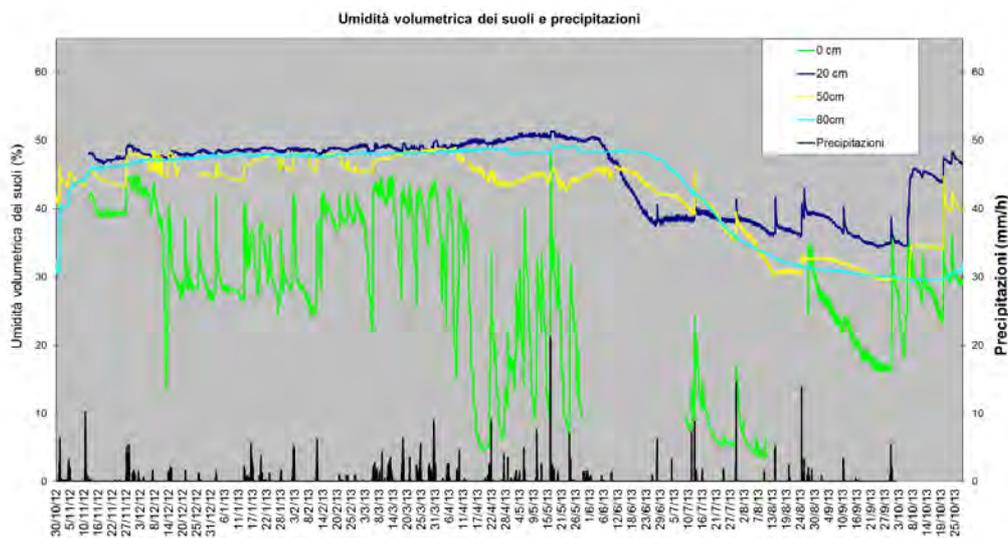


Figura 42. Variazione dell'umidità volumetrica dei suoli, registrata a 3 diverse profondità, e relativi dati di precipitazioni.

Dinamiche dell'azoto nei deflussi

L'andamento delle concentrazioni di azoto inorganico (che rappresenta la quasi totalità dell'azoto disciolto e composto per lo più da azoto nitrico) nelle acque di falda è rappresentato nella Figura 43. Focalizzando l'attenzione solo su entrata (C) ed uscita (E) possiamo osservare un andamento variabile durante l'anno dovuto in parte alla stagionalità ed in parte al fatto che questa Fascia Tampone è stata realizzata su precedente arativo, appositamente per il progetto MO.NA.CO e quindi nel 2012 era ancora in una fase di trasformazione che conseguentemente la rende instabile. Già a partire dal secondo anno di monitoraggio si evidenzia una maturazione del sistema che determina una maggior efficacia delle capacità di rimozione dell'azoto. Nonostante si formino deflussi preferenziali, come sopra descritto, questo suolo tende ad essere conservativo di conseguenza i periodi di concimazione non vengono seguiti da picchi di azoto in uscita dal campo ma l'aumento di azoto nei deflussi è maggiormente legato alle precipitazioni che causano un forte dilavamento dei terreni.

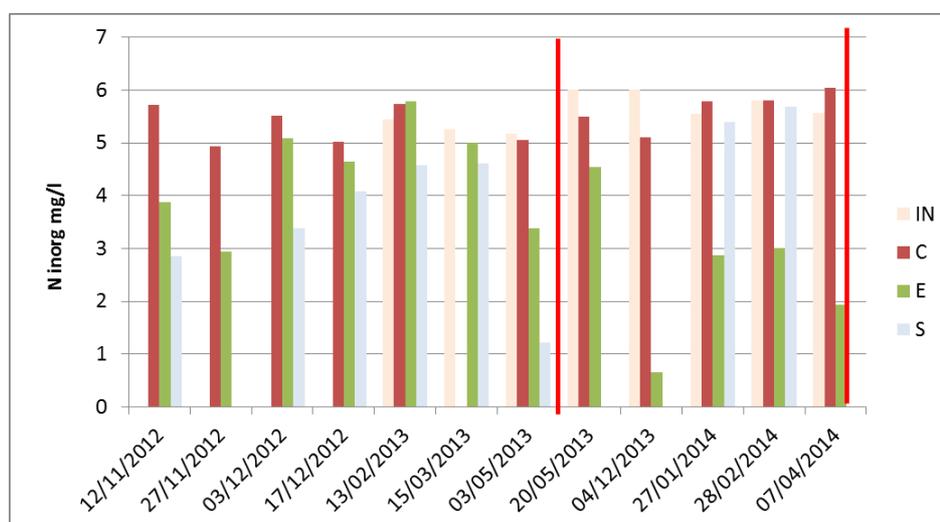


Figura 43. Concentrazioni di azoto inorganico per ogni data di campionamento. La linea rossa indica concimazione. IN in campo, C = controfattuale, E =fattuale I, S= scolina

Le mediane dei valori (Figura 44 in alto) di azoto inorganico misurato nelle acque raccolte all'interno di ogni piezometro da novembre 2012 ad aprile 2014 mettono in evidenza che: i) le concentrazioni di azoto inorganico nel campo coltivato sono simili a quelle che escono; ii) la sezione d'entrata della Fascia Tampone (C1, C2, C3) presenta valori costanti in

tutto il periodo che si aggirano attorno ai 5-6 mg/l; iii) un'elevata variabilità dei valori di uscita dalla Fascia Tampone (E1, E2, E3); iv) valori tendenzialmente inferiori nella fascia E1. Infine le mediane dei valori relative ai transetti mettono in evidenza la rimozione dell'azoto inorganico avvenuta all'interno della Fascia Tampone (Figura 44 in basso).

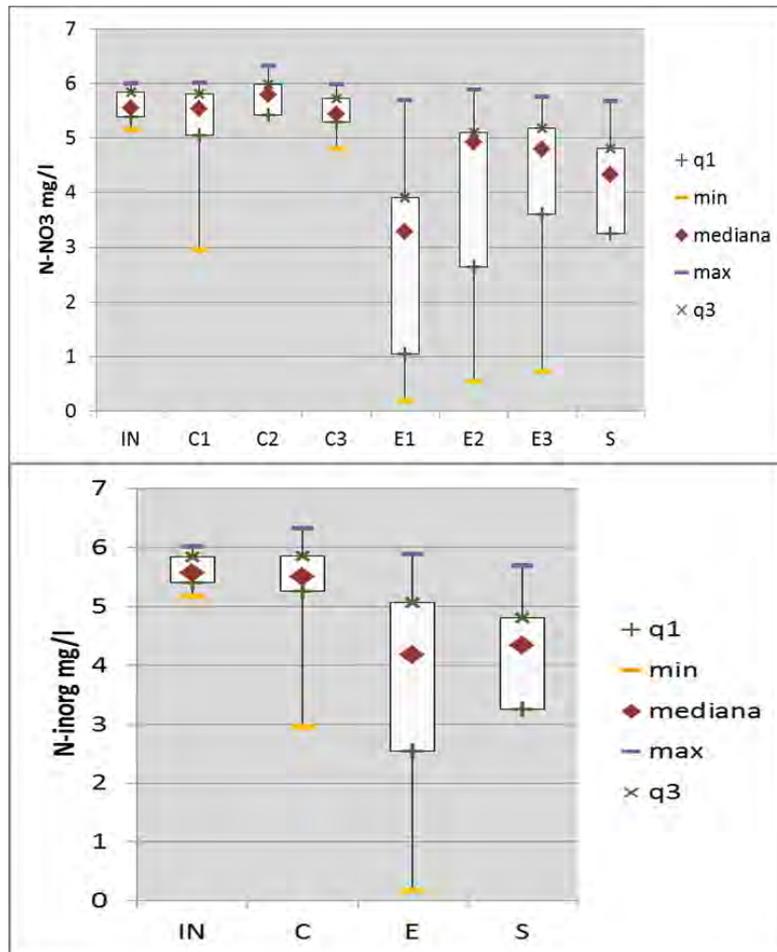


Figura 44. Il box plot mostra i valori medi dei azoto inorganico. Nel grafico in alto le medie sono riferite ad ogni piezometro monitorato mente nel grafico; in basso i valori si riferiscono ai vari transetti: IN=in campo, C=controfattuale, E=fattuale I, S=scolina (q1=25% e q3=75%). I valori si riferiscono al periodo di monitoraggio da novembre 2012 ad aprile 2014.

Bilancio dell'azoto

In questo sito si è osservato un netto incremento della rimozione a partire dal secondo anno di monitoraggio, dovuto probabilmente ad una maggior maturazione della neo-realizzata Fascia Tampone. Complessivamente, nel periodo 01/05/2013 - 30/04/2014 sono giunti alla Fascia Tampone tramite deflussi sub-superficiali $33,21 \pm 1,34 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ di N_{inorg} a fronte di

una distribuzione pari a $250 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Questo carico è da considerarsi molto elevato vista la ridotta superficie di bacino afferente. Evidentemente il tipo di lavorazione del terreno ed il sistema a baulatura favoriscono l'instaurarsi di fenomeni di ruscellamento sub-superficiale con conseguente trasporto dell'azoto. Di questi nella scolina sono giunti $17,29 \pm 1,24 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$; si è avuta quindi una buona efficienza di rimozione (48%). L'andamento nel tempo delle rimozione porta ad ipotizzare che una volta giunta a maturazione la fascia possa rimuovere percentuali superiori al 70% di azoto come già osservato in altri siti dell'azienda.

Azienda DIANA- sito FT2

Dinamiche idrologiche

Dalla tessitura del profilo del suolo (Tabella 14) è possibile distinguere un orizzonte superficiale di 30 cm a tessitura franco limoso argillosa, con permeabilità stimata moderatamente alta, uno strato sottostante fino a 100 cm di profondità con caratteristiche tessiturali simili ma una permeabilità stimata moderatamente bassa. Al di sotto si trovano due orizzonti di spessore di circa 25 cm e 35 cm, franco limoso argilloso, in cui la percentuale di argilla sale fino al 34% e 48,8% rispetto al 18-21% 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 14. Valori di tessitura dei diversi orizzonti di suolo rilevate l'11 maggio 2011 nell'area sperimentale.

prof.	Sabbia	Limo.	Argilla
cm	%	%	%
0-30 cm	18	65	17
30-50 cm	19	64	17
50-70 cm	23	62	16
70-100 cm	14	65	21
100-125 cm	4	62	34
125-160 cm	5	47	49

Come per il sopradescritto sito FT1 anche questo sito nel primo metro circa di suolo viene attraversato da deflussi ipodermici temporanei (da maggio a fine novembre). Per contro nel periodo da dicembre ad aprile si evidenzia una presenza quasi costante della falda (Figura 45).

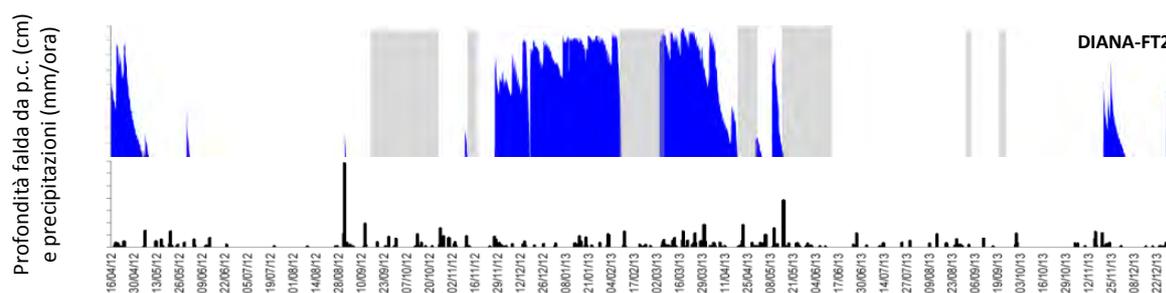


Figura 45. Altezza di falda misurata “in continuo” (1 dato ogni 30 minuti) e precipitazioni orarie dal 16 aprile al 31 dicembre 2013.

L’andamento delle quote piezometriche, durante i periodi di saturazione del suolo, evidenzia, come in quasi tutti i rilievi effettuati, che i deflussi diretti dal campo alla scolina attraversano la Fascia Tampone mantenendosi pressoché perpendicolari rispetto alla scolina stessa; la falda quindi defluisce interamente attraverso il sistema tampone con andamento simile a quello del piano campagna.

L’analisi delle variazioni dell’umidità volumetrica dei suoli (rilevate con sonde FDR) in funzione delle precipitazioni permette un’ulteriore lettura delle dinamiche idrologiche in atto (Figura 46). I valori massimi, di umidità volumetrica che indicano la condizione di saturazione, misurati durante il periodo di studio, sono dell’ordine di 50% corrispondente ai valori di letteratura per questi suoli a tessitura franco-limoso. 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. 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 stagioni fredde 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 (15%) raggiunti in estate e prima parte dell'autunno nel 2013. I valori massimi di umidità volumetrica, indicatori di condizioni di saturazione del suolo, perdurano da dicembre a maggio anche se con alcune oscillazioni.

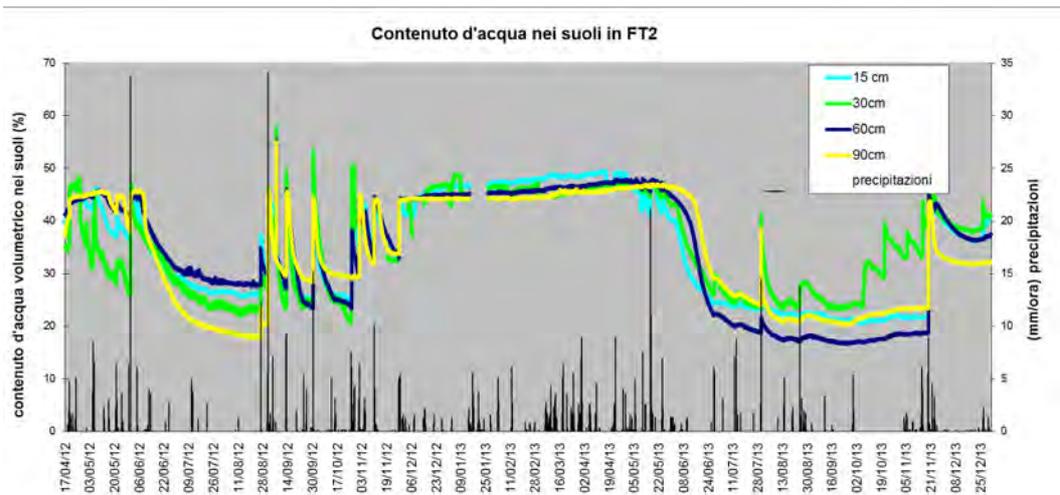


Figura 46. Variazione dell'umidità volumetrica dei suoli, registrata a 4 diverse profondità, e relativi dati di precipitazioni.

Una stima dei deflussi sub-superficiali e superficiali (runoff) nella sezione di entrata e uscita del sistema tampone sono riportati nella [Tabella 15](#). Il sistema di raccolta delle acque di ruscellamento (runoff) è stato installato 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, di 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 variabili sono favorevoli.

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 del 2-3% in questo sito.

Tabella 15. Principali voci del bilancio idrologico relativo al sito dell'azienda Diana FT2.

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	%	%
2012	755	342,6	331,13	11,5	45,4	3,4
2013	1116	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	%	%
2012	755	342,6	293,47	49,1	45,4	14,3
2013	1116	755,8	622,65	133,14	67,7	17,6

Dinamiche dell'azoto nei deflussi

Confermando quanto riscontrato in precedenti progetti (Life+ AQUA) sono state stimate perdite di azoto dal campo coltivato estremamente contenute mentre sono stati registrati valori di azoto inorganico più elevati nelle acque raccolte all'interno del campo coltivato (segnalato come IN) nel campionamento del 28/2/2014. In generale i suoli in cui è avvenuto il monitoraggio 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 nitrico, nelle acque di dilavamento del campo, sono risultati estremamente bassi con valori medi solitamente inferiori ad 1 mg/l (Figura 47). Dall'indagine idrologica dei suoli si è visto che gli unici momenti in cui si possono formare consistenti e rapidi deflussi 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 si è venuta a creare precedentemente alla nostra indagine ed esattamente in novembre 2011 e marzo 2012 (progetto LIFE AQUA) di conseguenza è stato ritenuto opportuno riportarlo in Figura 47.

Un'altra causa che può spiegare le concentrazioni modeste rilevate durante l'intero monitoraggio sono le tecniche di spandimento dei concimi organici. L'azienda Diana essendo un'azienda sperimentale usa tecniche sostenibili ed attente oltre che adeguate alla tipologia di suolo, inoltre la distribuzione frazionata in più periodi aumenta l'efficacia di assorbimento da parte della coltura.

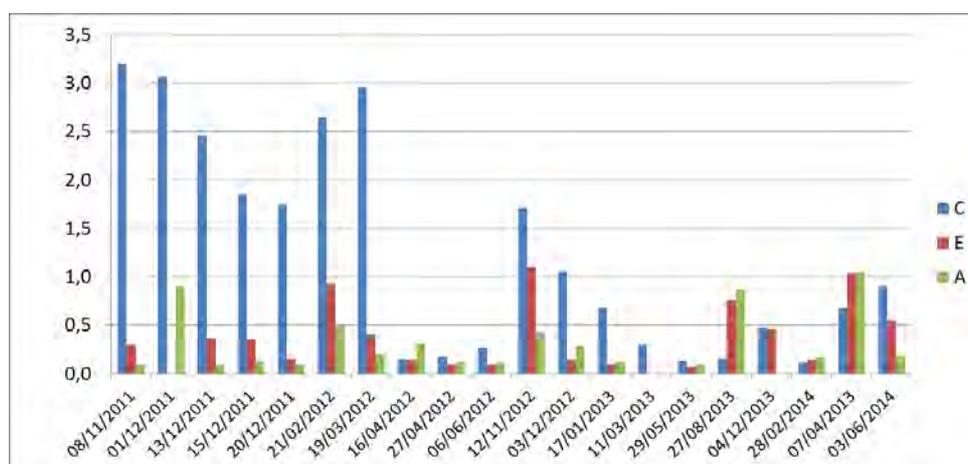


Figura 47. Concentrazioni medie dei nitrati in diversi momenti nelle tre zone della Fascia Tampone afferente al sito Diana FT2. C= controfattuale; E=fattuale II; A= fattuale III

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. Nei campioni d'acqua raccolti l'11 marzo 2013 a 90 cm di profondità sono state registrate concentrazioni di 26,6 e 16,3 mg/l di azoto totale. 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 a 5,4 mg/l. A conferma vengono in aiuto anche i valori di azoto nitrico misurati nei suoli a diverse profondità che mediamente hanno registrato valori tra i 5 e i 10 mg/kg di N-NO₃ con valori massimi tra i 15 e i 20 mg/kg.

