

L'acquifero di Petrignano di Assisi in Valle Umbra (Italia Centrale): un esempio di sviluppo metodologico della conoscenza dei sistemi ambientali

The Petrignano di Assisi aquifer in Umbrian Valley (Central Italy): an example of methodological approach used to investigate environmental water systems

Angiolo Martinelli¹, Giancarlo Marchetti¹, Endro Martini², Federica Facchino³, Carla Cortina⁴

Introduzione

Per capire quale sia stato il quadro ambientale, su cui si è andati ad intervenire con il progetto LIFE, è necessaria una breve presentazione dei passi che sono stati messi in atto negli ultimi 20-30 anni nell'area di Petrignano. Agli inizi degli anni '70 si era sviluppata la necessità di integrare le richieste crescenti di risorsa idrica, per i cambiamenti economici, sociali e tecnologici che il territorio regionale stava producendo.

L'aumento della domanda idrica doveva essere in qualche modo soddisfatto da parte della giovane amministrazione regionale, costituita nel 1970. Fu fatta la scelta di integrare l'utilizzo di risorse, sicuramente di pregio, delle aree montuose però distanti, con quelle che avevano una garanzia maggiore dal punto di vista della quantità e che erano prossime ai centri principali di utilizzazione delle stesse risorse idriche, tra cui l'area di Petrignano, che è un'area di pianura nell'Umbria centrale, tra Perugia ed Assisi, ove furono realizzati dei pozzi da cui si prelevano quantità dell'ordine di 200-350 l/s

La falda di quest'area è principalmente alimentata dalle piogge che cadono direttamente sui terreni di pianura, con un contributo limitato proveniente dal fiume C hiascio che costeggia la piana stessa.

Le attività condotte si sono sviluppate nel tempo, seguendo anche un filo logico pratico ed al tempo stesso metodologico.

La necessità iniziale era quella di capire che risorse c'erano, quante ce n'erano e non si è pensato molto al rischio o ai problemi anche di natura qualitativa che si potevano correre. Si fecero delle indagini di tipo geognostico, quindi sondaggi, prove di tipo idrogeologico, di caratterizzazione e ricostruzione dei sistemi acquiferi utilizzati.

Successivamente si è passati a un controllo dei livelli di falda ed al chimismo di base che ha riguardato tutta la piana in quanto esistevano anche altri punti di prelievo potabile.

A metà degli anni '80, l'esigenza di gestire in maniera integrata i differenti tipi di fabbisogni idrici, perché a quello potabile si associano anche consistenti prelievi ad uso irriguo nel periodo primaverile-estivo e ad uso industriale nelle aree industriali di tutta la pianura, fu messa a punto un'indagine e una modellazione di tipo quantitativo della falda, per valutare a livello di previsione cosa sarebbe accaduto in futuro nella gestione di questa risorsa.

Il modello realizzato (Giaquinto *et al.*, 1991), ha simulato la messa in opera del campo pozzi, ma il suo supporto si è arenato nell'impossibilità di aggiornare il quadro complessivo del sistema, nuovi prelievi in particolare.

¹ ARPA Umbria, Direzione Generale, Unità Operativa Tecnica
via Pievaiola - 06132 San Sisto - Perugia (Italy)
tel. +39 75 515961
arpa@arpa.umbria.it

² Regione Umbria, Direzione Politiche territoriali, Ambiente e Infrastrutture.

³ Università di Milano La Bicocca, ora Provincia di Biella.

⁴ Università degli Studi di Perugia, Dipartimento Scienze Economiche ed Estimative.

Sommario

Ad inizio anni '70 la crescita della domanda di risorse idriche per fini potabili portò l'amministrazione regionale, appena nata, ad avviare studi conoscitivi sugli acquiferi di pianura prossimi ai centri urbani. Tra questi la valle Umbra nord, dove si definirono risorse di notevole interesse nell'area di Petrignano, caratterizzata da un sistema di numerosi strati acquiferi.

Realizzato negli anni seguenti il sistema di captazione della falda nella sua porzione inferiore, cominciarono ad emergere in breve tempo i problemi legati alla crescente contaminazione da nitrati. Ad essi si affiancava il sovrasfruttamento della falda per cicli climatici negativi e il crescente prelievo agricolo, civile ed industriale che ha reso, nel tempo, più complessa e critica la situazione idrogeologica del sistema.

Indagini e ricerche successive hanno sviluppato il quadro delle conoscenze sulle falde e delle mutue relazioni con la pressione agricola in particolare: valutazioni mirate hanno portato a quantificare i carichi azotati in eccesso, i tempi e le modalità di arrivo in falda, ed a prefigurare scenari culturali ed agronomici capaci di favorire minori perdite azotate dal suolo e un recupero qualitativo della falda.

Applicando pratiche agronomiche che puntano sul contenimento dell'azoto residuo e che garantiscono una migliore e minore distribuzione dell'azoto, si può abbattere notevolmente il quantitativo di azoto che raggiunge la falda (per i modelli oltre il 50%).

Il non saturo ha tempi di riequilibrio medi di 3-4 anni, ma si giunge in certi casi anche a 8-10 anni, tanto che la falda ha bisogno di almeno 4-5 anni per cominciare a beneficiare degli effetti degli interventi simulati.

Il prelievo potabile in 7-8 anni può invertire l'attuale trend di crescita e tornare a situazioni che rientrano all'interno della direttiva nitrati: questo applicando gli interventi su una superficie dell'ordine di 2.400 ettari.

Attualmente si perdono qualcosa come 50-60 chili di azoto ad ettaro all'anno, a fronte di un azoto distribuito medio di circa 170 chili, comprensivo di quello chimico e quello organico: la perdita è percentualmente molto elevata ed i valori corrispondono a poco più della quantità che viene annualmente estratta attraverso l'ac-

Summary

At the beginning of the 70's the increasing demand for potable water led the newly formed regional government to initiate investigative studies on the aquifers in plains close to the towns. One of these was the northern Umbrian valley, where substantial quantities of water were found in the Petrignano area, which is characterised by its numerous aquifer strata.

In the years which followed a system was developed to extract water from the lowest part of the water table, and soon problems emerged relating to the growing nitrate contamination. Added to this was the problem of over-exploitation of the water table due to negative climactic conditions plus the increased use of the water supply for agricultural, civil and industrial purposes, all of which gradually rendered the hydrogeological situation more complex and critical.

Successive research has enabled a picture to develop which illustrates the water table and particularly how it is affected by agriculture's demand for water. Specialist studies have investigated the quantities of excessive amounts of nitrogen, how these reach the water table and how long this takes, and the possibility of developing a cultural and agronomic context which would favour the reduction of nitrogen loss from the ground surface and bring about an improvement in the quality of the water table.

By applying agronomic practices aimed at regulating the nitrogen residue and guaranteeing a better, more reduced distribution of it, the quantity of nitrogen which reaches the water table can be diminished (by over 50% according to the models).

The unsaturated zone takes an average period of 3-4 years to re-establish a balance, but in certain cases it can take up to 8-10 years, which means that the water table needs at least 4-5 years before it starts to benefit from the effects of the simulated intervention.

In 7-8 years a sample of potable water can invert its current trend in which nitrates are on the increase and return to the limits stipulated by the nitrates regulatory code as acceptable: this when the intervention is applied to an area of 2,400 hectares.

Currently, out of an average 170 kilos of nitrogen which are distributed, including both chemical and organic, approximately 50-60 kilos of

qua potabile (oltre 100 tonnellate di azoto/anno). Per risanare l'acquifero è necessario passare ad un carico azotato medio complessivo di non più di 110-120 kg/ettaro, ben inferiore al vincolo della direttiva nitrati, portando l'azoto lisciviato a molto meno della metà di quello attuale: se non si riduce il carico complessivo, non c'è nessuna possibilità di recuperare la falda.

Nel bilancio dell'azoto al suolo occorre tener conto poi del contributo dovuto alla fissazione di azoto atmosferico (10-20 chili/ettaro in zona) e all'azoto (50 kg/ha per il mais) contenuto nelle acque di irrigazione se prelevate dalla falda. Le soluzioni che si sono prospettate nel 1998 erano o abbandonare il prelievo, il che chiaramente comportava costi notevoli per affidarsi a risorse sostitutive, oppure impostare il percorso per il risanamento della falda come richiedono le normative.

Il progetto LIFE nasce da questo quadro conoscitivo, e dalla volontà di recuperare la risorsa idrica, nel rispetto della direttiva comunitaria (Direttiva 91/676) e della normativa italiana del 1999 (DLGS 152/99).

nitrogen per hectare are lost. The percentage of loss is very high and the figures amount to little more than the quantity which is extracted annually with potable water (more than 100 tons of nitrogen per year). To improve the aquifer, the average total levels of nitrogen must be reduced to not more than 110-120 kilos per hectare, well below the limit established by the nitrates regulatory code, bringing the leached nitrogen to much less than half the current amount: if the total levels are not reduced, there is no chance of recovering the water table.

When measuring the surface nitrogen one must also take into account the fixation of nitrogen in the atmosphere (10-20 kilos in the area) and the nitrogen contained in the irrigation water (50 kilos per hectare for maize) if this is taken from the falda.

In 1998 the solutions proposed were either to stop drawing on the water table, which would obviously incur high costs as an alternative water supply would have to be found, or aim for a decontamination of the water table as stipulated by the legislation.

This situation, and the desire to improve water resources, in line with the EU code (DIR 91/676) and the 1999 Italian law (DLGS152/99), led to the LIFE project being set up.

Gli studi di vulnerabilità e la definizione idrogeologica del problema

Nell'area di Petrignano già negli anni '80 vennero fuori i primi problemi di impatto antropico con evidenza di contaminazione per la presenza crescente di nitrati nella falda: iniziarono controlli specifici ed ulteriori studi per approfondire il quadro conoscitivo della situazione.

Questo lavoro partì in maniera organica nel 1985 nell'ambito di un gruppo di ricerca nazionale, il GNDC (CNR, Gruppo Nazionale Difesa dalle Catastrofi idrogeologiche, di cui la Regione Umbria fu uno dei primi enti pubblici all'interno del gruppo di lavoro, in quanto la gran parte dei partecipanti a questo centro erano di provenienza universitaria o istituti di ricerca.

La Regione intendeva in questo modo creare una connessione stretta tra le politiche terri-

toriali e le attività di tipo conoscitivo o scientifico. L'area è stata classificata, verso la fine degli anni '80, come ad elevata vulnerabilità all'inquinamento, perché è un sistema di depositi alluvionali dove non esiste una barriera verticale all'infiltrazione delle acque di pioggia e a tutte le sostanze che esse trasportano (AA.VV., 1990).

In particolare l'area centrale (fig. 1) è classificata con un grado di vulnerabilità estremamente elevato, proprio perché i prelievi potabili lì concentrati durante tutto l'anno creavano una condizione idrogeologica che perturbava quello che era il comportamento naturale del sistema e favoriva, incentivava, le eventuali contaminazioni che arrivavano alle falde.

Infatti, nel tempo l'attivazione del campo pozzi e l'aumento dei prelievi (fig. 2) che negli anni sono andati crescendo, hanno prodotto

Figura 1 – Carta di vulnerabilità all'inquinamento dell'area (AA.VV., 1990)
 Figure 1 – Site map of groundwater vulnerability to pollution (AA.VV., 1990)



una forte perturbazione alla rete di flusso idrogeologico della falda. La falda in passato defluiva verso sud, si muoveva in maniera naturale; con il campo pozzi in funzione tutta l'acqua che si infila in un'area dell'ordine dei tremila ettari, tutto il settore di pianura, diventa concentrica sull'area di prelievo. Quindi tutto il carico inquinante che va a finire nella falda fuoriesce dai pozzi, dall'estrazione per uso potabile.

La falda è sollecitata in maniera diversa tra il periodo estivo e quello invernale. Nel periodo invernale, le acque potabili vengono integrate maggiormente dalle sorgenti degli Appennini, dove c'è una maggior disponibilità delle risorse; nel periodo estivo, per contro, le sorgenti tendono ad impoverirsi come portata e al prelievo potabile si associa anche quello soprattutto agricolo.

Nelle figure 3 e 4 si hanno due immagini di

ricostruzioni piezometriche storiche, una del 1974, in cui ancora non si avevano i prelievi potabili e quindi si dà un'indicazione di come si muoveva la falda; il campo pozzi non esisteva e quindi c'era un movimento da nord verso sud, tutto defluiva naturalmente. Il fiume C hiascio scorreva e scorre al margine orientale dell'acquifero e quindi naturalmente la falda andava a rialimentarlo nel suo tratto inferiore.

La situazione del 1987 evidenzia come il campo pozzi ha modificato il sistema, tutto è concentrico sul punto di prelievo, il resto della falda comunque defluisce per conto suo, ma non c'è più il collegamento naturale verso sud. C hiaramente, questo meccanismo naturale garantiva nel tempo, anche se in tempi molto lunghi, perché le velocità della falda sono dell'ordine delle centinaia di metri all'anno in senso orizzontale, alla falda stessa di allontanare parzialmente anche le sostanze contaminanti che vi giungevano.

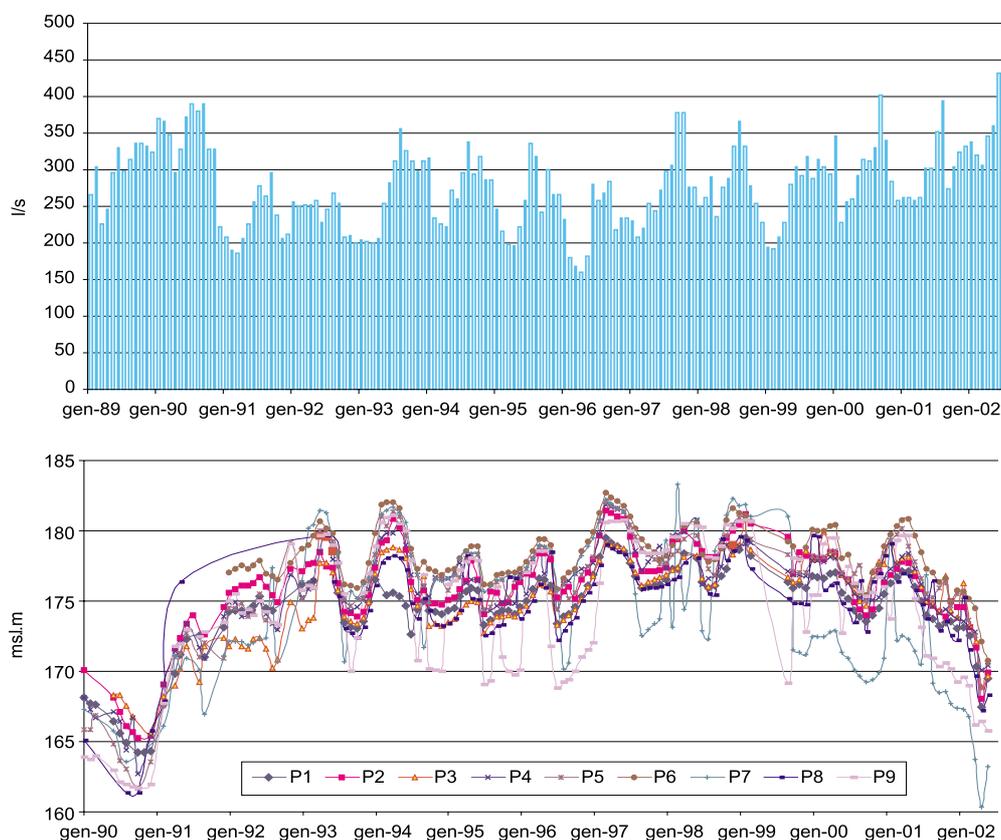
Il lavoro fatto è stato anche di capire meglio come funzionava verticalmente il sistema, perché per la gestione e salvaguardia delle risorse questo è fondamentale.

Si è organizzata una ricostruzione tridimensionale dell'acquifero in cui sono stati identificati tre corpi acquiferi principali. Il primo acquifero, di tipo sicuramente freatico, è quello più esposto e su cui avvengono i principali prelievi non potabili, ed ha subito e subisce l'impatto maggiore.

I due acquiferi inferiori, che avevano il pregio di essere parzialmente isolati, si ritiene che fossero differenziati anche a livello idraulico, erano protetti da una "copertura", un diaframma fatto di livelli limoso-argillosi tra i vari acquiferi che poteva consentire una certa protezione.

I pozzi potabili per primi hanno avviato i prelievi da questi orizzonti, seguiti a ruota da innumerevoli pozzi privati, che hanno favorito l'interconnessione tra le falde, in quanto non sono stati ripristinati i setti impermeabili lungo le perforazioni. Con il prelievo concentrato su queste falde inferiori, praticamente si è

Figura 2 – Portate complessive prelevate e livelli dinamici nei pozzi
 Figure 2 – Total abstraction rate (L/s) and dynamic water table levels in wells



favorito il meccanismo della drenanza, ossia questi acquiferi che in origine erano quasi immobili, venendo sollecitati dal prelievo hanno dovuto essere ricaricati, e l'unico modo per ricaricarli era quello che l'acquifero soprastante doveva in qualche modo accelerare il suo meccanismo di trasporto in profondità. I pozzi malcostruiti hanno probabilmente favorito questo percorso, annullando al tempo stesso i meccanismi di ritenzione dei carichi inquinanti.

L'originale gradiente verticale inverso dei nitrati degli anni '70, con la prima falda su valori molto più alti di quelle inferiori, si è andato gradualmente attenuando e le falde inferiori tendono ad omogeneizzarsi con essa quanto a concentrazioni. I valori più elevati

della prima falda restano comunque evidenti, in quanto questa riceve costantemente il carico in arrivo dal suolo.

Ad inizio anni '90, l'allora Consorzio Acquedotti Perugia, che era l'ente che gestiva il campo pozzi ai fini potabili, eseguì uno studio per la definizione delle aree di salvaguardia della risorsa idrica ai sensi della normativa nazionale proposta dal DPR 236/88, giungendo a definire le condizioni dinamiche dell'acquifero nelle diverse modalità di sfruttamento (rete e velocità di flusso).

Dalla figura 5 si vede come l'isocrona ad un anno, ossia la porzione di acquifero che recapita acqua ai pozzi potabili in quel tempo medio, ha un'estensione notevole di qualche centinaio di ettari: secondo l'attuale normati-

Figura 3 – Piezometria dell'area nel 1974 (A.A.V.V., 1990)
Figure 3 – Map of piezometric levels in 1974 (A.A.V.V., 1990)



Figura 4 – Piezometria dell'area nel 1987 (A.A.V.V., 1990)
Figure 4 – Map of piezometric levels in 1987 (A.A.V.V., 1990)



va (DLGS 152/99) corrisponderebbe alla zona di rispetto allargata, cioè alla zona all'interno della quale dovrebbero essere vietate o limitate tutta una serie di pratiche contaminanti. Le altre isocrone, in particolare quelle a tre e quattro anni, di cui la seconda non completa, fanno vedere come nel settore nord-est, si avvicinano molto al fiume. Questa è un'area in cui il fiume ricarica in parte la falda, siamo però ad una distanza notevole.

Di fatto l'acqua del fiume, che è un'acqua povera di nitrati, è in grado di diluire, di miglio-

rare qualitativamente il chimismo dell'acqua sotterranea; essa però è costretta a compiere un percorso piuttosto lungo e nel percorso si miscela con le acque di infiltrazione e si arricchisce anche in nutrienti e in nitrati in particolare.

Le buone intenzioni delle aree di salvaguardia sono state frustrate dal fatto che, in Italia, la normativa del 1988 (DPR 236) non è mai entrata a regime, in quanto non sono mai state emanate a livello nazionale le norme tecniche, che erano di competenza dello Stato italiano, e

Figura 5 – Definizione delle isocrone della falda per le aree di salvaguardia (Idrogeotec, 1993)
 Figure 5 – Time of travel in water table for groundwater protection zone (Idrogeotec, 1993)



quindi molte Regioni, come la nostra, non hanno mai preso la decisione di applicare queste aree di salvaguardia e di mettere quei vincoli importanti per la tutela delle acque potabili. I vincoli chiaramente comportavano anche delle contropartite di tipo economico, perché bisognava modificare la gestione del territorio circostante.

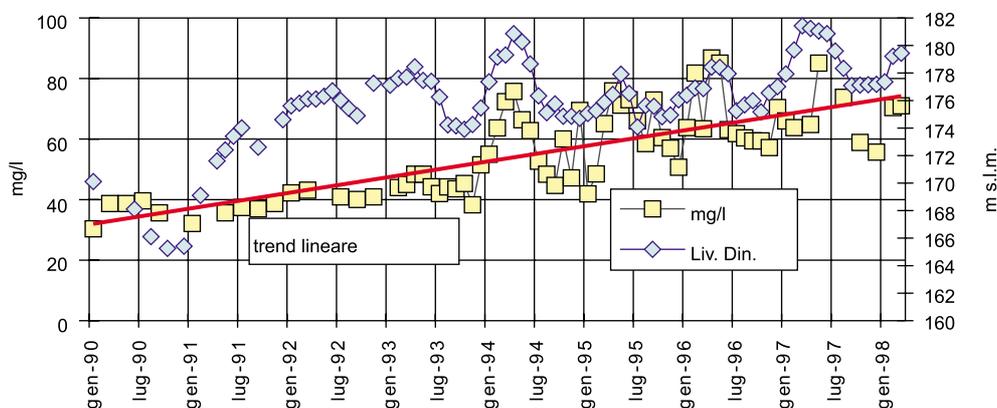
I nitrati in falda

La vulnerabilità del sistema e l'analisi di rischio degli acquiferi si basa anche sullo stu-

dio delle variazioni di concentrazione misurate e sull'analisi dei *trend*.

La serie storica di dati disponibili è molto interessante in quanto attualmente per i pozzi potabili supera i 20 anni ed ha una frequenza minima quindicinale: prendendo ad esempio uno tra i punti di prelievo potabile considerato rappresentativo (fig. 6), si vede come da condizioni ancora abbastanza favorevoli, in meno di 10 anni si è avuto un *trend* crescente chiaro, netto, che non è confutabile a livello statistico, e che ci dice che la situazione stava degradan-

Figura 6 – Trend della concentrazione in nitrati nell'acquifero medio-inferiore (1990-1998)
 Figure 6 – Nitrates concentration trend in medium-low aquifer (years 1990-1998)



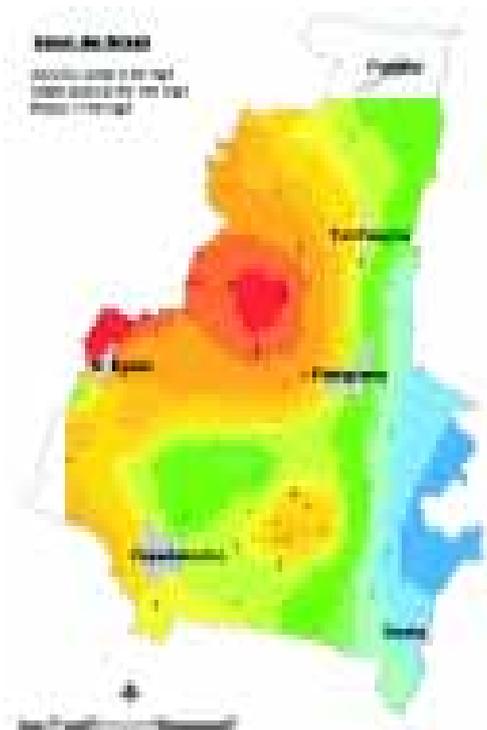
dosi in maniera progressiva. Questo dato deve essere interpretato in tutto il suo significato, perché è un dato di concentrazione nelle falde intermedia e profonda. Due sono i meccanismi che intervengono sul sistema: uno riguarda l'incremento di carico in arrivo dalle pratiche agricole che avvengono in superficie, l'altro è dovuto al prelievo eccessivo dalle falde inferiori che richiamano in maniera più forte acqua dalla falda superiore e quindi, di fatto, passano più nitrati da una falda all'altra.

Per capire cosa sta succedendo a fine anni '90 in superficie, a livello di conduzione agricola, è sufficiente dare un'occhiata alle misure che dipendono direttamente dai nitrati che si perdono dalle pratiche agricole.

Questa situazione pre-Progetto LIFE, è evidenziata da una campagna di monitoraggio fatta sui punti rappresentativi della prima falda nella primavera del 1998.

La situazione mostrata dalla figura 7 era piuttosto allarmante: tutto il settore centro-occidentale dell'area era in condizioni superiori ai limiti di legge per uso potabile, mentre il settore orientale risente degli influssi diluito del fiume C hiascio.

Figura 7 – Carta della concentrazione in nitrati nella prima falda (1998)
 Figure 7 – Nitrates concentration map of the first water table (year 1998)



diversità idrogeologica: abbiamo una falda molto esigua, molto più superficiale e quindi molto più facilmente impattata, che ha un minor contenuto idrico e ciò vuol dire che c'è

anche una minor diluizione di quello che arriva dal suolo.

Nella parte più a sud, abbiamo l'ispessimento dell'acquifero superficiale che poi si differenzia in tre acquiferi sovrapposti: quindi c'è un volume idrico che è considerevolmente superiore a quello della parte settentrionale.

Quindi, da questi dati, si evidenzia come il carico di azoto che si perde dall'agricoltura debba essere modulato anche in funzione delle condizioni idrogeologiche delle falde, per poter garantire tenori di nitrati nei limiti consentiti.

L'analisi integrata agronomica, economica ed idrogeologica

Nel '95, sulla base delle problematiche già evidenziate, fu avviato un progetto multidisciplinare finanziato dal CNR all'interno del Progetto strategico Ambiente e Territorio: *Criticità della disponibilità di acqua a fini potabili*. La Regione Umbria coinvolse l'Università di Perugia, Istituto di Economia e politica agraria, e vennero sviluppati due canali preferenziali di analisi: un primo di tipo economico, in cui si intendeva fare il quadro della situazione agro-economica e modellizzare il sistema dal punto di vista della conduzione agricola, un secondo finalizzato alla definizione dei bilanci e percorsi dei nitrati nel suolo e in falda (Cortina *et al.*, 1999). Per l'aspetto agro economico, si applicarono dei modelli previsionali, furono fatte delle valutazioni per vedere la sostenibilità di soluzioni ecologicamente migliori e compatibili comunque con il sistema della politica comunitaria. La politica agricola, che è abbastanza complessa, non è soltanto legato alla conduzione dell'azienda da parte dell'agricoltore, ma ci sono i finanziamenti comunitari, gli incentivi e quant'altro, e si cercò quindi di capire quali fossero le misure praticabili e in che maniera venissero incontro da una parte al problema ambientale e dall'altra anche alla necessità degli agricoltori dell'area di mantenere un reddito che gli permettesse di adeguarsi a questa necessità senza avere perdite economiche, perché chiaramente questo

fattore avrebbe compromesso la loro attività.

L'analisi si è sviluppata nella seguente forma (Cortina, 1998), partendo dagli stessi dati:

- Dati sulle attività agricole:
 - tipologie aziendali, ordinamenti colturali, tecniche agricole, impiego di presidi sanitari e concimazioni organiche.
- Calcolo economico;
 - valutazione dei margini lordi a livello aziendale e per processo produttivo tenendo conto delle compensazioni al reddito degli agricoltori.
- Applicazione di modelli previsionali:
 - Programmazione lineare;
 - Weighted Goal Programming;
 - Programmazione lineare multiperiodale.