Bilancio dell'azoto

Complessivamente, nel corso del 2013 sono giunti alla Fascia Tampone, tramite deflussi sub-superficiali solo $3 \pm 0,03 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ di N_{inorg} a fronte di una distribuzione pari a $170 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Di questi il 48,6% è stato rimosso. Le scarse uscite dal campo di azoto non

permettono di comprendere a pieno le potenzialità del sistema tampone nel rimuovere azoto. Siti con caratteristiche simili hanno infatti dimostrato di avere efficienze di rimozione significativamente più elevate (fino all'80%). E' possibile quindi che sia proprio la scarsità di azoto il fattore limitante per il processo di denitrificazione.

CREA-FLC (Lodi) - Azienda Baroncina

Dinamiche idrologiche

Grazie al rilievo topografico di precisione (vedi **Materiali e Metodi**) effettuato dal dott. Bazzoffi è stato possibile individuare un potenziale bacino idrografico afferente alla Fascia Tampone sulla base dei rilievi di quota (Figura 48). Nella stessa figura sono state riportate anche le linee preferenziali di deflusso superficiale.



Figura 48. Linee di maggior deflusso superficiale.

Il monitoraggio del deflusso sub-superficiale è stato effettuato nel primo metro caratterizzato da 35-30% di sabbia 44-50% di limo 17-30 % di argilla che viene definito franco limoso (Tabella 16).

Tabella 16. Tessitura dei suoli a diverse profondità nel campo coltivato (sopra) e nella Fascia Tampone (sotto).

LODI	Sabbia	Limo	Argilla
Campo	%	%	%
0-20	35	48	17
20-40	37	45	18
40-60	29	50	21
LODI	Sabbia	Limo	Argilla
FT	%	%	%
0-20	38	44	18
20-40	34	44	21
40-60	29	41	31

La falda nel metro di suolo monitorato non risulta permanente ma è caratterizzata da forti escursioni in corrispondenza degli eventi piovosi oppure in corrispondenza di interventi di irrigazione nei mesi di luglio ed agosto. Solamente nel periodo invernale (dicembre 2013 - marzo 2014) la falda si mantiene costantemente a circa 50 cm dal piano campagna con picchi che saturano l'intero profilo del suolo (Figura 48). Da sottolineare il fatto che in alcuni periodi le quote nella sezione d'uscita dalla FT risultano più elevate e ne consegue che probabilmente la falda in queste occasioni ha una direzione da FT verso campo coltivato opposta alle attese. Anche per questo sito è importante ricordare che il 2013 è stato caratterizzato da precipitazioni molto più abbondanti della media che hanno determinato diversi periodi di impaludamento della Fascia Tampone.

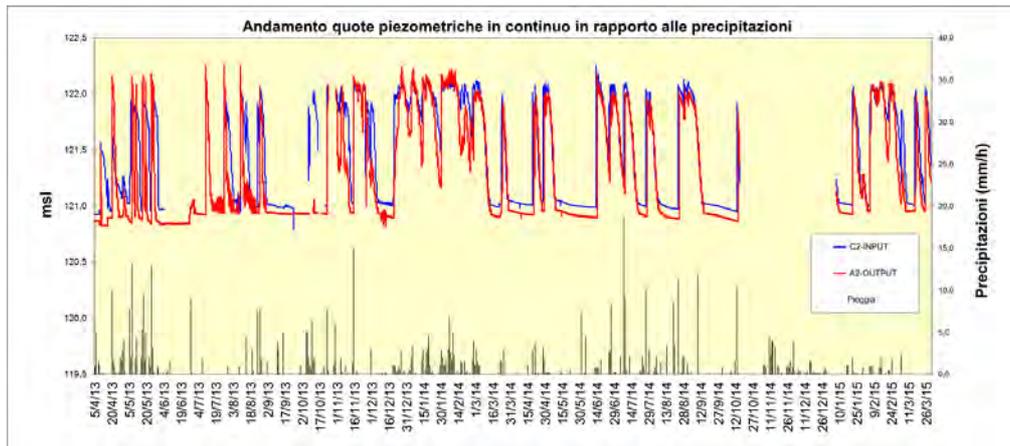


Figura 48. Profondità della falda dal piano campagna nella sezione in entrata (in blu) e quella di uscita (in rosso) monitorata in continuo con freattimetro. I dati orari sono stati ottenuti partendo da dati rilevati con frequenza di 20 minuti.

Al fine di interpretare i movimenti della falda dal campo al canale di scolo delle acque è stato utilizzato il software Surfer: dall'elaborazione delle quote del piano campagna e dei livelli di falda misurati in ogni piezometro con una frequenza quindicinale (nella Figura 49 ne vengono riportati alcuni come esempio), è stato possibile stimare la direzione delle acque che si muovono nel primo metro di suolo. Inoltre al fine di ottenere maggiori indicazioni sulla direzione della falda sono stati posizionati due piezometri uno in testa al campo (P11) e un altro al limite laterale del campo (P10). I risultati indicano chiaramente come non ci sia una direzione di falda prevalente di conseguenza la fascia monitorata non può essere considerata come il sistema tampone del campo limitrofo poiché viene attraversata eventualmente solo da una quantità parziale di deflusso delle acque che dilavano il campo coltivato, con variazioni temporali alquanto marcate.

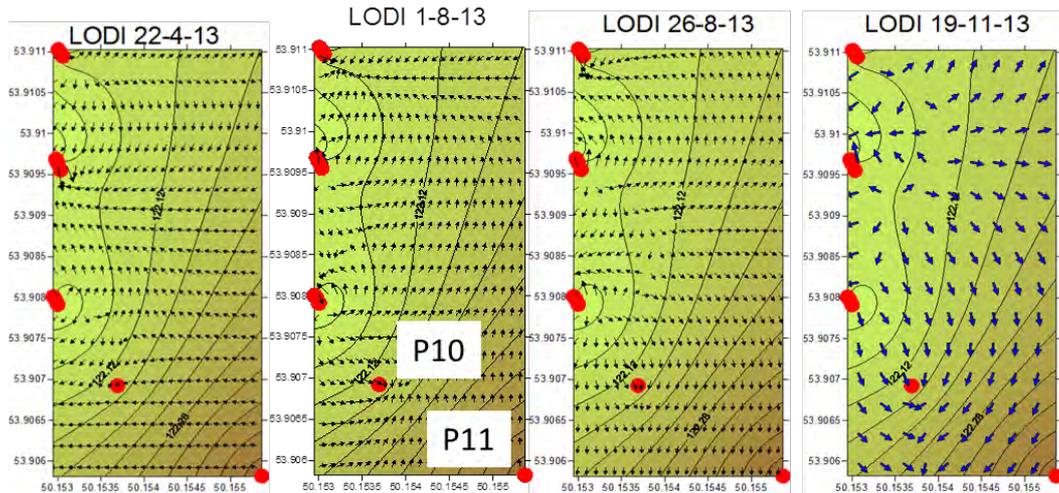


Figura 49. Posizionamento geo-referenziato della rete di piezometri, le frecce rappresentano la direzione dei deflussi definita in base alle quote rilevate dell'altezza di falda. Le curve sono isoipse ed il colore da scuro a chiaro rappresenta un decremento delle quote. I pallini rossi indicano la posizione geo-referenziata dei piezometri, per maggior chiarezza vengono segnalati i due piezometri posizionati uno lateralmente (P10) e l'altra al limite opposto del campo (P11).

La Figura 50 conferma che non c'è una differenza altimetrica costante tra una sezione e l'altra, e che in diverse occasioni la falda è più elevata all'uscita del campo (confinante con la FT), rispetto al punto opposto del campo indicando una direzione opposta rispetto alla Fascia Tampone.

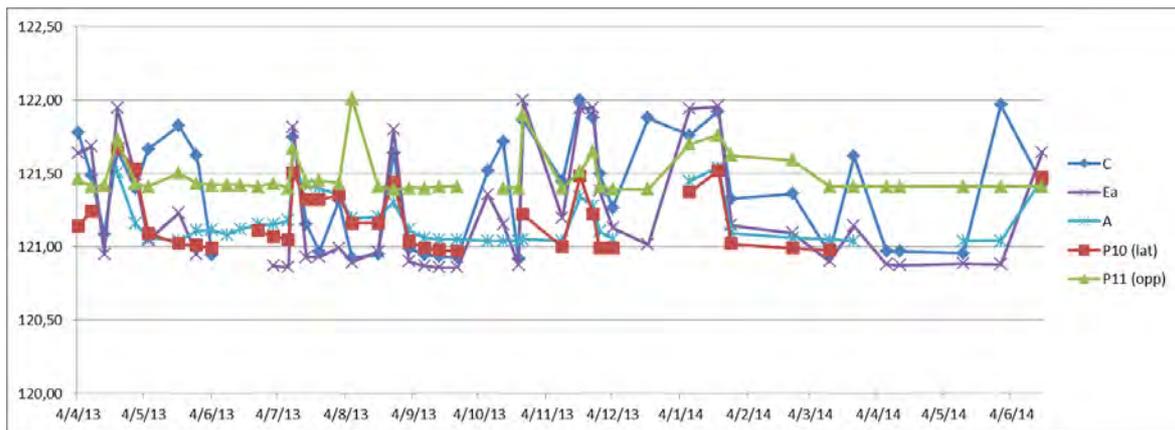


Figura 50. Altezze piezometriche puntiformi della falda rilevate in tutta la rete di piezometri installata

Le misure di infiltrometria sottolineano anche una certa eterogeneità delle dinamiche idrologiche all'interno della stessa Fascia Tampone ad ulteriore conferma di una condizione idrologica generale alquanto complessa sia nel tempo che nello spazio (Figura 51).

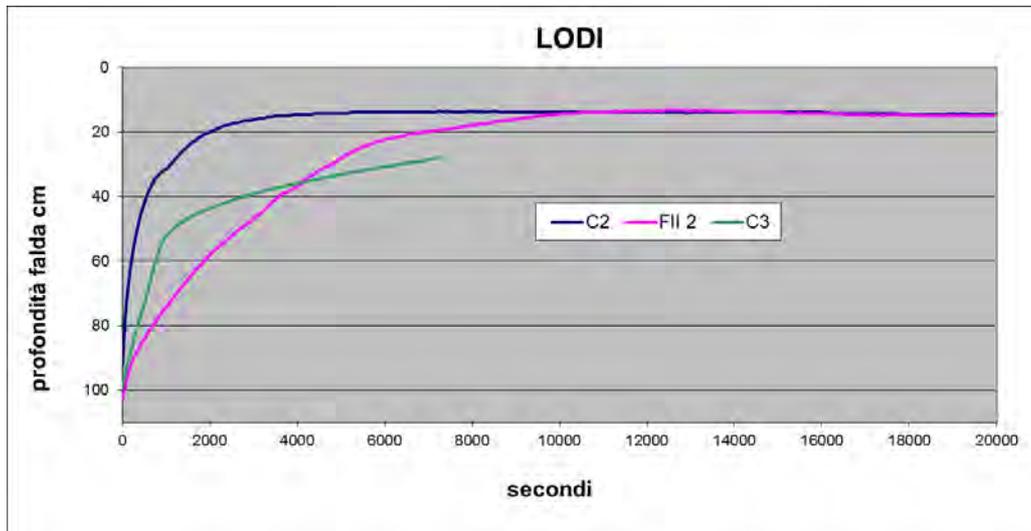


Figura 51. Velocità di infiltrazione misurate in tre diversi piezometri.

L'analisi delle variazioni dell'umidità volumetrica dei suoli, in funzione delle precipitazioni, registrata a diverse profondità permette di verificare ed eventualmente approfondire le dinamiche idrologiche nel primo metro di suolo (Figura 52). Il range dei valori misurati nella sezione d'entrata della Fascia Tampone varia da 35% a 50%, fatta eccezione per un breve periodo ad ottobre 2014 in cui è stato registrato il valore minimo di 22% d'acqua nello strato intermedio a 60 cm. I valori elevati misuranti anche durante il periodo estivo dipendono dalle attività di irrigazione. In generale è lo strato a 90 cm ad avere valori di umidità maggiori con lunghi periodi di saturazione. Confrontando gli stessi valori nella sezioni d'uscita collocata a soli 5 metri di distanza si possono notare diverse differenze quali: una maggior escursione e variabilità dei valori nello strato superficiale ma in particolare nello strato profondo. L'estrema variabilità rilevata a 90 cm risulta di difficile interpretazione non avendo a disposizione l'analisi della tessitura a questa profondità. Si può tuttavia azzardare che questo andamento variabile dipenda dalle variazioni di portata del canale di scolo che alimenta la falda almeno in questa prima parte della Fascia Tampone.

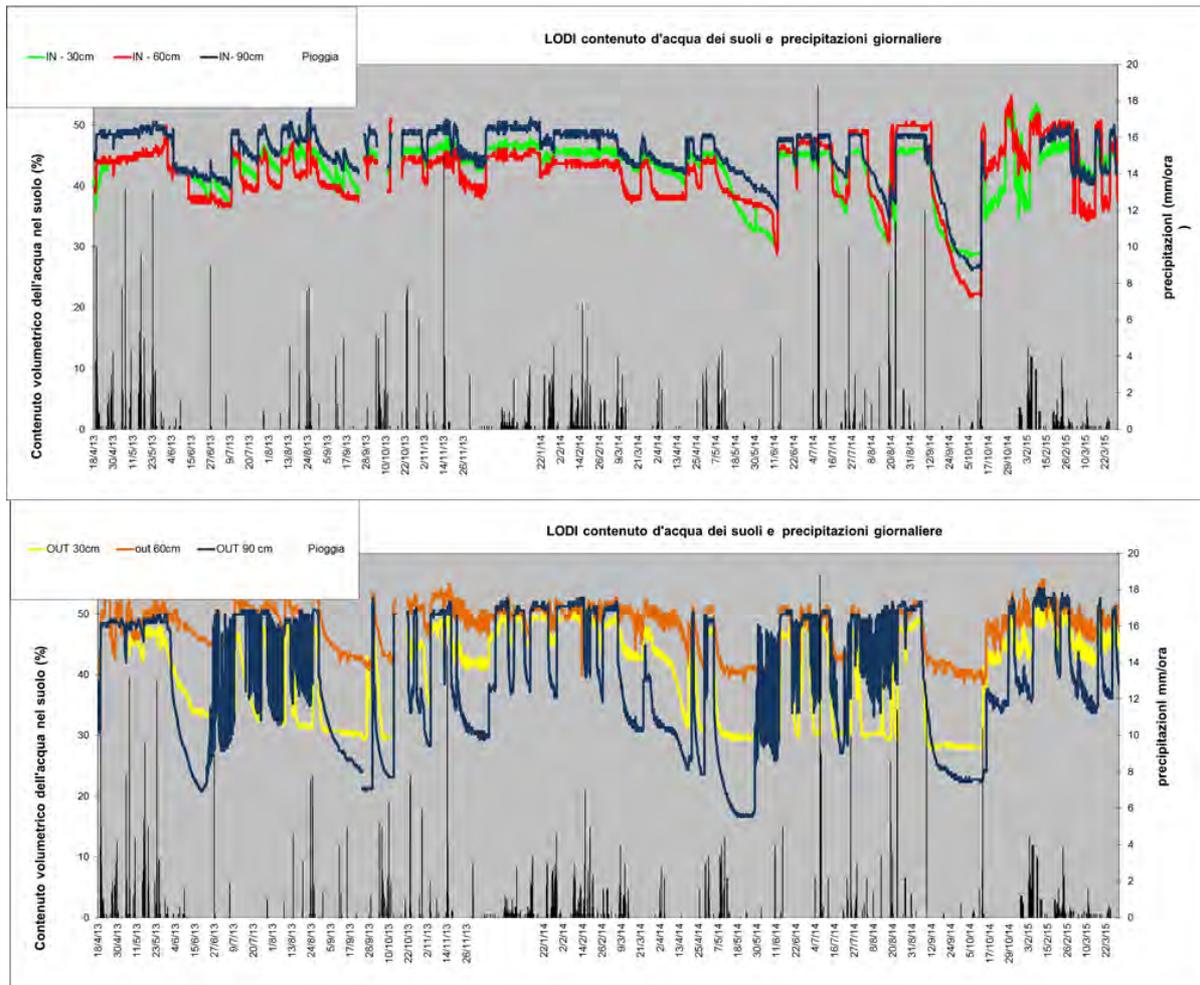


Figura 52. Variazione dell'umidità volumetrica dei suoli, registrata a 3 diverse profondità, e relativi dati di precipitazione. In alto vengono riportati i dati della sezioni in entrata della Fascia Tampone e in basso quelli della sezioni d'uscita.

Dinamiche dell'azoto nei deflussi

La Figura 53 mostra molto chiaramente che i valori massimi di concentrazione dei nitrati sono stati misurati nei piezometri P10 (posto lateralmente al campo) e P11 (posto nel lato opposto del campo rispetto alla locazione della FT). In particolare questi valori elevati rispetto alla media sono stati registrati in luglio e ottobre del 2013 e a maggio-giugno del 2014. Nella Figura 54 vengono riportati i valori misurati nelle acque campionate con lisimetri a suzione posti nel centro del campo: i campioni prelevati con lisimetri in ottobre e dicembre mostrano valori di N-NO₃ che variano da 1 a 4,5 mg/l mentre i valori medi registrati nelle acque in entrata ed in uscita dalla Fascia Tampone salvo poche eccezioni sono inferiori a 1 mg/l. I box plot riportati in Figura 55 confermano i valori molto contenuti di nitrati che transitano nella Fascia Tampone, ed evidenziano un'elevata variabilità dei valori nel piezometro laterale. I valori misurati nei campioni prelevati nel piezometro (P11) opposto alla

FT sono sempre nettamente superiori a quelli misurati in questo sito per tutto il periodo di monitoraggio (da aprile 2013 a giugno 2014).

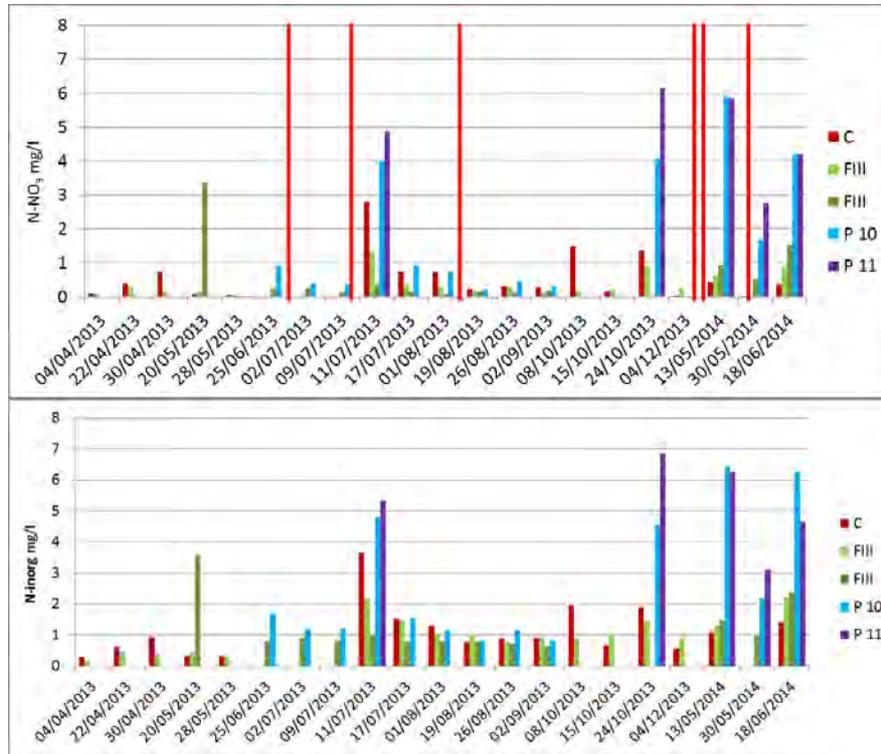


Figura 53. Valori di azoto nitrico (in alto) e di azoto inorganico (in basso) per ogni data di campionamento. Le linee rosse indicano distribuzione di concimi (organici o chimici).

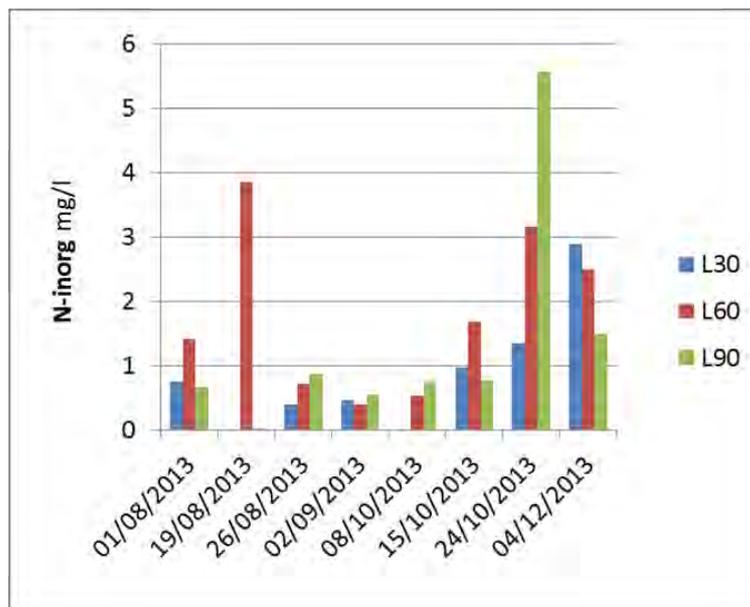


Figura 54. Valori di azoto inorganico misurati nei lisimetri posti nel campo coltivato campionati dal 1 agosto al 4 dicembre del 2013.

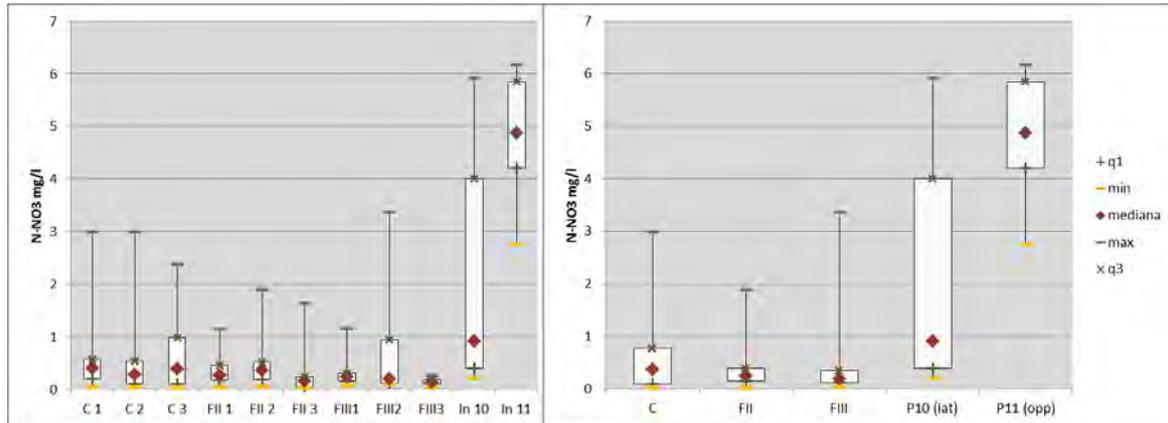


Figura 55. Il box plot mostra i valori medi dei nitrati. Nel grafico a sinistra le medie sono riferite ad ogni piezometro monitorato mentre nel grafico a destra i valori medi si riferiscono ai vari transetti: C=controfattuale, FII=fattuale II, FIII=fattuale III (q1=25% e q3=75%).

Dinamiche dell'azoto nel suolo

Misure in percentuale del contenuto di N totale e di Carbonio organico nel suolo sono state effettuate sia nel campo coltivato afferente alla Fascia Tampone sia nella Fascia Tampone, all'inizio ed alla fine del periodo di monitoraggio (Figura 56). Lo scopo di queste analisi è stato quello di rilevare eventuali accumuli o perdite di azoto avvenute durante il progetto e nel contempo avere una misura del carbonio organico. Il carbonio organico essendo alimento per i batteri denitrificanti è uno dei principali fattori limitanti del processo di denitrificazione che a sua volta ha un ruolo fondamentale nella rimozione dell'azoto nitrico. Il contenuto di azoto totale dei suoli campionati all'interno della Fascia Tampone rimane pressoché costante durante l'indagine ed anche tra gli strati non ci sono differenze significative. Il suolo nel campo presenta valori di azoto leggermente superiori nei primi due strati, mentre quello più profondo tra i 40 e i 60 cm mostra un accumulo maggiore di azoto ed evidenzia un trend positivo in quanto questi valori sono ulteriormente aumentati nei campioni prelevati a fine progetto. Per quanto riguarda il contenuto nei suoli di carbonio organico dalla Figura 56 si può osservare come lo strato superficiale (0-20 cm) presenti valori molto simili sia nel tempo (inizio-fine monitoraggio) che nello spazio (campo e FT), con valori medi di circa 1,1%. Per i due strati più profondi non si evidenziano differenze temporali mentre i valori misurati nella Fascia Tampone sono inferiori rispetto al campo.

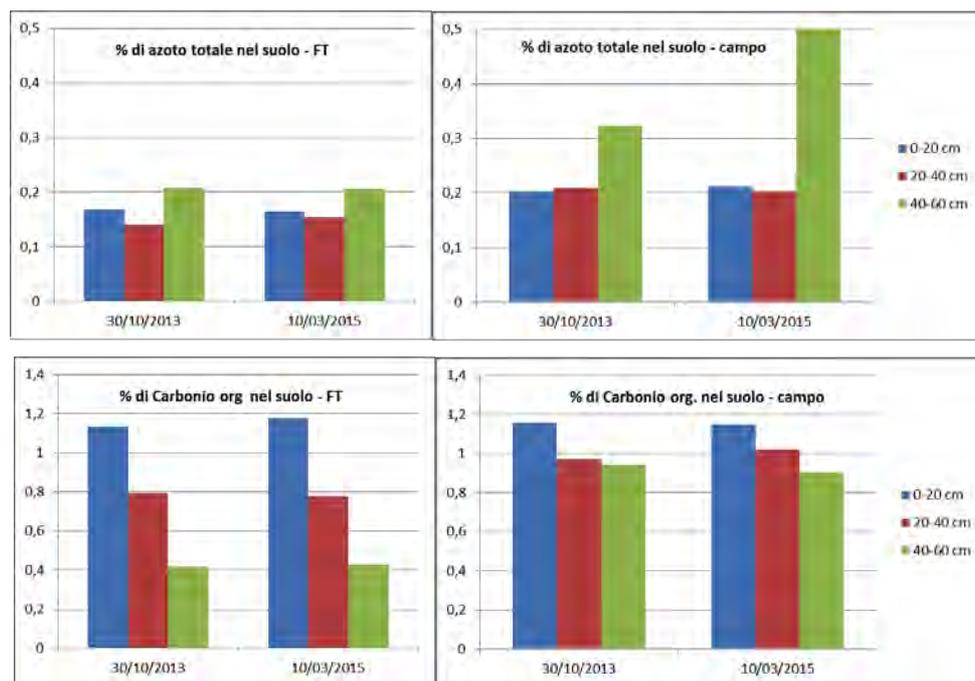


Figura 56. Contenuto di azoto e carbonio organico in % nei suoli a tre diverse profondità, inizio (30/10/13) e fine del periodo di monitoraggio (10/3/2015).

Bilancio dell'azoto

Come già spiegato, lo studio idrologico ha permesso di verificare che la falda raggiunta dalle forme azotate che percolano dal campo, non defluisce con una direzione prevalente diretta verso il sistema tampone. In questo caso la fascia vegetata presente non è in grado di intercettare, se non forse occasionalmente, i deflussi che dilavano il campo coltivato; ne consegue che non è possibile calcolare né la portata né il carico azotato in ingresso e in uscita dalla Fascia Tampone e quindi in termini di bilancio di massa l'efficacia è da considerarsi nulla.

CREA-RPS (Roma) azienda Tormancina

Da indagini preliminari e da informazioni ottenute nell'azienda è stato possibile disegnare uno schema ipotetico degli andamenti dei deflussi sub-superficiali del sito di monitoraggio presso l'azienda di Tormancina gestita dal CRA RPS. I suoli nel campo poggiano su uno strato di tufo che inizia a circa 1,8 metri. In prossimità della FT avviene una brusca riduzione di pendenza e grazie anche alla presenza di un piccolo argine naturale creatosi in prossimità della fascia arborea si forma una leggera depressione che in caso di

piogge abbondanti tende ad impaludarsi. Al di sotto della Fascia Tampone a circa 2-2,5 metri si trova uno strato argilloso impermeabile su cui poggia la falda superficiale (Figura 57).

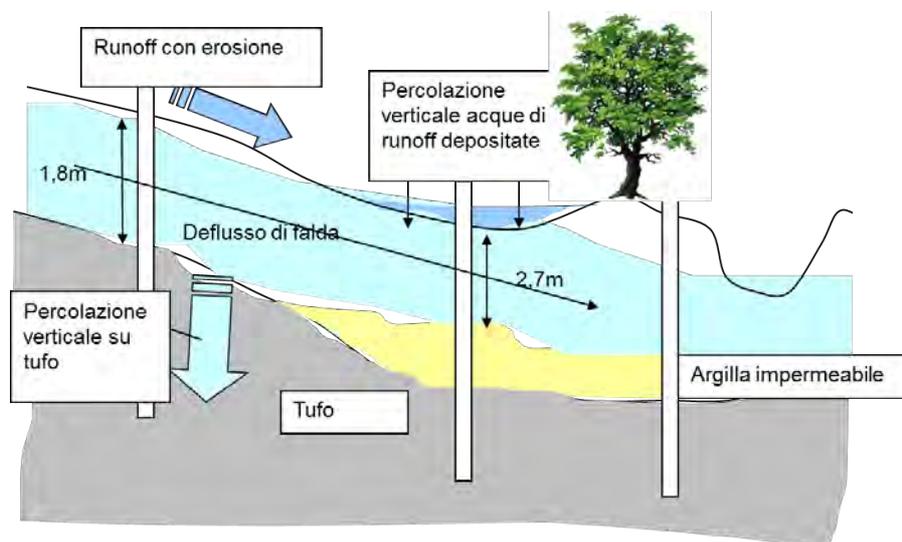


Figura 57. Schema concettuale del sito di monitoraggio con posizionamento delle sezioni piezometriche.

I deflussi di falda nel campo coltivato avvengono all'interno di uno strato di suolo fine argilloso come evidenziato dalla Tabella 17, nei suoli della Fascia Tampone si riduce la percentuale di argilla a favore del limo e in questo caso i suoli vengono denominati franchi.

Tabella 17. Tessitura dei suoli del campo coltivato e della Fascia Tampone a tre diverse profondità.

ROMA	Sabbia	Limo	Argilla	denominazione
campo	%	%	%	
0-20 cm	23	35	42	argilloso
20-40 cm	25	33	42	argilloso
40-60 cm	30	37	33	franco argilloso
ROMA	Sabbia	Limo	Argilla	denominazione
FT	%	%	%	
0-20 cm	29	46	25	franco
20-40 cm	31	44	25	franco
40-60 cm	47	32	22	franco

Dinamiche idrologiche

Il bacino agricolo afferente alla Fascia Tampone sperimentale è stato definito sulla base dell'andamento delle linee di quota ed è lungo 176 metri essendo la Fascia Tampone larga 8,5 metri il loro rapporto è di circa 5%.

Il grafico in Figura 58, che riporta la quota assoluta della falda in C2 (entrata) (vedi schema in Figura 11), mostra una falda permanente la cui superficie oscilla all'interno del primo metro di suolo. In particolare nel periodo invernale primaverile si mantiene per lo più nei primi 20-25 cm con brevi oscillazioni in cui tutto il profilo si satura. Solamente in agosto e settembre si abbassa fino ad un metro dal piano campagna. La portata del deflusso sub-superficiale che attraversa questa FT e quindi veicola gli inquinanti dal campo è di $4726 \text{ m}^3 \text{ anno}^{-1}$ per 100 metri di FT che rappresenta il 31,8% delle precipitazioni.

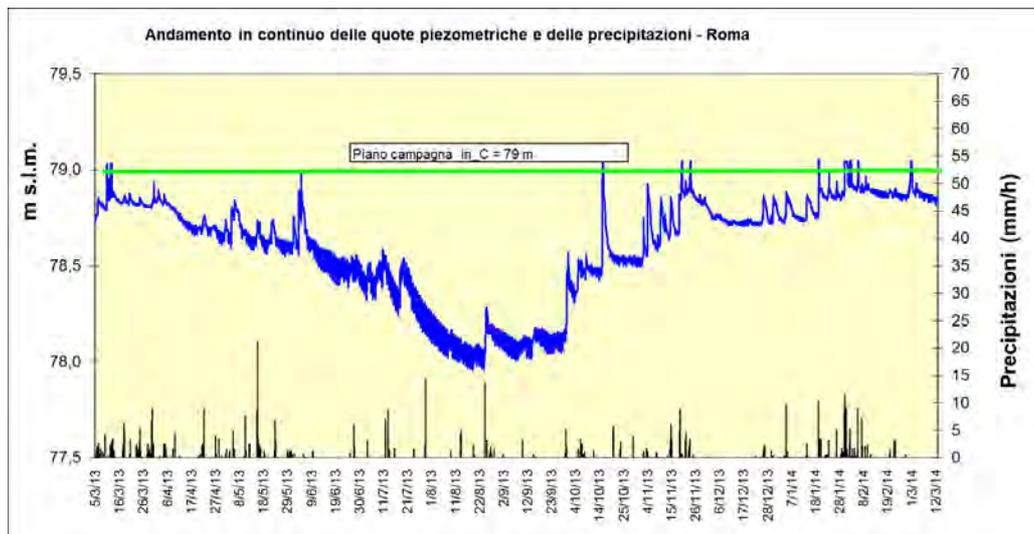


Figura 58. Profondità della falda da p.c. (79 metri s.l.m.) nella sezione d'entrata della FT (C) con monitoraggio in continuo delle altezze di falda. I dati orari sono stati ottenuti partendo da dati rilevati con frequenza di 20 minuti. Vengono anche riportate le precipitazioni.

Come evidenziato dai seguenti grafici di Figura 59, che rappresentano le linee di quota del suolo e della falda in 3 momenti idrologici diversi, la falda ha un andamento diretto dal campo verso la Fascia Tampone ed il corso d'acqua adiacente. Dalle quote del terreno nella figura si mette bene in evidenza la depressione dove è posizionata la sezione in entrata della Fascia Tampone (C1, C2, C3). Al di sotto di una certa quota si può avere anche una inversione di direzione che rimane confinata nella Fascia Tampone a causa della significativa pendenza del campo coltivato.