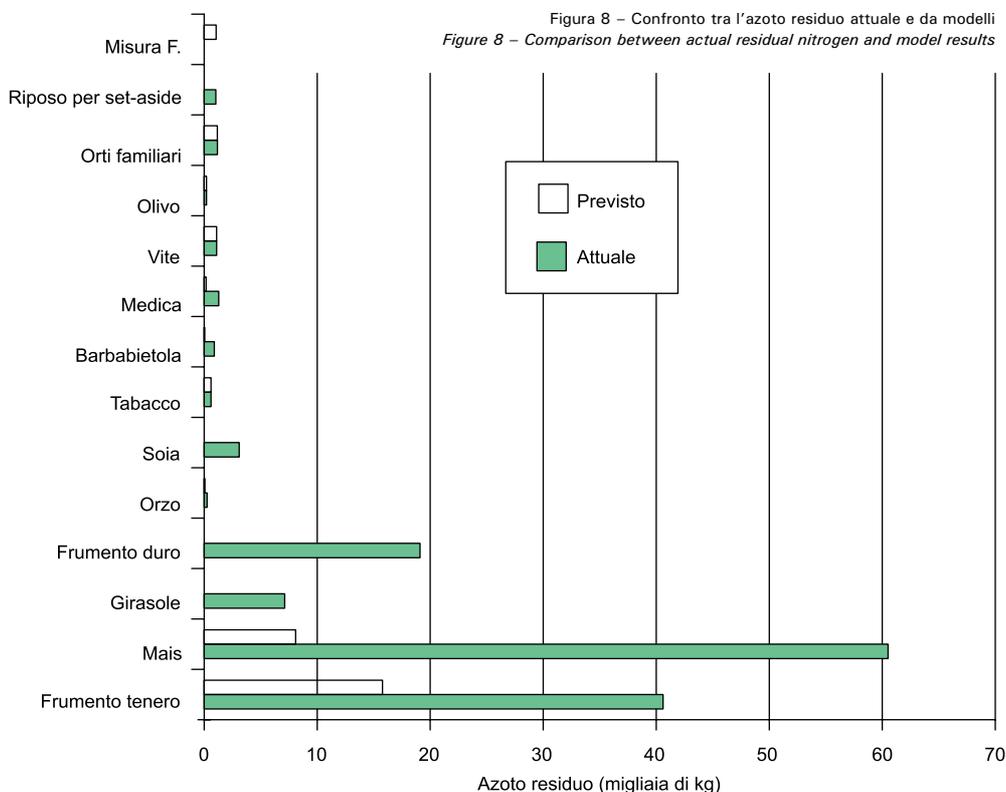
In figura 8 viene riportato il confronto tra l'azoto residuo rilasciato dalle colture allo stato attuale (seconda metà anni '90) e quello ottimale simulato.

Tra i dati utilizzati vi erano sia quelli dell'analisi delle colture in atto e della loro evoluzione nel tempo, che dati di tipo pedologico, derivati da uno studio di dettaglio eseguito nel 1990 dell'università (Boila *et al.*, 1993, Ciuchi, Pennacchi, 1996).

Nell'area di pianura alluvionale terrazzata, che è la parte principale dell'area di studio, esistono tre tipologie di suolo differenti (figura 9); i più abbondanti sono dei suoli a prevalenza argillosa, con minor facilità di essere attraversati e le acque di infiltrazione, che portano composti azotati in falda, hanno dei tempi di attraversamento molto lenti. Questo è un fattore da una parte positivo, perché garantisce una certa protezione, dall'altra però comporta che un'eventuale azione di risanamento ha bisogno di tempi molto più lunghi per eliminare la quantità di azoto che rimane intrappolata nel suolo.

Distribuiti su fasce meno estese sono i suoli un po' più limoso-sabbiosi, dove l'infiltrazione è favorita.

Nella fascia prossima al fiume Chiascio, caratterizzata da alluvioni recenti, i suoli sono ugualmente più permeabili: il loro rapporto



in questo caso è con una falda che in genere è sospesa rispetto a quella principale.

La seconda parte di quest'attività è consistita nel ricostruire un quadro previsionale di quello che avveniva all'interno del suolo e del non-saturo fino alla falda, in particolare come si muovevano queste sostanze azotate, cosa usciva dal suolo e in che tempi raggiungeva la falda, e che cosa provocava nella falda a livello di concentrazione, mediante:

- simulazione del flusso idrico e modello numerico del trasporto advettivo dei composti azotati, inclusi degradazione e trasformazione dell'azoto;
- simulazioni di trasporto di azoto proveniente dalla concimazione chimica e organica, dalla deposizione atmosferica e dalle irrigazioni con acque sotterranee contenenti nitrati;
- risultati aggregati in base a scenari di di-

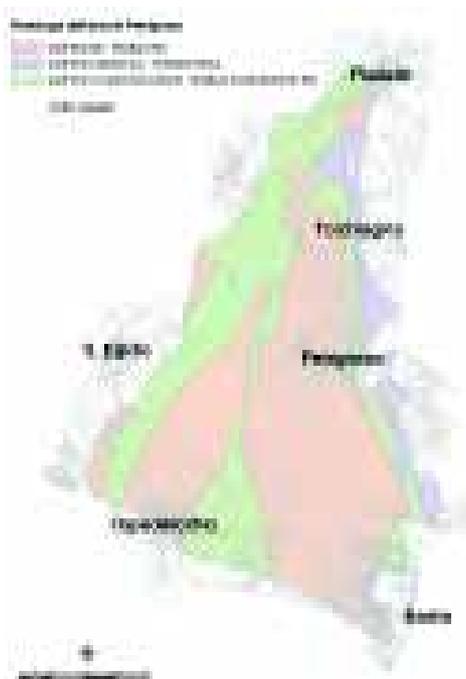
stribuzione delle superfici colturali come da modello agroeconomico multiperiodale

- simulazioni delle concentrazioni dei nitrati a diverse profondità e all'interfaccia insaturo/falda;
- definizione dei volumi idrici in falda e delle concentrazioni nel tempo.

L'area è stata discretizzata in funzione delle caratteristiche pedologiche e idrogeologiche del non saturo e si presero le condizioni colturali medie del periodo.

Il modello utilizzato, Nitsol (Giuliano e Facchino, 1998) è un modello di derivazione olandese che presenta delle limitazioni concettuali, in particolare per gli aspetti di movimento orizzontale del flusso, in quanto nelle celle discretizzate non ammette l'*output* per via orizzontale ma soltanto verticale. Le indicazioni ottenute con questa limitazione, probabilmente sono più incoraggianti per la futura

Figura 9 – Zonazione pedologica dell'area
Figure 9 – Pedologic zonation of the area



decontaminazione delle falde, perché quello che è stato simulato è la situazione più estrema, quindi probabilmente nella realtà i flussi in falda possono essere complessivamente più veloci.

I dati utilizzati sono stati quelli del suolo, la zonazione dell'insaturo, il profilo pedologico, gli apporti di azoto calcolati dal modello sulla base delle colture, perché il modello era sia idrologico che agronomico: il quadro delle

unità di calcolo adottate ammonta a 144 plot di dimensioni abbastanza piccole e ogni plot aveva 15 strati sulla verticale fino alla falda. Sul suolo e dove la falda era a pochi metri, si è potuto operare in modo più dettagliato, mentre nei casi dove la falda arrivava a 20-30 metri di profondità la parte inferiore è stata considerata maggiormente omogenea, diminuendo tra l'altro il dettaglio conoscitivo.

Il sistema è stato tarato riproducendo sia la condizione attuale che la condizione originaria di suolo non coltivato: lo scenario attuale è risultato dall'applicazione di 3 cicli decennali di pratiche colturali analoghe a quelle attuali, mentre le simulazioni previsionali hanno preso a modello quanto suggerito dall'analisi agro-economica, con una riduzione degli apporti complessivi stimata in circa il 30-40 % dell'attuale (tab. 1).

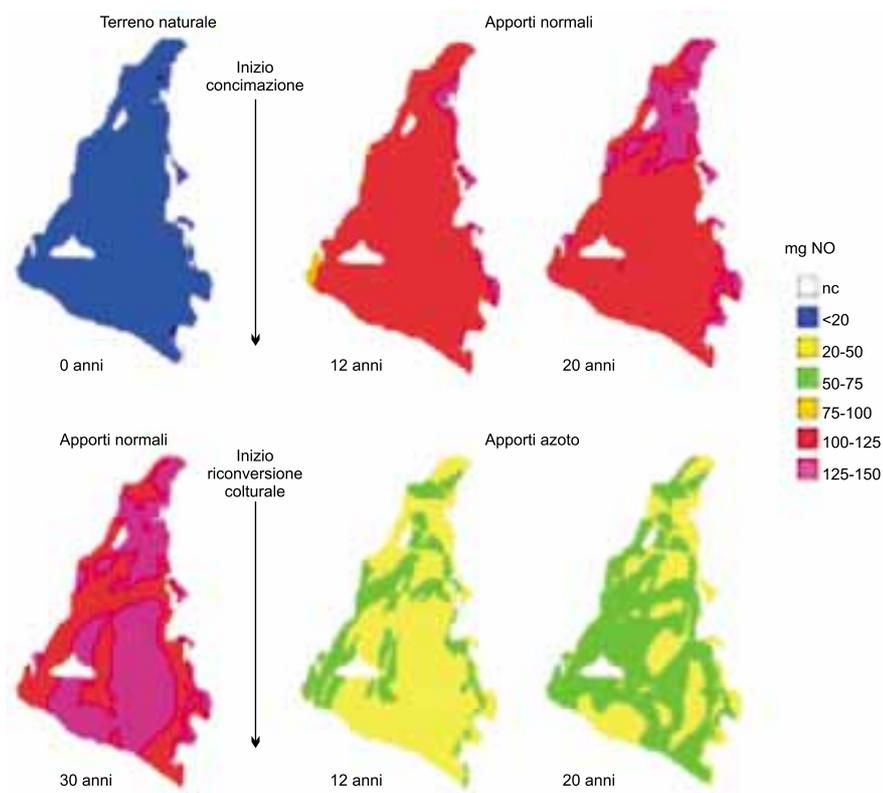
In figura 10 si riportano i vari scenari delle concentrazioni previste per le acque di percolazione al tetto della falda

Mettendo assieme le indicazioni provenienti dalle distinte analisi, si è potuto ottenere un quadro chiaro sull'intera problematica. T. Il quadro ha evidenziato che un fattore di notevole impatto è rappresentato dalle modalità di concessione dei contributi integrativi al reddito provenienti dall'Unione Europea. Il loro variare nel tempo, già in quel periodo con le prime indicazioni della famosa Agenda 2000 e le modifiche future in discussione attualmente per gli anni futuri, sono elemento chiave per focalizzare azioni sostenibili sul territorio.

Tabella 1 – Valori di riferimento sulle concentrazioni in uscita, ottenuti dalle simulazioni
Table 1 – Reference values on nitrates concentration obtained by simulations

Coltura	Conc. max (mg/l NO ₃)	Conc. equilibrio apporti normali (mg/l NO ₃)	Conc. equilibrio apporti ridotti (mg/l NO ₃)	Tempo equilibrio apporti ridotti (anni)
Medica	80-90	75-80	n.c.	n.c.
Girasole	60-90	60-75	30-45	4-6.5
Soia	45-75	35-42	n.c.	n.c.
Barbabietola	60-80	60-80	15-35	4.5-6.5
Fruento	125-150	115-135	50-60	5.5-7.5
Orzo	30-45	30-45	4,5-6,5	3.5-8
Mais	75-95	75-95	9-15	6-8
Tabacco	25-50	20-30	n.c.	n.c.

Figura 10 – Simulazioni del destino ambientale dei nitrati nel non saturo
 Figure 10 – Simulation of nitrates fate in the unsaturated zone



Dal punto di vista economico, la soluzione ambientalmente accettabile per il risanamento della falda ha evidenziato che era applicabile solo con una perdita di utile dell'ordine di 2-3 centinaia di euro ad ettaro, a secondo degli scenari macroeconomici e delle scelte di politica locale.

Questo nell'ipotesi che vengano mantenute le scelte colturali normalmente diffuse, non si individuino strade che valorizzino le produzioni agricole o non si decida di sostenere in modo più cospicuo le compensazioni ai redditi.

Ma un altro risultato subito spendibile era anche che gli agricoltori avrebbero potuto da subito migliorare, senza fare modifiche, il loro bilancio economico ed ambientale, attenendosi ad una miglior gestione, i cui punti chia-

ve sono stati identificati nel controllo di sprechi e abitudini controproducenti.

Applicando delle pratiche più favorevoli invece, che puntavano principalmente sull'azoto residuo, e in particolare su tecniche che garantivano una migliore distribuzione dell'azoto, si poteva abbattere notevolmente (il modello dava qualcosa come oltre il 50%) il quantitativo di azoto che andava a finire in falda.

Il non saturo ha tempi di risposta medi di 3-4 anni, cioè quello che normalmente viene rilasciato dal suolo ha bisogno di un tempo medio di quest'ordine per passare in falda, ma questo vuol dire anche che in certe zone ce ne vogliono anche 7-8 o 10 o di più.

T'è che la falda ha bisogno di almeno 4-5 anni per cominciare a recuperare, dal momento in cui si avviano gli interventi simulati.

Il prelievo potabile, nel caso di applicazione estesa delle misure previste di tipo agronomico e ambientale, in 7-8 anni può invertire l'attuale *trend* di crescita e tornare a situazioni che rientrano all'interno della direttiva nitrati: questo agendo su una superficie dell'ordine di 2.400 ettari.

Conclusioni

Questa era la situazione nella seconda metà degli anni '90 e le indicazioni che emergevano dall'analisi complessiva e dall'uso di modelli previsionali.

Il dato certo era che mediamente nell'area si perdono qualcosa come 50-60 chili di azoto ad ettaro all'anno, quindi in un'area in cui di azoto se ne dà circa 170 chili, come media complessiva, considerando tutte le superfici e l'integrazione tra quello chimico e quello organico, la perdita è percentualmente molto elevata.

I pozzi potabili, che sono diventati il recettore principale, il punto da dove viene estratto l'azoto che va a finire in falda, ne estraggono circa 100 tonnellate all'anno, cioè 100.000 chili vengono estratti dall'area e vengono immessi nell'acquedotto, che guarda caso sono poco meno della quantità che si calcola come perdita al suolo. E allora i modelli dicono che bisognerebbe passare ad un carico azotato medio complessivo di non più di 110-120 kg/ettaro, portando l'azoto lisciviato a molto meno della metà di quello attuale, adottando gli accorgimenti previsti.

Se non si riduce il carico complessivo, non c'è nessuna possibilità di recuperare la falda. Nel discorso delle pratiche agronomiche è importante sottolineare due punti che comunemente sono trascurati: nell'Italia centrale, la fissazione di azoto atmosferico è dell'ordine di 10-20 chili/ettaro, quindi questo va considerato anche nei piani di fertilizzazione.

Le stesse acque di irrigazione, poi, se prelevate dalla falda locale, ad esempio per una coltura tipo mais, che richiede quantitativi idrici notevoli, dell'ordine dei 3.000 metri cubi a ciclo culturale, portano un'aggiunta di

circa 50 kg/ettaro di azoto che è ridistribuito sul terreno e che deve essere messo a bilancio per una corretta conduzione agricola.

In conclusione, le soluzioni che si sono prospettate nel 1998 erano due: o abbandonare il prelievo, il che chiaramente comportava costi notevoli di infrastrutture per andare a cercare risorse sostitutive, oppure risanare la falda e fare degli interventi tecnologici nel frattempo per continuare ad approvvigionare la rete idrica. Negli anni sono stati spesi vari milioni di Euro (Marchetti e Martinelli, 1997; Beretta *et al.* 1995) per fare questi interventi tecnologici, tra i quali un sistema di bio-potabilizzazione delle acque prelevate dalla falda che volatilizza il nitrato, trasformandolo in azoto gassoso e portando l'acqua da concentrazioni elevate a valori in nitrati dell'ordine di 5 mg/l.

Il progetto LIFE nasce da questo quadro conoscitivo, e dalla volontà di recuperare la risorsa idrica, nel rispetto della direttiva comunitaria (DIR 91/676) e della normativa italiana del 1999 (DLGS 152/99).

Bibliografia

- AA.VV. (1990). *Carta della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi della Valle Umbra Nord*. UO 4.11, Regione dell'Umbria. Pubbl. n. 256 GNDC I.
- ARPA Umbria (2000). *Progetto Interregionale Sorveglianza e Monitoraggio Acque Sotterranee PRISMAS. Sintesi dei Risultati/Risultati Metodologici*. Ministero dell'Ambiente, ANPA, Regione Basilicata, Regione Liguria, Regione Piemonte, Regione Umbria. Perugia, novembre.
- Beretta G.B., Giuliano G., Marchetti G., Vacca G. (1995). *La contaminazione da nitrati del campo pozzi di Petrignano di Assisi: dagli studi conoscitivi ad un sistema integrato di intervento*. Atti del 2° convegno nazionale di sulla protezione e gestione delle acque sotterranee. Nonantola (MO) 17-19 maggio. Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora Ed.

- Beretta G.P., Frondini F., Giuliano G., Marchetti G., Martinelli A., Peruzzi L. (2000). *Design of a regional groundwater monitoring network: The PRISMAS project experience*. Monitoring Tailor-Made III International workshop on information for sustainable water management. Nunspeet, the Netherlands, 25-28 September.
- Boila P., Marchetti G., Martinelli A. (1993). *L'acquifero del campo pozzi di Petrignano di Assisi: sviluppi degli studi idrogeologici e idrochimici*. Atti del II convegno internazionale di geoidrologia. La cooperazione nella ricerca con i paesi in via di sviluppo e quelli dell'est Europa. Firenze, 29 novembre - 3 dicembre. Pubbl. n. 996 del GNDC. I
- Ciuchi P. & Pennacchi F. (1996) *Protezione dell'acquifero alluvionale nell'area di Petrignano di Assisi. Valutazioni di possibili trasformazioni degli ordinamenti produttivi agricoli*. In Atti del Seminario di studi CIRC OMO SAF "Metodi e applicazioni dell'analisi multicriteriale nel settore agroforestale e ambientale", Venezia, Quaderno n. 1.
- Cortina C. (1998) *Interazioni tra agricoltura ed ambiente. Il caso dell'acquifero alluvionale di Petrignano di Assisi: valutazioni di possibili trasformazioni dell'attività agricola*". Tesi di Dottorato di Ricerca, Università di Bologna.
- Cortina C., Facchino F., Ficiarra R., Giuliano G., Marchetti G., Martinelli G., Pennacchi F. (1999). *Individuazione di un piano di intervento tecnico-normativo per il recupero di un acquifero alluvionale contaminato da nitrati di origine agricola*. Atti del III convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee. Parma 13-15 ottobre. Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora ed., Bologna.
- Frondini F., Marchetti G., Martinelli A., Peruzzi L. (2001). *Monitoring of groundwater quality in Umbria (Central Italy)*. in Water Rock Interaction, vol. 1 Tenth International Symposium WRI 10, Villasimius Italy 10-15 giugno. Swets & Zeitlinger B.V. Ed. Olanda.
- Giaquinto S., Marchetti G., Martinelli A., Martini E. (1991). *Le acque sotterranee in Umbria*. Protagon Editore, Perugia.
- Giuliano G., Facchino F. (1998) *Apporti azotati di origine agricola nelle acque sotterranee: valutazione mediante l'uso di modelli matematici*. Quaderni IRSA, 108.
- Idrogeotec (1993). *Definizione aree di salvaguardia del campo pozzi di Petrignano di Assisi*. Consorzio Acquedotti Perugia. Rapporto intermedio.
- Marchetti G., Martinelli A. (1997). *Azioni di salvaguardia e costi di intervento per il risanamento di un'area di interesse strategico per l'approvvigionamento potabile*. Atti del convegno: "Aspetti economici relativi all'approvvigionamento ed alla gestione delle acque sotterranee". Milano, 10 dicembre 1997, IGEA n. 9.
- Martinelli A. (2003). *The groundwater experience in Umbria Region (Italy) and the PRISMAS Project*. DG Env International Workshop on Groundwater characterisation. Presentation of National case studies. Brussels, 13 ottobre.

Il progetto LIFE Petignano: obiettivi e scelte

LIFE Petignano project: Objectives and approach

Giancarlo Marchetti, Paolo Stranieri

Inquadramento

L'area di Petignano ospita uno degli acquiferi più importanti dell'Umbria, a lungo studiato in passato per il rischio crescente di inquinamento da nitrati di origine agricola.

Il degrado qualitativo delle acque sotterranee dell'area è molto avanzato e conosciuto da tempo, soprattutto nel settore centro settentrionale dove si supera la soglia dei 100 mg/l di NO_3 nella falda superficiale freatica. La situazione è andata peggiorando nell'ultimo decennio con la compromissione delle risorse idriche sotterranee utilizzate per uso potabile per un prelievo pari a circa 10 milioni di metri cubi annui.

Il bacino idrogeologico di questo acquifero è pari a circa 2.400 ha. È una zona a forte indirizzo agricolo sebbene negli ultimi anni si sia assistito ad un certo sviluppo delle aree indu-

striali e commerciali nella parte a sud tra i centri di Ospedalichio e Bastia. Già negli anni scorsi, sono stati realizzati interventi di carattere strutturale che hanno teso a far rientrare nei limiti di potabilità le acque immesse in rete. È stato realizzato un doppio acquedotto di collegamento con il Campo pozzi di Cannara, distante alcuni chilometri, con lo scopo di diluire le concentrazioni di nitrati, e un impianto di denitrificazione delle acque per circa 150 l/s. Questo tipo di azione ha solo in parte tamponato il problema senza modificare nel tempo le cause dell'inquinamento.

Il contenuto di nitrati nelle acque profonde è andato così aumentando fino a raggiungere livelli che hanno imposto, nel settembre 2002, la dichiarazione di vulnerabilità dell'area di Petignano. Questo stato di emergenza è alla base della formulazione del progetto che intervenendo alla radice del problema opera nella direzione di creare una vera e propria sensibilità e cultura ambientale nell'area per fronteggiare l'accumulo di nitrati in falda. A partire dalla fine del 1999, ARPA Umbria ha indirizzato la propria attenzione alla ricerca di soluzioni praticabili per tutelare l'acquifero. Promuovere interventi agronomici compatibili con il Codice di Buona Pratica Agricola e diffondere nell'area i principi di uno sviluppo sostenibile del territorio.

Figura 1 – Vista dell'area agricola di Petignano di Assisi
Figure 1 – View of the agricultural zone of Petignano di Assisi



ARPA Umbria, Direzione Generale UO Tecnica
via Pievaiola – San Sisto
06132 Perugia (Italy)
tel. +39 075 515961 arpa@arpa.umbria.it

Sommario

Il progetto LIFE Petignano ha l'obiettivo di introdurre nuovi sistemi di gestione del territorio in un'area in cui l'acquifero è particolarmente colpito da inquinamento da nitrati. Il progetto nello spirito del programma LIFE ambiente, intende diffondere nell'area un nuovo approccio nella gestione delle produzioni agricole considerate uno dei fattori principali di inquinamento. Le azioni previste tentano di creare le condizioni per una inversione di tendenza passando da un approccio "curativo" ad uno "preventivo" promuovendo sistemi di produzione sostenibili ed il rispetto della direttiva 91/676/CEE e del DL 152/99.

Il progetto intende inoltre rafforzare le sinergie istituzionali regionali integrando in un'unica azione tutti gli attori e gli operatori coinvolti sul piano agricolo ed ambientale.

Il progetto è articolato in tre componenti principali che comprendono la fase dimostrativa in campo (per la verifica in pieno campo degli effetti dell'applicazione di "buone pratiche agricole"), la fase di monitoraggio dei nitrati (a livello superficiale e profondo) e la fase di divulgazione dei risultati che deve consentire l'adozione a larga scala delle tecniche proposte. I risultati attesi comprendono: la riduzione del 30%-50% dei nitrati nel sistema suolo in 5 anni, la riconversione colturale del 25% dell'area agricola (500 ha) in 3 anni, la gestione completa dell'area in 5 anni (2.400 ha), la diffusione di piani di fertilizzazione e del Codice di Buona Pratica Agricola (CBPA), la riduzione dei costi di trattamento delle acque, la diffusione di un marchio per la valorizzazione di produzioni locali a ridotto impatto ambientale.

Summary

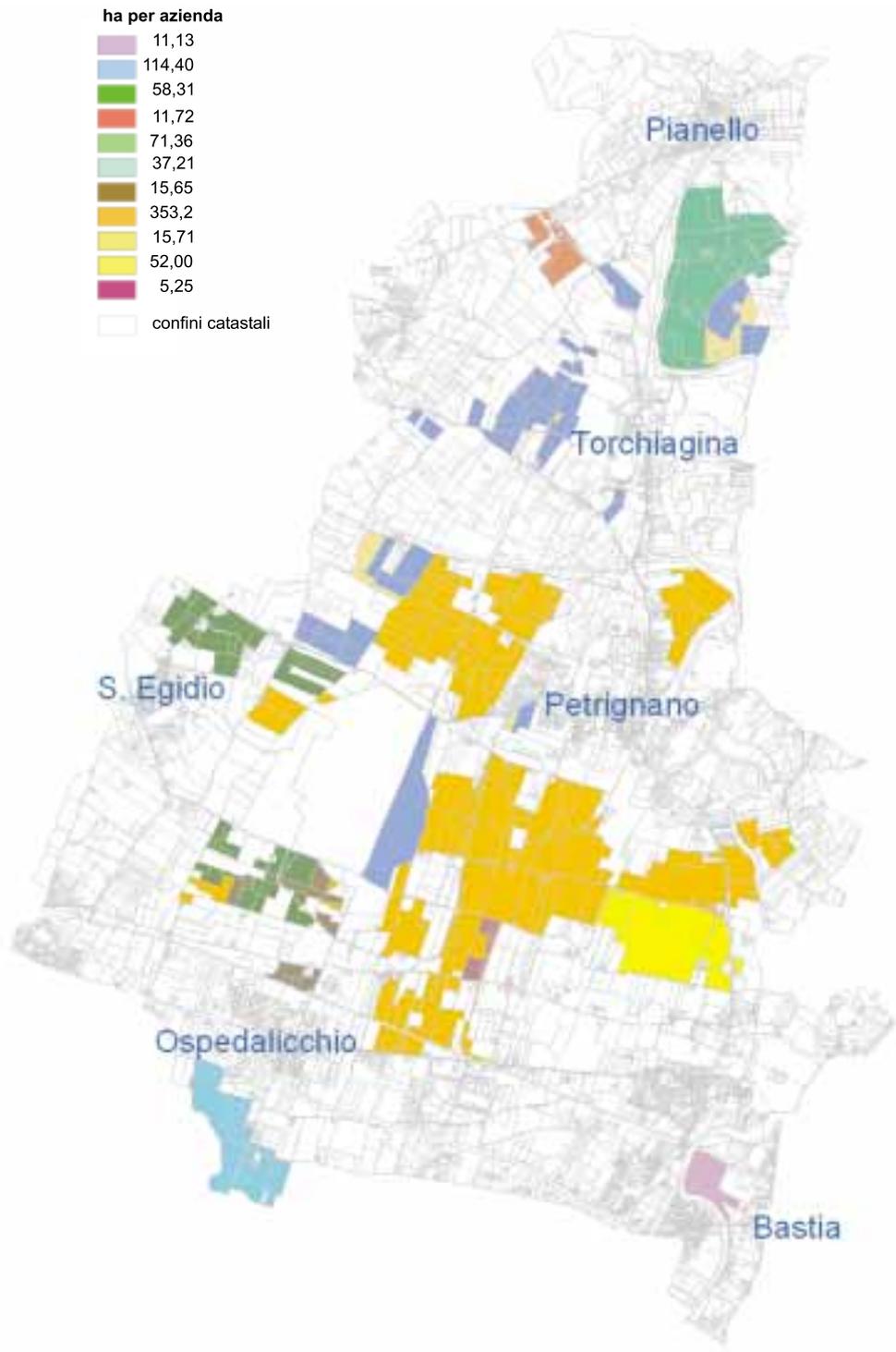
The LIFE Project Petignano *Integrated management systems of the Petignano area: new models against the nitrates pollution* aims to introduce a new management system in an area where ground water is particularly affected by nitrates pollution. The project objective is to spread, within the area, a new approach for agricultural production, deemed to be the principal cause for pollution; the contemplated actions will support the measures currently pursued in this area in the attempt to achieve a counter trend passing from a phase of remedy (massive water purifying treatments) to one of strictly prevention by promoting low environmental impact systems and production lines in order to respect EU Directive 91/676/EC and national law DL 152/99. Overall objective of the project is to strengthen the institutional synergies of the region by grouping into a single action all the different sector and area operators involved in agriculture and the environment.

Furthermore purpose of the project is to start off an experimental and promotional phase with local producers.