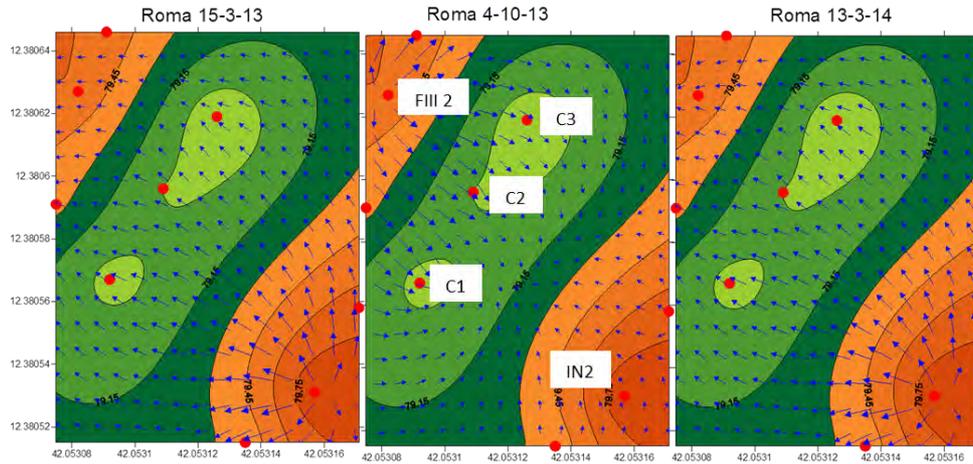


Figura 59. Altezze piezometriche in diversi momenti idrologici. Si rappresenta anche l'andamento delle quote del piano campagna. I pallini rossi indicano la posizione geo-referenziata dei piezometri, per maggior chiarezza in alcuni viene riportata l'etichetta.

Il grafico di Figura 60 fa vedere l'andamento nel tempo delle quote di falda in tutti i piezometri; si notano delle oscillazioni con andamento molto simile in tutti i piezometri; si osserva inoltre come le quote di falda a pieno campo siano nettamente superiori rispetto a quelle della sezione C di ingresso alla FT; i piezometri in uscita dalla Fascia Tampone si trovano sopra un piccolo argine che tuttavia non influenza i deflussi della falda sub-superficiale dal campo al canale tranne nei periodi in cui la falda si abbassa di circa un metro rispetto al piano campagna.

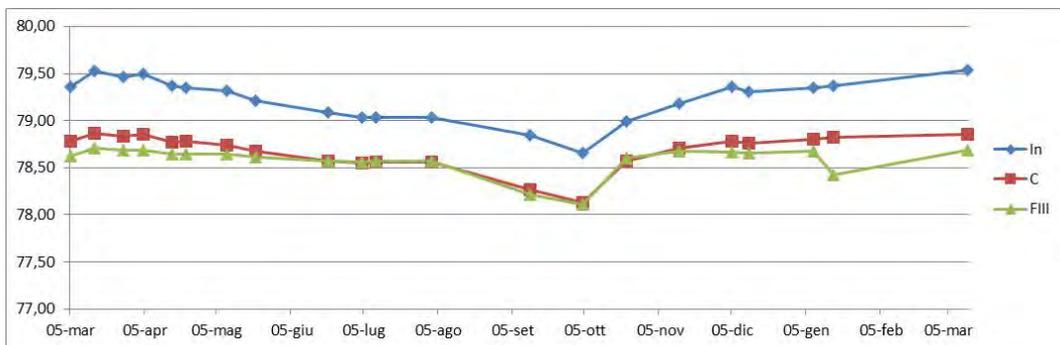


Figura 60. Altezze piezometriche nel tempo rilevate in tutti la rete di piezometri .

Per quanto concerne i deflussi superficiali (runoff) non sono stati installati strumenti specifici per la loro valutazione quantitativa; perché a causa della presenza dell'arginello già menzionato, esistente tra la sezione C e la FIII le acque di deflusso superficiale ristagnano nella Fascia Tampone dove lentamente si infiltrano.

Dinamiche dell'azoto nei deflussi

Nella **Figura 61** sono riportati gli andamenti delle concentrazioni sia di azoto inorganico, il quale rappresenta la quasi totalità dell'azoto disciolto, che di azoto nitrico (composto principale dell'azoto inorganico in circostanze "normali") nelle acque di falda. Tali concentrazioni sono state calcolate come valori medi dei campioni prelevati nei tre piezometri posti nel campo coltivato (IN), in quelli posti all'entrata della Fascia Tampone (C) ed infine dei tre all'uscita della Fascia Tampone.

Dall'osservazione dei due grafici è subito evidente la capacità del sistema di rimuovere l'azoto. Le concentrazioni di azoto nei piezometri posti in campo (IN) aumentano in concomitanza con le concimazioni mentre ciò avviene con un leggero ritardo in quelli in entrata nella Fascia Tampone (C). Valori variabili sono stati registrati in campo ed in C (input FT), costanti e molto bassi in uscita dalla Fascia Tampone (FIII). Situazione anomala in marzo 2013 la cui interpretazione richiederebbe ulteriori indagini. Dal confronto dei due grafici si può osservare come in presenza di valori molto bassi di nitrato corrisponda una maggior concentrazione di azoto inorganico che in questo caso è composto maggiormente da ammoniaca anziché nitrato. Questa condizione è particolarmente presente nella sezione d'uscita (FIII) della FT ed in minor misura nel campo (Figura 62). A conferma vengono riportate le composizioni medie dell'azoto inorganico sia in uscita che in entrata della Fascia Tampone. Una spiegazione plausibile può essere la carenza di ossigeno a causa della stagnazione delle acque.

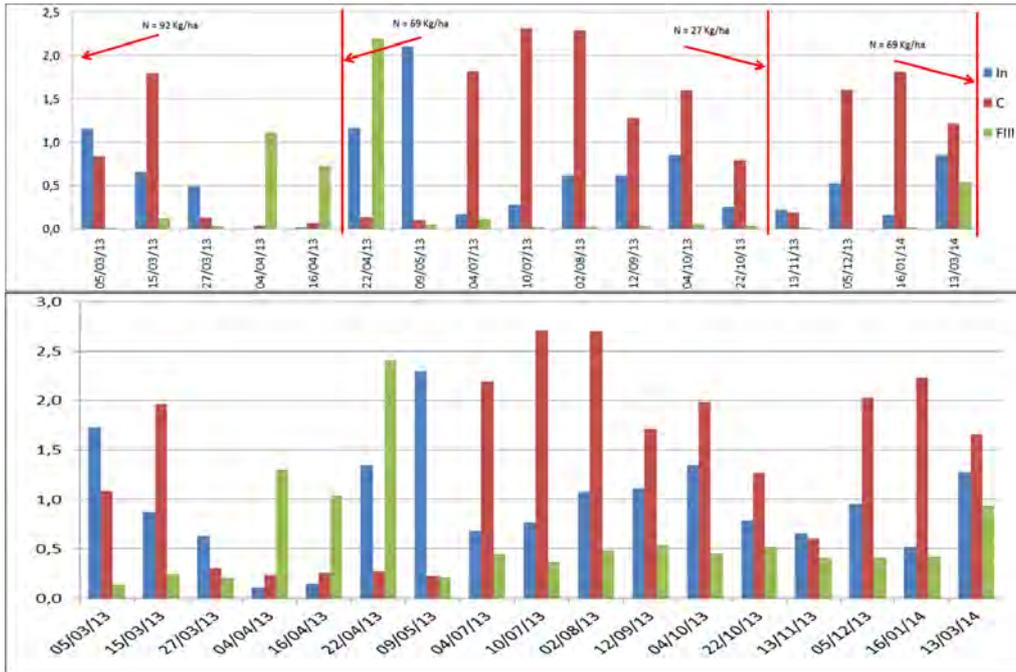


Figura 61. Concentrazioni medie di azoto nitrico N-NO₃ mg/l (sopra) e di azoto inorganico mg/l (sotto) per ogni data di campionamento. Le linee rosse indicano le date di concimazione e i carichi di N distribuiti.

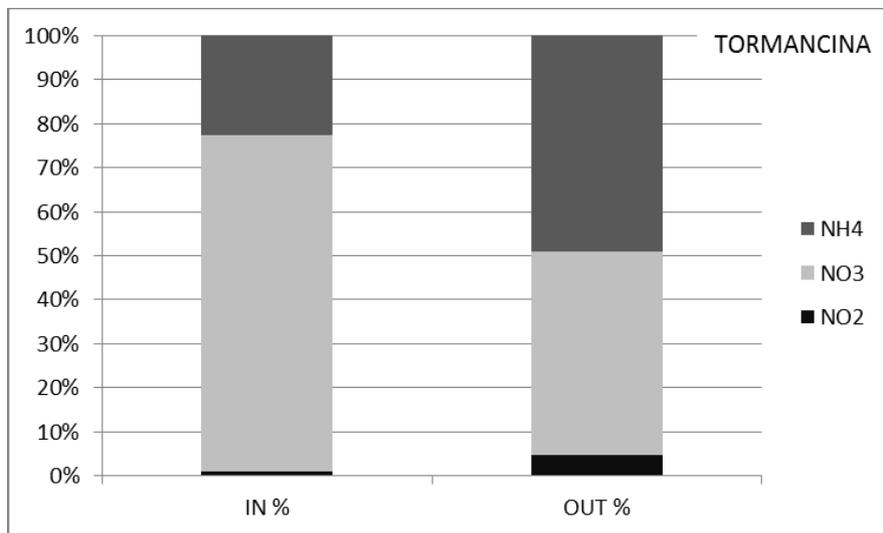


Figura 62. Composizione media in percentuale, dell'azoto inorganico in entrata e in uscita dalla Fascia Tampone nel periodo di monitoraggio.

I grafici di [Figura 63](#) ci permettono di osservare che in generale le concentrazioni di azoto sono molto contenute e in particolare che c'è una notevole asimmetria lungo la sezione

monitorata in particolare c'è un evidente accumulo nei deflussi che attraversano il piezometro C1 solo in parte riflesso dai valori rilevati nel piezometro corrispondente in campo (IN 1).

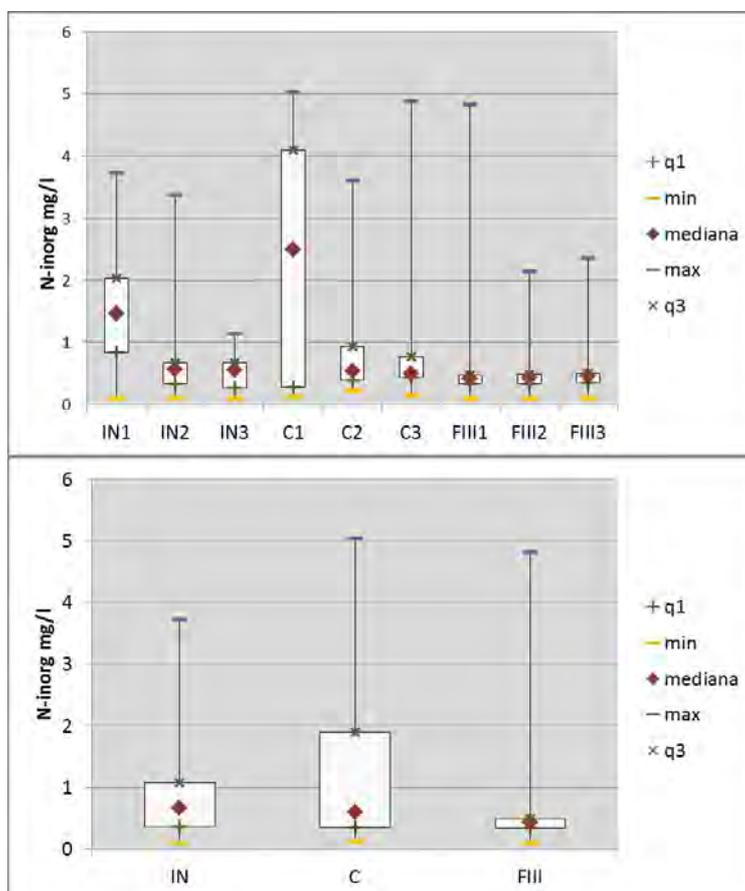


Figura 63. Il box plot mostra la distribuzione dei valori dell'azoto inorganico. q1=25% e q3=75%.

Bilancio dell'azoto

Dal bilancio effettuato nel periodo compreso fra l' 01/05/2013 ed il 30/04/2014, emerge come il carico di azoto che raggiunge la Fascia Tampone sia piuttosto contenuto ($4,66 \pm 1,69 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ a fronte di una distribuzione paria a $96 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$). Ciò non dipende dalle portate di deflusso in arrivo, che vista anche l'estensione del bacino sono significative ($4726 \text{ m}^3 \text{ anno}^{-1}$ per 100 m di FT), ma dalle basse concentrazioni di Ntot registrate, quasi mai superiori ai 2 mg L^{-1} . L'efficienza di rimozione risulta invece essere la più elevata fra i siti monitorati nel progetto MO.NA.CO. con una percentuale di riduzione del 61,9%. Il sistema nel suo complesso si presenta come un buon modello di sistema tampone che permette di ottenere una buona protezione delle acque superficiali dai carichi azotati diffusi senza interferire in modo eccessivo con le colture agrarie in atto.

CREA-SSC Metaponto

Il campo coltivato afferente al sistema tampone sperimentale viene rappresentato in **Figura 64** in cui vengono evidenziate in blu i deflussi superficiali preferenziali definiti in base al DEM ad alta risoluzione.



Figura 64. Campo coltivato afferente alla Fascia Tampone monitorata, in blu le linee di maggior deflusso superficiale.

Nel sito di Metaponto localizzato all'interno dell'azienda del CRA_SSC è stata effettuata una caratterizzazione delle tessiture fino a 2 metri di profondità. Il suolo in questo profilo è caratterizzato da una tessitura prevalentemente fine, con elevati contenuti di argilla. Essa risulta più omogenea nel campo coltivato mentre la Fascia Tampone presenta una maggior variabilità tra il contenuto di argilla e limo (**Tabella 18**). Nell'ultimo strato tra i 160 cm e i 200 cm la percentuale di argilla aumenta significativamente e raggiunge il 73%. Questa tipologia di suoli assommata al contesto pianeggiante e alla bassissima pendenza fa registrare,

come da attese, una K_s (conducibilità idraulica) molto bassa di appena 17,3 centimetri al giorno, la più bassa registrata in tutti i siti monitorati in questo WP14 (Fasce Tampone) del progetto MO.NA.CO. Ne consegue che questi suoli sono molto conservativi.

Tabella 18. Tessitura dei suoli a diverse profondità all'uscita del campo (sopra) e all'interno della fascia erbacea (sotto).

METAPONTO campo	Sabbia %	Limo	Argilla %	denominazione
0-40 cm	9	35	55	argilloso
40-80 cm	8	37	55	argilloso
80-120 cm	9	35	55	argilloso
120-160 cm	7	37	55	argilloso
160-200 cm	3	25	73	argilloso

METAPONTO FT	Sabbia %	Limo %	Argilla %	denominazione
0-40 cm	9	41	50	argilloso limoso
40-80 cm	9	43	48	argilloso limoso
80-120 cm	5	41	53	argilloso limoso
120-160 cm	8	32	60	argilloso
160-200 cm	2	24	73	argilloso

Come si può osservare dalla seguente [Figura 65](#), nello strato di suolo indagato si forma una falda temporanea nel periodo tardo autunno-inverno. Durante questi periodi raramente e per tempi molto brevi la falda raggiunge il piano di campagna saturando l'intero profilo, mentre solitamente rimane al di sotto degli 80 cm di profondità. Durante il periodo estivo il suolo risulta non saturo.

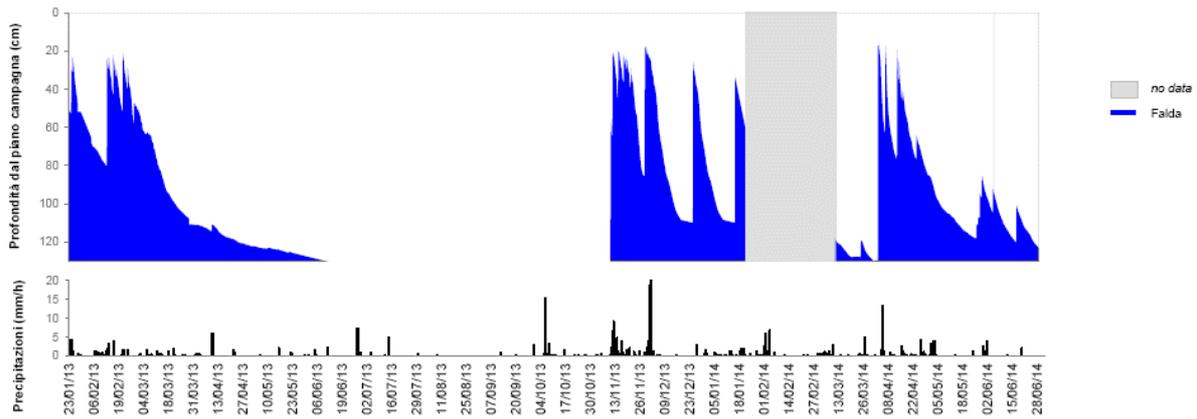


Figura 65. Profondità della falda da p.c. nella sezione d'entrata della FT con monitoraggio in continuo delle altezze di falda. I dati orari sono stati ottenuti partendo da dati rilevati con frequenza di 20 minuti. Vengono anche riportate le precipitazioni.

L'andamento dell'umidità volumetrica dei suoli, registrata nel periodo febbraio, maggio 2013 evidenzia la presenza di saturazione nei due strati più profondi (60 e 90 cm) fino a fine marzo

(

Figura 66). Già ad aprile si ha un brusco calo dell'umidità che evidenzia la fine della fase saturata, anche se nuovi incrementi dei valori di umidità avvengono a seguito di precipitazioni. Lo strato superficiale invece non risulta saturo ma presenta significative fluttuazioni dell'umidità solo in occasione di eventi piovosi.

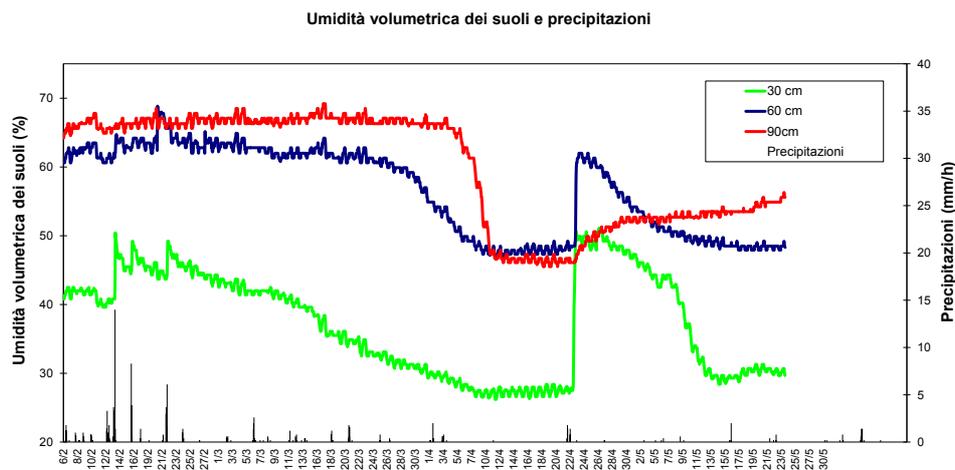


Figura 66. Umidità volumetrica dei suoli a diverse profondità e precipitazioni.

L'interpolazione delle linee di quota del suolo e quelle della falda prelevate in diversi momenti durante il monitoraggio evidenziano chiaramente che i deflussi in uscita dal campo coltivato non hanno una direzione perpendicolare alla Fascia Tampone bensì un andamento quasi parallelo alla stessa e cioè diretto verso la scolina laterale (Figura 67). Ne consegue che i deflussi di falda non vengono intercettati dal sistema tampone.

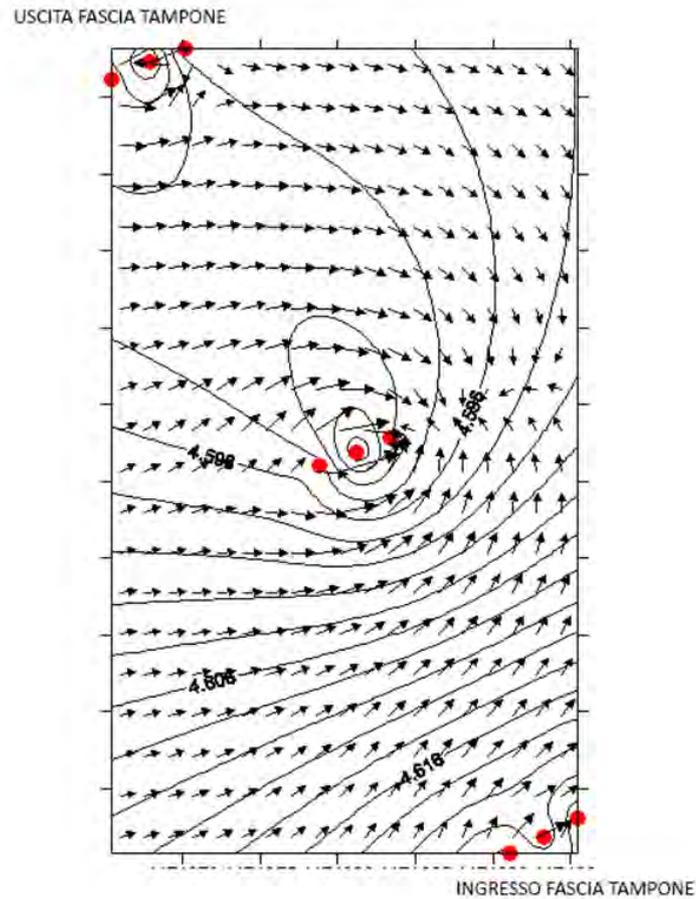


Figura 67. Andamento dei deflussi all'interno della Fascia Tampone. I pallini rossi indicano la posizione georeferenziate dei piezometri.

Dinamiche dell'azoto nei deflussi

Durante tutto il periodo di monitoraggio le concentrazioni maggiori di azoto inorganico sono state registrate nei campionamenti prelevati dal piezometro posto in testa al campo (valore max 5,8 mg/l), seguito, quando presente, dai valori misurati nelle acque della scolina laterale (da 2,4 a 5,5 mg/l). I valori misurati nelle acque in entrata ed in uscita dalla Fascia Tampone sono sempre stati inferiori al mg/l eccetto il 18 marzo 2014 in cui in C è stato

registrato un valore di 1,9 mg/l (Figura 68). Ciò viene confermato anche dal box plot calcolato sui valori medi di ogni sezione (Figura 69). Dall'analisi di questi risultati possiamo affermare che le acque di dilavamento del campo non si muovono verso la Fascia Tampone ma o in direzione opposta oppure si spostano parallelamente alla fascia raggiungendo la scolina laterale.

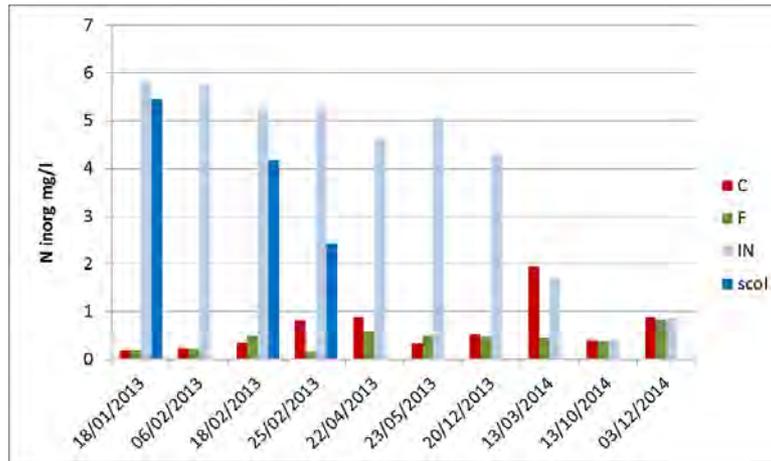


Figura 68. Concentrazioni medie di azoto inorganico per ogni data di campionamento.

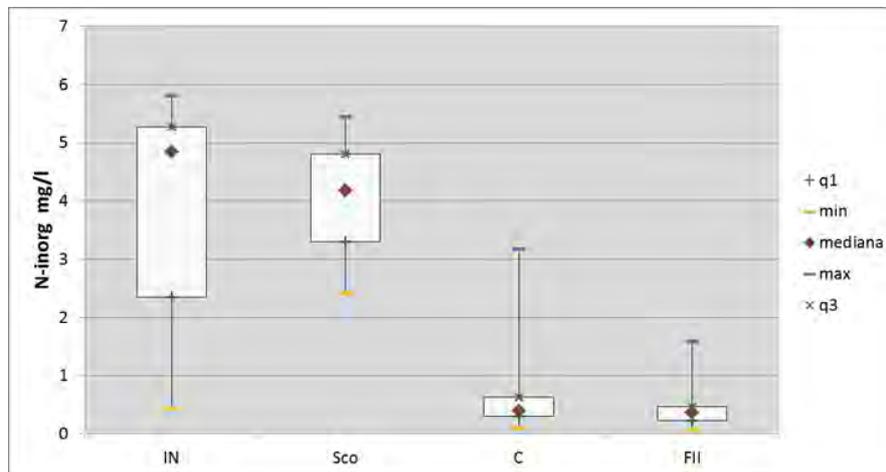


Figura 69. Il box plot mostra i valori medi dei nitrati dei vari transetti: IN=in campo, C=controfattuale, FII=fattuale I, Sco=scolina laterale (q1=25% e q3=75%.) i valori si riferiscono al periodo di monitoraggio da gennaio 2013 a dicembre 2014.

Un altro fattore che differenzia nettamente i campioni d'acqua raccolti nel piezometro in testa al campo da quelli della Fascia Tampone è la diversa composizione dell'azoto inorganico (Figura 70). Nel primo caso l'azoto inorganico è composto quasi esclusivamente

da azoto nitrico mentre sia in entrata che in uscita dalla Fascia Tampone c'è una forte prevalenza di ione ammonio che mette in evidenza una probabile stagnazione dell'acqua nel suolo tale da creare una forte carenza di ossigeno. La minor areazione potrebbe anche dipendere da una maggior compattazione dei suoli nella Fascia Tampone rispetto al campo oppure una diversa tessitura.

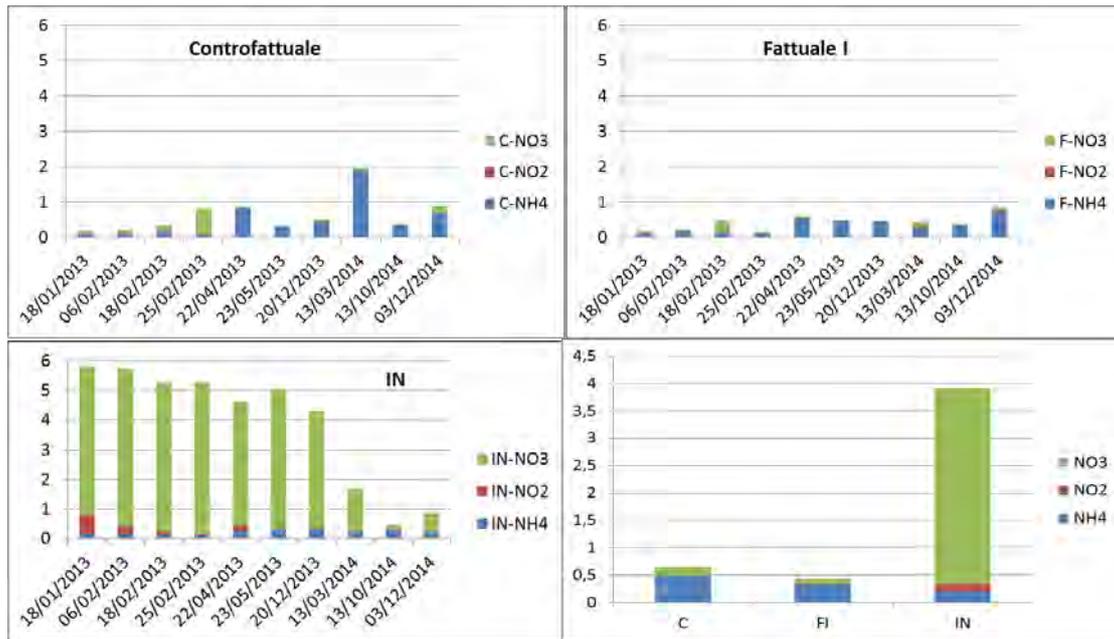


Figura 70. Composizione dell'azoto inorganico per ogni data di campionamento nelle tre sezioni: IN=in testa al campo; C=controfattuale; F=fattuale I. In basso a destra composizione media dell'azoto inorganico nelle tre sezioni.

Bilancio dell'azoto

Come detto, lo studio idrologico ha permesso di verificare che nel sito in oggetto esiste un deflusso di falda che si muove con direzione prevalente parallela a quella con cui è disposta la Fascia Tampone, e diretto verso una scolina laterale al campo coltivato. Ne consegue che la Fascia Tampone viene di fatto bypassata e, in termini di bilancio di massa, la portata ed il carico azotato in ingresso e in uscita risulta pressoché nullo.

Confronto tra i siti e discussione dei risultati

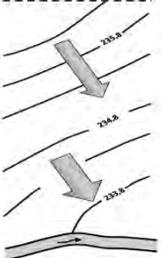
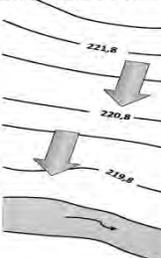
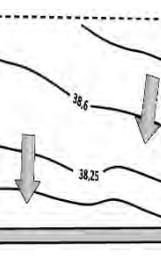
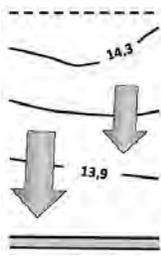
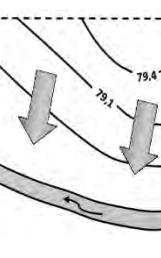
Dinamiche idrologiche

Sulla base dei rilievi effettuati è stato possibile evidenziare le principali caratteristiche pedologiche ed idrologiche dei siti oggetto della sperimentazione. Una sintesi delle caratteristiche più significative per ciascun sito viene riportata in **Tabella 20**.

Si osserva che generalmente l'acqua di pioggia o irrigazione che penetra nei suoli agricoli lavorati e che si accumula al di sopra del primo strato impermeabile di suolo (posto a profondità variabili e comprese fra 90 e 300 cm da p.c. nei siti indagati) è in grado di creare una zona satura (falda sospesa) che nella maggior parte dei siti è risultata essere permanente mentre in alcuni temporanea (la zona satura è assente durante i mesi caldi). Ad eccezione dei siti Baroncina (Lodi), in cui non emerge una direzione di falda prevalente e CAMP7 (Metaponto), in cui la falda scorre con andamento quasi parallelo alla Fascia Tampone verso una scolina laterale, in tutti i casi indagati l'acqua di falda defluisce verso la Fascia Tampone con andamento perpendicolare al corpo idrico. Le pendenze delle falde indagate variano fra valori minimi dell'1% (sito DIANA-FT2) e massimi del 13% (sito FAGNA-FT1). La conducibilità idraulica misurata tramite *slug test* differisce sensibilmente (anche di un ordine di grandezza) rispetto a quella teorica attesa per i diversi tipi di suoli. Ciò è imputabile generalmente alla presenza di macro-fessurazioni nei suoli derivanti dalle operazioni di aratura o in alternativa all'effetto degli apparati radicali come descritto in altri studi (Mastrocicco *et al.*, 2013).

Tabella 20. Principali caratteristiche pedologiche ed idrologiche dei siti sperimentali.

Sito sperimentale	Fagna-FT1 CREA-ABP (Firenze)	Fagna -FT2 CREA-ABP (Firenze)	Baroncina CREA-FLC (Lodi)	Diana-FT1 Veneto Agric.	Diana-FT2 Veneto Agric.	Torma- CREA-RPS (Roma)	CAMP7- CREA-SSC (Metaponto)
Profondità zona insatura (cm da p.c.)*	0-15	0-210	0-70	0-50	0-20	0-10	0-60
Profondità zona satura (cm da p.c.)*	15-200	210-300	70-200	50-90	20-90	10-200	<60
Tessitura zona insatura**	Franco argilloso limoso (20 - 36 - 44)	Franco l (40-22-38)	Franco l (34-21-45)	Franco argilloso (26-39-35)	Franco limoso (18-65-17)	Franco (32-48-30)	Argilloso (10- 55-35)
Tessitura zona satura*	Strato/layer 15-85 cm Franco Argilloso Limoso (20-48-32) Strato/layer 85-200cm Argilloso Limoso (7-48-45)	Franco sabbioso (60-8-32)	Franco sabbioso (68-13-19)	Franco argilloso limoso (21-50-29)	Franco limoso (19-63-18)	Franco (31-44-25)	Argilloso (3-70-27)
SLUG TEST Conducibilità idraulica (cm/day)	53	1180	1234	350	255	64,7	17,3
Pendenza falda nella FT (%)	13	5,2	nd	11	1	2,3	nd
Profondità della falda (cm da p.c.9	Max=0; Media = 75 Min= 198	Max=45,1 Media = 229,6 Min= 277	Max=0 Media =74 Min= 200	Max=0; Media = 48 Min= dry	Max=0; Media = 20 Min= dry	Max=0; Media = 39 Min= 104	Max=16 Media = 80 Min= dry
Tipologia	Falda permanente	Falda permanente	Falda permanente	Falda sospesa temporanea	Falda sospesa temporanea	Falda permanente	Falda temporanea

Sito sperimentale	Fagna-FT1 CREA-ABP (Firenze)	Fagna -FT2 CREA-ABP (Firenze)	Baroncina CREA-FLC (Lodi)	Diana-FT1 Veneto Agric.	Diana-FT2 Veneto Agric.	Torma- CREA-RPS (Roma)	CAMP7- CREA-SSC (Metaponto)
Direzione prevalente della falda			Non emerge una direzione prevalente				

*nelle situazione più frequenti; **i numeri si riferiscono alla percentuale relative di sabbia/limo/argilla nell'ordine.

L'andamento delle oscillazioni di falda nei siti monitorati viene mostrato in *Figura 71*; nei due siti posti presso l'azienda sperimentale Diana (DIANA-FT1 e DIANA-FT2) si hanno delle fasi di saturazione temporanee nel corso dei mesi freddi (generalmente da Novembre a Maggio); nei restanti mesi non si creano condizioni di saturazione se non in presenza di sporadici eventi piovosi di forte intensità; la falda temporanea presenta delle oscillazioni molto evidenti in occasione di eventi piovosi durante i quali raggiunge sovente il piano campagna. Un comportamento simile è stato riscontrato nel sito di Metaponto. Il sito FAGNA-FT2 presenta invece una falda permanente (almeno nel periodo monitorato) che poggia su uno strato impermeabile a circa 3 metri di profondità; le escursioni dei livelli sono più contenute e permangono per lo più a profondità comprese fra i 2-3 metri da p.c. I siti FAGNA-FT1 (Firenze) e TORMA (Roma) hanno un comportamento simile con una saturazione quasi completa dal piano campagna fino a circa 2 metri di profondità per lunghi periodi dell'anno. Questo comportamento è stato favorito dalle precipitazioni particolarmente intense e prolungate registrate nel corso dei due anni di monitoraggio; non è da escludere che in anni più siccitosi la falda possa temporaneamente non essere presente. Il sito di BARONCINA (Lodi) presenta fasi alterne con saturazione fino in superficie durante gli eventi piovosi e rapidi abbassamenti fino a profondità superiori a 110 cm da p.c. dove il ristagno idrico appare più prolungato.