The project has three main components including a demonstrative field phase (for the demonstration of good agricultural practices), a nitrate monitoring phase (for the superficial and underground control), and a divulgative phase (expected to multiply the results/effects of the project in the area).

Expected results include: 30-50% reduction of nitrates in the soil system in 5 years; crop conversion by the 3rd year (25% of the agricultural area, 500 ha); full management of the whole area within 5 years (2,400 ha); diffusion of fertilisation plans and good agricultural practices; demonstrative activity for local producers; reduction of treatment costs; editing of informational CD-Roms and audio-visuals; low environmental impact product label.

Figura 2 – Distribuzione delle aziende che partecipano alle attività dimostrative del progetto
Figure 2 – Location of farms involved into demonstrative activities of the project



Il progetto

Nel 2000 ARPA Umbria ha presentato il progetto nell'ambito del bando del Programma LIFE Ambiente dell'Unione Europea, che prevedeva tra l'altro l'ammissibilità di azioni a favore della tutela delle acque. Il progetto ha ottenuto l'approvazione da parte della Commissione nell'agosto del 2001 ed il co-finanziamento della Regione Umbria.

Partner dell'ARPA nel progetto sono ARUSIA e Umbra Acque. Fondamentale è il loro ruolo per la realizzazione degli interventi. L'Agenzia Regionale per lo sviluppo e l'innovazione in agricoltura (ARUSIA) contribuisce per tutte le azioni di sensibilizzazione dei produttori agricoli e per il controllo e monitoraggio dei risultati nei campi sperimentali. Umbra Acque, soggetto gestore delle risorse idriche nell'AT 0 dell'Umbria, ha contribuito alla realizzazione degli impianti di controllo e monitoraggio delle acque e del suolo, posti in opera con il fine di valutare gli effetti delle misure previste sulle due matrici ambientali.

Il Progetto intende agevolare l'introduzione di tutte le misure agro-ambientali applicabili nella zona e l'ottimizzazione dei sistemi produttivi. L'obiettivo è di *promuovere una metodologia integrata di gestione del territorio* consentendo il recupero qualitativo della falda acquifera, attraverso la definizione di modelli sostenibili a livello sociale, economico ed ambientale.

Il progetto mira al *coinvolgimento diretto ed alla partecipazione di tutti i soggetti interessati*, nella certezza che un approccio di tipo verticistico, con l'adesione obbligatoria da parte dei produttori, non avrebbe consentito un'azione concreta a favore del risanamento della falda.

L'intervento sostiene inoltre la *diffusione nell'area di misure agro-ambientali* per arrivare entro 6-8 anni ad un'inversione di tendenza passando dalla depurazione delle acque *alla promozione di sistemi e filiere agricole a ridotto impatto ambientale*.

Questo anche per facilitare l'applicazione del vincolo normativo in sintonia con la direttiva 676/91 e le norme nazionali del DLGS 152/99. Il progetto infine punta al *rafforzamento delle sinergie istituzionali regionali* riunendo in un unico intervento i vari soggetti che operano nel settore agricolo ed ambientale.

I modelli definiti nell'ambito del progetto, nel rispetto degli obiettivi e della filosofia del programma LIFE, sono replicabili a livello locale ed internazionale in contesti e problematiche simili, e sono divulgati e promossi in ambito regionale, nazionale ed europeo.

Gli impatti agro-ambientali da conseguire nel breve e medio periodo sono:

- la diffusione di specifici piani di fertilizzazione e di buona pratica agronomica (500 ha in tre anni);
- la riconversione colturale entro il terzo anno di almeno il 25% della superficie agricola (circa 500 ha);
- la riduzione del contenuto di nitrati in uscita dal sistema suolo del 30-50% entro cinque anni.

A questi si affiancano altri risultati sul piano socio-economico ed istituzionale quali:

- la definizione di modelli produttivi e di filiere sostenibili a livello sociale, economico ed ambientale
- l'aumento della sensibilità di produttori ed operatori economici verso le problematiche ambientali;
- il rafforzamento del dialogo e del rapporto tra istituzioni e territorio;

Figura 3 – Incontri tecnici sul campo con gli agricoltori
Figure 3 – Technical field meeting with farmers



- l'armonizzazione delle politiche ambientali locali con gli orientamenti europei;
- il miglioramento della qualità e della gestione delle risorse idriche potabili.

Tra gli output del progetto sono poi previsti:

- la produzione e diffusione di materiale divulgativo a livello regionale, nazionale ed internazionale sui risultati raggiunti;
- la realizzazione di seminari e conferenze pubbliche per la promozione e diffusione delle strategie e dei contenuti del progetto;
- la valorizzazione di produzioni locali mediante un marchio di prodotti locali a ridotto impatto ambientale.

Quest'ultimo obiettivo potrà costituire, se pienamente realizzato, una delle chiavi di successo del progetto.

Conclusioni

ARPA Umbria ha voluto fortemente la promozione del progetto LIFE. Questo perché siamo convinti che il nostro ruolo istituzionale non debba limitarsi al controllo e al monitoraggio del territorio. Crediamo invece che, nei nostri compiti, sia compresa la ricerca di soluzioni per lo sviluppo di attività produttive compatibili con la salvaguardia del patrimonio ambientale della regione. Il progetto LIFE, nato da una situazione critica, come quella dell'inquinamento dei pozzi di Petignano, è esattamente questo.

Il tentativo di offrire soluzioni possibili e sostenibili ad un problema che rischiava di innescare una conflittualità molto forte tra il legittimo interesse di chi in questa area vive e lavora e l'interesse pubblico sulla potabilità dell'acqua che beviamo. Mettere intorno ad un tavolo Istituzioni pubbliche, Associazioni di produttori e privati agricoltori per affrontare un problema e trovare insieme soluzioni è stato per noi già un grande risultato. Superare sistemi consolidati per sperimentare insieme nuove tecniche agronomiche, evitando imposizioni autoritarie dall'alto, ci è sembrata la strada più corretta da percorrere.

I risultati sinora raggiunti permettono di essere ottimisti sulla buona riuscita di quanto

previsto, sia per il coinvolgimento degli agricoltori sensibili alle problematiche dell'area, sia per quanto attiene alle sperimentazioni in campo e gli effetti sul suolo e sull'acquifero.

Questi buoni risultati ci spingono a richiedere una proroga di un anno del progetto, la cui scadenza naturale è settembre 2004, per acquisire più dati possibile confortanti le aspettative progettuali.

Ci auguriamo, visti i buoni risultati che la sperimentazione sta ottenendo, che questa diventi un modello da diffondere nella nostra regione e magari da replicare in altre realtà.

Bibliografia

- ARPA Umbria (2003), *The LIFE Petignano project - Integrated management systems of Petignano Area: new models against nitrates pollution*. EU Informal Water Directors Meeting, Rome, November, 24-25. Poster presentation.
- ARPA Umbria (2001), *The LIFE Petignano project - Integrated management systems of Petignano Area: new models against nitrates pollution*. UE DG ENV, LIFE Environment, Project approved document.
- ARPA Umbria (2003), *Acqua, agricoltura, Nitrati*. Pubblicazione divulgativa n. 1 del progetto LIFE. Edita da ARPA Umbria.
- Martinelli A., Marchetti G., Martini E., Facchino F., Cortina C. (2004), *Acquifero di Petignano di Assisi in Valle Umbra (Italia Centrale): un esempio di sviluppo metodologico della conoscenza dei sistemi ambientali. The Petignano di Assisi aquifer in Umbrian Valley (Central Italy): an example of methodological approach for the knowledge of environmental systems*. (in this volume).
- Martinelli A., Marchetti G., Stranieri P. (2004), *Monitoring of groundwater contamination from agricultural practices in a pilot project: The LIFE Environment Petignano project*. 32th IGC congress. Florence 20-28 August. Accepted Abstract.

LIFE Petignano: la fase dimostrativa delle tecniche agronomiche

LIFE Petignano project: the demonstrative phase of agronomic practices

Donatella Marrani¹, Giampaolo Murgia¹, Ugo Palazzetti¹, Giacomo Bodo²

Il contesto operativo

L'ARUSIA (Agenzia Regionale Umbra per lo Sviluppo e l'Innovazione in Agricoltura) è partner dell'ARPA nell'attuazione del Progetto LIFE Petignano e concorre al raggiungimento dell'obiettivo, definito in sede progettuale, di individuare tecniche agronomiche in grado di ridurre nel medio-lungo periodo la presenza di nitrati nelle falde acquifere.

L'area di Petignano ospita un campo pozzi che fornisce acqua potabile a circa 240.000 utenti della zona di Perugia, rivestendo dunque un ruolo strategico nella gestione complessiva della risorsa idrica regionale. La zona presenta tuttavia caratteristiche di elevata vulnerabilità all'inquinamento da nitrati e in molti pozzi è stata rilevata una presenza di tali sostanze in quantità superiore ai limiti consentiti: un fenomeno legato prioritariamente all'esercizio di attività agricole. Per individuare adeguate strategie di azione la fase operativa del progetto è stata preceduta da un'accurata analisi della zona di intervento, per la quale ci si è avvalsi degli studi esistenti, di interviste svolte a campione presso tecnici e produttori attivi nell'area e dell'elaborazione dei dati derivanti dalle domande PAC, per il triennio 2000-2002. Da questi ultimi, in particolare, si evince che nell'area di Petignano, avente un'estensione di circa 2.400 ettari, le colture prevalenti sono costituite

da cereali invernali, mais e girasole, con la tendenza, per il mais, a superare in estensione le altre coltivazioni (graf. 1).

Le interviste a campione e l'analisi dei processi produttivi delle principali colture hanno messo in luce che, a fronte di rese produttive soddisfacenti, il quantitativo medio di unità di azoto per ettaro dichiarato è inferiore alle dosi di riferimento previste dal Codice di Buona Pratica Agricola (CBPA).

L'apporto di azoto è assicurato prevalentemente dall'uso di nitrato ammonico e urea in copertura e da fosfato biammonico nelle concimazioni in pre-semina, effettuate nella quasi totalità dei processi produttivi rilevati. Nell'area inoltre, per il periodo di riferimento, è stato applicato il Regolamento CEE 2078/92, misura A1.1 (riduzione di concimi), su circa 740 ettari, pari al 32% del totale delle superfici. Queste informazioni, rapportate agli elevati livelli di nitrati presenti nelle acque profonde, confermano che per ridurre l'impatto di questi elementi sono necessari un impegno di lungo periodo e modalità di concimazione probabilmente più restrittive rispetto a quelle in uso per ottenere risultati significativi e migliorativi, intervenendo in maniera integrata non solo sugli apporti di concime, ma sull'insieme delle tecniche produttive impiegate.

¹ ARUSIA (Agenzia Regionale Umbra per lo Sviluppo e l'Innovazione in Agricoltura)
via Fontivegge, 51
06124 Perugia (Italy)

tel. +39 075 50311
info@arusia.umbria.it

² ARPA Umbria, Dipartimento di Perugia

Sommario

L'ARUSIA, partner dell'ARPA Umbria nell'attuazione del Progetto LIFE Petignano, è incaricata di definire, proporre ed introdurre nell'area, che presenta caratteristiche di elevata vulnerabilità all'inquinamento da nitrati, modelli sostenibili a ridotto impatto ambientale, che prevedano pratiche agronomiche compatibili con l'ambiente, salvaguardando tuttavia i livelli di redditività delle imprese.

Dopo la fase di diffusione del Progetto LIFE tra i produttori della zona, si è passati all'organizzazione del primo anno di attività dimostrativa (campagna 2002/03), incentrata sulle colture del frumento e del mais, che risultano prevalenti nell'area. I criteri fondamentali delle prove dimostrative sono stati la riduzione degli apporti azotati rispetto alle dosi indicate dal Codice di Buona Pratica Agricola e la distribuzione dei nutrienti in concomitanza di specifiche fasi del ciclo colturale, corrispondenti a periodi di effettivo fabbisogno per lo sviluppo delle coltivazioni; ciò per evitare che l'azoto somministrato rimanesse inutilizzato nel terreno e quindi a rischio lisciviazione.

Complessivamente sono stati allestiti 13 campi dimostrativi, per una superficie totale di circa 10 ettari, suddivisi in 7 prove su frumento tenero e duro, 4 su mais, una su tabacco, una su erba medica; questi ultimi due campi sono stati monitorati prevalentemente a livello strumentale.

Nel caso del frumento le prove sono state impostate con un criterio di omogeneità e sono state applicate riduzioni di concime azotato in ragione del 30%, 40% e 50% rispetto alla dose prevista dal Codice di Buona Pratica Agricola. I risultati produttivi ottenuti, confrontati con quelli di appezzamenti-testimone, possono considerarsi in linea generale soddisfacenti e potrebbero indicare, con la cautela obbligatoria per un solo anno di prove, che l'azoto distribuito in quantità inferiore, ma nei

Summary

ARPA Umbria's partner for the activation of the LIFE Petignano project, ARUSIA's task is to define, propose and introduce to the area, highly vulnerable to nitrate contamination, sustainable models of intervention with a minor impact on the environment, which will involve environment-friendly agronomic methods, yet still safeguarding the profitability of the businesses concerned.

First the LIFE project was diffused around the farmers of the area, after which a first experimental year was organised to put it into practice (the 2002/3 campaign), concentrating on the cultivation of wheat and maize prevalent in the area. The basic criteria for the trials were the reduction of the amounts of nitrogen used with respect to the quantities established by the Good Farming Code, and the distribution of the nutrients in specific phases of the agricultural cycle, i.e. periods in which it was really necessary for the growth of the crops; this was to avoid the nitrogen distributed going unused and therefore the risk of leaching.

A total of 13 fields were prepared for the trial, with a total surface area of approximately 10 hectares, divided into 7 trials on hard and soft wheat, 4 on maize, 1 on tobacco and 1 on lucerne; the latter 2 fields were monitored mainly with instruments.

The trials on wheat were set up with homogenous criteria and the amounts of nitrogenous fertilisers were reduced to 30%, 40% and 50% less than the doses established by the Code of Good Farming. The results obtained on the yield of the trial fields, when compared to those of standard fields, can generally be considered satisfactory and could indicate, though obviously one must be cautious in drawing conclusions after only one year of trials, that nitrogen, if distributed in lesser quantities but at the moment the crops really require it, is used to the full in the production of this crop.

momenti di effettivo fabbisogno della coltura, viene pienamente utilizzato a fini produttivi.

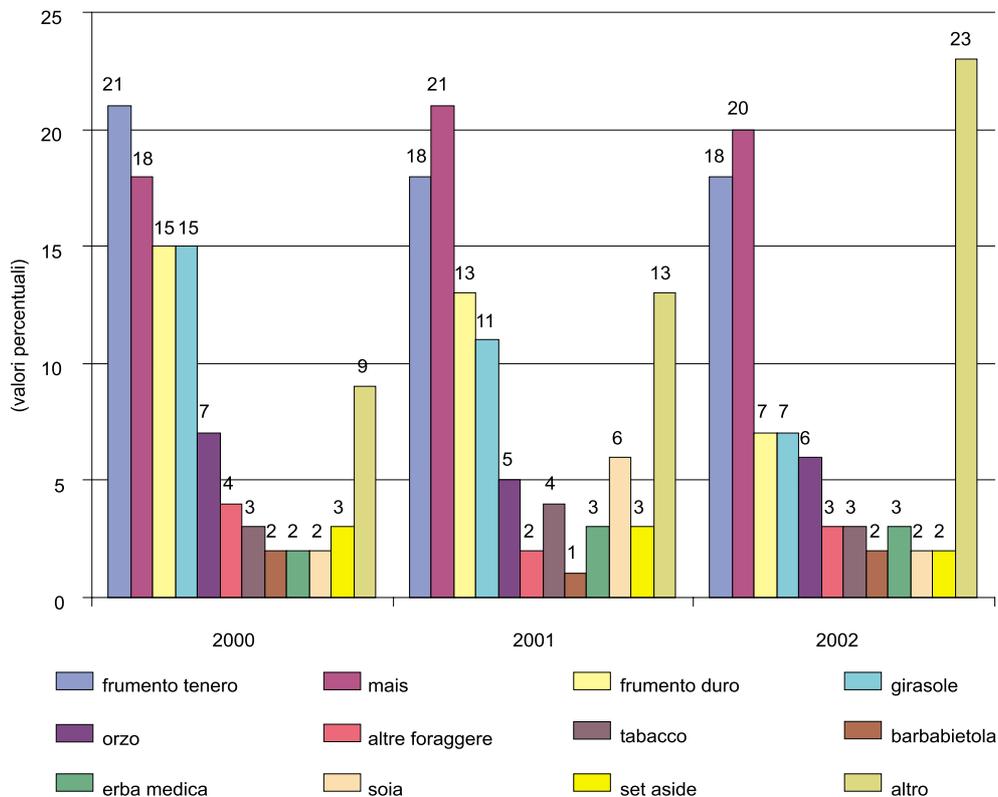
Per la coltura del mais, invece, si sono incontrate maggiori difficoltà ad impostare prove omogenee e di conseguenza i risultati produttivi sono piuttosto difformi.

L'organizzazione del secondo anno di attività dimostrativa (campagna 2003/04) prevede la ripetizione degli interventi di riduzione degli apporti azotati su un numero maggiore di aziende, anche per un confronto con i risultati ottenuti al primo anno, e l'introduzione di colture da sovescio, per valutarne l'effetto in termini di copertura invernale del terreno e in termini di apporto di sostanze nutritive alla coltura successiva.

In the cultivation of maize on the other hand greater difficulties were found in carrying out homogenous trials and consequently the results on the production were rather irregular.

For the second year of trials (the 2003/4 campaign) the plan is to repeat the reduction in the amounts of nitrogen used on a greater number of farms, in order to be able to compare the results with those obtained in the first year, and to introduce green manure, to evaluate the effect it has in terms of winter coverage of the land and the amount of fertilizers in the next cultivation.

Figura 1 – Ripartizione delle superfici per coltura nell'area di Petriano
Figure 1 – Crop distribution in Petriano area



La dicitura "altro" include le colture poco rappresentate (vite, olivo, ecc.) e le superfici non agricole (incolti e fabbricati).

Obiettivi e linee d'azione

Premesso che la finalità dell'attività dimostrativa prevista dal progetto LIFE Petrignano è quella di individuare, proporre e diffondere nell'area di intervento del progetto modelli produttivi che prevedano il ricorso a pratiche agronomiche compatibili con l'ambiente, capaci tuttavia di salvaguardare i livelli di redditività delle imprese, sono state definite le seguenti linee d'azione:

1. diffusione delle finalità del progetto tra gli imprenditori agricoli della zona e loro sensibilizzazione sullo stato dell'ambiente e sull'opportunità di adottare tecniche produttive a contenuto impatto;
2. realizzazione di attività dimostrative mediante il confronto di diverse tecniche colturali, allo scopo di promuovere quelle meno inquinanti;
3. organizzazione di un'adeguata azione d'assistenza tecnica, in grado di supportare i produttori nel processo di riconversione a forme di agricoltura sostenibile.

Attività dimostrativa 2002-2003

Successivamente alla determinazione di obiettivi e linee di intervento, sono stati definiti i criteri per l'organizzazione dell'attività dimostrativa, realizzata con il supporto scientifico del Dipartimento di Scienze Agroambientali e delle Produzioni Vegetali dell'Università degli Studi di Perugia.

Nel corso del primo anno di attività, in considerazione dello scenario di partenza che mostra livelli di inquinamento da nitrati nelle falde, a fronte di pratiche agronomiche apparentemente non forzate, si è ritenuto opportuno agire prioritariamente sulle modalità di concimazione azotata delle principali colture, intervenendo sia sui quantitativi d'azoto distribuiti, sia sui tempi di somministrazione degli stessi. Con la collaborazione delle Associazioni di categoria, che hanno condiviso l'approccio e le strategie del progetto, sono state contattate quelle aziende che, aderendo spontaneamente all'iniziativa, si sono dichia-

rate disposte ad ospitare i campi dimostrativi. Le diverse prove messe in atto sono state impostate in accordo con i produttori, senza imposizioni predefinite, consentendo loro di applicare le tecniche già in uso nell'azienda, con la sola modifica delle modalità di concimazione azotata. Oltre agli appezzamenti dimostrativi, di varie dimensioni, i produttori hanno messo a disposizione delle aree "testimone", che hanno consentito il confronto con le tecniche in prova, anche riguardo ai risultati produttivi. Per la partecipazione all'attività dimostrativa non sono previsti premi o contributi per eventuali mancati redditi, ma solo rimborsi per l'impiego di materie prime, o per l'effettuazione d'interventi che esulano dalla consueta tecnica aziendale. Sugli appezzamenti messi a disposizione dalle aziende sono stati installati, a cura dell'ARPA Umbria, strumenti utili al controllo della qualità delle acque nel corso delle prove e quindi alla verifica, nel tempo, di eventuali effetti della diminuzione degli apporti azotati.

Il primo anno dell'attività dimostrativa ha interessato circa 10 ettari di superficie e prevalentemente le colture del frumento e del mais: le più diffuse nella zona. Si è accennato che il criterio metodologico assunto è stato quello di verificare gli effetti della concimazione azotata nelle acque profonde, procedendo nel rispetto delle tecniche produttive in uso nelle diverse aziende. Per tale motivo le prove dimostrative risultano diversificate fra loro, in conseguenza dell'applicazione di pratiche agronomiche differenziate e quindi non hanno un carattere sperimentale, né possono ritenersi finalizzate al conseguimento di particolari obiettivi di produttività delle colture.

Nel caso del grano i test sono stati condotti adottando un criterio di omogeneità, allestendo 7 campi dimostrativi, 3 di frumento tenero e 4 di frumento duro, con superfici di diversa ampiezza. Ogni appezzamento è stato suddiviso in tre porzioni, in ciascuna delle quali sono state applicate riduzioni di concime

azotato in ragione del 30%, 40% e 50% rispetto alle indicazioni del CBPA. Nelle parcelle non è stata fatta alcuna concimazione azotata al momento della semina, bensì in copertura in fase di accostamento della coltura (fine gennaio), quindi in concomitanza della fase di inizio levata (fine marzo). Si è proceduto in questo modo per fornire nutrimento solo in periodi d'effettivo fabbisogno per lo sviluppo delle piante, evitando che l'azoto somministrato rimanesse inutilizzato nel terreno (tab. 1).

Tabella 1 – Parametri di concimazione azotata utilizzati nei test sul frumento
Table 1 – Parameters of nitrogen fertilisation utilised for tests on wheat

Grano tenero	N distribuito (kg N/ha)
CBPA	180
Parcella A	90
Parcella B	105
Parcella C	120
T estimone	T ecnica aziendale
Grano duro	N distribuito (kg N/ha)
CBPA	140
Parcella A	70
Parcella B	85
Parcella C	100
T estimone	T ecnica aziendale

Oltre agli appezzamenti a grano sono state allestite 4 prove dimostrative su mais; inoltre vanno menzionati altri due campi, coltivati rispettivamente a tabacco ed erba medica, monitorati prevalentemente a livello strumentale, per ciò che riguarda il controllo della qualità delle acque profonde.

Nel corso dei controlli svolti durante il ciclo vegetativo delle diverse colture non si sono rilevate condizioni di particolare sofferenza delle piante, né evidenti ritardi o differenze di sviluppo vegetativo sia tra porzioni di ciascun appezzamento, sia tra vari campi dimostrativi e testimoni.

A completamento del quadro generale in cui si sono svolte le prove dimostrative, si deve accennare all'andamento climatico che ha caratterizzato il primo anno di attività e che ha fatto registrare, nell'area di studio, una

scarsa piovosità, gelate tardive ed elevate temperature estive.

Paradossalmente, nel periodo novembre 2002 - settembre 2003, il mese più piovoso è risultato essere giugno, con circa 100 mm di pioggia, caduti però prevalentemente nel corso di 5 precipitazioni. Nello stesso periodo, è stata registrata una gelata tardiva nel mese di aprile (-4,1 °C), mentre da giugno a settembre si sono avute temperature massime costantemente superiori a 30 °C, con picchi di 36,6 °C in giugno, 38,1°C in luglio e 38,7°C in agosto (graff. 2-3).

Risultati delle prove

Nel caso del grano tenero, il confronto dei risultati produttivi ottenuti nelle parcelle dimostrative e quelli delle superfici "testimone" consente di rilevare, come dato medio, che le parcelle A e B presentano delle rese generalmente inferiori; le parcelle C, in cui è applicata una riduzione di azoto del 30% rispetto a quanto indicato nel CBPA, hanno fatto registrare, invece, i risultati migliori. C'è da sembrerebbe suggerire, con tutti i limiti e la cautela derivanti da un solo anno di prove, che l'azoto, anche se distribuito in quantità inferiore, ma nei momenti d'effettivo fabbisogno, è stato pienamente utilizzato dalla coltura senza pregiudizio per i normali livelli produttivi. Stessa considerazione per il grano duro, poiché anche in questo caso le parcelle C sono risultate più produttive del testimone, anche se in maniera meno marcata rispetto al grano tenero (tab. 2).

In termini economici gli stessi risultati sono stati valutati ricorrendo al calcolo del reddito lordo, considerando che all'interno dei costi variabili di ciascun processo produttivo, si ha una variazione delle spese legate alla concimazione per l'acquisto della materia prima. I risultati ottenuti sulle singole parcelle, confrontati con il relativo testimone, permettono di osservare che anche sotto questo profilo, nel caso delle parcelle C del grano tenero, il risultato complessivo è superiore a quello osservabile sulla parcella "T estimone". C'è

Figura 2 – Precipitazioni mensili
Figure 2 – Monthly rainfall

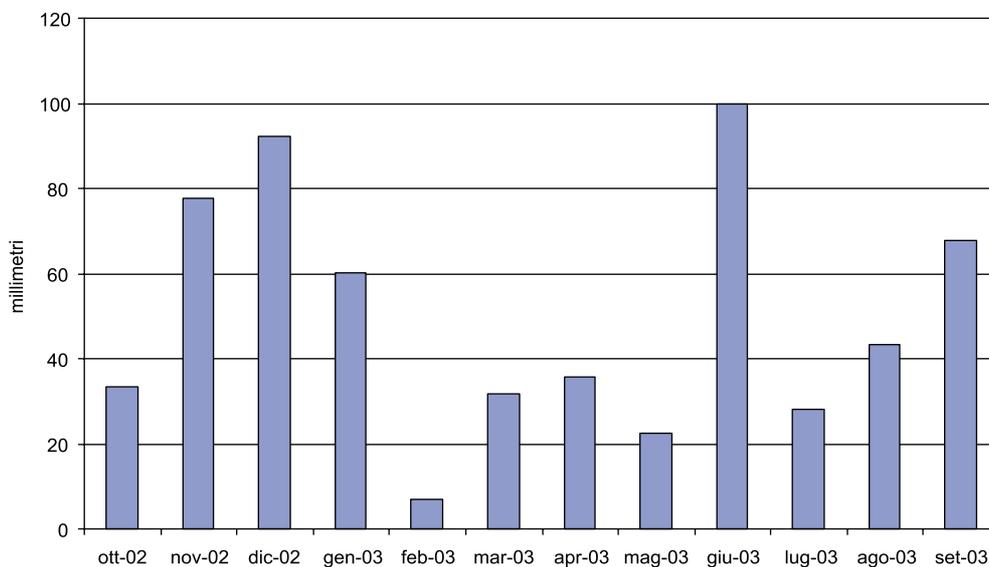
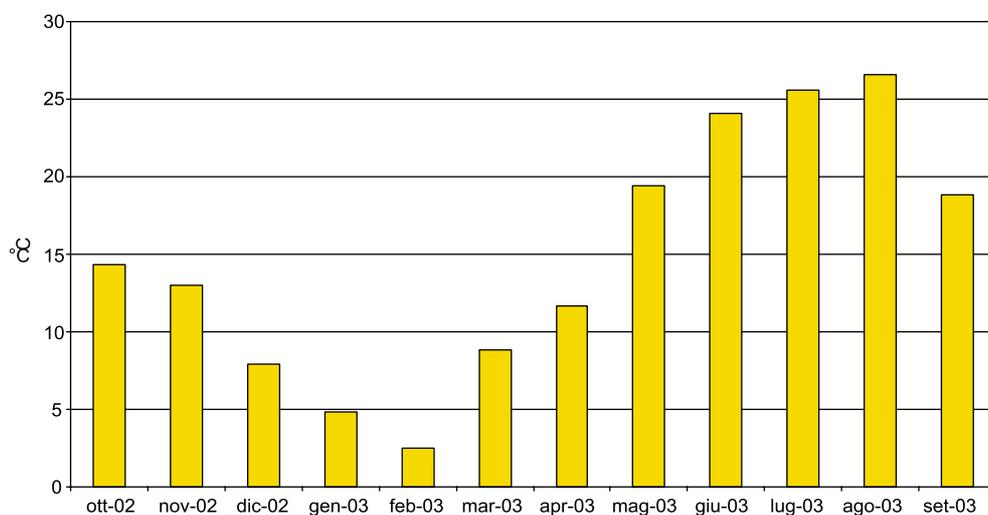


Figura 3 – Temperatura media mensile
Figure 3 – Average monthly temperature



determinato dal fatto che alla migliore resa produttiva osservata nelle parcelle sottoposte a test, si affianca un inferiore costo per la concimazione.

Nel caso del grano duro, dove è maggiore il divario tra il quantitativo di azoto impiegato nel "T estimonè rispetto a quello sommini-

strato nelle diverse parcelle in prova, si nota un risultato positivo per tutte le tipologie, comprese quindi le parcelle di tipo A e B, caratterizzate dalle minori rese. Qui il migliore risultato economico è determinato dai minori costi per la concimazione, in grado di compensare le minori rese (tab. 3).

Tabella 2 – Risultati produttivi per la coltura del grano
 Table 2 – Production yields for wheat test crops

Rese (q/ha)	Unità azoto (kg/ha)	Min	Max	Media	Differenza sul testimone
GRANO TENERO (Dose di azoto indicata dal Codice di Buona Pratica Agricola: 180 kg /ha)					
Parcella A	90	37,20	47,50	40,97	- 13 %
Parcella B	105	35,30	52,80	44,10	- 6 %
Parcella C	120	40,90	76,50	53,13	+ 13 %
Testimone	126	45,30	48,70	47,00	
GRANO DURO (Dose di azoto indicata dal Codice di Buona Pratica Agricola: 140 kg /ha)					
Parcella A	70	36,20	44,40	41,53	- 12 %
Parcella B	85	34,00	57,20	43,30	- 4 %
Parcella C	100	41,10	52,40	47,10	+ 4 %
Testimone	151	38,90	50,00	45,30	-

Tabella 3 – Variazioni del reddito lordo
 Table 3 – Variation of gross income

Rese (q/ha)	Unità azoto (kg/ha)	Risultati economici (euro/ha)			Differenza sul testimone
		Min.	Max	Media	
GRANO TENERO (Dose di azoto indicata dal Codice di Buona Pratica Agricola: 180 kg /ha)					
Parcella A	90	-146,80	+7,07	-68,07	-11%
Parcella B	105	-118,02	+78,48	-30,86	-5%
Parcella C	120	-109,18	+403,80	+135,32	+15%
Testimone	126				-
GRANO DURO (Dose di azoto indicata dal Codice di Buona Pratica Agricola: 140 kg /ha)					
Parcella A	70	-24,84	+41,13	+7,05	+2%
Parcella B	85	-97,25	+164,88	+29,84	+6%
Parcella C	100	+31,17	+133,59	+76,68	+14%
Testimone	151				-

Per le parcelle coltivate a mais si sono incontrate le maggiori difficoltà ad impostare prove omogenee; di conseguenza, i risultati produttivi sono stati piuttosto difforni anche per la variabilità delle prove stesse. Queste ultime, condotte su 4 campi dimostrativi, in un caso si sono limitate al semplice controllo delle tecniche adottate dall'azienda, dove la coltura è stata sottoposta a fertirrigazione con impianto a goccia. Negli altri casi si è proceduto invece ad una riduzione della concimazione azotata, avendo sempre come riferimento l'indicazione del CBPA. Conseguentemente, nelle porzioni sottoposte a controllo, sono stati somministrati quantitativi di concime azotato in dosi corrispondenti a 100, 150 e 200 kg/ha di azoto.

L'andamento climatico particolarmente siccitoso della stagione anche in questo caso ha sicuramente influito sulle rese produttive, aumentando le difficoltà dei produttori nel soddisfare razionalmente le esigenze idriche della coltura. Per questo motivo è azzardato formulare considerazioni di carattere economico, mentre occorre attendere la ripetizione delle prove per disporre d'informazioni più attendibili (tab. 4).

Attività dimostrativa 2003-2004

Il secondo anno di prove dimostrative si riproporrà con le stesse modalità operative della campagna precedente, per confermare i risultati dei test effettuati o, eventualmente, per ottenere dati confrontabili con quelli del

Tabella 4 – Risultati produttivi coltura del mais
 Table 4 – Production yields for mais test test crops

	Classe	Descrizione tecnica concimazione	Dosi N (kg/ha)	Resa (q/ha)
1a prova	300	Fertirrigazione	157	73,5
2a prova	500	Irrigazione a goccia con 2 dosi di azoto	200	76,4
			150	61,5
3a prova	300	Irrigazione a pioggia con 2 dosi di azoto	100	48,5
			150	51,4

primo anno. Pertanto, continueranno ad essere sottoposti a controllo appezzamenti di terreno che ospitano le principali colture della zona e al contempo si cercherà di aumentare la superficie complessiva sottoposta ad osservazione, estendendola, quanto più possibile, alle coltivazioni di aziende che usufruiscono dal 2003 dei finanziamenti previsti dal Piano di Sviluppo Rurale dell'Umbria (PSR) per la riduzione dei concimi azotati (Azione A/1). Per quanto riguarda le prove sul frumento, si pensa di intervenire con apporti d'azoto diminuiti del 30% e del 50% rispetto alle indicazioni del CBPA, effettuando gli interventi sempre in copertura in fase d'accestimento della coltura, quindi all'inizio della levata. La ragione per cui si opererà con due sole classi di riduzione, rispetto alle tre del primo anno, risiede principalmente nella necessità di ottenere dei risultati caratterizzati da differenze più marcate tra le varie prove. Inoltre, la determinazione dei due specifici livelli di riduzione, da un lato risponde al criterio d'uniformità rispetto al vincolo imposto ai beneficiari del PSR (riduzione del 30%), dall'altro (riduzione del 50%) consentirà di evidenziare meglio gli effetti sulle acque profonde della diminuzione degli apporti azotati, senza i condizionamenti imposti dal perseguimento degli ordinari livelli di resa produttiva.

Alle già avviate prove di concimazione, nel corso della nuova campagna dimostrativa, si affiancheranno test effettuati con colture da sovescio seguite, sugli stessi appezzamenti, da coltivazioni primaverili a mais e sorgo. Si sono volute introdurre nel LIFE Petignano

anche le colture da sovescio, per valutarne l'effetto in termini di copertura invernale del terreno e di apporto di sostanze nutritive alla coltura successiva.

La somministrazione dei quantitativi di azoto previsti sarà opportunamente verificata anche sulla scorta delle concimazioni fatte alle colture precedenti e dei livelli di fertilità del terreno, desumibili da analisi chimiche, e pertanto potrebbe essere adeguata di conseguenza.

Conclusioni

La chiusura del progetto LIFE è prevista, salvo proroghe, per il settembre 2004. Pertanto, con la campagna 2003/04 termineranno le attività dimostrative attuate dall'ARUSIA nell'area di Petignano d'Assisi.

È ancora presto per tracciare un bilancio complessivo dell'iniziativa, in ogni modo, volendo proiettare lo sguardo oltre i risultati delle prove dimostrative condotte o ancora da realizzare, il principale risultato atteso è di conseguire una sensibilizzazione dei produttori agricoli della zona ai temi della tutela ambientale e della salvaguardia dell'integrità del suolo. Con ciò s'intende affermare che il progetto LIFE Petignano potrà essere considerato un successo, se si dimostrerà in grado di veicolare il principio che il terreno agricolo non deve essere considerato come un semplice strumento di supporto alla produzione, ma un patrimonio collettivo, da difendere e conservare.

Questo concetto ispira anche l'attività divulgativa che s'integra a quella dimostrativa. Le

iniziative intraprese per diffondere il progetto LIFE, le visite guidate organizzate presso i campi dimostrativi, gli incontri tecnici promossi non solo per illustrare le attività del progetto, ma anche per riflettere su modalità di gestione delle pratiche agronomiche diverse da quelle in uso, sono tutte iniziative che muovono nella stessa direzione, nella speranza che negli operatori agricoli lascino una traccia anche oltre il termine dell'attività dimostrativa programmata.

Un breve accenno, in conclusione, a quanto avviene a livello istituzionale, dove si conferma l'erogazione dei già citati benefici del Piano di Sviluppo Rurale per l'Umbria, previsti, nello specifico, per le aree vulnerabili, tra cui Petrignano è il caso più noto. Tali benefici, promuovono il ricorso a modalità di concimazione azotata a minor impatto, con la speranza che ciò vada a sostegno di quel processo di riconversione agricola che si auspica di conseguire nella zona.

Il monitoraggio dei nitrati e del suolo del Progetto LIFE Petignano, strumento conoscitivo e divulgativo dei risultati di prassi agronomiche ecocompatibili

Soil and nitrates monitoring of LIFE Petignano project, as knowledge and divulgation media for the results of sustainable agricultural praxis

Angiolo Martinelli¹, Giancarlo Marchetti¹, Gaetano Vacca², Federica Gobattoni¹, Alessandra Santucci¹, Carlo Graziani¹, Roberto Crea¹, Alfio Burchia¹, Antonio Bagnetti¹, Claudio Menganna¹

Introduzione

Le attività del progetto sono state proposte, ed ora si sviluppano, partendo dal lavoro svolto in passato e dall'identificazione e definizione del problema complessivo che è venuta fuori nel tempo. Questa presentazione riguarda la strutturazione e lo sviluppo dei sistemi di monitoraggio, principalmente delle specie azotate in uscita dal suolo. Abbiamo avuto a disposizione una serie di campi dimostrativi, attivati all'interno delle aziende di vari agricoltori dell'area, che hanno volontariamente aderito al progetto ed alle sperimentazioni che sono state proposte. In totale abbiamo 15 agricoltori e 19 campi dimostrativi; in genere ogni agricoltore ha un solo campo ad eccezione di due di essi, con aziende molto grandi, con i quali sono stati definiti tre campi ciascuno (per colture diverse). Ogni campo è strutturato con 2-3 parcelle test, come meglio descritto nell'articolo agronomico di Marrani *et al.*, che precede il presente: si tratta di 2-3 parti di appezzamento, di dimensioni variabili, sulle quali vengono attuate differenti pratiche colturali e differenti dosaggi di concimazione. Tutta la parte agronomicà monitorata mediante regolari visite di campo e incontri con l'agricoltore, e si procede periodicamente all'analisi del contenuto di azoto nel suolo, a inizio e fine coltura in genere, in modo da

avere il quadro complessivo a livello di ciclo colturale e di bilancio agronomico. L'unico elemento non quantificabile direttamente del ciclo colturale è l'azoto residuo che esce dal sistema suolo, ovvero si ha un valore per differenza tra azoto distribuito e azoto utilizzato dalle colture, ma in particolare non si hanno elementi per dire come si allontana, in che modi, concentrazioni e tempi.

L'elemento che abbiamo ritenuto utile, sia come strumento di verifica agronomica sia come attività dimostrativa nei confronti degli agricoltori, consisteva nel trovare il giusto strumento di informazione e comunicazione per evidenziare cosa succedeva a questi nutrienti. Nel momento in cui non sono più disponibili per le colture, proseguono la loro discesa in profondità, e non c'è capillarità che tenga, non ci sono radici che siano in grado di utilizzarli o di riportarli in superficie perché il suolo, essendo un'area estensivamente utilizzata, non ha più neanche vegetazione di tipo arborea. Si deve quindi associare ai campi dimostrativi un sistema di osservazione che dia una risposta riguardo alla perdita di nitrati di ogni piano colturale e in funzione delle diverse situazioni geo-pedologiche dell'area. Abbiamo organizzato un sistema di osservazione che fornisse degli elementi abbastanza semplici e immediati a questa domanda.

¹ ARPA Umbria
via Pievaiola
06132 San Sisto - Perugia (Italy)
tel. +39 075 515961

arpa@arpa.umbria.it

² Umbra Acque, Perugia.

Sommario

Il progetto LIFE Petrignano ha concepito e realizzato un sistema automatico e manuale di monitoraggio, che integra gli aspetti ambientali e quelli dimostrativi agronomici sul suolo e la falda idrica sotterranea.

Dodici stazioni automatiche per la misura del contenuto idrico del suolo ed il campionamento delle acque di percolazione fino a 6 metri di profondità sono state posizionate su altrettanti campi dimostrativi; altre 6 stazioni misurano il livello di falda, la temperatura e conducibilità dell'acqua e il contenuto idrico del primo metro di suolo, su altrettanti campi dimostrativi.

Su ogni campo dimostrativo, le repliche dei test e la conduzione tradizionale sono monitorate mediante lisimetri di superficie per un totale di circa 70 strumenti installati. Lisimetri e piezometri sono campionati mensilmente dal dicembre 2002, analizzando tutte le specie azotate ed altri 5 parametri chimici. Su 30 pozzi della rete locale di monitoraggio sono eseguiti semestralmente la misura del livello di falda e la determinazione del tenore in nitrati. Annualmente è effettuata un'analisi chimica completa di tutti i parametri di base, che è confrontata con un'analoga analisi sulle acque dei lisimetri. I primi risultati ottenuti, relazionati con l'andamento climatico della zona e la natura dei suoli, evidenziano finora l'effetto delle conduzioni agronomiche dell'anno 2001/2002 e il minor carico azotato della stagione agricola 2002-2003.

Gli strumenti che il progetto ha adottato, frutto di tecnologie dai costi contenuti, consentono di acquisire dei dati semplici, di facile uso per scopi dimostrativi e divulgativi nei confronti degli agricoltori. Le informazioni altresì permettono di completare il quadro conoscitivo, di chiudere il cerchio tra quello che avviene in superficie, quindi tutti i fattori agro-economici, e quello che succede nel sottosuolo, con le sue im-

Summary

The team working for the LIFE Petrignano project have created an automatic, manual monitoring system, which integrates agronomic aspects, both environmental and demonstrative, relating to the soil and the water table.

Twelve automatic monitoring stations were positioned in twelve demonstration fields, to measure the water content of the soil and sample the percolation water down to a depth of 6 m; six more stations were set up in six other fields to measure the level of the water table, the temperature and conductivity of the water, and the water content of the first metre of soil.

In each demonstration field, a repeat of the tests and the traditional conduction are monitored by surface lysimeters for a total of about 70 instruments installed. Since December 2002, lysimeters and piezometers have been sampled every month, to analyse all the different nitrates and five other chemical parameters. At 30 wells of the local monitoring network, every six months the level of the water table is measured and the nitrate content is determined. Every year a complete chemical analysis of all the basic parameters is carried out, and this is compared with an analogous analysis of the waters of the lysimeters. The first results obtained, related to the climatic pattern of the area and the type of soils, give evidence up to now of the effect of the agronomic activity in 2001/2002 and the decreased quantity of nitrates in the agricultural season 2002/2003.

The instruments used in the project, the fruit of reasonably priced technology, allow the acquisition of simple data and are easily used in demonstrating to and informing farmers. The information also allows us to form a complete picture of the situation and link what happens at ground level, therefore all the agro-economic factors, and what happens

plicazioni ambientali e idrologiche.

I valori rilevati sono un elemento inconfutabile di discussione: suggerire un'agricoltura più vicina ai cicli naturali sembra scontato, invece il progresso tecnologico ha annullato molte delle pratiche frutto della naturale esperienza diretta degli agricoltori.

E allora il primo risultato atteso è che ci sia una maggior sensibilizzazione degli agricoltori coinvolti, che si possa tornare a scelte produttive meno impattanti per l'ambiente e che diano prodotti sani e di qualità: il progetto sta cercando proprio una soluzione in questo senso, un primo passo verso la riqualificazione ambientale e produttiva del territorio.

La rete di osservazione realizzata ha infine una prospettiva di uso futuro. L'area del progetto è stata dichiarata area vulnerabile da nitrati ai sensi della normativa nazionale e della direttiva Nitrati (91/676/CEE): a breve sarà proposto ed applicato il piano d'azione previsto per legge, e le stazioni di monitoraggio sono già disponibili per verificare l'efficacia del piano stesso.

underground, with the environmental and hydrological implications.

The results obtained undeniably provoke discussion: it seems too obvious to suggest a type of agriculture which is more respectful of natural cycles, yet technological progress has indeed wiped out many of the practices which were the fruit of the farmers' natural, practical experience.

Thus the first outcome one expects is that the farmers involved become more sensitive to the problem, and that we can go back to practices which make a lesser impact on the environment and give healthy, high quality products: the project is an attempt to reach this type of solution, it is a first step towards a reevaluation of the environment and productivity of the land.

Lastly the observation network set up has the prospective of future use. The project area has been declared a nitrate vulnerable area according to the national code and the Nitrates Directive (91/676/EC): soon the plan of action drawn up by the law will be proposed and applied, and the monitoring stations have already been set up and are able to verify the efficacy of the plan.

Le stazioni di monitoraggio

Quella rappresentata in figura 1 è l'area come zonazione pedologica ed idrogeologica: l'idea è stata quella di valutare sia le pratiche colturali che le colture stesse anche in funzione delle diverse tipologie di suolo, perché anche l'azoto è disponibile e si muove in maniera diversa in funzione delle condizioni che incontra. Si sono progettate e realizzate delle stazioni di monitoraggio che consentissero l'attività agricola al di sopra dei sensori di misura, adottando quelli che potevano essere posizionati al di sotto dello strato arabile, senza che periodicamente fosse necessario intervenire per riposizionarli. È stato rimosso il suolo agricolo e, al di sotto della quota di aratura, si sono posizionati i nostri sensori in

modo diretto o mediante la perforazione di fori verticali.

Cavi e tubi sepolti sono stati protetti da guaine e portati fino ad un pozzetto di smistamento, collocato ai piedi di un palo di sostegno che sorregge la centralina ed il pannello solare di alimentazione, come evidenziato in figura 2. I cavi di alimentazione e di segnale passano attraverso il palo dal pozzetto al vano della centralina, che è una struttura molto piccola che accoglie l'acquisitore dati, il sistema di alimentazione e quello di comunicazione remota. L'insieme pozzetto-palo, con centralina e pannello solare, occupa uno spazio molto limitato che non incide nella conduzione agricola del campo e non perturba l'esecuzione delle correnti pratiche colturali.

Figura 1 – Carta di zonazione geo-pedologica dell'area di progetto
 Figure 1 – *Geo-pedological zonation map of the project area*

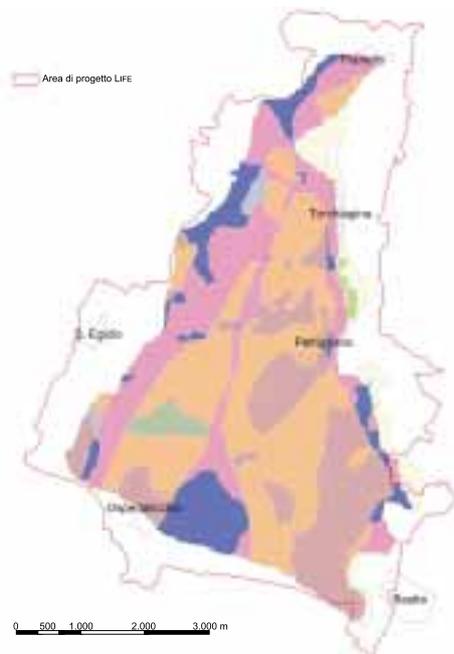
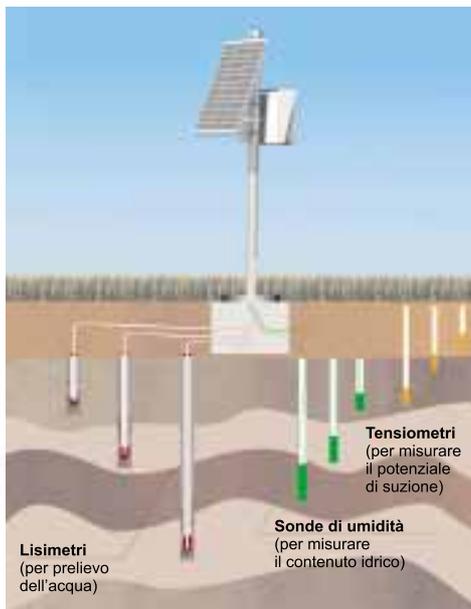


Figura 2 – Struttura delle stazioni automatiche di monitoraggio, tipo suolo
 Figure 2 – *Scheme of the automatic monitoring stations, soil type*



Sono stati scelti tre tipi di strumenti: lisimetri a suzione, tensimetri e sonde di umidità.

I lisimetri a suzione sono delle semplici coppe porose, montate su un contenitore plastico, che permettono di campionare l'acqua nel non saturo, utilizzando la depressione che si può creare nella parte interna dello strumento mediante appositi tubi: quindi si possono prelevare dei campioni d'acqua lasciandoli per vari giorni in queste condizioni e provvedendo poi a campionarli agendo con una sovrappressione.

Sono stati piazzati a circa 2, 4 e 6 m di profondità, proprio per evidenziare come si può muovere il fronte idrico che trasporta i nitrati e campionarlo in punti significativi: due metri è circa la base del suolo, o comunque la profondità dalla quale si presume ci sia solo movimento verso il basso per dei terreni agricoli privi di vegetazione arborea.

La scelta di mettere lisimetri fino a 6 m corrisponde a un motivo molto semplice: altre realtà hanno fatto già in passato sperimentazioni

in questo senso (Beretta *et al.*, 1995; Fumagalli *et al.*, 1999) e hanno avuto difficoltà a volte ad interpretare i dati. In particolare, perché i suoli con abbondanti contenuti di argilla, nei periodi estivi, sono soggetti al fenomeno della fessurazione, che in alcuni casi è stata evidenziata fino a vari metri di profondità, e questo consente alle piogge autunnali di bypassare tutto o parte dello spessore del suolo. Nel nostro caso i 6 m erano una profondità interessante per osservare eventualmente questi fenomeni, in quanto, la ricostruzione stratigrafica della zona, indica che è quasi costante tra 5 e 6 metri di profondità la presenza di livelli ghiaiosi: quindi questo orizzonte molto permeabile funge sia da "serbatoio di raccolta" che da elemento di smistamento delle acque di infiltrazione, e l'acqua che filtra lì è rappresentativa di un areale riconducibile a buona parte del campo sperimentale.

Gli altri due strumenti utilizzati consentono delle misurazioni indirette del contenuto idrico

del suolo e delle velocità relative di movimento delle acque di infiltrazione: i tensiometri consentono di misurare il potenziale di suzione del suolo, e le sonde di umidità, sonde del tipo TDR, riescono a derivare da una misura di tipo elettrico il contenuto di acqua nel suolo.

Il potenziale di suzione, utilizzato correntemente della modellazione dei flussi nel non saturo, è anche un modo di visualizzare lo stato di saturazione del suolo, in quanto esso tende a zero all'aumentare della saturazione ed a valori molto negativi (è misurato come depressione) quando il suolo si secca.

Le sonde TDR misurano il campo elettrico causato dalle molecole di acqua presenti nel suolo, con un segnale che è proporzionale quindi al livello di saturazione. I valori sono in parte dipendenti dalla natura e tessitura dei suoli e per avere una esatta trasposizione del segnale in contenuto idrico è necessario eseguire delle calibrazioni specifiche analizzando i suoli in oggetto. Questo in particolare per suoli fortemente argillosi, dove le molecole d'acqua presenti o cariche polari analoghe possono cambiare di molto l'andamento della scala di taratura. Nel nostro caso è già sufficientemente significativo il valore relativo ottenuto e quindi la visualizzazione del comportamento del suolo è riscontrabile dalle variazioni osservate.

I tensiometri, per loro specifica struttura, sono stati posizionati a lato della stazione a partire dal suolo agrario ed a profondità di 0,6, 1 e 1,5 m.

Le sonde di umidità sono state poste a una profondità, per il gruppo principale tra 0,4 e 2,5 m, intervallate di circa mezzo metro ciascuna. In alcuni casi ne abbiamo messa qualcuna più profonda, poco sopra la quota dei lisimetri, per fare delle verifiche, in altri, a causa di livelli di ghiaie che ne impedivano un corretto posizionamento, le quote di infissione sono state modificate. Questi strumenti sono usati per il progetto come dei semplici indicatori, e ci permettono da una parte di capire qual è il livello di contenuto idrico del suolo e come esso

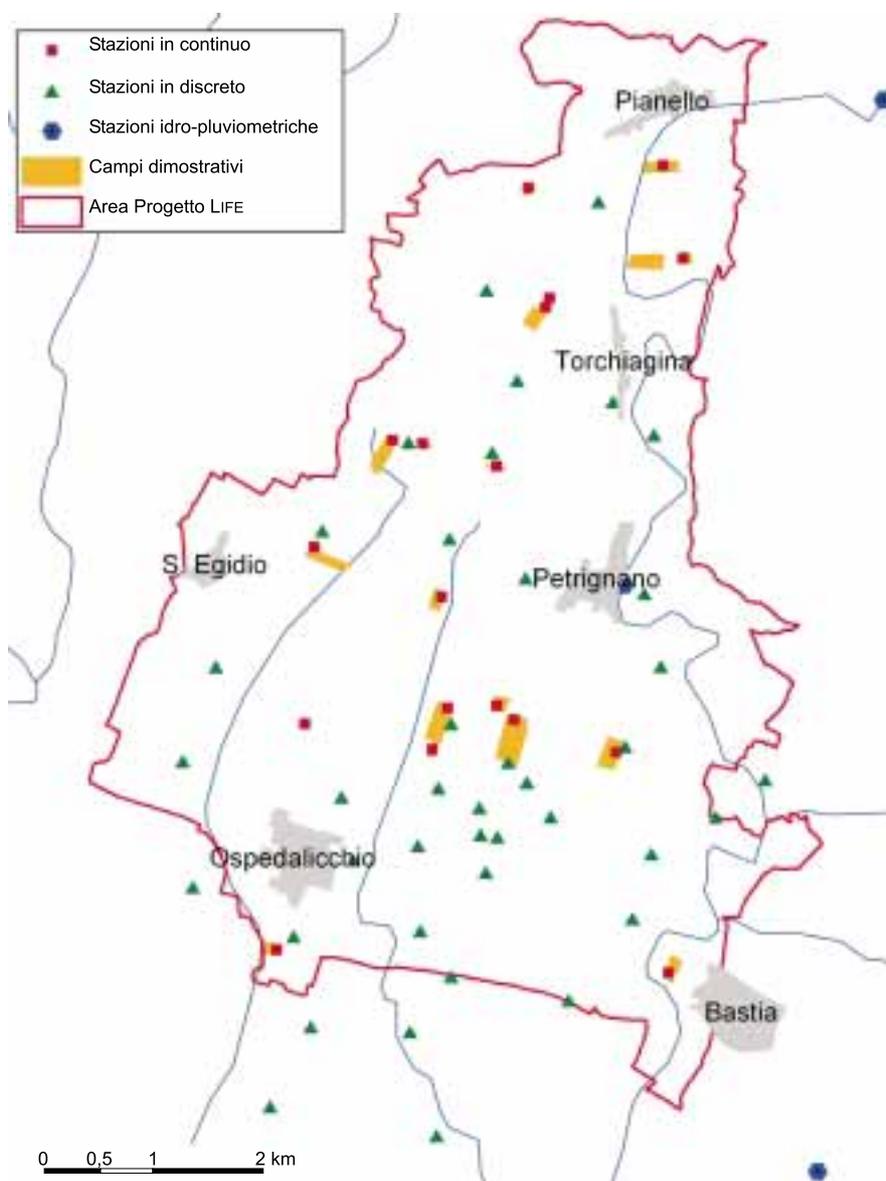
varia nel tempo. Ad esempio, nell'estate 2003 fino a settembre non è piovuto, c'era una notevole siccità. Il suolo si è prosciugato fino a circa 2 metri di profondità: con le piogge autunnali che stanno umidificando di nuovo il suolo i nostri sensori ci danno esattamente qual è la velocità di infiltrazione in queste condizioni, evidenziando i differenti tempi di risposta dei segnali con la profondità. Considerando che l'azoto è molto solubile e che ha un coefficiente di ritardo rispetto al movimento dell'acqua praticamente nullo, quindi si muove assieme all'acqua, visualizzando come si muove il fronte idrico, sappiamo anche come scendono i nitrati. In totale sono state realizzate 12 stazioni di questo tipo: nella zona dove la falda non è molto profonda e i suoli abbastanza permeabili sono state realizzate delle stazioni cosiddette "di falda". Si tratta di piezometri con profondità di circa 10 m, con la falda tra i 3 e 8 m dal piano campagna e le misure principali sono effettuate direttamente nella zona satura: livello idrico, temperatura e conducibilità elettrica in automatico.