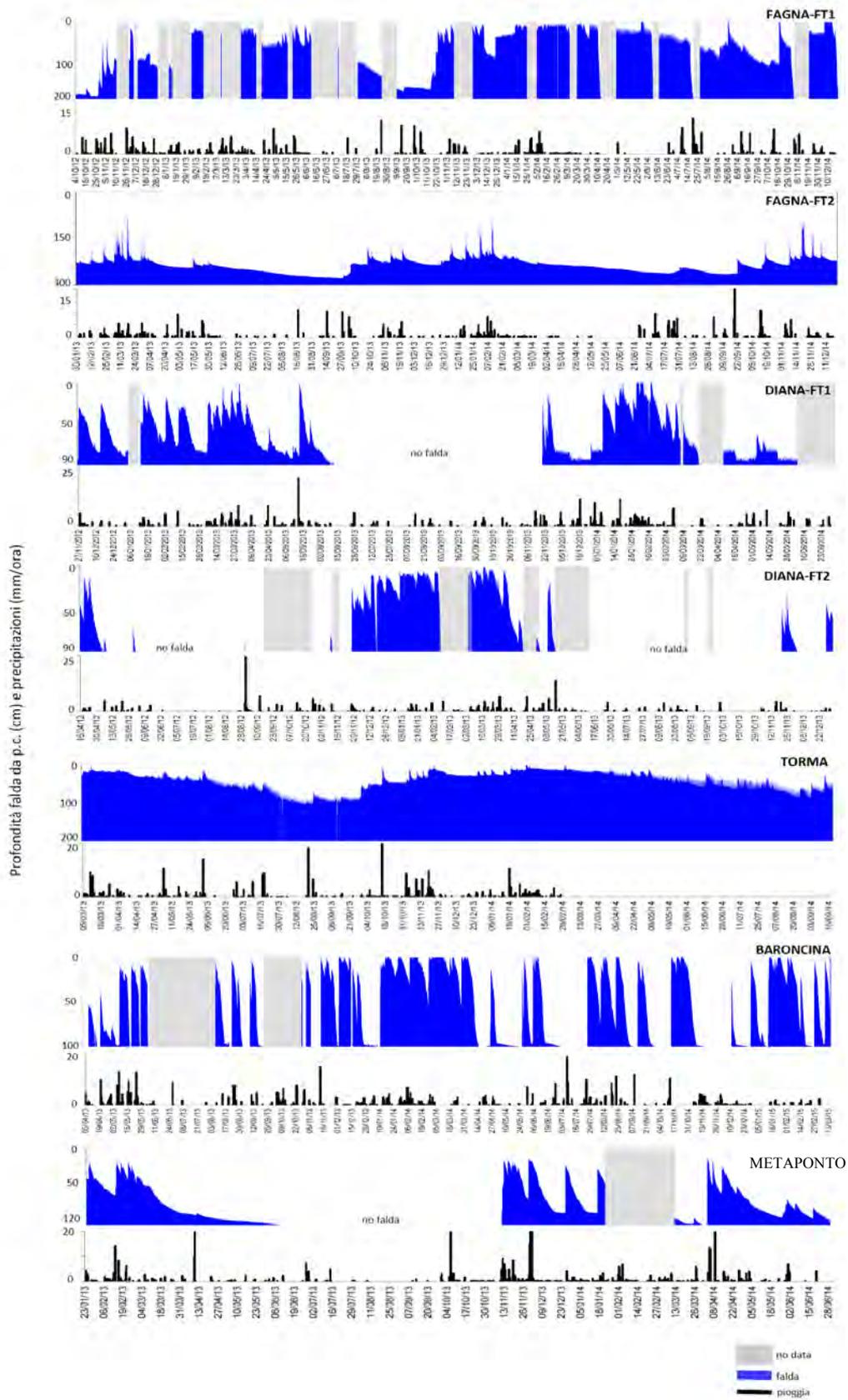


Figura 71. Oscillazione della falda nei siti sperimentali e precipitazioni orarie. I dati di falda sono ottenuti come media oraria di 2 registrazioni (1 ogni 30 minuti).

Le principali voci del bilancio idrologico per ciascuno dei siti monitorati vengono indicate nella seguente *Tabella 19*. Avendo verificato l'assenza di un deflusso attraverso la Fascia Tampone nel sito di Baroncina e CAMP7 Metaponto, le voci del bilancio idrologico e del bilancio dell'azoto (*Tabella 20*) non sono state dettagliate in quanto equivalgono a valori nulli.

Tabella 19. Principali voci del bilancio idrologico dei siti sperimentali.

Sito sperimentale	Fagna-FT1 CREA-ABP (Firenze)	Fagna-FT2 CREA-ABP (Firenze)	Diana-FT1 Veneto Agric.	Diana-FT2 Veneto Agric.	Torma- CREA-RPS (Roma)
Periodo	01/01/2013 31/12/2013	01/02/2013 31/01/2014	01/05/2013 30/04/2014	01/01/2013 31/12/2013	01/05/2013 30/04/2014
Deflusso sub- superficiale (100 m ft) (m ³ anno ⁻¹)	3152	8587	919	1004	4726
Deflusso sub- superficiale (100 m ft) (mm)	225	636	613	717	269
Precipitazioni (mm)	1264	1072	1385	1116	843
Deflussi subsuperficiali (% rispetto alle precipitazioni)	17,8	59,3	55,8	64	31,8

Le portate dei deflussi sub-superficiali che veicolano gli inquinanti dal campo attraverso il sistema tampone, fino al corpo idrico accettore, sono strettamente correlate alla superficie del bacino afferente, alle pendenze ed alla diversa capacità di favorire i movimenti dell'acqua di diverse tipologie di suoli. Ad esempio nel sito FAGNA-FT2 la forte permeabilità del suolo negli strati superficiali (ulteriormente incrementata dalle lavorazioni agricole) favorisce l'infiltrazione delle acque di pioggia verso la zona sottostante, dove uno strato di suolo franco sabbioso poggia su un antico strato impermeabile di argille (che in corrispondenza della FT è posto a circa 300 cm da p.c.). In questo strato si forma un acquifero che grazie alla pendenza defluisce rapidamente dal campo verso il corso d'acqua. La significativa superficie del bacino agricolo, di questo sito, permette di raggiungere una portata

di deflussi di circa 8.590 m³/anno (per 100 m di FT) corrispondente al 64% delle acque di pioggia cadute nel bacino (la restante parte subisce normali processi di evapotraspirazione). La scarsa portata dei deflussi nei 2 siti DIANA-FT1 e DIANA-FT2 è invece imputabile alla ridottissima superficie del bacino agricolo afferente. Anche in questo caso buona parte delle acque tende a defluire sub-superficialmente (circa 55% e 64% delle acque di pioggia) a seguito delle pesanti operazioni di aratura del campo. Bacini agricoli come FAGNA-FT1 e TORMA con superfici e pendenze significative che si riducono bruscamente all'ingresso della FT, e nel contempo caratterizzati da una scarsa capacità dei suoli (specie nel suolo argilloso limoso del sito FAGNA-FT1) di favorire i deflussi sub-superficiali delle acque, le portate di deflusso rappresentano solo una percentuale ridotta delle acque di pioggia corrispondente a circa 18 e 32 % rispettivamente, mentre prevalgono fenomeni di ruscellamento superficiale e di evapotraspirazione.

Dinamiche dell'azoto

Il confronto fra le concentrazioni di azoto inorganico disciolto presente nelle acque di falda nei diversi punti del sistema viene mostrato in *Figura 72*.

In generale si osserva che le concentrazioni monitorate sono tendenzialmente poco elevate. I valori più bassi sono stati registrati nel sito di Tormancina (TORMA-), mentre i siti di Fagna (FAGNA-FT1 e FAGNA-FT2) e DIANA-FT1 hanno valori medi tra 4 e 6 mg/l in entrata alla FT. Concentrazioni basse già in uscita dal campo possono essere imputabili a diversi fattori, quali ad esempio una buona utilizzazione dell'azoto da parte delle colture o l'incidenza delle precipitazioni (decisamente superiori alla media nei due anni sperimentali) con conseguente incremento della diluizione. Dall'osservazione dei valori medi è evidente come le Fasce Tampone di FAGNA-FT1 e DIANA-FT1 siano efficaci nel rimuovere l'azoto, tuttavia l'alta variabilità dei valori indica una diversa efficacia durante l'anno (stagionalità) del sistema tampone. Nel sito DIANA-FT1 si è osservato un netto incremento della rimozione a partire dal secondo anno di monitoraggio, dovuto molto probabilmente alla maturazione della neo-realizzata Fascia Tampone.

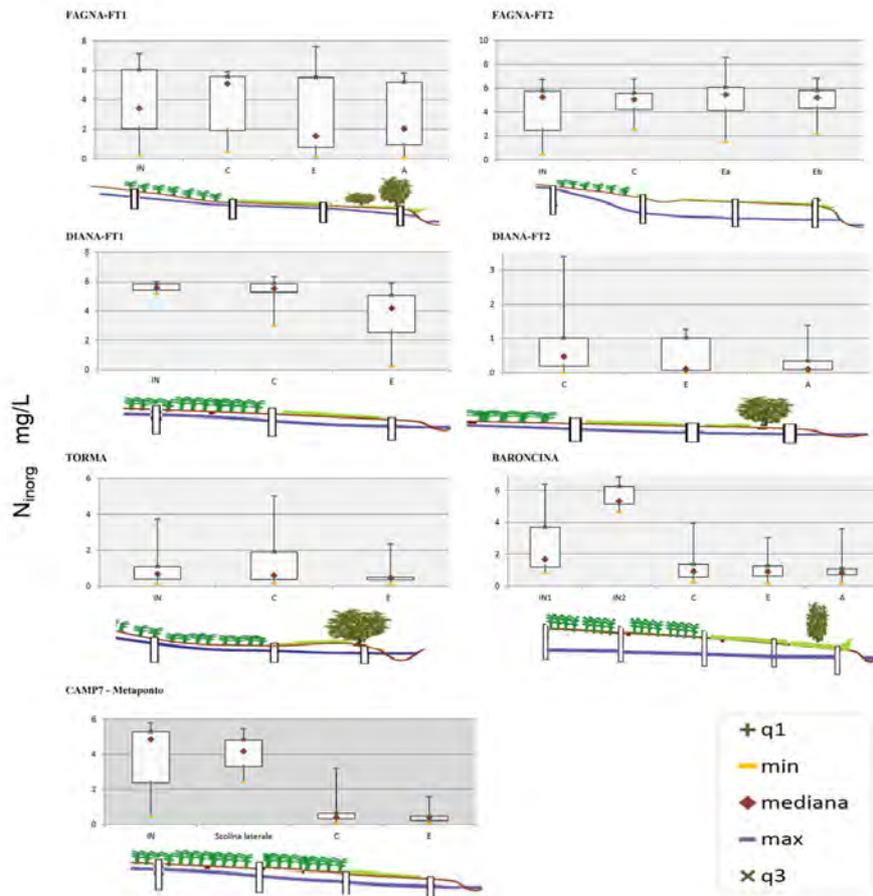


Figura 72. Confronto fra le concentrazioni di N_{inorg} disciolto nei diversi punti del sistema.

Per quanto riguarda il sito FAGNA-FT2 i risultati indicano chiaramente che l'azoto mentre defluisce attraverso la Fascia Tampone non subisce alcun tipo di trasformazione; è un interessante esempio di come deflussi di falda non interagenti con la rizosfera non siano soggetti a trasformazioni biogeochimiche significative.

Il sito TORMA- presenta concentrazioni molto basse; la maggior stabilità dei dati in uscita dalla fascia indica che i "picchi" vengono rimossi efficacemente, anche se le differenze complessive fra entrata ed uscita in termini di valori medi non sono elevate.

L'andamento delle concentrazioni nel sito Baroncina evidenzia ulteriormente la mancata connessione in termini di deflussi di falda fra il campo (in cui nei due punti di controllo le concentrazioni sono influenzate chiaramente dalle fertilizzazioni) e la Fascia Tampone che non presenta differenze significative fra le tre sezioni di controllo e valori medi molto bassi anche nel punto C di contatto con la zona coltivata. Un discorso analogo vale per

il sito di Metaponto dove è chiaro che le acque cariche di nitrati del campo drenano verso la scolina laterale invece che verso la Fascia Tampone.

Le principali voci di bilancio sulla capacità di rimozione delle forme inorganiche di azoto disciolti veicolato ai corpi idrici dai deflussi di falda viene riportato nella seguente

Tabella 20.

Tabella 20. Principali voci del bilancio dell'azoto nei diversi siti sperimentali.

Sito sperimentale	Fagna-FT1 CREA-ABP (Firenze)	Fagna-FT2 CREA-ABP (Firenze)	Diana-FT1 Veneto Agric.	Diana-FT2 Veneto Agric.	Torma- CREA-RPS (Roma)
Periodo	01/01/2013 31/12/2013	01/02/2013 31/01/2014	01/05/2013 30/04/2014	01/01/2013 31/12/2013	01/05/2013 30/04/2014
N_{inorg} applicato (Kg ha ⁻¹ anno ⁻¹)	72	120	250	170	96
IN					
N_{inorg} deflusso sub- superficiale (Kg ha ⁻¹ anno ⁻¹)	8,45±1,69	30,29±2,94	33,21±1,34	3,0±0,3	4,66±1,69
N_{inorg} veicolato alla FT tramite deflussi subsuperficiali / N_{inorg} applicato (%)	11,1	25,2	13,3	1,8	1,78
OUT					
N_{inorg} deflusso sub- superficiale (Kg ha ⁻¹ anno ⁻¹)	5,67±1,63	29,42±5,08	17,29±1,24	1,6±0,2	1,91±0,47
N_{inorg} rimosso dalla FT (Kg ha ⁻¹ anno ⁻¹)	2,79	0,86	15,93	1,5	2,88
Efficienza (%)	33,0	2,9	48,0	48,6	61,9

Le quantità di azoto veicolato dal campo verso la Fascia Tampone variano da un minimo di 3 Kg ha⁻¹ anno⁻¹ ad un massimo di 33,2 Kg ha⁻¹ anno⁻¹ con percentuali rispetto all'applicato variabili fra 1,8 e 25,2%. Ad eccezione del sito FAGNA-FT2 dove la percentuale di rimozione del sistema tampone è minima e inclusa nell'errore tutti i sistemi monitorati hanno rimosso percentuali variabili fra il 33 ed il 61,9 dell' N_{inorg} veicolato dimostrando una media efficacia dello standard.

Indicatore quantitativo

L'efficienza di rimozione calcolata sul bilancio di massa rappresenta proprio l'indicatore di livello Base scelto da noi per definire l'idoneità dello standard rispetto all'obiettivo ambientale cui punta lo standard 5.2:

% di abbattimento*	Giudizio indicatore di efficienza
<=30	SCARSO
>30; <=60	MEDIO
> 60	ALTO

I risultati ottenuti da questo monitoraggio vengono rappresentati nella seguente Tabella 21.

Tabella 21. Giudizio di efficienza nei diversi siti (livello base).

Sito sperimentale	% di abbattimento	Giudizio indicatore di efficienza
Fagna-FT1 CREA-ABP (Firenze)	33,0	MEDIO
Fagna -FT2 CREA-ABP (Firenze)	2,9	SCARSO
Baroncina CREA-FLP (Lodi)	0	SCARSO
Diana-FT1 Veneto Agric.	48	MEDIO
Diana -FT2 Veneto Agric.	48,6	MEDIO
Torma- CREA-RPS (Roma)	61,9	ALTO
CAMP7- CREA-SSC (Metaponto)	0	SCARSO

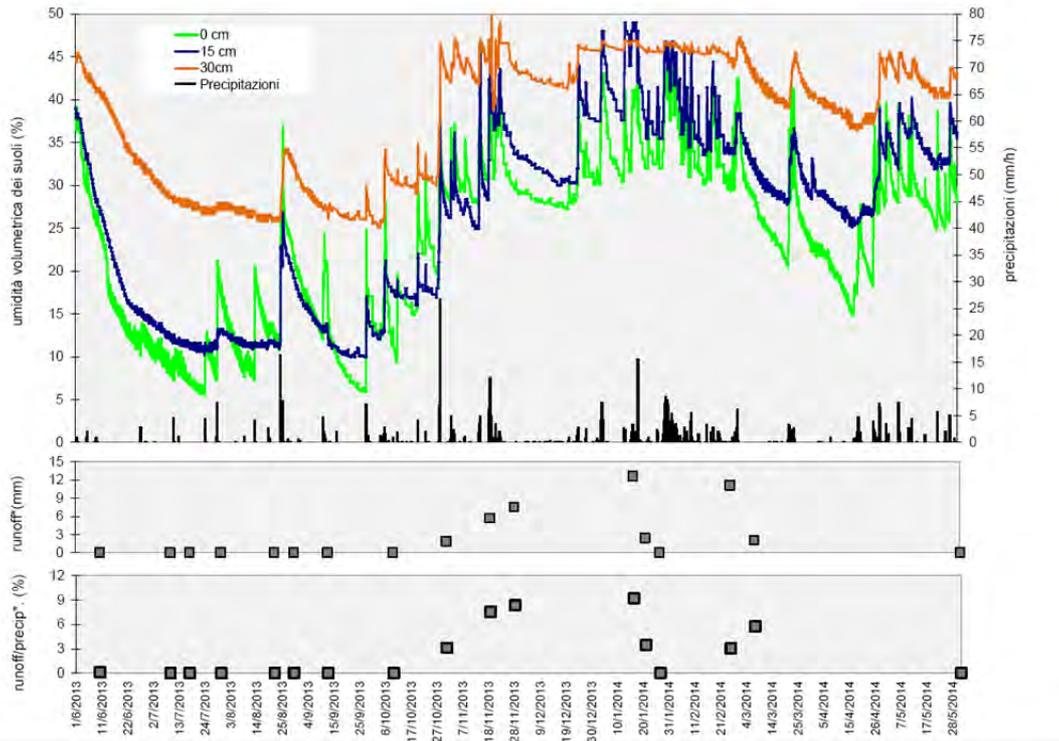
Giudizio di efficacia complessivo

Il giudizio di efficacia si calcola in base alla percentuale di siti sperimentali in cui si registra un miglioramento nel fattuale rispetto al controfattuale. Nel caso dello Standard 5.2 si osserva un miglioramento in 4 su 7 dei siti monitorati e quindi nell'57% dei casi corrispondente ad un giudizio di "Efficacia medio-alta".