Questo sistema ha riguardato 6 stazioni, su quattro delle quali si sono poi aggiunte una coppia di sonde di umidità a 0,5 e 1 metro di profondità per documentare lo stato idrico del suolo.

Tutto il sistema è automatizzato, con l'eccezione dei lisimetri a suzione che devono essere attivati e campionati manualmente: c'è la centralina che acquisisce i dati e gestisce gli allarmi eventuali di funzionamento, mentre da remoto è possibile controllare lo stato dei sistemi, modificare le impostazioni, acquisire i dati e visualizzarli.

In ogni stazione sono stati poi aggiunti dei lisimetri a suzione di superficie che consentono il prelievo di acqua dal suolo nelle parcelle sperimentali contigue a quella della stazione automatica: essi sono campionati con le stesse modalità dei lisimetri di profondità. In figura 3 è visibile la distribuzione della rete: le parcelle sperimentali dei vari agricoltori, la rete di monitoraggio in automatico sui ni-

Figura 3 – Localizzazione dei campi sperimentali e delle stazioni automatiche e discrete
 Figure 3 – Location of test fields and automatic/discrete monitoring stations



trati del suolo e le stazioni discrete di monitoraggio semestrale della falda.

La rete di monitoraggio della falda

Associata a questa rete in automatico è presente una rete di monitoraggio locale definita

per controllare le condizioni della falda: è una rete di circa 30 punti posti sulla falda superficiale, che copre l'intera area ed integra la rete regionale di monitoraggio che l'ARPA gestisce, e che viene utilizzata per campionamento e analisi due volte l'anno.

La rete locale è stata attivata nel 2002, anche se esiste una rilevazione del 1998 (Martinelli *et al.*, in questo volume). Confrontando le varie annualità e le campagne primaverili e autunnali, gli anni recenti sono stati piuttosto irregolari dal punto di vista meteorologico, è evidente il meccanismo di pulsazione del tenore di nitrati della falda superficiale che diluisce o concentra i suoi tenori in nitrati in funzione degli input agricoli e dell'abbondanza o meno delle piogge efficaci (che si infiltrano). Ad esempio, nel 2002 il campionamento primaverile è stato fatto prima di piogge significative, perché il periodo 2001-2002 è stato particolare, con un intero inverno in cui c'è stata pochissima pioggia efficace e quindi non c'è stata percolazione del carico inquinante, così che nel settore nord abbiamo avuto una ripulitura, un lavaggio della falda. Al contrario, la situazione recente (ottobre 2003) ripropone valori molto elevati in quella zona, riconducibili, come vedremo più avanti, agli effetti dei carichi agricoli 2002 e delle piogge di fine 2002.

Questa è la situazione ad oggi, ottobre 2003 (fig. 4): c'è un pennacchio abbastanza ben visibile con valori che vanno da 75 a 150 mg/l, delle altre zone anomale, poi un valore medio dell'area che ha valori comunque superiori a 75 mg (questa è la rete della falda superficiale, quella a diretto contatto col suolo). La falda, che ha un movimento centripeto verso il campo pozzi, fa muovere anche il pennacchio in quella direzione: questi poi si dissolve per l'aumento dei volumi idrici in gioco nella zona centrale e con la diversificazione verticale dei flussi verso le falde inferiori. In questi casi di contaminazione diffusa, dati e mappe vanno lette tenendo ben presente le indicazioni di tipo idrogeologico.

I dati e le informazioni per le attività divulgative

L'insieme dei dati di monitoraggio di suolo e falda sono utilizzati per la valutazione degli effetti delle sperimentazioni e delle colture in

atto, nonché per il loro utilizzo come strumento di confronto con gli agricoltori. Ad esempio, dal confronto tra le analisi dei nitrati misurati in falda e i valori osservati nel suolo (fig. 5) non c'è in genere una grossa differenza, ciò significa che le parte superiore della falda non risente di effetti di diluizione o dell'intervento di altri fattori, per cui le acque di infiltrazione corrispondono come concentrazione a quelle che si trovano nel suolo.

Solo nella zona del fiume C hiascio, al margine orientale, si hanno valori di nitrati molto più bassi, a conferma che il fiume diluisce la falda. Ci sono poi delle situazioni *ipotesi* in cui i valori, soprattutto delle acque prelevate dai lisimetri, sono piuttosto alti, quindi ci sono delle anomalie che devono essere interpretate anche in funzione della sequenza delle colture messe in atto negli ultimi anni. Nel suolo si osserva invece un incremento di tenori in cloruri e solfati.

A livello di campi sperimentali in genere abbiamo tre parcelle test: su quella di centro c'è la stazione automatica e nelle altre posizioniamo dei lisimetri a suzione di superficie, analoghi a quelli di profondità, ma che in genere sono posizionati in campo dopo la semina della coltura e vengono ogni volta rimossi a fine ciclo prima dell'aratura. È difficile realizzare le varie lavorazioni in modo omogeneo intorno al lisimetro e quindi è preferibile riposizionarli allo stesso modo dopo la conclusione della lavorazione. I dati permettono di fare un confronto tra le varie parcelle ed anche tra le varie prove. Purtroppo spesso questi lisimetri risultano non campionabili per contenuto idrico del suolo troppo basso, cosa che si manifesta regolarmente nel periodo estivo a un metro di profondità (il disseccamento nel 2003 ha raggiunto profondità superiori a due metri).

Tensiometri e sonde di umidità forniscono dati in automatico che consentono di visualizzare l'andamento nel tempo dell'umidità nel suolo: i tensiometri, che misurano il potenziale di suzione, non rilevano nient'altro che la necessità e il bisogno idrico del suolo, e quindi più il

Figura 4 – Carta delle concentrazioni dei nitrati nella falda superficiale (ottobre 2003)
Figure 4 – Nitrates concentration map for the superficial water table (October 2003)

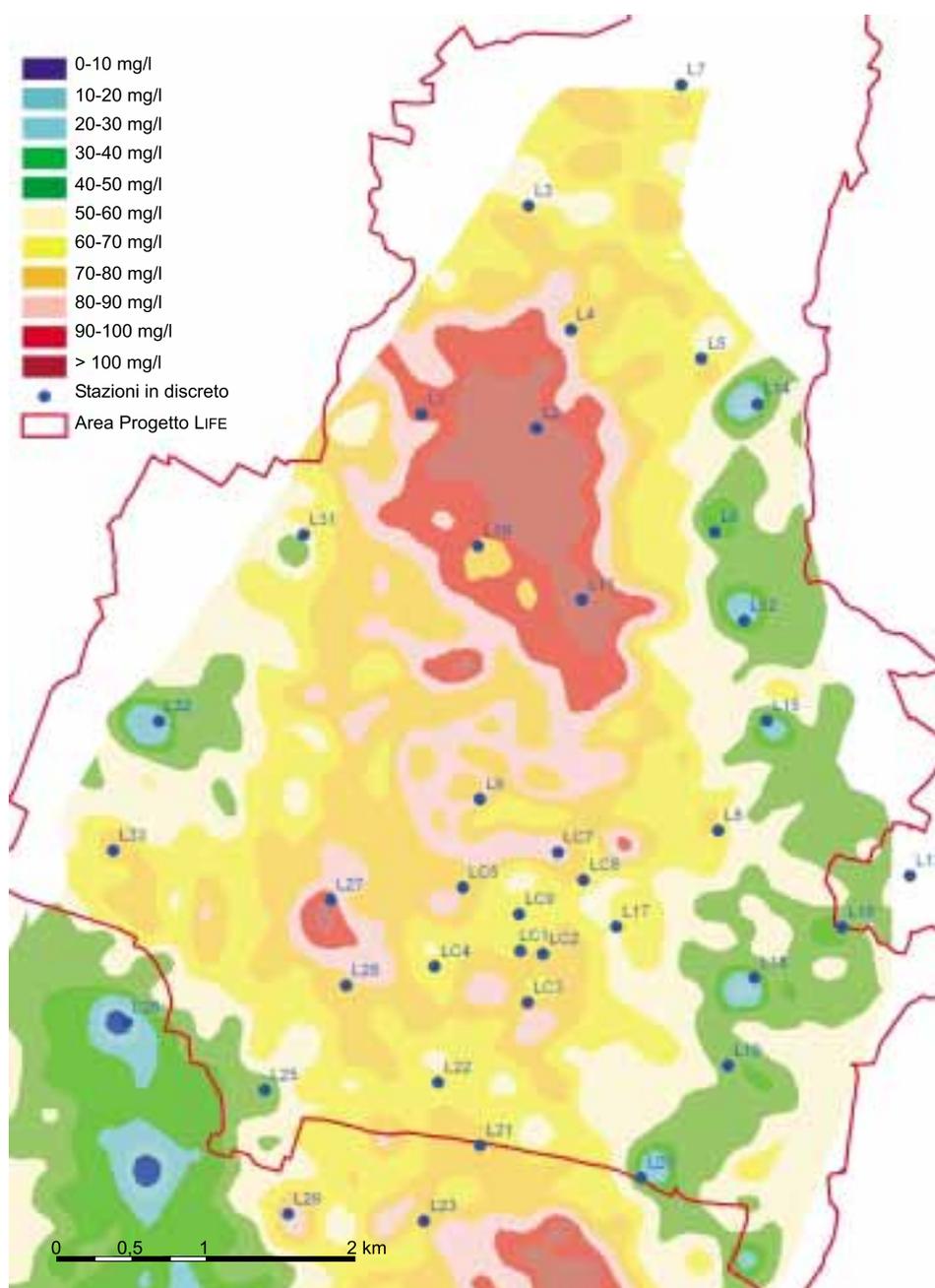
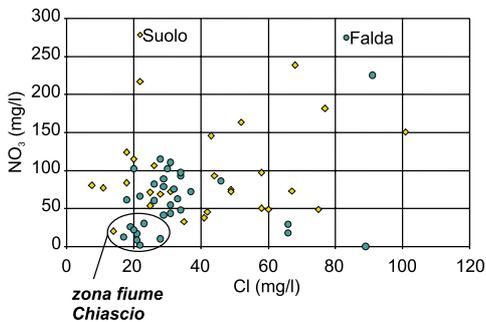


Figura 5 – Confronto tra le acque della falda superficiale e del suolo
 Figure 5 – Comparison between water from soil and superficial water table



suolo è asciutto maggiore è l'effetto di suzione, quindi il valore diventa più negativo.

In tutte le stazioni i tre tensiometri sono messi a 60 cm, a 1 e a 1,5 m di profondità. In figura 6 si riporta un esempio dei dati ottenuti: alla profondità di 60 cm, a inizio giugno 2003, la tensione ha cominciato a scendere in maniera significativa e quindi il suolo ha raggiunto in quel periodo un bilancio idrico negativo e si stava prosciugando. Nei tensiometri più profondi si ha un andamento un po' diverso: a 1 m le variazioni sono più graduali e la tensione scende in maniera altalenante, a 1,5 m invece è molto graduale.

Più netta è la risalita dei valori di tensione con l'arrivo delle piogge autunnali: quelli a 0,6 e 1,0 metri risentono subito dell'evento piovoso di fine ottobre 2003, mentre a 1,5 metri c'è bisogno delle piogge di fine novembre per riportare il suolo a livelli quasi di saturazione.

Sulla modalità di infiltrazione delle acque meteoriche incidono sia l'aratura che le eventuali fessurazioni profonde del suolo: non tutti i sensori hanno difatti risposto in modo analogo anche con suolo analoghi.

I sensori di umidità consentono di vedere l'evoluzione fino a maggior profondità: si vede per ogni sonda quando avviene il processo di prosciugamento del suolo, che tra l'altro è dovuto a una somma di due fattori: il primo è la migrazione del fronte umido in profondità, l'altro è l'effetto evaporativo che agi-

sce anche con il supporto della risalita capillare, funzione della natura dei suoli.

Un risultato importante che si ottiene dai dati è la possibilità di calcolare la velocità media di discesa dei fronti umidi in particolare nella fase autunnale, quando le piogge che si infiltrano trovano un suolo asciutto e l'elevato livello di saturazione porta ai massimi valori la conducibilità verticale del suolo.

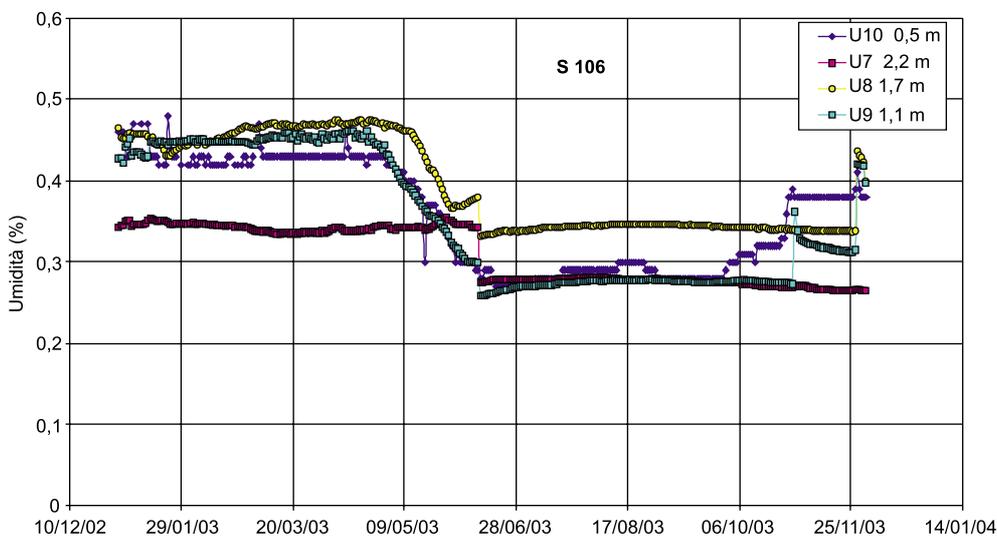
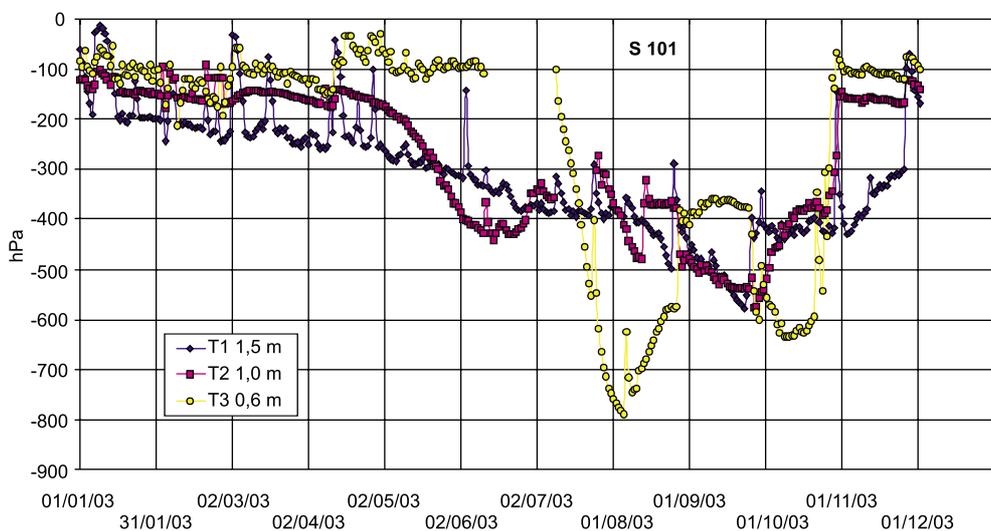
La fluttuazione dei fronti umidi può essere evidenziata mediante profili mensili di umidità, come mostrato in figura 7: partendo dai mesi umidi ed andando verso la stagione estiva, nel caso mostrato da dicembre ad agosto, si vede come il suolo stia perdendo acqua in superficie mentre in profondità i valori rimangono più o meno costanti. Alcune differenze costanti di valori sono imputabili alla diversa risposta strumentale al tipo di suolo.

I dati in continuo che escono dalle stazioni in falda sono la conducibilità elettrica, che è correlabile alle variazioni del carico azotato in arrivo dal non saturo, la temperatura della falda e il livello piezometrico. La risalita del livello di falda da indicazioni dell'arrivo della ricarica verticale, che è la sola componente presente su gran parte dell'area di progetto.

Nei due anni, nel 2002 e nel 2003, le piogge efficaci sono state molto contenute: rispetto a una media storica che è di oltre 800 mm, nel 2002 abbiamo avuto 730 mm ma, di questi, più del 60% sono piovuti in estate. In estate può piovere su questo tipo di suoli in modo consistente senza che il fronte umido creatosi scenda. Anche se riesce a saturare il primo strato di suolo, bastano pochi giorni di insolazione per far rievaporare tutto, ed i nitrati permangono e si accumulano nella parte bassa del suolo. La constatazione è che l'azoto che stiamo osservando adesso è, in gran parte, quello del 2002. La sola eccezione è limitata a quelle zone, poche, dove i suoli sono più sabbiosi e permeabili.

In figura 8 sono riportati degli esempi dei dati a cui si fa riferimento: le fertilizzazioni che sono state date alle colture e le diverse condi-

Figura 6 – Variazioni del contenuto idrico del suolo da tensiometri e sonde di umidità
 Figure 6 – Soil moisture variation from tensiometers and humidity sensors

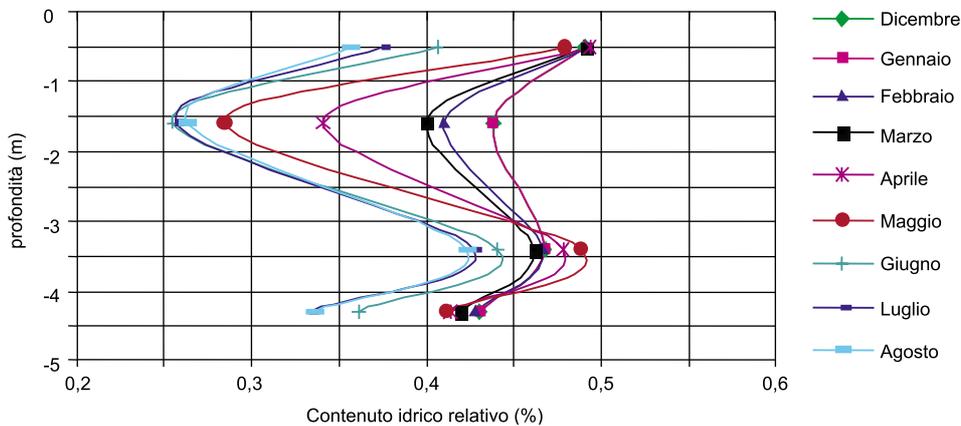


zioni di stato agronomico del suolo (terreno arato, terreno incolto, coltura in atto, ecc.). Nel primo esempio la coltura è mais irriguo ripetuto negli anni, con irrigazione a goccia; come si vede tra incolto e aratura si anno 6-7 mesi di *décalage* tra i due cicli culturali, il suolo praticamente rimane privo di vegetazione

per tutta la stagione autunno-invernale, periodo di maggior afflusso meteorico efficace, quindi l'azoto residuo è lisciviato in maniera sostanziale e questo chiaramente aggrava la situazione.

A livello di bilancio idrologico l'apporto piovoso significativo è avvenuto a fine 2002 por-

Figura 7 – Variazioni mensili del contenuto idrico lungo il profilo del suolo
 Figure 7 – Monthly soil moisture variation along soil profile



tando in profondità, a livello dei nostri lisimetri, molto del carico azotato apportato al terreno nel lungo periodo precedente. In pratica, il movimento dell'acqua nel suolo è molto basso quando ce n'è poca: la conducibilità idraulica di un terreno non saturo è proporzionale al suo grado di saturazione, quindi più tende a zero e più la conducibilità è bassa, più si va a saturazione e più la conducibilità aumenta. Il risultato è che le concimazioni della primavera 2003 ci attendiamo di "vederle" nei primi mesi del 2004. Nel giro di 2-3 mesi probabilmente avremo, almeno a due metri di profondità, un piccolo analogo a quello in figura, speriamo che sia almeno meno evidente.

Nel grafico si vede come, a febbraio-marzo 2003, a 4 m è arrivato un impulso forte di azoto residuo, che poi si attenua come concentrazione, perché sta scendendo in profondità e arriva acqua che ne ha di meno, mentre a 6 m sta aumentando il valore.

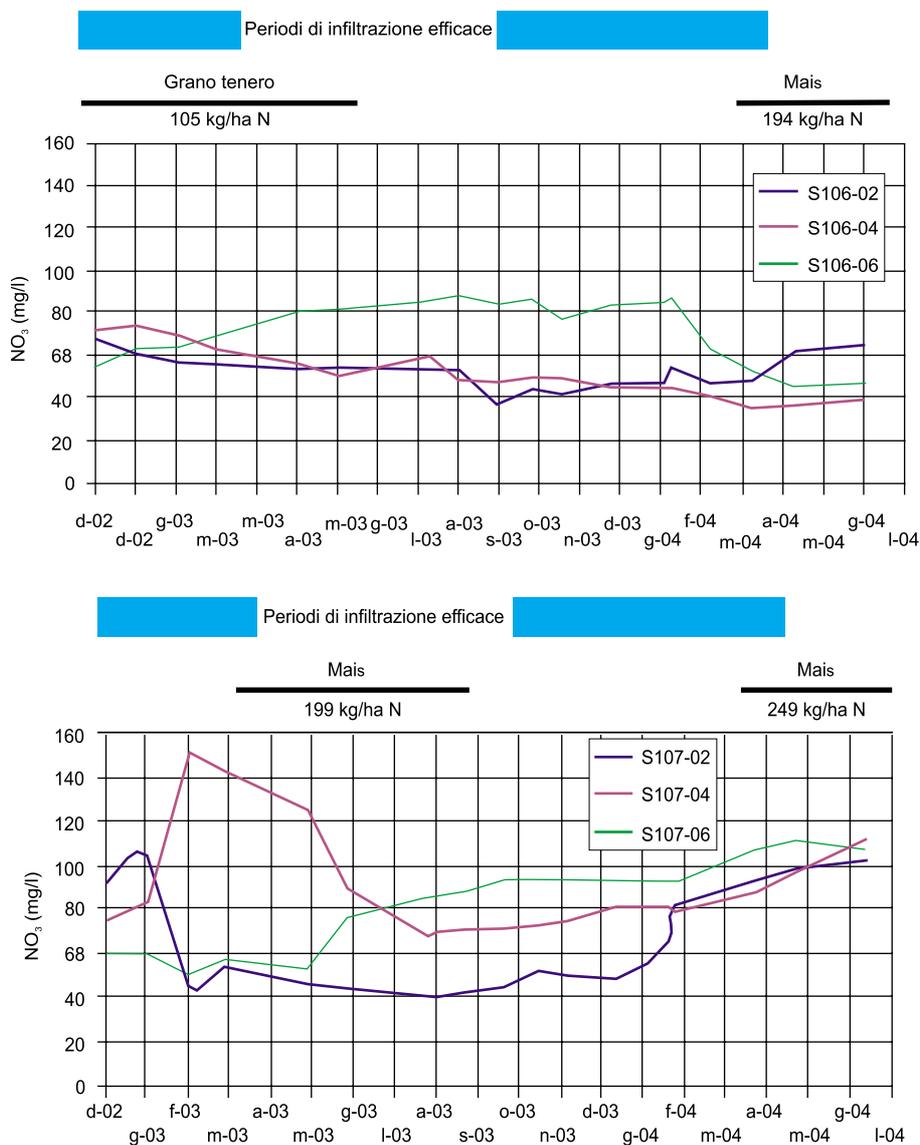
Questi sono gli elementi che intendiamo utilizzare con gli agricoltori, per discutere le problematiche e far capire come funziona il sistema "suolo".

Il secondo esempio è un po' più complesso, perché le variazioni di concentrazione del nitrato sono più fluttuanti. In realtà l'evidenza è la stessa anche se il processo infiltrativo è molto più graduale e non ci sono picchi: nei primi

metri (2 e 4 metri di profondità) c'è un trend di diminuzione dei tenori in nitrati, mentre a 6 m le concentrazioni crescono. C'è vuol dire che il carico residuo legato alle precedenti fertilizzazioni ha passato i 2-4 m e sta raggiungendo i 6 m di profondità. Attendiamo conferma dai nuovi dati. Con le recenti piogge autunnali, il terreno si sta saturando e quindi potremo fare delle valutazioni complessive ed affidabili.

Dall'attività operativa abbiamo avuto riscontri sull'ottimizzazione della frequenza di campionamento dei lisimetri. Inizialmente erano state previste frequenze ravvicinate di caricamento e campionamento, perché adottate da altre esperienze di ricerca agropedologica, che si concentravano sui primi strati del suolo. Con l'aumento complessivo del numero di punti da campionare (circa 80) si è visto che adottando una cadenza mensile, si riuscivano a conciliare le esigenze operative ed analitiche con l'accuratezza e dettaglio dell'informazione richiesta. Infatti, la frequenza mensile è compatibile con l'evoluzione del dato relativo ai campionamenti alle profondità di 2-4-6 metri, ma anche nei lisimetri di superficie l'osservazione è accettabile perché le variazioni non sono mai così estreme. Interessandoci poi l'evoluzione nel medio periodo, un dato mensile è anche un dato mediato:

Figura 8 – Evoluzione dei tenori in nitrati delle acque circolanti nel suolo in relazione alle attività agricole ed alle precipitazioni (le frecce: kg/ha di azoto apportato)
 Figure 8 – Nitrates concentration in water from soil and their evolution according to agricultural practice and rainfall (black arrows: kg/ha of N fertilization)



i terreni dove si opera, infatti, dove il contenuto di argilla e di limo è elevato, perché la maggior parte sono limo-argillosi, e solo in alcuni arriviamo al franco, franco-sabbioso, richiedono anche più di 30 giorni per riempire un lisimetro, quindi si ha un

campionamento ponderato. C'ampionare ogni settimana vorrebbe dire in qualche caso prendere solo 5 cc di campione: è chiaro che in questo modo si perde qualcosa a livello di precisione delle risposte di tipo istantaneo (es: afflussi piovosi consistenti).

Conclusioni

Gli strumenti che il progetto ha adottato, frutto di tecnologie dai costi contenuti, consentono di acquisire dei dati semplici, di facile uso per scopi dimostrativi e divulgativi nei confronti degli agricoltori. Le informazioni altresì permettono di completare il quadro conoscitivo, di chiudere il cerchio tra quello che avviene in superficie, quindi tutti i fattori agro-economici, e quello che succede nel sottosuolo, con le sue implicazioni ambientali e idrologiche. Con poche misure si riesce a leggere chiaramente (questo dipende anche dal tipo dei terreni) cosa succede nel sistema suolo, i primi due metri, e più oltre, dove le cose sono più complesse o non sempre facili da interpretare.

I valori rilevati sono comunque un elemento inconfutabile di discussione: suggerire un'agricoltura più vicina ai cicli naturali sembra scontato, invece il progresso tecnologico ha annullato molte delle pratiche frutto della naturale esperienza diretta degli agricoltori. La complessità biologica, fisica, idraulica e chimica dei suoli, è stata tramutata in un "tappeto di coltura" su cui appoggiare le richieste del mercato.

I costi di queste scelte sono pagati più volte dalla collettività: direttamente con il contributo comunitario, con gli interventi per ripristinare le situazioni critiche delle acque potabili, con i danni indotti dalla vulnerabilità agli eventi calamitosi, ed indirettamente con il degrado ambientale, il rischio per la salute ed i costi che ne derivano. E allora speriamo che almeno ci sia una maggior sensibilizzazione degli agricoltori coinvolti, che si possa tornare a scelte produttive meno impattanti per l'ambiente e che diano prodotti sani e di qualità: il progetto sta cercando proprio una soluzione in questo senso, un primo passo verso la riqualificazione ambientale e produttiva del territorio.

La rete di osservazione realizzata ha già un vantaggio immediato: l'area è stata dichiarata area vulnerabile da nitrati ai sensi della

normativa nazionale e della direttiva Nitrati (DIR 676/91). Tra qualche mese sarà proposto ed applicato il piano d'azione previsto per legge, e le stazioni di monitoraggio sono uno strumento già rodato, già in campo per verificare l'efficacia del piano stesso.

Bibliografia

- ARPA Umbria (2003). *The LIFE Petignano project. Integrated management systems of Petignano Area: new models against nitrates pollution*. EU Informal Water Directors Meeting, Rome, November, 24-25, 2003. Poster presentation.
- ARPA Umbria (2001). *The LIFE Petignano project - Integrated management systems of Petignano Area: new models against nitrates pollution*. UE DG ENV, LIFE Environment, Project approved document.
- ARPA Umbria (2003). *Acqua, agricoltura, Nitrati*. Pubblicazione divulgativa n. 1 del progetto LIFE, ARPA Umbria.
- Arya L. e Paris J. (1981). *A Physical-empirical model to predict soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density*. Soil science Society of America Journal, n. 45.
- Beretta G.P., Fumagalli L. e Pezzerà G. (1995). *Primi risultati sull'analisi del flusso idrico e del trasporto di nitrati nel mezzo non saturo in un campo sperimentale della pianura bergamasca. Atti del 2° convegno nazionale sulla Protezione e gestione delle acque sotterranee: metodologie, tecnologie, obiettivi. Nonantola (MO) 17-19 maggio 1995*. Quaderni di tecniche di Protezione ambientale 1/1995, Supplemento 2, Pitagora Ed.
- Fumagalli L., Beretta G.P., Cortellini L. e Mantovi P. (1999). *Migrazione dei nitrati nel mezzo non saturo: predisposizione di due campi sperimentali in Emilia-Romagna e primi risultati del monitoraggio. Atti del 3° convegno nazionale sulla Protezione e gestione delle acque sotterranee. Parma 13-*

- 15 ottobre 1999. Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora ed., Bologna.
- Martinelli A., Marchetti G, Martini E., Facchino F. e Cortina C. (2004) *acquifero di Petrignano di Assisi in Valle Umbra (Italia Centrale): un esempio di sviluppo metodologico della conoscenza dei sistemi ambientali.* (in questo volume). *The Petrignano di Assisi aquifer in Umbrian Valley (Central Italy): an example of methodological approach for the knowledge of environmental systems.* (in this volume).
- Martinelli A., Marchetti G e Stranieri P. (2004). *Monitoring of groundwater contamination from agricultural practices in a pilot project: The LIFE Environment Petrignano project.* 32th IGC congress. Florence 20-28 August 2004.
- Mishra S. e Parker J.C. (1989) *Effects of parameter uncertainty in predictions of unsaturated flow.* Journal of Hydrology, n. 108.
- Van Genuchten M.T. h. (1980) *A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils.* Soil science Society of American Journal, n. 44.

La fase divulgativa del progetto LIFE Petignano

The divulgative phase of the LIFE Petignano project

Bruna Manzoni

L'attività divulgativa

Il principio ispiratore del progetto è stato il convincimento che la pianificazione e la valorizzazione del territorio siano inscindibili dalla sensibilizzazione, dalla partecipazione e dal coinvolgimento dei vari attori, siano essi produttori agricoli, istituzioni, associazioni o semplici cittadini che in questa area vivono e lavorano.

La divulgazione del progetto LIFE rientra pertanto nel più ampio quadro della comunicazione ambientale. Fare comunicazione ambientale significa sicuramente un passo in più rispetto alla comunicazione istituzionale comunemente intesa.

Infatti oltre all'aspetto informativo, che è ovviamente fondamentale, è molto forte la componente di ricerca del coinvolgimento del pubblico a cui è rivolta la comunicazione. Non basta attrarre l'attenzione, o informare sulle problematiche ambientali; quello che stiamo cercando di ottenere è la modifica di un comportamento. Come è ovvio, modificare comportamenti è un compito molto arduo, significa incidere su abitudini consolidate, a volte anche su tradizioni e *modus operandi* tramandati nel tempo.

I danni ambientali arrecati in quest'area, nel recente passato, sono in parte attribuibili ad una diffusa disinformazione sulle conseguenze

ze dell'uso indiscriminato di concimi e nel mancato supporto tecnico, da parte delle istituzioni, rispetto alle misure agro-ambientali più corrette da adottare in una zona che è anche sede della maggiore risorsa acquifera della regione.

È grazie a questa consapevolezza che il progetto LIFE ha investito risorse economiche e umane per la diffusione nell'area di informazioni scientificamente corrette, puntuali e comprensibili e che ha mirato al coinvolgimento e alla partecipazione di tutti i soggetti, a vario titolo e a vari livelli, interessati alla problematica dell'inquinamento delle acque di Petignano.

Individuare i nostri stakeholders è stato il primo passo per un approccio metodologicamente corretto alla progettazione di un piano di comunicazione che potesse distinguere, per ogni singolo segmento di pubblico, gli obiettivi della comunicazione, i messaggi, e gli strumenti più idonei a veicarli.

Figura 1 - Individuazione degli stakeholders
Figure 1 - Identification of stakeholders



Sommario	Summary
<p>Il progetto LIFE Petignano ha avuto, fin dall'inizio, tra i suoi obiettivi principali la diffusione sul territorio delle attività promosse dal progetto.</p> <p>A conferma che tra le finalità del progetto vi sono la condivisione partecipata degli obiettivi ambientali perseguiti e la sviluppo una cultura ambientale nell'area, la Task 9 e parte delle Task 3 e 4 sono destinate o fortemente connesse all'attività di comunicazione.</p> <p>Larga parte del budget previsto si articola in attività per la trasmissione diretta d'informazioni progettuali ed ambientali suddivise secondo target ed utenti multipli e diversificati.</p> <p>La partecipazione del progetto a scadenze tradizionali dell'area quali fiere e sagre locali, l'organizzazione di momenti tecnici ed informativi completano il quadro degli interventi previsti.</p> <p>Il messaggio del progetto LIFE Petignano è mirato alla sostenibilità ambientale delle tecniche agronomiche in un'area in cui l'assistenza tecnica nel passato non ha supportato in modo forte e diretto le misure agro-ambientali.</p>	<p>The diffusion of the activities promoted by the project has always been one of the main objectives of the LIFE Petignano project.</p> <p>Task 9 and parts of Task 3 and 4 are dedicated or strongly linked to activities of communication, which confirms the fact that participation in common environmental aims, and the development of an environmentally-aware culture in the area, are among the aims of the project.</p> <p>A large part of the budget foreseen is to be allotted to activities aimed at the direct transmission of information concerning the project and the environment, divided up according to the various different targets and users.</p> <p>Participation in the project will be extended to the traditions of the area with local festivals and fairs for example, and this together with the organisation of technical and informative aspects, go to complete the list of tasks to be undertaken.</p> <p>The message of the LIFE Petignano project is to concentrate on the environmental sustainability of agronomic techniques, techniques employed in an area in which technical assistance has not given strong and direct support to agroenvironmental measures in the past.</p>

Particolare attenzione è stata posta all'impostazione grafica e al taglio comunicativo scelti al momento della progettazione dei materiali divulgativi. La prima operazione è stata lo studio di un logo che potesse immediatamente identificare il progetto.

Uno degli elementi in gioco è il luogo fisico, il territorio della sperimentazione.

È un'area vasta, paesaggisticamente di grande pregio. Siamo ai piedi di Assisi, la pianura è incorniciata da colline e alture; visivamente

l'effetto è di un susseguirsi di sfondi ondolati, abbastanza tipico della campagna Umbra.

Un altro aspetto importante da sottolineare è l'elemento agricolo, la terra coltivata, il verde delle colture. E poi l'acqua, che nel nostro caso è un'acqua di falda, quindi un elemento incluso tra terra e superficie. Graficamente il segno che ha cercato di riunire questi tre elementi è la GOC CIA/FOGLIA, che nella sovrapposizione dei due elementi vuole suggerire quell'andamento di fuga delle colline

Tabella 1 – Stakeholders istituzionali
Table 1 – Stakeholding institutions

STAKEHOLDERS ISTITUZIONALI			
STAKEHOLDERS ISTITUZIONI	OBIETTIVI	MESSAGGI	STRUMENTI
Regione Umbria - Assessorato all'Agricoltura - Assessorato all'Ambiente	Costruire un proficuo rapporto di collaborazione e scambio	Valore della collaborazione tra Enti per la tutela del territorio	Riunioni di programmazione e coordinamento
Arusia	Coinvolgere	Essere promotori di un approccio alle problematiche ambientali	Diffusione di dati puntuali e comprensibili sull'attività di sperimentazione
Umbra Acque	Confronto per fasi di avanzamento del progetto	Capacità di verifica e disponibilità alla correzione degli errori	Produzione, in partenariato, di dati, relazioni e materiale divulgativo
Comuni - Bastia Umbra - Assisi - Perugia	Confronto con altre esperienze nazionali o internazionali		Convegni e conferenze nazionali e internazionali
Commissione Europea DG Ambiente			Mass media
Ministero dell'Ambiente e delle Politiche Agricole			
Università			
Agenzie (italiane) di protezione ambientale			

Tabella 2 – Stakeholders associazioni
Table 2 – Stakeholding associations

STAKEHOLDERS: ASSOCIAZIONI DEI PRODUTTORI			
STAKEHOLDERS	OBIETTIVI	MESSAGGI	STRUMENTI
Associazioni Umbria dei produttori regionali - CIA - Coldiretti - Unione Agricoltori	Informare e sensibilizzare al problema (inquinamento acque)	L'acquifero di Petignano è inquinato dai nitrati derivanti dall'agricoltura	Seminari e meeting tematici per illustrare la problematica dell'area e valutazione delle soluzioni possibili
	Costruire un valido rapporto di collaborazione e scambio	Insieme si può affrontare il problema	Diffusione di brochure, opuscoli informativi e filmato sull'attività del progetto
	Coinvolgere nella ricerca di soluzioni	La sperimentazione può dare indicazioni per il futuro	Convegni e conferenze sito web del LIFE Petignano
	Confronto per fasi di attuazione della sperimentazione	Il profitto è compatibile con la sostenibilità ambientale	Confronti sui dati della sperimentazione
	Promuovere una diversa cultura ambientale	Tutti siamo responsabili della tutela del territorio	
		Vantaggi dell'opportunità di un marchio di prodotto a ridotto impatto ambientale	

Tabella 3 – Stakeholders produttori
 Table 3 – Stakeholding producers

STAKEHOLDERS: I PRODUTTORI			
STAKEHOLDERS PRODUTTORI	OBIETTIVI	MESSAGGI	STRUMENTI
	Informare e sensibilizzare al problema (inquinamento acque)	I pozzi di Pertrignano è inquinato dai nitrati derivanti dall'agricoltura	Incontri e meeting tematici per la spiegazione del problema inquinamento da nitrati
	Costruire un valido rapporto di collaborazione e scambio	Le istituzioni sono un supporto, e non un ostacolo, alle attività produttive	Diffusione di brochure, opuscoli informativi e filmato sull'attività del progetto
	Indurre la modifica di un comportamento (adozione di misure agricole a ridotto impatto ambientale)	La responsabilità della tutela del territorio è collettiva	Partecipazione a fiere ed eventi nel territorio
	Confronto per fasi di attuazione della sperimentazione	Insieme si può affrontare il problema	Sito web del LIFE Petrignano
	Promuovere una diversa cultura ambientale	La sperimentazione può dare indicazioni per il futuro	Frequenti e regolari incontri in campo per il monitoraggio dell'attività
	Valutazione del feedback	Il profitto è compatibile con la sostenibilità ambientale	Comparazione dei dati sulle rese agronomiche
		Vantaggi dell'opportunità di un marchio di prodotto a ridotto impatto ambientale	Dialogo diretto con i produttori

Tabella 4 – Stakeholders cittadini
 Table 4 – Stakeholding citizens

STAKEHOLDERS: I CITTADINI			
STAKEHOLDERS CITTADINI	OBIETTIVI	MESSAGGI	STRUMENTI
	Informare e sensibilizzare ai problemi - inquinamento delle acque - risparmio del consumo di acqua	La salvaguardia dell'ambiente è un impegno istituzionale ma anche individuale	Partecipazione a fiere ed eventi nel territorio
	Svolgere un'azione informativa ed educativa sulla sostenibilità ambientale	Importanza di un'informazione chiara, completa e attendibile rispetto a problemi che coinvolgono la salute del cittadino e la qualità dell'ambiente	Dialogo personale con i produttori
	Attività di ascolto sulla percezione delle problematiche ambientali		Diffusione di brochure, opuscoli informativi e filmato sull'attività del progetto
	Valutazione del feedback		Sito web del LIFE Petrignano

Figura 2 – Scelta di un logo
Figure 2 – Choice of a logo



e nello stesso tempo ha nell'intersezione l'elemento azzurro dell'acqua.

Il logo è presente in tutto il materiale prodotto nell'ambito del progetto: poster, manifesti, locandine, pieghevoli, opuscoli, brochure e, in formato elettronico, sul sito web del portale di ARPA. Infatti si è voluto dare un'immagine coordinata a tutti gli output del progetto in modo da essere sempre facilmente riconoscibili.

Tutto il materiale prodotto è stato progettato con l'intento di fornire un'informazione chiara e semplice, comprensibile a tutti e soprattutto

piacevolmente consultabile. La grafica, i formati e i colori, l'uso di foto e di schemi riassuntivi, sono state pensate per invogliare e stimolare alla lettura e facilitare la comprensione dei testi e quindi dei messaggi.

Nei campi dimostrativi, grazie alla partecipazione degli agricoltori, sono stati installati 17 cartelloni identificativi e illustrativi del progetto. Il progetto è stato presentato e divulgato con diversi prodotti editoriali e con differenti gradi di approfondimento: dal pieghevole di formato A4 all'opuscolo di 32 pagine.

Abbiamo per ora volutamente accantonato la produzione di cd-rom perché, per il nostro principale target di riferimento è, ad oggi, uno strumento di comunicazione poco fruibile e scarsamente utilizzato.

Conclusioni

I risultati ottenuti sono in linea con quelli attesi. I target del progetto sono regolarmente

Figura 3 – Prodotti editoriali
Figure 3 – Editorial products



coinvolti nelle attività realizzate ed informati sui risultati ottenuti dal progetto in campo.

Le attività di comunicazione sono coerenti agli obiettivi proposti confermando l'approccio e le strategie definite in sede di formulazione. La partecipazione di istituzioni e produttori conferma l'esigenza di un approccio bottom-up nella risoluzione di un problema che non è solo ambientale ma interessa la sfera economica e sociale della popolazione interessata. Le istituzioni danno credito al progetto partecipando alle scadenze previste e attivando ognuna nel proprio campo di intervento misure di accompagnamento ed integrative delle azioni previste nel progetto.

I produttori partecipano attivamente alle prove dei campi dimostrativi ed alle scadenze tecniche e divulgative. Nuovi produttori si avvicinano al progetto chiedendo assistenza e di poter partecipare attivamente alla realizzazione del programma.

La popolazione dell'area è sensibile ai problemi di salute che l'inquinamento da nitrati delle falde può comportare. Esiste nell'area una domanda forte di risoluzione del problema espressa costantemente nelle scadenze pubbliche in cui il LIFE Petignano ha partecipato. Il sito web è attivo sebbene incompleto. Il suo sviluppo definitivo è in via di completamento e pertanto non è possibile valutarne al momento l'efficienza e/o l'efficacia nel processo di comunicazione. La diffusione a mezzo stampa è stata utilizzata solo in prossimità degli eventi pubblici organizzati dal progetto. La realizzazione di brochure informative e tecniche è al contrario un elemento centrale delle attività di divulgazione e comunicazione con risultati che sono significativamente positivi.

Siamo consapevoli che il percorso verso un diverso modo di affrontare lo sfruttamento agricolo del territorio, e verso la percezione del valore della tutela del nostro ambiente, sia ancora lungo e irto di ostacoli. Crediamo anche però, che con questo progetto siano state gettate le basi per un nuovo approccio, più collaborativo e partecipe, tra istituzioni e produttori/cittadini.

Bibliografia

Progetto LIFE ENV00 It 0019, Documento di progetto.

Progetto LIFE Petignano, Work package 9 Attività di divulgazione e disseminazione, Progetto LIFE Petignano.

Elenco dei prodotti

Opuscolo descrittivo degli obiettivi del progetto.

Depliant descrittivo progetto.

Pieghevole progetto LIFE.

Opuscolo tecnico sulle prove agronomiche.

Poster tecnici sulle attività.

Realizzazione di un filmato su obiettivi e contenuti del progetto life in due versioni da 15 ed 8 minuti su cd-rom.

Locandine di presentazione del convegno regionale.

Invito alla conferenza regionale di Bastia Umbra.

Report in Microsoft Power Point per gli interventi al convegno (2 relazioni).

Manifesto di presentazione del convegno nazionale ed internazionale.

Locandina per il convegno nazionale ed internazionale.

Il progetto GeTraMiN: "Controllo della genesi, trasformazione e migrazione dei nitrati dal suolo alle acque superficiali e sotterranee"

The GeTraMiN project: "Control of the genesis, transformation and migration of nitrates from the soil to surface water and groundwater"

Paolo Mantovi¹, Vincenzo Tabaglio², Marco Ligabue¹, Letizia Fumagalli¹, Roberto Davolio¹, Marina Guermandi³, Giovanni Pietro Beretta⁴

Introduzione

Anche nell'ultimo decennio in alcune aree della regione Emilia-Romagna si sono riscontrati incrementi delle concentrazioni di nitrati nelle acque sotterranee (Chahoud, 2001). Spesso, la causa di queste situazioni è stata attribuita all'utilizzo a scopo fertilizzante dell'azoto, derivante specialmente da effluenti zootecnici ed eccedente i fabbisogni delle colture. È tuttavia molto difficile quantificare gli effetti ambientali della gestione dei reflui di allevamento, in quanto il comportamento dell'azoto nei suoli e i processi che governano la lisciviazione dei nitrati sono molto complessi (Grignani e Zavattaro, 2000).

Al fine di ampliare le conoscenze sulla dinamica dell'azoto nei suoli emiliani, l'Assessorato Agricoltura, Ambiente e Sviluppo Sostenibile della stessa regione ha finanziato, dal 1997 al 2003, una ricerca dal titolo: "Controllo della genesi, trasformazione e migrazione dei nitrati dal suolo alle acque superficiali e sotterranee" (acronimo GeTraMiN). Essa ha riguardato:

1. la genesi dei nitrati nello strato arabile del suolo (Sottoprogetto 1).

In diversi appezzamenti sono state verificate l'efficienza di utilizzazione dell'azoto e le variazioni nella quantità di nitrati nel

suolo, in funzione delle quantità di azoto apportate, delle condizioni meteorologiche e delle precessioni colturali;

2. la migrazione dei nitrati attraverso la zona insatura (Sottoprogetto 2).

La percolazione dei nitrati è stata studiata attraverso la caratterizzazione ed il monitoraggio di tre siti sperimentali localizzati in aree vulnerabili della regione Emilia-Romagna e attrezzati con strumenti per il monitoraggio delle acque del suolo.

Il contesto territoriale nel quale si è svolta la ricerca è caratterizzato da una struttura produttiva di elevata intensità zootecnica che può determinare l'esistenza di situazioni di rischio ambientale, derivanti dall'eccesso di reflui zootecnici e dalla difficoltà di ripartirli razionalmente sui terreni agricoli. Di particolare importanza ambientale, si rileva il fatto che questa abbondanza si ritrova anche nella fascia delle conoidi, identificata come area vulnerabile all'inquinamento da nitrati nel piano territoriale di tutela delle acque della Regione Emilia-Romagna. Per questo, parte del progetto è stata specificamente mirata allo studio, in area di conoide, degli effetti ambientali che possono derivare dalle pratiche di utilizzo dei reflui zootecnici sui suoli agricoli.

¹ Centro Ricerche Produzioni Animali (CRPA)
Corso Garibaldi, 42
42100 Reggio Emilia (Italy)
tel +39 0522 436999
p.mantovi@crpa.it, m.ligabue@crpa.it

² Istituto di Agronomia Generale dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza.

³ Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

⁴ Dipartimento di Scienze della Terra "Ardito Desio", Università di Milano.

Sommario

La ricerca, finanziata dall'Assessorato Agricoltura, Ambiente e Sviluppo Sostenibile della Regione Emilia-Romagna (Nord-Italia), è stata condotta dal 1997 al 2003 allo scopo di verificare:

1. *La genesi dei nitrati nello strato arabile del suolo.*

In diverse prove di campo sono state studiate le rese colturali, l'efficacia dell'uso dell'azoto e la concentrazione dei nitrati nel suolo in riferimento alle dosi di fertilizzazione, alle condizioni meteorologiche e alle rotazioni colturali.

2. *La migrazione dei nitrati attraverso la zona insatura.*

La percolazione dei nitrati è stata studiata mediante la caratterizzazione e il monitoraggio di tre siti sperimentali situati in Zone Vulnerabili ai Nitrati (NVZ), attrezzati con strumenti di monitoraggio delle acque del suolo e trattati seguendo le pratiche agronomiche abituali dell'area.

1) Nel periodo di 6 anni, sono state eseguite 97 prove sperimentali su diversi tipi di terreni nelle province di Modena, Reggio Emilia e Parma, ognuna organizzata in un quadrato latino con quattro livelli di concimazione azotata: a) test senza fertilizzazione, b) quantità ottimale, chiamata "B", calcolata secondo il metodo del bilancio, c) la quantità "B" diminuita di 30-50 kg di azoto ha⁻¹, d) la quantità "B" aumentata di 30-50 kg di azoto ha⁻¹. Le colture erano principalmente di frumento tenero, ma includevano anche mais e prati. Alla raccolta, sono stati misurati la resa delle colture e il contenuto, l'assorbimento e il recupero apparente dell'azoto. Il profilo del terreno (0-75 cm) è stato campionato tre volte o più durante la stagione della crescita, in tre strati di uguale profondità. I momenti fondamentali del campionamento sono stati: a) alla semina, b) al viraggio e c) alla raccolta. I

Summary

The research, funded by the Assessorate for agriculture, environment and sustainable development of the Emilia-Romagna region (Northern Italy), was conducted from 1997 to 2003 with the aim of verifying:

1. *The genesis of nitrates in the arable soil layer.*

In several field trials the crop yield, the nitrogen use efficiency and the soil nitrate concentration in relation to the rate of fertilisation, the meteorological conditions and the crop rotations were studied.

2. *The migration of nitrates through the unsaturated zone.*

Nitrate leaching was studied by characterising and monitoring three experimental sites located in Nitrate Vulnerable Zones (NVZ's), equipped with soil water monitoring instruments and treated according to the ordinary agronomic practice of this area.

1) In the six-year period, 97 experimental trials were established on different soil types throughout the Provinces of Modena, Reggio Emilia and Parma, each of them arranged in a latin square design with four N treatments: a) test without fertilisation, b) the optimal amount, named "B", as calculated by balance method, c) the "B" quantity, diminished by 30-50 kg N ha⁻¹, d) the "B" quantity increased by 30-50 kg N ha⁻¹. The crops were mainly soft wheat, but also maize and grassland were included. At harvest, yield, N content, N uptake and N apparent recovery of the crops, were measured. The soil profile (0-75 cm) was sampled three or more times during the growing season, in three layers of equal depth. The main stages of sampling were: a) at planting, b) at ear/panicle differentiation and c) at harvest. The soil samples were quick-frozen and then analysed to test the nitrate content, using the ionic chromatography technique (Dionex DX-

campioni dei terreni sono stati congelati rapidamente e quindi analizzati per il contenuto in nitrati, in cromatografia ionica (Dionex DX-120). L'ipotesi di lavoro è che se il calcolo della fertilizzazione da bilancio fosse corretto, la resa sarebbe poco o nulla inferiore al massimo e l'azoto residuo nel suolo alla raccolta non maggiore rispetto all'appezzamento senza fertilizzazione.

Essendo impossibile mostrare tutti i risultati della ricerca, verranno discussi soltanto i punti principali. Raggruppando i dati per provincia, si può vedere che le risposte di resa ai trattamenti con azoto dei siti di Modena sono state inferiori a quelli di Reggio; questo era dovuto ai differenti sistemi agricoli, ed in particolare al più elevato contenuto in sostanza organica dei terreni di Reggio, derivante da una presenza maggiore di aziende con bestiame da latte. Il metodo del bilancio usato per calcolare la dose ottimale di fertilizzante sembra sottostimare il contributo dei letami e dei liquami ritornati al terreno e spesso risulta in sovra-fertilizzazione. Conseguentemente, la relazione tra i nitrati residui nel terreno alla raccolta e la dose di azoto apportata presenta un andamento concavo per le prove di Modena e convesso per le prove di Reggio, che mostrano anche valori superiori per i nitrati. Raggruppando le prove secondo un indice di intensità di allevamento (0 = assenza di allevamento, 3 = intensità massima), si può evidenziare che i residui di nitrati nei terreni al momento della raccolta sono direttamente correlati a questo indice; è evidente il maggior contenuto che si riscontra nei terreni con l'aumentare dell'intensità di allevamento. Le concentrazioni dei nitrati rimangono sopra la soglia di 100 mg NO₃⁻ durante la stagione vegetativa. Non sembra esistere una marcata relazione tra le concentrazioni di nitrati nei profili del terreno e la loro tessitura, mentre il rapporto è molto stretto con le precipitazioni an-

120). The working hypothesis is that if the calculation of the optimal fertilisation is right, the yield will be near to or at the top and the residual N in the soil at harvest will not be higher than in the plot without fertilisation. Being impossible to show all the results of the research, only the main points will be discussed. Grouping the data by province, it can be seen that the yield responses to N treatments of the Modena sites were less than those in Reggio, because of different agricultural systems, and particularly to the greater organic matter content of Reggio soils derived from a larger number of dairy farms. The balance method used to calculate the optimum rate of fertilisation seems to underestimate the contribution of manures and slurries returned to soil, often resulting in overfertilisation. Consequently, the relationship between the soil nitrate residues in soil at harvest and the fertilisation rate has a concave pattern for the Modena trials and a convex one for the Reggio trials, which also show higher values of nitrates. Grouping the trials by an index of farming intensity (0 = no livestock, 3 = maximum intensity), it can be pointed out that nitrate residues in soil at harvest are directly related to this index; it is striking the very quick increase occurring in soil as the livestock intensity increases. The nitrate concentrations remain over the threshold of 100 mg NO₃⁻ kg⁻¹ throughout the growing season. No relationship seems to exist between nitrate concentrations in soil profiles and their textures, whereas the relationship is very strict with the annual or seasonal precipitations. Finally, the data set has been re-aggregated to verify the influence of previous crops: the soil nitrates were higher following a maize crop or a set-aside period; on the contrary, the lower levels were registered after a ley, both of grasses and of legumes.

2) This paper refers to the 6-years monitoring period of the 'Villa Gaida'

nue o stagionali. Infine, la serie di dati è stata riaggregata per verificare l'influenza della precessione colturale: i nitrati del terreno erano maggiori in seguito a una coltura di mais o dopo un periodo di non coltivazione (set-aside); al contrario, i livelli più bassi sono stati registrati in seguito a foraggiere, sia graminacee sia leguminose.