Risultati del monitoraggio effettuato con CREA-VIT

Dinamiche idrologiche

Nonostante la pendenza complessiva del vigneto e della Fascia Tampone sia molto ridotta (rispettivamente 0,56% e 0,53%) il sistema è in grado di generare, in occasione di alcuni eventi piovosi, quantità non trascurabili di runoff che nel periodo di monitoraggio annuale sono risultate pari rispettivamente a 45,5 mm in uscita dal vigneto e a 43,5 mm in uscita dalla Fascia Tampone, con valori corrispondenti rispettivamente al 3,94% ed al 3,76% dei volumi di pioggia annua (1156,4 mm). La percentuale relativa fra i volumi di runoff generati e quelli apportati dalle precipitazioni è estremamente variabile nei diversi momenti con valori calcolati, fra un campionamento ed il successivo, compresi fra 0 e 9,19%, quest'ultimo registrato nel periodo compreso fra il 29/11/2013 e il 16/01/2014. Come è noto la tendenza a generare runoff superficiale dipende dalla combinazione di diversi fattori (Uusi-Kamppa *et al.*, 1997); nel caso specifico si osserva (*Figura 73*) una chiara prevalenza del fenomeno nel periodo autunno-invernale compreso fra il 09/10/2013 e il 07/03/2014, caratterizzato da suoli superficiali con valori di umidità prossimi alla saturazione e precipitazioni frequenti e consistenti sia in termini complessivi (892,2 mm), sia in termini di intensità (26,9 mm, 15,6 mm e 12,2 mm in periodi di 30 minuti rispettivamente il 30/10/2013, il 19/01/2014 e il 19/11/2013). Nei restanti mesi la quantità di runoff generato risulta invece prossima a zero, anche in occasione di eventi di elevata intensità (16,4 mm in 30 minuti il 25/08/2013); è evidente dall'andamento delle curve di umidità (*Figura 73*) che in queste fasi prevalgono i fenomeni di evapotraspirazione e di percolazione verticale delle acque attraverso i suoli. Da sottolineare le differenze trascurabili di volumi di runoff (24) misurati in uscita dal vigneto e della Fascia Tampone.



Ciascun quadratino è posto in corrispondenza delle date di campionamento e rappresenta il totale di runoff generato nel periodo compreso fra la data rappresentata e quella del precedente campionamento.

Figura 73. Comparazione fra il contenuto volumetrico d'acqua nei 3 strati di suolo indicati e le precipitazioni (dati orari ottenuti a partire da dati registrati ogni 30 min.) (in alto) e il runoff espresso sia in termini di volumi generati (mm) sia in termini di percentuale rispetto alle precipitazioni (in basso).

I dati di runoff si riferiscono all'uscita dalla Fascia Tampone (FT) ma sono molto simili a quelli rilevati in uscita dal vigneto (VIG) come evidenziato in Tabella 22.

Tabella 22. Dati sulle precipitazioni e sul runoff registrati nel periodo di monitoraggio.

Data	Intervallo di tempo (gg)	Precipitazioni		Runoff VIG (mm)	Runoff FT (mm)	Runoff/precipitazioni VIG (%)	Runoff/precipitazioni FT (%)
		Quantità (mm)	Intensità max* (mm ora ⁻¹)				
31/05/13							
10/06/13	10	6	2,2	0,02	0,01	0,27	0,12
09/07/13	29	7,4	3,0	0,00	0,00	0,00	0,00
17/07/13	8	8,2	4,6	0,00	0,00	0,00	0,00
30/07/13	13	17,8	7,6	0,01	0,00	0,07	0,01
21/08/13	22	22,4	4,2	0,01	0,00	0,02	0,01
29/08/13	8	38,1	16,4	0,01	0,02	0,03	0,04
12/09/13	14	14,3	4,8	0,00	0,00	0,01	0,01
09/10/13	27	42	7,2	0,00	0,00	0,01	0,01
31/10/13	22	60,9	26,9	1,98	1,89	3,25	3,11
18/11/13	18	75,8	5,0	5,98	5,71	7,88	7,53
28/11/13	10	90,8	12,2	7,89	7,54	8,69	8,31
16/01/14	49	137,6	7,6	13,23	12,64	9,61	9,19
21/01/14	5	69,4	15,6	2,52	2,41	3,63	3,47
27/01/14	6	14,2	2,4	0,00	0,00	0,00	0,00
25/02/14	29	365,8	8,6	11,68	11,16	3,19	3,05
07/03/14	10	35,7	6,2	2,14	2,05	6,00	5,74
31/05/14	85	150	7,5	0,05	0,04	0,03	0,02
TOTALE	365	1156,4	26,9	45,52	43,47	3,94	3,76

*Massima intensità registrata in periodi di 30 minuti.

Effetti sul trasporto di solidi sospesi

Le differenze in termini di trasporto di solidi sospesi veicolati tramite runoff in uscita dal vigneto e dalla Fascia Tampone sono riportate nella seguente [Tabella 23](#). Come dato complessivo, in termini di bilancio di massa, si registra una differenza significativa fra i due punti di controllo (rispettivamente pari a 17,77 mg/m² in VIG e 9,68 mg/m² in FT) che è attribuibile all'azione filtro della Fascia Tampone erbacea, con un tasso di abbattimento pari al 45,5%. Analizzando i singoli periodi ([Tabella 23](#)) la situazione è più diversificata con tassi di rimozione anche negativi in coincidenza di alcuni eventi (generalmente di scarsa importanza in termini di contributo complessivo) ed altri in cui l'azione filtro dimostra efficienze elevate e superiori al 60%.

Osservando il grafico di [Figura 74](#) relativo alle quantità cumulative veicolate nei due punti di controllo, si può osservare come nell'intero periodo estivo/inizio autunnale compreso fra il 01/06/2013 e il 09/10/2013 sia stato registrato un trasporto di solidi sospesi tramite runoff prossimo a zero; nel successivo periodo, fino al 16/01/14, si verifica un significativo

trasporto di solidi sospesi, con una pendenza delle curve piuttosto simile nei diversi intervalli di tempo fra un campionamento ed il successivo; tale andamento prosegue, se pure con minore regolarità anche nei periodi successivi fino a ritornare molto contenuto dalla fine del mese di febbraio in poi (Figura 75).

Tabella 23. Quantità di solidi sospesi veicolati tramite runoff in uscita dal vigneto e dalla Fascia Tampone e relativa stima dell'efficienza di rimozione.

Data	SS_VIG	SS_FT	Efficienza di rimozione SS
	mg/m ²	mg/m ²	%
31/05/10			
10/06/13	0,15	0,03	77,3%
30/07/13	0,03	0,00	83,3%
21/08/13	0,01	0,01	-45,9%
29/08/13	0,03	0,05	-83,5%
12/09/13	0,00	0,01	0,0%
09/10/13	0,02	0,02	0,7%
31/10/13	1,80	0,71	60,4%
18/11/13	0,31	0,31	-1,8%
28/11/13	3,03	3,17	-4,6%
16/01/14	5,57	2,14	61,6%
23/01/14	0,18	0,40	-123,1%
25/02/14	5,90	2,54	57,0%
30/05/14	0,75	0,28	62,6%
Totale	17,77	9,68	45,5%

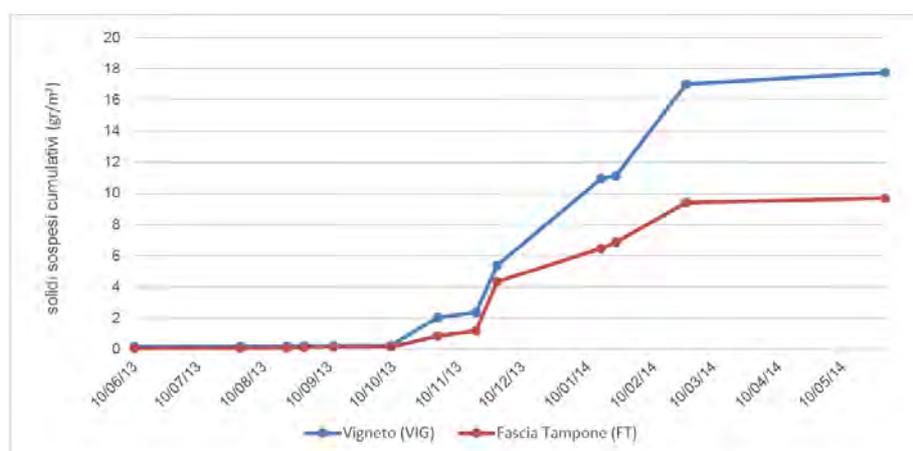


Figura 74. Dato cumulativo delle quantità di solidi sospesi veicolati tramite runoff nei due punti di controllo nel periodo di monitoraggio.

Rilasci di Glifosate

Le concentrazioni di Glifosate sono state misurate nei campioni di runoff prelevati (quando disponibili) a partire dal 10/06/2013 e fino alla data del 29/08/2013 (Tabella 24). In nessun campione, prelevato sia in uscita dal vigneto, sia in uscita dalla Fascia Tampone sono state rilevate concentrazioni superiori alla soglia di rilevamento strumentale che è pari a 0,08 ($\mu\text{g L}^{-1}$). Il primo campionamento, relativo al runoff accumulato nel periodo compreso fra il 2 giugno ed 10 giugno 2013, avrebbe dovuto segnalare l'eventuale presenza di rilasci del glifosate distribuito 49 giorni prima. Dopo le successive applicazioni di Glifosate avvenute il 14/06/2013 ed il 10/07/2013 si sono verificate deboli precipitazioni che non sono risultate in grado di generare rilasci tramite runoff fino alla data del 30/07/2013, 20 giorni dopo l'ultima distribuzione (Figura 76). Anche in questo caso nei campioni di runoff la concentrazione è risultata sotto la soglia di rilevamento e così nelle date successive. Non è stato quindi possibile valutare, come prospettato, l'effetto della Fascia Tampone su questo specifico inquinante

Tabella 24. Riepilogo dei dati relativi alle quantità di Glifosate applicate, delle concentrazioni misurate nelle acque veicolate tramite runoff e principali parametri idrologici nel periodo di analisi.

Data	Applicazione Glifosate (kg a.i. ha ⁻¹)							
22/04/13	1							
14/06/13	0,8							
10/07/13	0,5							
Data	Intervallo di tempo (gg)	Intervallo di tempo intercorso dopo la precedente applicazione di Glifosate (gg)	Precipitazioni		Runoff VIG (mm)	Runoff FT (mm)	[Glifosate_runoff VIG] ($\mu\text{g L}^{-1}$)	[Glifosate_runoff FT] ($\mu\text{g L}^{-1}$)
02/06/13								
10/06/13	8	49	6	2,2	0,02	0,01	< 0,08	< 0,08
09/07/13	29	25	7,4	3,0	0,00	0,00	nd	nd
17/07/13	8	7	8,2	4,6	0,00	0,00	nd	nd
30/07/13	13	20	17,8	7,6	0,01	0,00	< 0,08	< 0,08
21/08/13	22	42	22,4	4,2	0,01	0,00	< 0,08	< 0,08
29/08/13	8	50	38,1	16,4	0,01	0,02	< 0,08	< 0,08
TOTALE	80		93,9	16,4	0,03	0,02		

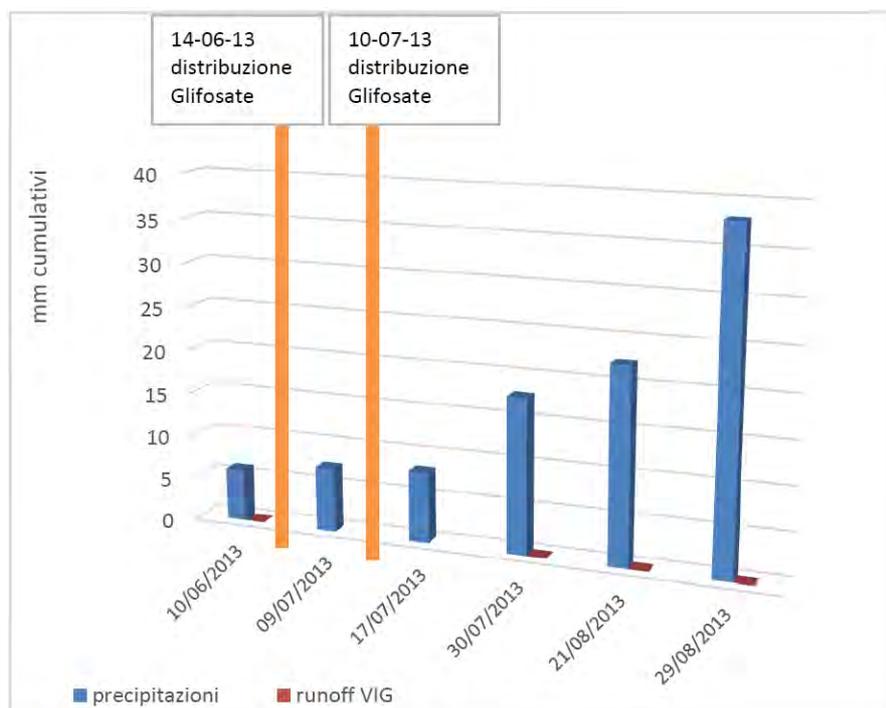


Figura 75. Andamento delle precipitazioni e del runoff in uscita dalla tesi VIG (i dati di FT sono dello stesso ordine di grandezza) generato nel periodo interessato dalle distribuzioni di Glifosate

Indicatore quantitativo

L'efficienza di rimozione dei solidi sospesi totali, calcolata sul bilancio di massa, rappresenta l'indicatore di livello Base scelto per definire l'idoneità dello standard 5.2 rispetto all'obiettivo ambientale prefissato come di seguito indicato:

% di abbattimento*	Giudizio indicatore di efficienza
≤ 30	SCARSO
$> 30; \leq 60$	MEDIO
> 60	ALTO

I risultati vengono rappresentati nella seguente *Tabella 25*.

Tabella 25. Giudizio di efficienza nei diversi siti (livello base).

Sito sperimentale	Parametro	Efficienza di rimozione (%)	Giudizio indicatore di efficienza
Vigneto Ponte di Piave CREA-VIT (Conegliano)	Solidi sospesi (runoff)	45,5	Medio
	Glifosate (runoff)	nd	nd

Giudizio di efficacia

Il sito di monitoraggio in questione è stato considerato fra quelli in cui lo Standard 5.2 è risultato di una qualche efficacia nella rimozione di inquinanti; più specificatamente si veda quanto riportato nell'articolo "Efficacia dello standard di condizionalità 5.2 "Fasce Tampone" nella protezione delle acque dall'inquinamento di forme azotate disciolte" a cura di Gumiero *et al.* riportato in questo stesso numero speciale della rivista.

Discussioni dei risultati rilevati nel sito di CREA-VIT

La sperimentazione condotta nel vigneto di Ponte di Piave, ha permesso di evidenziare che nel periodo autunno-invernale si generano quantità non trascurabili di runoff superficiale (pari al 3,94% del totale delle precipitazioni annuali), anche in situazioni in cui la pendenza è molto ridotta (0,56%) ed i suoli nell'orizzonte più superficiale sono franchi. Valori generalmente superiori sono stati rinvenuti in situazioni con pendenze maggiori e con suoli aventi altre caratteristiche (Screpanti *et al.*, 2005; Borin *et al.*, 2005).

Da sottolineare le differenze trascurabili di volumi di runoff misurati in uscita dal vigneto e della Fascia Tampone, che evidentemente in questo caso non risulta in grado di favorire processi di infiltrazione o di ritenzione idrica come descritto in altre esperienze (Patty *et al.*, 1997; Syversen and Bechmann, 2004; Borin *et al.*, 2005). Questo risultato si spiega in considerazione delle caratteristiche della Fascia Tampone erbacea monitorata: forte regolarità del profilo dei suoli nel passaggio fra il vigneto ed il sistema tampone, assenza di ostacoli fisici generati dalla vegetazione arborea o di suoi residui (che si verifica, invece, in sistemi tampone arborei più complessi ed articolati), ridotta presenza di fessurazione dei suoli nella FT, dovuto sia al tipo di tessitura franca, sia alla mancanza di apparati radicali in grado di

esercitare un'azione fisica significativa sui suoli, sia infine alla buona copertura della vegetazione erbacea presente.

Conclusioni

La sperimentazione condotta ha fatto emergere risultati in linea con altre esperienze (Haycock and Pinay, 1993; Fennessy and Cronk, 1997; Dhont et al., 2004; Gumiero *et al.*, 2011; Vidon and Hill, 2004) evidenziando il ruolo predominante dell'idrologia nel determinare l'influenza di rimozione dell'azoto nelle Fasce Tampone. In particolare si osserva che in alcuni dei sistemi monitorati (FAGNA-FT1, FAGNA-FT2, TORMA- CREA-RPS) la Fascia Tampone realizzata secondo i criteri tecnici fissati dallo standard di condizionalità è in grado di intercettare significativi volumi di deflussi dalle zone coltivate (variabili fra 3000-8500 m³ anno per 100 ml di FT) pur occupando una superficie piuttosto contenuta rispetto a quella occupata dal bacino agricolo (dell'ordine del 3-5%). Al contrario le Fasce Tampone dei sistemi DIANA-FT1 e DIANA-FT2 occupano una superficie molto significativa rispetto al bacino agricolo (circa il 30%) e trattano volumi molto contenuti (attorno ai 1000 m³ anno per 100 ml di FT). Ne consegue che per ottimizzare l'investimento in termini di superfici occupate le Fasce Tampone devono essere posizionate a valle di un bacino agricolo di dimensioni maggiori con un rapporto ottimale attorno al 5%.