2) Questo articolo si riferisce al periodo di monitoraggio di 6 anni del sito sperimentale di "Villa Gaida", situato nella provincia di Reggio Emilia, rappresentativo di alcune condizioni diffuse nella Pianura Padana. Il terreno presentava tessitura fine (*Udertic Ustochrepts fine, mixed, mesic*), ed era caratterizzato da cicli di contrazione e rigonfiamento dei minerali argillosi. Nel campo sperimentale, 3 parcelle sono state attrezzate con tensiometri (da 30 a 180 cm di profondità) e con campionatori a coppa porosa (da 30 a 600 cm di profondità); piezometri sono stati installati a bordo campo. Sono stati coltivati in continuo cereali ed è stato applicato liquame suino. L'infiltrazione e le dinamiche dell'azoto sono state analizzate usando modelli matematici che simulavano i flussi dell'acqua (MACRO) e dell'azoto (SOILN) nel terreno. La scelta di questi modelli si è basata sull'importanza che essi danno al flusso nei macropori dei terreni.

Elevati apporti azotati dovuti alle distribuzioni dei liquami hanno causato l'accumulo di nitrati nello strato superficiale del terreno (nelle acque dei terreni, sono state rilevate concentrazioni fino a 300 mg/l di NO_3^-) e questo processo è stato solo parzialmente attenuato dall'assorbimento colturale. Come conseguenza delle stagioni piovose, i nitrati sono percolati attraverso i primi metri della zona insatura, almeno fino a 4 m. La profondità di percolazione dei nitrati è risultata legata al flusso dell'acqua nel terreno. Le condizioni drenanti del terreno sono risultate la variabile domi-

experimental site, located in the Province of Reggio Emilia, which represents some widespread conditions found in the Po Plain. The soil was fine textured (*Udertic Ustochrepts fine, mixed, mesic*), characterised by shrinking and swelling cycles of clay minerals. In the experimental field, 3 plots were equipped with tensiometers (from 30 to 180 cm deep) and ceramic cup samplers (from 30 to 600 cm deep), piezometers were set up around the field. Cereals were cropped continuously and pig slurry was applied.

Infiltration and nitrogen dynamics were analysed using mathematical models simulating the water (MACRO) and the nitrogen (SOILN) fluxes in the soil. The choice of these models was based on the importance they give to macropore flow in soils.

High nitrogen input from slurry landspreadings caused nitrate accumulation in the surface layer of the soil (in the soil water, concentrations of up to 300 mg/l NO_3^- were found) and this process was only partially attenuated by plant uptake. As a consequence of rainy seasons, nitrates leached through the first meters of the unsaturated zone, at least down to 4 m. Nitrate leaching depth was linked to water flow in the soil.

The soil draining conditions were the dominant variable in controlling leaching: even where the soil texture is fine, some situations may determine fast drainage conditions (related to macroporosity) and the effect of the amount of N supplied to the crop is more evident on the soil water. The autumn rainy conditions, associated with bare soil, were the most critical ones with respect to nitrate leaching through the unsaturated zone, especially after summer landspreadings on wheat stubble. This means that it will be necessary to look for methods to limit nitrate accumulation in the soil before the autumn-winter period

nante nel controllo della percolazione: anche in terreni a granulometria fine possono verificarsi condizioni di drenaggio rapido (legate alla macroporosità) per le quali l'effetto della quantità di azoto fornita alla coltura risulta molto evidente sulle acque del suolo. La piovosità autunnale, associata all'assenza della coltura, ha rappresentato la maggiore criticità rispetto alla percolazione dei nitrati attraverso la zona insatura, specialmente dopo la distribuzione estiva di liquami su stoppie di frumento. Questo significa che sarà necessario ricercare metodi per limitare l'accumulo dei nitrati nel terreno prima del periodo autunno-invernale (riduzione delle dosi di applicazione dei liquami, diffusione di colture intercalari, uso di inibitori della nitrificazione, ecc.). I risultati dei modelli sono stati coerenti con i dati sperimentali; quindi essi si sono dimostrati strumenti adeguati, anche se sono necessari alcuni ulteriori aggiustamenti. La metodologia utilizzata in questo studio potrebbe essere utile nella valutazione, ai sensi della legislazione nazionale ed europea, dell'efficacia dei programmi di azione proposti per le NVZ.

(reduction of slurry application rates, diffusion of cover and catch crop, use of nitrification inhibitors, etc.).

The results from the models were consistent with the experimental data; hence they proved to be suitable tools, even though some further refinements are required.

The methodology used in this study could be useful in the evaluation, as requested by national and EU legislation, of the efficiency of action programs proposed for Nitrate Vulnerable Zones (NVZ's).

Sottoprogetto 1 - Genesi dei nitrati nello strato arabile del suolo

L'obiettivo di questa parte della ricerca è consistito nella verifica dei possibili miglioramenti ambientali ottenibili con tecniche di conduzione agricola "sostenibili", rispetto a quelle proprie dei sistemi intensivi tradizionali. L'aspetto primario coinvolto dalla sperimentazione ha riguardato la concimazione azotata. In secondo luogo, l'indagine ha previsto la valutazione degli effetti di avvicendamento colturale, prendendo in considerazione specie agrarie e precessioni colturali diverse. Il fine ultimo mirava a quantificare il residuo nitrico nel profilo agrario e a misurare il contributo dell'applicazione delle buone pratiche

agricole nel contenimento della lisciviazione dei nitrati.

Il sottoprogetto è stato strutturato in due linee d'azione, a diverso contenuto scientifico. La prima, indicata come "Attività di monitoraggio", è consistita nell'organizzazione di una rete territoriale di appezzamenti nel loro utilizzo agricolo reale, nei quali si è inteso seguire nel tempo il livello dei nitrati nel terreno, mettendoli in relazione alle concimazioni effettuate e alle produzioni ottenute. Questo primo settore di attività ha avuto uno sviluppo preponderante nel primo triennio di indagine, con l'obiettivo di servire in tempi brevi alla taratura agronomica del metodo del bilancio semplificato dell'azoto (Regione Emilia-

Romagna, 2003), per una definizione più accurata delle griglie di concimazione.

La seconda linea d'azione, di impronta più propriamente scientifica, è stata realizzata con l'approntamento di una serie più limitata di prove sperimentali, nelle quali sono state studiate – con maggiore dettaglio – le dinamiche pedologiche dello ione nitrico, insieme all'efficienza di assorbimento e di traslocazione dell'azoto da parte delle specie agrarie. Anche se di più lento riscontro operativo, questa linea di azione viene ad assumere un'importanza fondamentale nella comprensione dei meccanismi coinvolti nella genesi e migrazione dei nitrati, e si completa necessariamente con un approccio di tipo modellistico.

Complessivamente, nel sessennio di indagine sono state impostate 97 prove sperimentali, dislocate nelle province di Modena (26), Reggio Emilia (65) e Parma (6).

Materiali e metodi

SCHEMA SPERIMENTALE

In estrema sintesi, la struttura delle prove può essere ricondotta ad uno schema comune, costituito da un quadrato latino (4 x 4) in cui venivano messi a confronto 4 livelli di apporto azotato: 0 = testimone senza concimazione, B = dose ottimale stimata attraverso il metodo del bilancio semplificato dell'azoto ed altre due tesi che sono state affiancate a quest'ultima per saggiare l'effetto di spostamenti contenuti (30-50 kg ha⁻¹ di N) rispetto alla dose ottimale di azoto e verificare quindi la bontà del metodo di calcolo della dose ottimale. Queste ultime due tesi sono state identificate dalla sigle "B-x" e "B+x", per indicare, appunto, la variazione in diminuzione o in aumento.

L'ipotesi di fondo era la seguente: se l'individuazione della dose ottimale fosse stata corretta, si sarebbe dovuto ottenere la migliore produzione in prossimità del livello di apporto B (dose da bilancio), ottenendo contestualmente la conferma della bontà del

metodo di calcolo. La produzione dovrebbe essere crescente fino al terzo livello azotato e decrescente col successivo apporto, per probabili fenomeni di allettamento nel caso di frumento od orzo. La parallela ispezione dell'azoto nel terreno, inoltre, avrebbe dovuto mettere in luce l'assenza di pericolosi innalzamenti del nitrato residuo fino alla concimazione ottimale, mentre con l'ulteriore apporto si sarebbe dovuto verificare un'impennata della dotazione, coerentemente con l'ipotesi che tutto il nutriente apportato in eccesso rispetto ai fabbisogni sia provvisoriamente stoccato nel profilo di terreno, essendo poi suscettibile di percolazione al verificarsi delle precipitazioni autunnali e invernali.

PROTOCOLLO OPERATIVO

Il protocollo operativo prevedeva la distribuzione frazionata, in 2 o 3 interventi, dei concimi azotati e il campionamento dei terreni in almeno tre momenti essenziali del ciclo colturale (semina, viraggio e raccolta), mantenendo separati tre strati di 25 cm ciascuno, per una profondità complessiva di 75 cm. Alla raccolta veniva effettuata la misurazione delle produzioni (agraria utile e complessiva) e si procedeva al campionamento dei vegetali per la determinazione dell'azoto totale contenuto (met. 4500-N_{org} B APHA, 1995). I terreni, surgelati a -30 °C per evitare modificazioni della matrice, venivano in seguito analizzati per il contenuto nitrico, con estrazione in acqua e lettura in cromatografia ionica (met. 4110B APHA, 1995). Maggiori dettagli sulle metodologie adottate possono essere reperiti in precedenti pubblicazioni (Tabaglio *et al.*, 2000; Tabaglio e Ligabue, 2001).

ALCUNI RISULTATI DI SINTESI

Nell'impossibilità di presentare singolarmente le varie situazioni che sono state documentate nell'intero periodo di rilevazione, si vuole semplicemente illustrare alcuni spunti emblematici, rimandando alle pubblicazioni

di maggiore dettaglio che sono in corso di stesura.

Il primo caso esemplificativo che si vuole presentare costituisce la verifica sperimentale dell'ipotesi di fondo illustrata in precedenza e riguarda un confronto territoriale fra i sistemi agricoli modenesi e quelli reggiani. I grafici della figura 1 si riferiscono rispettivamente ai siti in provincia di Modena e in provincia di Reggio Emilia: sull'asse delle ascisse vi sono le dosi medie di azoto pertinenti ai 4 livelli del protocollo sperimentale, mentre gli istogrammi rappresentano le produzioni di frumento e la linea l'andamento del nitrato nel terreno a fine coltura.

Se ne possono trarre i seguenti spunti. La produttività dei terreni modenesi è in genere inferiore a quella dei reggiani, soprattutto nel testimone, evidenziando una maggiore fertilità di questi ultimi, nei quali il testimone produce quanto le tesi concimate. Il dato si deve far risalire al diverso sistema produttivo: i siti reggiani insistevano in maggior parte su aziende zootecniche, meno diffuse ormai nel modenese. La maggiore fertilità deriva dunque dalle restituzioni di sostanza organica che l'attività di allevamento comporta.

Mentre a Modena le rese in granella aumentano dal testimone fino alla dose da bilancio,

quelle di Reggio Emilia sembrano indifferenti alla concimazione, se non subendo un calo per il livello massimo di apporti. Il metodo del bilancio sembra dunque inadatto alle situazioni in cui venga utilizzata sostanza organica per la fertilizzazione, nelle quali risulta sovrastimare gli apporti necessari. Se ne ha conferma anche dai valori delle ascisse, poiché contrariamente alla constatazione appena fatta, di una maggiore fertilità potenziale dei terreni reggiani, il metodo del bilancio restituisce dosi maggiori proprio in queste localizzazioni, con dose da bilancio pari a 102 kg di azoto per ettaro rispetto ai 95 di Modena. Infine, per quanto riguarda la dotazione di nitrati nel terreno alla raccolta, è facile raffrontare la diversa forma delle curve (concava verso l'alto per Modena e convessa per Reggio Emilia), ma soprattutto i valori assunti in corrispondenza delle diverse tesi. Se il testimone può essere considerato tutto sommato simile per le due medie territoriali (intorno a 20 mg kg^{-1} di NO_3^-), a Reggio Emilia i nitrati salgono drasticamente già con il primo livello di apporto e ne dichiarano la completa inutilità, confermando quanto già visto per le rese.

Un secondo caso paradigmatico può essere costruito mediando le risultanze ottenute nei sistemi colturali zootecnici e confrontandoli

Figura 1 – Confronto tra rese di frumento e nitrati residui nel terreno per i sistemi agricoli modenesi e reggiani (valori medi)
Figure 1 – Wheat yields and residual nitrates in the soil: comparison between Modena and Reggio Emilia trials (mean values)

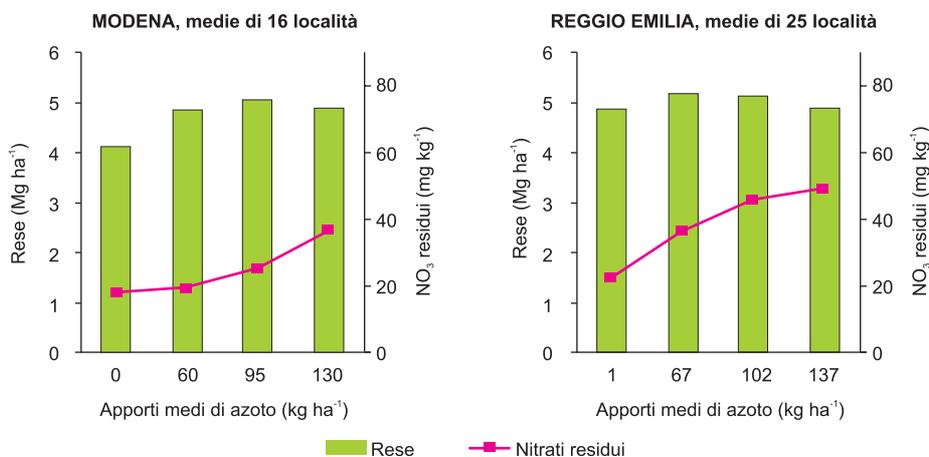
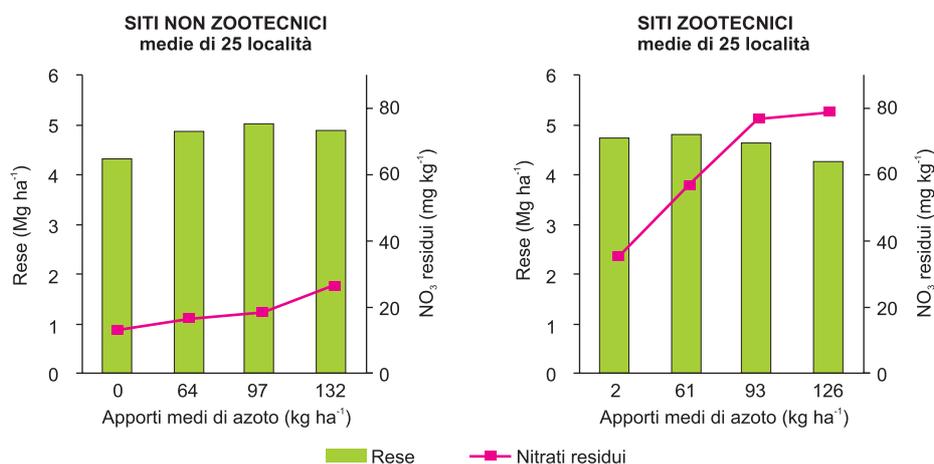


Figura 2 – Confronto tra rese di frumento e nitrati residui nel terreno per i sistemi zootecnici e non (valori medi)
 Figure 2 – *Wheat yields and residual nitrates in the soil: comparison between arable and livestock sites (mean values)*



con quelli delle aziende senza allevamento (fig. 2). Risulta particolarmente evidente in questo modo il contributo della zootecnia nella genesi di abbondanti residuazioni di nutrienti e di azoto in particolare, sia per il diverso andamento delle curve, sia soprattutto per i diversi valori di concentrazione.

Una terza elaborazione, più articolata, dei risultati ottenuti sui siti a frumento è presentata nella figura 3, nella quale sono mostrate le concentrazioni di nitrati nei tre momenti di campionamento: semina, viraggio (prima del-

la concimazione di copertura) e raccolta; inoltre, i siti sono stati raggruppati in 4 classi secondo un indice di intensità zootecnica (IZ), variabile da 0 (assenza di allevamento o di restituzioni organiche), a 3 (sistema zootecnico a massima intensità). Per tutte queste 4 categorie si nota una diminuzione nel tempo del contenuto nitrico, dovuto essenzialmente all'assorbimento culturale e, in qualche caso, alla percolazione nitrica. Particolarmente evidente risulta tuttavia l'incremento fatto segnare dai sistemi zootecnici più intensivi (IZ3), che partono da una media di 168 mg kg⁻¹ e persistono sopra la barriera dei 100 mg kg⁻¹ anche alla raccolta.

Il ruolo dei terreni viene messo in risalto dalle seguenti considerazioni. I 97 siti complessivamente monitorati si aggregano particolarmente nelle classi argillosa, argilloso-limosa e medio impasto-limoso-argillosa. Nei grafici della figura 4 sembra evidenziarsi, a prima vista, una correlazione diretta fra granulometrie e nitrati, nel senso di una maggiore disponibilità nitrica nei terreni argillosi. La considerazione è però viziata dal fatto che proprio nei comprensori con terreni argillosi si localizza la maggior parte dei sistemi zootecnici intensivi. In qualche modo, questa constatazione è positiva dal punto di vista ambientale, poiché i processi di

Figura 3 – Siti a frumento: concentrazioni di nitrati nel suolo riferite a diversi momenti di prelievo e alle classi di intensità zootecnica (IZ)

Figure 3 – *Wheat trials: concentrations of nitrates in the soil at different sampling times and for the livestock intensity classes (IZ)*

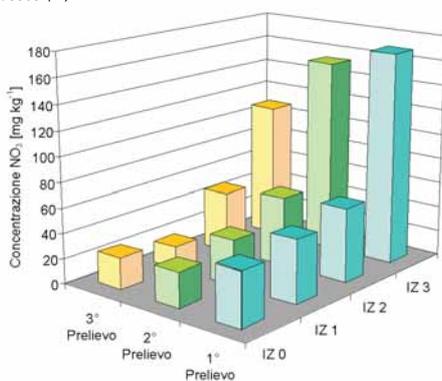
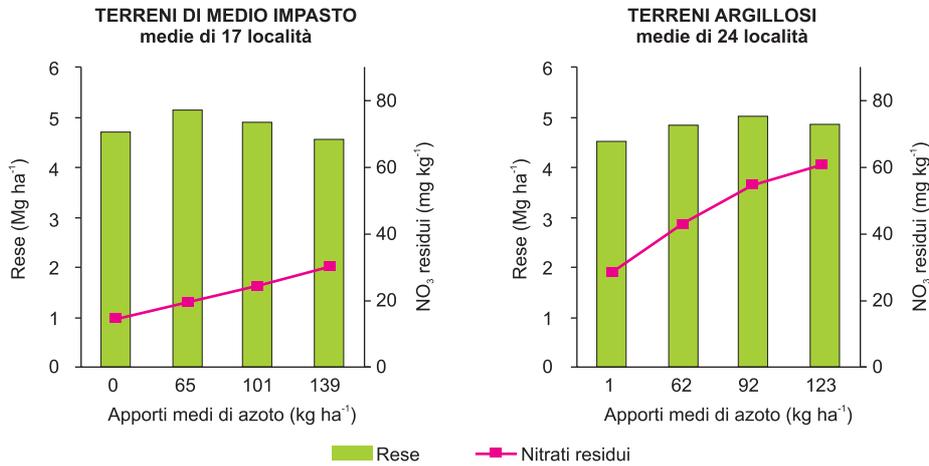


Figura 4 – Confronto tra rese di frumento e nitrati residui in terreni di medio impasto o argillosi (valori medi)
 Figure 4 – Wheat yields and residual nitrates: comparison between medium textured or clay soils (mean values)



lisciviazione in questi terreni sono molto meno probabili. Un'elaborazione più articolata per gruppi tessiturali e per categorie di intensità zootecnica, però, interpreta meglio i dati. Essa denota, in sostanza, una relativa indifferenza dei nitrati residui alle varie granulometrie indagate, se si esclude quella argillosa che presenta valori dei nitrati residui più elevati anche in corrispondenza di intensità zootecniche basse.

Un altro esempio per fare luce sulle dinamiche della genesi e della migrazione dei nitrati nel terreno agrario è rappresentato dall'anda-

mento meteorologico e in particolare dalla piovosità del periodo autunno-vernino, fattori che generano le maggiori variazioni, e tra l'altro imprevedibili. Situazioni diversissime si sono presentate mediando i dati per i singoli anni di monitoraggio (fig. 5). Visti i picchi di nitrati particolarmente elevati in corrispondenza degli anni 1999 e 1998 caratterizzati da scarsa piovosità, è del tutto ovvio riportare gli alti livelli alla limitata lisciviazione avvenuta.

Questa veloce rassegna si chiude con il ruolo della precessione culturale. In figura 6 i siti

Figura 5 – Siti a frumento: concentrazioni di nitrati nel suolo riferite a diversi momenti di prelievo e alle varie annate
 Figure 5 – Wheat trials: concentrations of nitrates in the soil at different sampling times and in different years

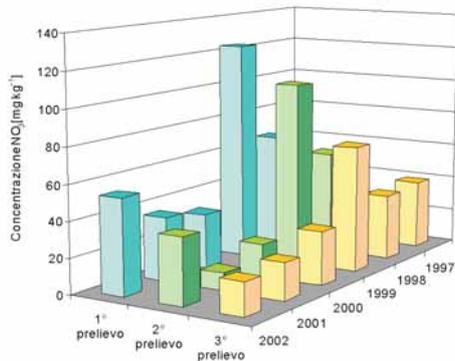
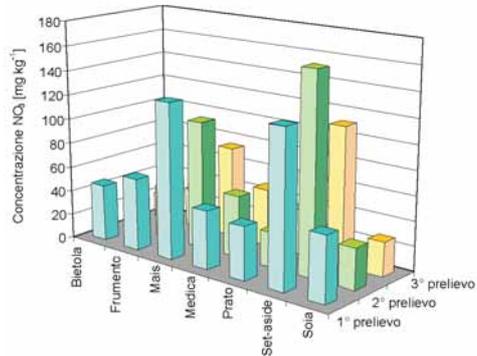


Figura 6 – Concentrazioni di nitrati nel suolo riferite a diversi momenti di prelievo e alle varie precessioni colturali
 Figure 6 – Wheat trials: concentration of nitrates in the soil at different sampling times and with various previous crops



sperimentali sono stati accorpati per le più diffuse precessioni colturali. Non dovrebbe stupire il ritrovamento delle maggiori concentrazioni in successione a colture fortemente concimate (mais, magari con liquami in abbondanza) o dopo un periodo di non presenza della coltura (set-aside). Né dovrebbe stupire il valore inferiore ottenuto in successione a prati di graminacee o anche di medica; significativo, tuttavia, per quest'ultima il fatto che i nitrati al secondo prelievo non diminuiscano come invece avviene per tutte le altre tipologie (tranne il set-aside, sul quale sarebbe utile una discussione più approfondita sui rischi ambientali).

Sottoprogetto 2 - Migrazione dei nitrati attraverso la zona insatura

La percolazione dei nitrati è stata studiata attraverso la caratterizzazione e il monitoraggio di tre siti sperimentali localizzati in aree vulnerabili della regione Emilia-Romagna e attrezzati con strumenti per il controllo delle acque del suolo.

Dato che uno dei propositi dello studio è stato quello di determinare le relazioni tra gli apporti di azoto al suolo e le variazioni nelle concentrazioni di nitrati nelle acque sotterranee, allo scopo di ridurre le interferenze dalle aree circostanti, sono stati scelti siti di monitoraggio con profondità delle acque di prima falda limitata tra 8 e 15 m.

Sui campi sperimentali, allo scopo di verificare quali possano essere gli effetti ambientali più negativi che si possono estrinsecare nella realtà, le dosi di reflui zootecnici utilizzate sono state molto più elevate di $170 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, così come avviene comunemente per alcuni degli appezzamenti che appartengono alle aziende agricole dedite all'attività di allevamento nell'area geografica sede dello studio. Si noti, comunque, che per le stesse ditte la media aziendale di applicazione dei reflui zootecnici risulta inferiore al limite fissato per le zone vulnerabili dalla direttiva Nitrati 91/676.

Di seguito vengono riportati i risultati delle attività svolte presso il sito sperimentale di Villa Gaida (presso Istituto Agrario "Motti"), in provincia di Reggio Emilia, per l'intero periodo 1997-2003.

Materiali e metodi

CARATTERIZZAZIONE DEL SITO

Il sito di Villa Gaida, che è rappresentato da un appezzamento pianeggiante di 4.000 m^2 , si trova al margine del rilievo appenninico, alla quota di 48 m s.l.m.

La caratterizzazione pedologica e litostratigrafica del sito ha permesso di riconoscere due sequenze deposizionali principali caratterizzate da una interruzione della sedimentazione marcata da pedogenesi. Il suolo (*Udertic Ustochrepts fine, mixed, mesic*), descritto sino a circa 3 m, franco limoso-argilloso, debolmente alcalino e decarbonatato in superficie, presentava disponibilità di ossigeno tra buona e moderata. Oltre erano presenti argille e argille limose interrotte a circa 5 m da un livello decimetrico pedogenizzato di limi contenenti ghiaie eterometriche. Più in profondità, a partire da 9-10 m, si è rilevato un corpo prevalentemente ghiaioso di circa 5 m di spessore, in cui è presente la prima falda acquifera. Il suolo è caratterizzato da un moderato dinamismo legato ai cicli di rigonfiamento e contrazione dei minerali argillosi, e da rimozione e redistribuzione di carbonati lungo il profilo. Il suo comportamento agronomico è condizionato principalmente dal contenuto in argilla che ne influenza il comportamento fisico-meccanico ed idrologico; tale suolo presenta una buona capacità di trattenuta di elementi chimici e all'inizio della sperimentazione mostrava un contenuto molto elevato di sostanza organica. A partire da 100-120 cm di profondità è stato rilevato un orizzonte sepolto, denominato Bkssb. Tale orizzonte si ritiene sia particolarmente importante per la comprensione del comportamento idrologico dei suoli nel sito, essendo caratterizzato da caratteri "vertici"

che ne possono condizionare la permeabilità. La caratterizzazione idrogeologica ha previsto campionamenti e misure della massa volumica apparente (risultata variabile tra 1,31 e 1,55 g cm⁻³) e della ritenzione idrica dei principali orizzonti. Sono state inoltre realizzate misurazioni della velocità di infiltrazione con infiltrometro a doppio anello e di conducibilità idraulica degli orizzonti fino a 120 cm di profondità con permeometro a carico costante, ottenendo valori decrescenti da 6 cm h⁻¹ in superficie a 0,2 cm h⁻¹ in profondità. All'apertura di un profilo è stata inoltre misurata la conducibilità idraulica verticale saturata di 2 orizzonti, col metodo della colonna di gesso. Si è escluso l'orizzonte superficiale in quanto fortemente condizionato dalle attività antropiche e tra gli orizzonti profondi si sono scelti quelli che dall'insieme delle caratteristiche risultavano meno permeabili. La conducibilità idraulica è risultata di 0,06-0,07 cm h⁻¹ (classe moderatamente bassa) per l'orizzonte Bw (da 50 a 80 cm di profondità) e di 0,45-0,50 cm h⁻¹ (classe moderata) per l'orizzonte Bkssb.

La conducibilità misurata mediante prove di tipo Lefranc a 3,5 ed a 5 m di profondità è risultata di 0,05 e 0,27 cm h⁻¹.

I valori di potenziale matriciale del suolo, sino a 180 cm di profondità, e del suo contenuto idrico rilevati in campo ed in laboratorio hanno consentito la determinazione delle curve di ritenzione che sono state ricostruite adottando sia il modello di Van Genuchten sia quello di Brooks e Corey; per la determinazione dei parametri ci si è avvalsi del codice numerico RETC (Van Genuchten et al., 1991). Con il metodo Mualem (Mualem, 1976) sono state anche calcolate le curve di conducibilità dei diversi orizzonti fino alla profondità di 180 cm.