Il caso del sito FAGNA-FT2 è interessante in quanto rappresentativo di una situazione in cui una Fascia Tampone, realizzata seguendo correttamente le indicazioni tecniche, non dimostra alcuna efficacia nella rimozione dell'azoto. In questo caso l'inefficienza del sistema tampone è dovuto ai deflussi molto profondi che bypassano la Fascia Tampone (oltre i 2 m da piano campagna) e quindi non sono in grado di interagire con gli apparati radicali che, oltre ad assorbire i nutrienti, arricchiscono i suoli di sostanza organica a sostegno dell'attività microbica in particolare dei denitrificanti (Pinay *et al.*, 2000; Sabater *et al.*, 2003; Vidon and Hill, 2004; Gumiero *et al.*, 2011; Boz *et al.* 2013). Per motivi diversi, e cioè collegati alla mancata presenza di deflussi di falda provenienti dal campo coltivato limitrofo, anche la Fascia Tampone di Baroncina (Lodi) non risulta di alcuna efficacia. Un ulteriore caso di inefficacia è stato registrato nell'azienda di Metaponto e ancora una volta la risposta è data

dall'idrologia; poichè i deflussi che dilavano il campo coltivato si muovono verso una scolina laterale anziché verso la Fascia Tampone. In questo caso si potrebbero favorire i processi depurativi facendo defluire le acque raccolte nella scolina laterale nella Fascia Tampone, senza farle arrivare direttamente al canale collettore bypassando la Fascia Tampone.

In tutti gli altri casi i deflussi permangono, almeno per certi periodi dell'anno, in prossimità del livello del piano campagna e quindi in una situazione teoricamente ottimale per l'attivazione dei processi che portano alla rimozione delle forme azotate. Nonostante questo, in nessuno dei casi si raggiungono livelli di rimozione molto elevati (80-90%) osservati in altri contesti (Peterjohn and Correl, 1984; Haycock and Pinay, 1993; Gumiero et al., 2011), ma piuttosto efficienze comprese fra il 30-60%. Ciò può essere imputabile al breve periodo di monitoraggio (1-2 anni) e alle condizioni meteorologiche "anomale", mentre in alcuni siti la scarsa maturità dei sistemi tampone allestiti per la sperimentazione, in molti casi convertiti solo prima del suo avvio da sistemi agricoli tradizionali, può determinare una sottostima delle capacità tampone. Ciò è confermato dagli scarsi livelli di sostanza organica disponibile nei suoli (valori compresi fra 1,5 e 1,7%). E' ipotizzabile un incremento della capacità di rimozione a seguito della maturazione dei sistemi che spesso si manifesta già a partire dal 2 o 3 anno (Gumiero *et al.* 2011; Anbumozhi *et al.*, 2005; Uusi-Kamppa and Jauhiainen, 2010). In questa fase di maturazione dei sistemi le forzanti idrologiche risultano essere prevalenti, in termini di importanza, rispetto al tipo di vegetazione presente.

Allo stesso modo la tipologia di corso d'acqua presente non influenza in modo significativo l'azione della Fascia Tampone, anche se va riconosciuto alla dinamica fluviale storica un ruolo nel definire i diversi strati di suolo presenti nell'area perfluviale occupata oggi dalla Fascia Tampone. Questo porta in genere a situazioni pedologiche piuttosto eterogenee per fasce poste in corrispondenza di corpi idrici naturali rispetto a quelle poste in corrispondenza di corpi idrici artificiali.

La capacità di infiltrazione delle acque nei suoli, con conseguente sviluppo di deflussi sub-superficiali, sembra complessivamente piuttosto significativa in tutti i sistemi monitorati (valori variabili fra il 18 ed il 64% rispetto alle precipitazioni complessive); questo anche in sistemi con pendenze elevate (superiori al 6%) e/o con caratteristiche tessiturali (fini) che dovrebbero favorire lo sviluppo di fenomeni di ruscellamento superficiale. E' evidente che questo dipende principalmente dalle operazioni di aratura dei campi che oltre ad incrementare molto significativamente la capacità di infiltrazione delle acque a pieno campo, tende a creare

un dislivello significativo all'ingresso della Fascia Tampone (indisturbata) non superabile dalle acque di runoff.

Conclusioni per il sito di CREA-VIT

Il dato di abbattimento dei solidi sospesi, veicolati tramite runoff attraverso la Fascia Tampone erbacea di 5 m, pari a 45,5% è piuttosto significativo se si considera che esso è quasi interamente imputabile ad una riduzione delle concentrazioni (visto l'effetto quasi trascurabile in termini di riduzione dei volumi di runoff) e risulta in linea con quello rilevato in altre sperimentazioni (Dillaha and Inamdar, 1997; Carluer *et al.*, 2011). Trova conferma quindi l'efficacia di Fasce Tampone a copertura solo erbacea nel trattare inquinanti veicolati tramite runoff anche nel caso di ampiezze contenute come quella di 5m prevista nel caso dello Standard di condizionalità 5.2. Le concentrazioni sotto soglia di rilevamento registrate per il Glifosate sia in uscita dalla Fascia Tampone che dal vigneto sono spiegabili considerando i tempi molto lunghi (rispettivamente 49, 25 e 20 giorni) trascorsi fra le 3 distribuzioni effettuate e la generazione (molto contenuta) di runoff superficiale a seguito delle precipitazioni (molto sporadiche e scarse) verificatesi nel periodo successivo alla distribuzione. Questo ha favorito la possibilità di degradazione del Glifosate, che ha dei tempi di emivita generalmente non superiori alla soglia di 20 giorni (Screpanti *et al.*, 2005; Borggaard and Gimsing, 2008) prima della sua fuoriuscita dal vigneto. E' presumibile invece che nel caso si verificassero precipitazioni intense nei giorni immediatamente successivi alla distribuzione la situazione sia diversa.

Contributi

Bruna Gumiero: responsabile scientifico WP14 "Fasce Tampone". Progettazione dei dispositivi sperimentali sulle parcelle e sui bacini di monitoraggio, stesura del testo, impostazione metodologica del monitoraggio, elaborazione dati analitici, messa a punto degli indicatori per l'efficienza delle FT, rilievi in campo (Azienda Diana di Veneto Agricoltura e

Az. Fagna CREA-ABP) e contributo nella determinazione del valore reale del differenziale di competitività.

Bruno Boz: progettazione dei dispositivi sperimentali sulle parcelle e sui bacini di monitoraggio, stesura del testo, impostazione metodologica del monitoraggio, elaborazione dati analitici, calcolo dei bilanci di massa, messa a punto degli indicatori per l'efficienza delle FT, rilievi in campo (Azienda Diana di Veneto Agricoltura) e contributo nella determinazione del valore reale del differenziale di competitività.

Paolo Bazzoffi: coordinatore del progetto MONACO, e delle attività UO CRA BPA, rilievi GPS, elaborazioni GIS.

Silvia Carnevale: rilievi in campo e in laboratorio, contributo ai rilievi in campo del differenziale competitività (Azienda Fagna).

Alessandra Lagomarsino: responsabile laboratorio analisi chimiche delle acque e dei suoli contributo alla messa a punto delle metodiche analitiche (Azienda Fagna)..

Alessandro Elio Agnelli: analisi chimiche delle acque e dei suoli (Azienda Fagna)..

Andrea Rocchini: analisi fisiche dei suoli, rilievi in campo (Azienda Fagna)..

Rosario Napoli: inquadramento pedologico e geologico dei siti di monitoraggio. Progettazione dei dispositivi sperimentali sulle parcelle e sui bacini di monitoraggio (Azienda Tor Mancina), rilievi differenziale competitività (Azienda Tor Mancina), messa a punto degli indicatori per l'efficienza delle FT.

Rosa Francaviglia: coordinatore attività UO CREA-RPS.

Bruno Pennelli: rilievi di campo per le analisi fisico-idrologiche e campionamento di suoli ed acque (Azienda Tor Mancina).

Lamberto Borrelli: coordinatore attività UO CREA-FLC Lodi.

Giovanni Cabassi: collaborazione all'allestimento e alla conduzione del monitoraggio sulle Fasce Tampone e sui bacini di monitoraggio, rilievi di campo, rilievi differenziale competitività (Azienda Baroncina-Lodi).

Francesco Montemurro: coordinatore attività UO CREA-SSC Metaponto

Angelo Fiore: collaborazione all'allestimento e alla conduzione del monitoraggio sulle Fasce Tampone e sui bacini di monitoraggio, rilievi di campo per le analisi fisico-idrologiche (Azienda Metaponto).

Giorgio Moretti: rilievi in campo e assistenza all'installazione degli strumenti di campo (Azienda Fagna).

Ringraziamenti

Si ringrazia la Dott.ssa Maria Carmen Beltrano dell'Unità di Ricerca per la Climatologia e la Meteorologia applicate all'Agricoltura di Roma (CREA-CMA) per avere reso disponibili i dati orari di temperatura e precipitazione rilevati presso la stazione della Rete Agrometeorologica Nazionale di Monterotondo.

Si ringrazia inoltre il dott. Peruch Ugo per la progettazione/installazione del sito sperimentale di CREA-VIT.

Si ringrazia per la gentile collaborazione il Sig. Luca Tolfo e la "Soc. Agricola Le Rive di Bonato".

Bibliografia

- Anbumozhi V, Radhakrishnan J, Yamaji E, 2005. Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations. *Ecol. Eng.* 24:517-523.
- APAT, CNR, IRSA, 2003. Metodi analitici per le acque. APAT rapporti 29/2003.
- Billy C, Birgand F, Ansart P, Peschard J, Sebilo M, Tournebize J, 2013. Factors controlling nitrate concentrations in surface waters of an agricultural and artificially drained watershed. *Landscape Ecol.* 28:665-684.
- Borggaard OK, Gimsing AL, 2008. Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: a review. *Pest Manage. Sci.* 64:441-456.
- Borin M, Vianello M, Morari F, Zanin G, 2005. Effectiveness of buffer strips in removing pollutants in runoff from a cultivated field in North-East Italy. *Agr. Ecosyst. Environ.* 105:101-114.
- Bouwer H, Rice RC, 1976. A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells. *Water Resour. Res.* 12:423-428.
- Boz B, 2011. Denitrification activity and denitrifying population dynamic in the soil of a wooded riparian strip. PhD Thesis. University of Padua, Italy.
- Boz B, Rahman MM, Bottegal M, Basaglia M, Squartini A, Gumiero B, Casella S, 2013. Vegetation, soil and hydrology management influence denitrification activity and the composition of nirK-type denitrifier communities in a newly afforested riparian buffer. *New Biotechnol.* 30:675-684.
- Busse MD, Ratcliff AW, Shestak CJ, Powers RF, 2001. Glyphosate toxicity and effects of long-term vegetation control on soil microbial communities. *Soil Biol. Biochem.* 33:1777-1789.
- Campbell N, D'Arcy B, Frost A, Novotny V, Sansom A, 2004. Diffuse pollution: an introduction to the problems and solutions. IWA Publishing.
- Carlier N, Tournebize J, Gouy V, Margoum C, Vincent B, Gril JJ, 2011. Role of buffer zones in controlling pesticides fluxes to surface waters. *Procedia Environ. Sci.* 9:21-26.
- Carpenter SR, Caraco NF, Correll DL, Howarth RW, Sharpley AN, Smith VH, 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol. Appl.* 8:559-568.
- Cheng XL, Yang YH, Li M, Dou XL, Zhang QF, 2013. The impact of agricultural land use changes on soil organic carbon dynamics in the Danjiangkou Reservoir area of China. *Plant Soil* 366:415-424.
- Clément JC, Pinay G, Marmonier P, 2002. Seasonal dynamics of denitrification along topohydrosequences in three different riparian wetland. *J. Environ. Qual.* 31:1025-1037.
- Coops H, van Geest G, 2007. Ecological restoration of wetlands in Europe. Significance for implementing the Water Framework Directive in the Netherlands. Report. Prepared for: Rijkswaterstaat RIZA.

- Dhondt K, Boeckx P, Hofman G, Cleemput OV, 2004. Temporal and spatial patterns of denitrification enzyme activity and nitrous fluxes in three adjacent vegetated riparian buffer zones. *Biol. Fertil. Soil* 40:243-251.
- Dillaha TA, Inamdar SP, 1997. " Buffer Zones as Sediment Traps or Sources". In: Haycock, N.E., T.P. Burt, K.W.T. Goulding and G. Pinay (Eds.) *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection*. Quest Environmental, Harpenden.
- Fennesy MS, Cronk JK, 1997. The effectiveness and restoration potential of riparian ecotones for the management of nonpoint source pollution, particularly nitrate. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 27:285-317.
- Fortier J, Truax B, Gagnon D, Lambert F, 2015. Biomass carbon, nitrogen and phosphorus stocks in hybrid poplar buffers, herbaceous buffers and natural woodlots in the riparian zone on agricultural land. *J. Environ. Man.* 154:333-345.
- Gren IM, Destouni G, 2011. Does divergence of nutrient load measurements matter for successful mitigation of marine eutrophication? Springer.
- Gumiero B, Boz B, Cornelio P, Casella S, 2011. Shallow groundwater nitrogen and denitrification in a newly afforested, subirrigated riparian buffer. *J. Appl. Ecol.* 48:1135-1144.
- Gumiero B, Mant J, Hein T, Elso J, Boz B, 2013. Linking the restoration of rivers and riparian zones/wetlands in Europe: sharing knowledge through case studies. *Ecol. Eng.* 56:36-50.
- Hefting MM, van den Heuvel RN, Verhoeven JTA, 2013. Wetlands in agricultural landscapes for nitrogen attenuation and biodiversity enhancement: opportunities and limitations. *Ecol. Eng.* 56:5-13.
- Haycock NE, Pinay G, 1993. Groundwater nitrate dynamics in grass and poplar vegetated riparian buffer strips during the winter. *Journal of Environmental Quality.* 22:273-278.
- Hudson NW, 1993. *Field Measurement of Soil Erosion and Runoff*. FAO. Rome.
- Khan FA, Ansari AA, 2005. Eutrophication: An Ecological Vision. *Bot. Rev.* 71:449-482.
- Landry D, Dousset S, Fournier JC, Andreux F, 2005. Leaching of glyphosate and AMPA under two soil management practices in Burgundy vineyards (Vosne-Romanée, 21-France). *Environ. Poll.* 138:191-200.
- Mastrocicco M, Boz B, Colombani N, Carrer GM, Bonato M, Gumiero B, 2013. Modelling groundwater residence time in a sub-irrigated buffer zone. *Ecohydrol.* 7:1054-1063.
- Metodi di Analisi Chimica del Suolo, 2000. Ministero per le Politiche Agricole e Forestali, Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo. VII, pp. 1-10
- Patty L, Réal B, Gril J, 1997. The Use of Grassed Buffer Strips to Remove Pesticides, Nitrate and Soluble Phosphorus Compounds from Runoff Water. *Pestic. Sci.* 49:243-251.
- Peterjohn WT, Correll DL, 1984. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: Observations on the role of a riparian forest. *Ecology* 65:1466-1475.
- Pinay G, Black VJ, Planty-Tabacchi AM, Gumiero B, Décamps H, 2000. Geomorphic control of denitrification in large river floodplain soils. *Biogeochemistry* 30:9-29.
- Rubinson KA, Rubinson JF, 2002. *Chimica analitica strumentale*. Zanichelli, Bologna.
- Sabater S, Butturini A, Clement JC, Burt TP, Dowrick D, Hefting MM, Maitre V, Pinay G, Postolache C, Rzepecki M, Sabater F, 2003. Nitrogen removal by riparian buffers along a European climatic gradient: patterns and factors of variation. *Ecosystems* 6:20-30.
- Screpanti C, Accinelli C, Vicari A, Catizone P, 2005. Glyphosate and glufosinate-ammonium runoff from a corn-growing area in Italy. *Agron. Sustain. Dev.* 25:407-412.
- Sebilo M, Mayer B, Nicolardot B, Pinay G, Mariotti A, 2013. Long-term fate of nitrate fertilizer in agricultural soils. *P. Natl. Acad. Sci. USA* 110:18185-18189.
- Shipitalo MJ, Malone RW, Owens LB, 2008. Impact of glyphosate-tolerant soybean and glufosinate-tolerant corn production on herbicide losses in surface runoff. *J. Environ. Qual.* 37:401-408.
- Siimes K, Ramo S, Welling L, Nikunen U, Laitinen P, 2006. Comparison of behaviour of three herbicides in a field experiment under bare soil conditions. *Agr. Water Manage.* 84:53-64.
- Syversen N, Bechmann M, 2004. Vegetative buffer zones as pesticide filters for simulated surface runoff. *Ecol. Eng.* 22:175-184.
- Uusi-Kämpö J, Jauhiainen L, 2010. Long-term monitoring of buffer zone efficiency under different cultivation techniques in boreal conditions. *Agr. Ecosyst. Environ.* 137:75-85.

- Uusi-Kamppa J, Turtula E, Hartikainen H, Ylaranta T, 1997. The interaction of buffer zones and phosphorus runoff. In: Haycock, N.E., T.P. Burt, K.W.T. Goulding and G. Pinay (eds.) Buffer zones: their processes and potential in water protection. Quest Environmental, Harpenden.
- Veiga F, Zapata JM, Marcos MLF, Alvarez E, 2001. Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in forest soil in Galicia, north-west Spain. *Sci. Total Environ.* 271:135-144.
- Vereecken H, 2005. Mobility and leaching of glyphosate: a review. *Pest Manag. Sci.* 61:1139-1151.
- Vidon P, Hill AR, 2004. Landscape controls on the hydrology of stream riparian zones. *J. Hydrol.* 292:210-228.
- Warnemuende EA, Patterson JP, Smith DR, Huang CH, 2007. Effects of tilling no-till soil on losses of atrazine and glyphosate to runoff water under variable intensity simulated rainfall. *Soil Till. Res.* 95:19-26.
- Weyer PJ, Cerhan JR, Kross BC, Halberg GR, Kantaneni J, Breuer G, Jones MP, Zheng W, Lynch CF, 2001. Municipal drinking water nitrate level and cancer risk in older women: the Iowa Women's Health Study. *Epidemiology* 11:327-338.
- Zhang K, Cheng X, Dang H, YC, Zhang Q, 2012. Soil nitrogen and denitrification potential as affected by land use and stand age following agricultural abandonment in a headwater catchment. *Soil Use Manage.* 28:361-369.

www.agricoltura24.com