GESTIONE E MONITORAGGIO DEL SITO

Il sito sperimentale comprendeva un'area di controllo non fertilizzata e tre parcelle (denominate A, B e C) attrezzate con la strumentazione di monitoraggio: tensiometri per la determinazione del potenziale del suolo (in-

stallati alle profondità di 30, 60, 90, 120, 150 e 180 cm) e coppe porose per il campionamento delle acque di ritenzione del suolo (alle stesse profondità dei tensiometri e a 250, 400 e 600 cm). Attorno all'appezzamento, 6 piezometri hanno permesso il controllo della soggiacenza e il prelievo delle acque di prima falda.

Presso il sito sperimentale sono stati coltivati mais da trinciato nel 1998 e 1999, frumento tenero nel 2000, sorgo da granella nel 2001 e 2002 e frumento tenero nel 2003. Liquami suini sono stati distribuiti per i primi 5 anni, prima della semina e dopo il raccolto delle colture, con carrobotte dotato di dispositivo di distribuzione del tipo a bande e di radar che garantisce omogeneità della quantità distribuita. Agli spandimenti le perdite di ammoniaca in atmosfera sono state quantificate con la metodologia dei tunnel a vento (Lockyer, 1984). Il concime minerale nitrato ammonico è stato utilizzato solo su frumento, all'accestimento ed alla levata.

Sono state prelevate le seguenti matrici sulle quali si sono effettuate le analisi di laboratorio:

- acque di ritenzione del suolo, ogni 2 settimane circa, e acque di prima falda, a cadenza circa mensile, per la determinazione di N-NO₃⁻ (met. 4500-NO3B APHA, 1995) e N-NH₄⁺ (met. 4500-NH3F APHA, 1995);
- suolo per strati di 30 cm, fino alla profondità di 180 cm, ogni 3 mesi circa, per la determinazione di N-NO₃⁻ (met. 4110B APHA, 1995);
- liquami agli spandimenti e prodotti vegetali alle raccolte, per la loro caratterizzazione comprensiva di determinazione dell'azoto totale (met. 4500-N_{org}B APHA, 1995).

MODELLIZZAZIONE DEI RISULTATI

La simulazione dei processi esaminati è stata ottenuta utilizzando i modelli matematici MACRO e SOILN che riproducono, rispettivamente, i flussi idrici e la dinamica dell'azoto

nel suolo (Larsson e Jarvis, 1999; Larsson e Johnsson, 2003).

I due modelli sono stati calibrati per la realtà oggetto di studio, facendoli “girare” sui dati dei primi 3 anni di sperimentazione, per uno spessore di suolo-sottosuolo di 600 cm. La suddivisione del profilo in strati, richiesta per avviare le simulazioni, è stata effettuata basandosi in primo luogo sugli orizzonti rilevati nel corso dei rilievi pedologici; come secondo criterio sono state prese in considerazione le profondità degli strumenti installati, per permettere, alla fine delle simulazioni, il confronto tra i risultati dei modelli e quelli reali del monitoraggio. I dati che sono serviti a questo scopo sono stati:

- i potenziali matriciali ed il contenuto idrico rilevati a diverse profondità per MACRO;
- il contenuto di azoto nei prodotti vegetali e le concentrazioni di nitrati e ammoniaca nel suolo e nelle sue acque di ritenzione per SOILN.

ALCUNI RISULTATI DI SINTESI

Nei grafici di figura 7 sono presentati, rispettivamente, le condizioni meteorologiche, il potenziale matriciale del suolo e le concentrazioni di azoto nitrico nelle acque di ritenzione del suolo per l'intero periodo di monitoraggio di 6 anni. Nel secondo e terzo grafico le misure sono rappresentate attraverso isolinee rispettivamente di potenziale e concentrazione, ottenute dall'interpolazione dei dati.

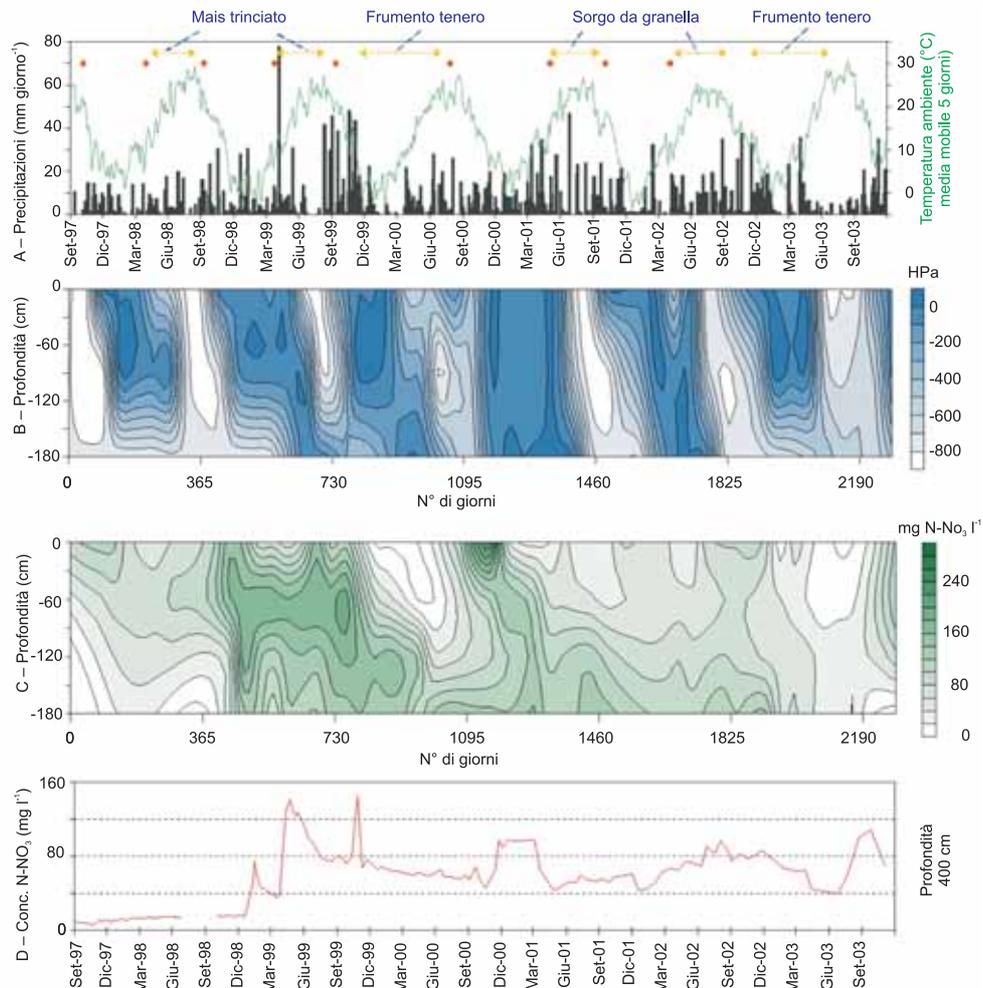
È risultato evidente che le precipitazioni e la temperatura hanno influenzato in maniera molto importante la genesi e la migrazione dei nitrati attraverso la zona insatura. Nel corso del primo anno di sperimentazione, caratterizzato da condizioni generali di siccità, il fronte umido nel suolo non è andato oltre la profondità di 1 m circa e pertanto all'interno di questo spessore si è accumulato l'azoto nitrico, il cui assorbimento da parte della coltivazione è risultato limitato a causa delle basse rese produttive ottenute per il mais. Dal 1999, in conseguenza di alcune stagioni molto piovose, quote importanti

di nitrati sono state liscivate almeno sino alla profondità di 4 m. Alle massime profondità raggiunte, stagione per stagione, dal fronte umido nel suolo è stato verificato un corrispondente accumulo di nitrati dilavati dagli strati soprastanti. La concentrazione massima di nitrati nelle acque di ritenzione del suolo, pari a circa 300 mg N-NO₃⁻ l⁻¹, è stata registrata in superficie a inizio autunno 2000, dopo una distribuzione di liquami su stoppie di frumento. Le concentrazioni di azoto ammoniacale nelle acque di ritenzione del suolo sono sempre risultate molto meno rilevanti di quelle dell'azoto nitrico, con un valore medio di 0,15 mg l⁻¹ N-NH₄⁺.

È stata rilevata una buona corrispondenza tra gli andamenti dei nitrati nelle acque di ritenzione del suolo e le concentrazioni della stessa specie azotata determinate direttamente sui terreni campionati. Nei terreni dell'area non fertilizzata le concentrazioni di nitrati sono risultate nettamente più basse. La differenza massima tra trattato e non, pari a circa 500 kg ha⁻¹ N-NO₃⁻ per lo strato profondo 180 cm, è stata ottenuta nei periodi autunnali 1999 e 2000, rispettivamente dopo la seconda coltivazione di mais, che ha dato basse rese, e dopo la distribuzione estiva di liquami sulle stoppie del frumento.

La soggiacenza delle acque di prima falda è variata tra 10 e 17 m, con i valori più bassi registrati nei mesi di aprile e maggio e quelli più alti registrati in agosto-settembre. I valori di azoto nitrico nelle acque sotterranee sono variati tra 14 e 22 mg N-NO₃⁻ l⁻¹ mentre quelli dell'azoto ammoniacale si sono mantenuti costantemente inferiori a 0,5 mg N-NH₄⁺ l⁻¹. Da notare la divergenza manifestatasi nelle concentrazioni di nitrati di due piezometri dall'autunno 1999 (fig. 8); essa, tenuto conto della direzione di movimento delle acque sotterranee, potrebbe far ipotizzare un contributo diretto all'arricchimento in nitrati delle acque sotterranee dovuto a lisciviazione di azoto dal sito sperimentale. Tale ipotesi deve comunque essere verificata.

Figura 7 – Condizioni meteorologiche (A), potenziale matriciale del suolo (B), e concentrazione dell’azoto nitrico fino a 180 cm di profondità (C) ed a 400 cm di profondità (D)
 Figure 7 – Meteorological conditions (A), matrix potential of the soil (B), and concentration of NO₃ up to 180 cm deep (C) and 400 cm deep (D)



Nota: le frecce rappresentano i periodi di coltivazione, i rombi i momenti delle distribuzioni di liquami suini
 Note: the arrows show the periods of cultivation, the rhombi show the times of pig slurry distribution

La modellizzazione del flusso idrico ottenuta con MACRO ha prodotto risultati che dimostrano una generale accurata simulazione della realtà, come ad esempio è illustrato in figura 9. I risultati di SOILN indicano la prevalenza di lisciviazione dei nitrati attraverso i micropori nei primi 60 cm ed un progressivo incremento della migrazione attraverso i macropori al crescere della profondità. Anche le simulazioni di SOILN sono risultate piuttosto congruenti con

i risultati reali del monitoraggio, sebbene si sia ottenuta una sovrastima delle concentrazioni dell’azoto nitrico per gli strati superficiali a fine periodo di simulazione, probabilmente dovuta a fenomeni di run-off o denitrificazione che il modello ha approssimato al valore zero. Per la profondità di 400 cm i risultati del modello hanno confermato gli importanti innalzamenti misurati per la concentrazione di azoto nitrico nelle acque di ritenzione del suolo (fig. 10).

Figura 8 – Concentrazioni dell'azoto nitrico nelle acque di due piezometri a monte (n. 6) ed a valle del sito sperimentale (n. 5) rispetto al flusso delle acque sotterranee
 Figure 8 – Concentration of NO_3 in the water of 2 piezometers around the experimental site, the first positioned above the flow of ground-water (n. 6), and the second below it (n. 5)

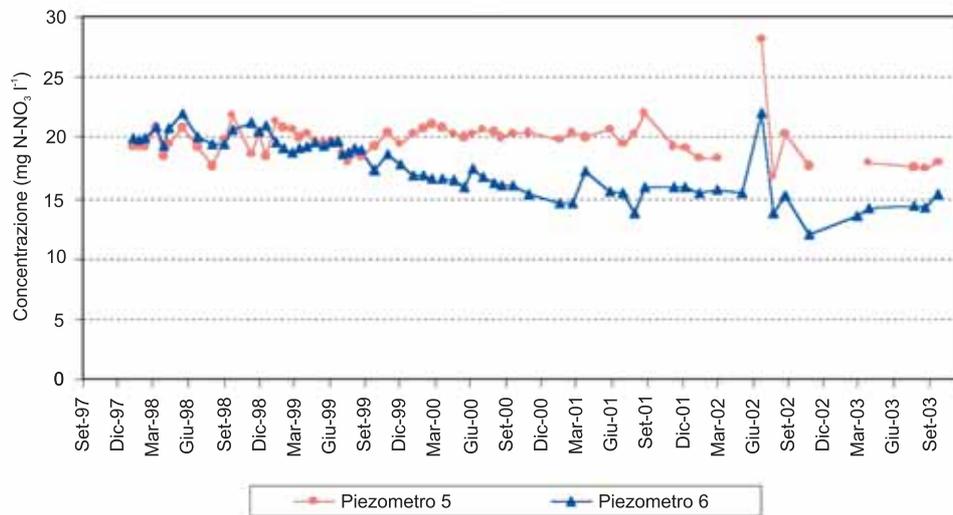


Figura 9 – Confronto tra i valori di contenuto idrico rilevati nel suolo a 60 cm di profondità ed il risultato della simulazione con il modello matematico
 Figure 9 – Comparison between the water content found in the soil at 60 cm deep and the result of simulation with a mathematical model

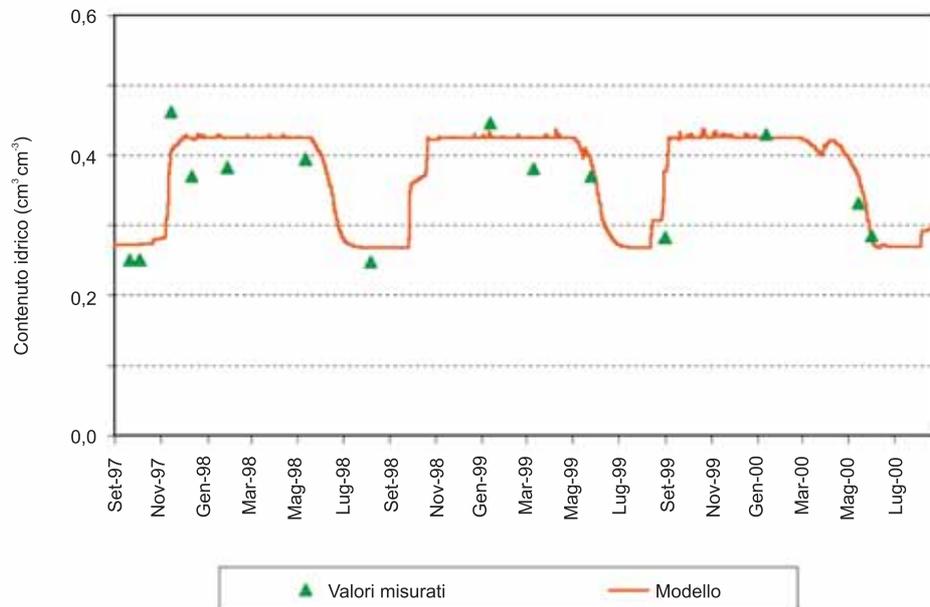
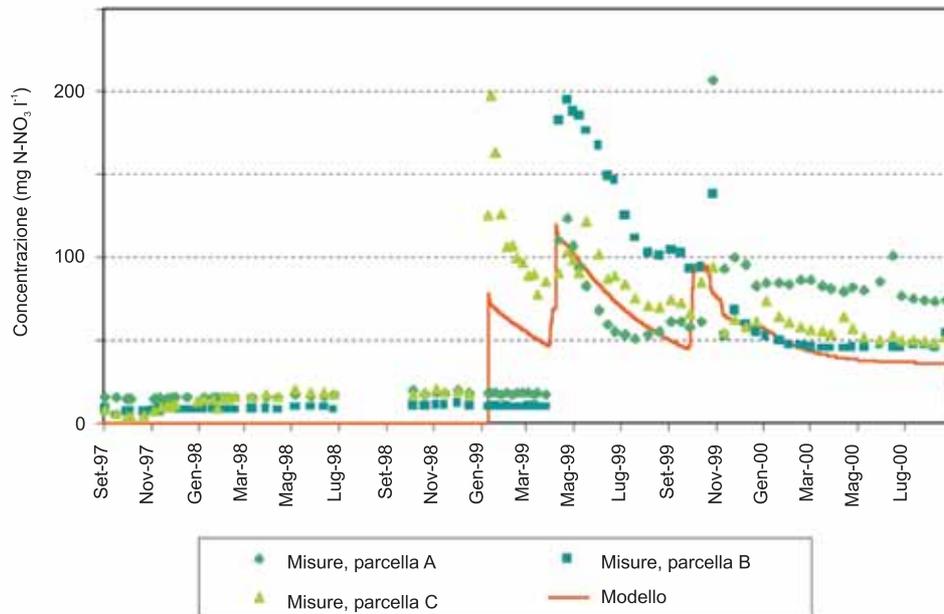


Figura 10 – Confronto tra le concentrazioni di azoto nitrico rilevate nelle acque di ritenzione a 400 cm di profondità ed il risultato della simulazione con i modelli matematici.
 Figure 10 – Comparison between concentrations of NO_3^- found in the retention waters at 400 cm deep and the result of simulation with mathematical models



Per le prime tre annualità della prova sperimentale le simulazioni hanno permesso di stimare una quota totale di $310 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ passata attraverso il piano alla profondità di 180 cm. Tale valore rappresenta il 23,5% dell'azoto distribuito in superficie per lo stesso periodo. Per lo stesso periodo è risultata una stima di $455 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ accumulatisi nei primi 180 cm, confermata dai valori misurati in campo, variati tra 338 e $499 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$.

Conclusioni

Dall'attività di monitoraggio svolta è risultato che il metodo del bilancio semplificato dell'azoto della Regione Emilia-Romagna può dirsi già ben tarato per le situazioni in cui gli apporti di sostanza organica non sono rilevanti. Lo stesso metodo ha invece fornito una sovrastima delle dosi di concimazione per i siti che avevano ricevuto reflui zootecnici negli anni precedenti la sperimentazione. La dotazione nitrica dei terreni è risultata

correlata in modo marcato all'intensità zootecnica. Nella genesi dei nitrati è apparso rilevante il ruolo della precessione colturale e molto meno significativo quello della tipologia di terreno. Importanti variazioni inter-annuali delle dotazioni di nitrati dei suoli sono state generate dall'andamento meteorologico, e in particolare dall'entità delle precipitazioni del periodo autunno-vernino. La concentrazione di nitrati è risultata inversamente proporzionale alla quantità di pioggia caduta.

Con le prove svolte nei siti attrezzati sono stati anche quantificati gli accumuli e le migrazioni di nitrati nel suolo-sottosuolo; in particolare, quest'ultimo fenomeno è apparso evidente soprattutto a seguito di apporti elevati di liquami e rese colturali non ottimali.

La profondità di lisciviazione dei nitrati è stata associata all'infiltrazione dell'acqua nel suolo, con migrazioni almeno fino a 4 m di profondità (sito Gaida). I nitrati sono stati lisciviati dalle acque di precipitazione infiltratesi nel

suolo piuttosto che dilavati dall'innalzamento delle acque di prima falda (fenomeno che non può peraltro essere escluso in altre situazioni). Le condizioni drenanti del terreno sono risultate la variabile dominante nel controllo della percolazione: anche dove la tessitura del terreno è fine, la contrazione delle argille può determinare condizioni di drenaggio rapido legate alla macroporosità. Per questo le stagioni autunnali piovose rappresentano i momenti più critici rispetto al fenomeno di migrazione dei nitrati attraverso la zona insatura, in special modo se ad esse si associano condizioni di terreno scoperto dalla vegetazione.

Per ragioni legate alle capacità di contenimento degli stoccaggi dei reflui zootecnici però, questi materiali vengono distribuiti anche durante le stagioni estive ed autunnali e su terreni che non ospiteranno una coltivazione sino alla primavera successiva. Così l'azoto ammoniacale dei liquami, che rappresenta circa il 60% dell'azoto totale in essi contenuto, può rapidamente passare a nitrato, causando l'aumento della forma nitrica nella soluzione del suolo, in special modo in assenza di coltivazione. Questo surplus di nitrati può essere lisciviato dalle acque che eccedono la capacità di campo a seguito delle precipitazioni autunno-invernali. In estrema sintesi, i punti che si sono dimostrati importanti ai fini della riduzione delle perdite di nitrati nell'ambiente possono essere così schematizzati:

- utilizzazione di metodi per stabilire la giusta dose di azoto e il momento più opportuno per somministrarla a livello di appezzamento;
- adeguata collocazione del materiale organico fertilizzante nella rotazione colturale e migliore considerazione delle sue proprietà fertilizzanti;
- adozione delle strategie agronomiche e ambientali per il contenimento delle perdite dei nitrati (*catch crops*, colture prative, ottimizzazione della concimazione e dell'irrigazione, uso di inibitori della nitrificazione, ecc.);

Riguardo l'estensione dei risultati ottenuti in questo progetto, si fa notare che le metodologie sperimentate potrebbero essere utilizzate nella valutazione dell'efficacia dei programmi di azione, proposti in conformità alla direttiva nitrati, per le aree vulnerabili all'inquinamento da nitrati di origine agricola.

Inoltre, i bilanci dell'azoto a scala di campo, calcolati con la metodologia utilizzata in queste prove, potrebbero essere accoppiati a bilanci dello stesso elemento calcolati a scala aziendale ("farm-gate balance"), che rappresentano indicatori di sostenibilità ambientale molto efficaci (Schröder *et al.*, 2003). Al momento il calcolo di questo indice non è richiesto dalla legislazione ambientale nazionale ed internazionale in quanto considerato difficile da controllare su un elevato numero di aziende. Tuttavia gli allevatori dovrebbero essere incoraggiati ad utilizzarlo, in quanto esso può rendere evidente quali strategie convenga seguire per ridurre eccessivi input di azoto.

Bibliografia

- APHA, American Public Health Association (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th Edition, 1015 Fifteenth Street, NW, Washington DC 20005
- Chahoud A. (2001). *I nitrati nelle acque sotterranee in Emilia Romagna*. In: *Nitrati: acqua e suolo da salvaguardare. Prevenzione dell'inquinamento dei sistemi idrogeologici*. Atti del Convegno Geofluid, 5 ottobre 2000, Piacenza, I quaderni di ARPA, Bologna, 85-92.
- Grignani C. e Zavattaro L. (2000). *A survey on actual agricultural practices and their effects on the mineral nitrogen concentration of the soil solution*. European Journal of Agronomy 12, 251-268.
- Larsson M.H e Jarvis N.J. (1999). *A dual porosity model to quantify macropore flow*

- effect on nitrate leaching.* Journal of Environmental Quality 28, 1298-1307.
- Larsson M.H., Johnsson H. (2003). *Simulation of nitrate leaching using a modelling system with automatic parameterization routines.* Soil use and Management 19(2), 172-181.
- Lockyer D.R. (1984). *A system for the measurement in the field of losses of ammonia through volatilization.* Journal of the Science of Food and Agriculture 35, 837-848.
- Mualem Y. (1976). *A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media.* Water Resources Research 12(3).
- Regione Emilia-Romagna, 2003. *Discipline di produzione integrata. Colture erbacee.*
- Schröder J.J., Aarts H.F.M., ten Berge H.F.M., van Keulen H., Neeteson J.J. (2003). *An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use.* European Journal of Agronomy 20, 33-44.
- Tabaglio V., Ligabue M. (2001). *Il livello dei nitrati nel terreno e le buone pratiche agricole.* In: *Nitrati: acqua e suolo da salvaguardare - Prevenzione dell'inquinamento dei sistemi idrogeologici* (a cura di E. Russo e A. Zavatti), ARPA, Collana: I Quaderni di Arpa, pubblicazione n. 2468 – GNDICI CNR, ISBN 88-87854-09-2, Industrie Grafiche Labanti e Nanni, Bologna, 111-124.
- Tabaglio V., Mantovi P., Ligabue M., Cortellini L. (2000). *Il controllo del passaggio dei nitrati dal suolo alle acque.* L'Informatore Agrario, LVI (26): 69-73.
- Van Genuchten M.T., Leij F.J., Yates S.R. (1991). *The RETC code for quantifying the hydraulic functions of insaturated soils.* Soil Science Society of America Journal 44, 892-898.

Il progetto Fasce Tampone Boscate (FTB) del Consorzio di Bonifica Dese Sile: uno strumento utile al risanamento della Laguna di Venezia

The Dese Sile Land Reclamation Consortium project on wooded buffer zones: a useful tool for improving the quality of Venice lagoon water

Nick Haycock¹, Bruna Gumiero², Bruno Boz², Vladi Vardiero³, Giuseppe Baldo³, Paolo Cornelio³

Premessa

I dati riportati in questo articolo sono stati raccolti nell'ambito del "Progetto dimostrativo sull'impiego di Fasce Tampone Boscate (FTB) in ambiente agricolo". Il progetto è nato dalla collaborazione tra Veneto Agricoltura (Azienda Regionale per i Settori Agricolo, Forestale e Agro-Alimentare) e Consorzio di Bonifica Dese Sile, con il contributo finanziario del programma comunitario LIFE-Ambiente (LIFE 99 ENV/IT/000083). L'obiettivo dell'iniziativa era dimostrare l'applicabilità delle FTB sia per la loro efficacia nel controllo dell'inquinamento idrico diffuso di origine agricola, sia per i vantaggi economici che le aziende agricole possono ricavare dalla produzione di biomassa legnosa a fini energetici. A sostegno di questa attività dimostrativa, sono stati realizzati 20 km di FTB in diverse aziende agricole, 2 siti per il monitoraggio della qualità delle acque ed un impianto termoidraulico, oltre a materiali, documenti e iniziative per la divulgazione del metodo proposto. Le attività sono iniziate nel mese di novembre del 1999 e si sono concluse nel mese di maggio del 2002, interessando in modo particolare il Bacino Scolante della Laguna di Venezia (AA.VV., 2002). L'articolo espone i risultati dell'attività di monitoraggio della qualità delle acque, con-

dotta dal Consorzio di Bonifica Dese Sile al fine di valutare l'efficacia delle FTB in un recente impianto nella riduzione dei carichi di azoto che pervengono ai corsi d'acqua per via subsuperficiale.

Le Fasce Tampone Boscate (FTB)

Gli ambienti di transizione tra ecosistemi terrestri ed ecosistemi acquatici (prati umidi, formazioni arboree riparie, zone umide fluviali, ambienti iporreici) sono in grado di esercitare una funzione filtro sui flussi idrici che le attraversano. La capacità di interazione con le sostanze presenti nell'acqua, in forma sospesa o disciolta, si traduce infatti in un'azione tampone che consente di ridurre i carichi inquinanti (soprattutto di azoto e di fosforo) che passano da un ecosistema all'altro. Nel caso specifico dell'azoto, i processi responsabili della diminuzione della quantità di nitrati presenti nell'acqua sono principalmente l'assimilazione (sia vegetale che microbica) e la denitrificazione. In particolare, il processo di denitrificazione rappresenta uno strumento importante per il controllo dei nitrati in quanto porta alla trasformazione dell'azoto nitrico disciolto nell'acqua fino alla produzione di azoto in forma gassosa. Questo processo di riduzione chimica viene messo in atto da diversi generi di batteri che in condizioni di anaerobiosi

¹ Haycock Associates

² Università di Bologna
Dipartimento di Biologia Evoluzionistica e Sperimentale

³ Consorzio di Bonifica Dese Sile
via Rovereto, 12
30030 Venezia - Chirignago (Italy)
tel. +39 041 5459111 p.cornelio@bonificadesesile.net

Sommario

I dati riportati in questo articolo sono stati raccolti nell'ambito del "Progetto dimostrativo sull'impiego di Fasce Tampone Boscate (FTB) in ambiente agricolo". Il progetto è nato dalla collaborazione tra Veneto Agricoltura (Azienda Regionale per i Settori Agricolo, Forestale e Agro-Alimentare) e Consorzio di Bonifica Dese Sile, con il contributo finanziario del programma comunitario LIFE-Ambiente (LIFE99 ENV/IT/000083). L'obiettivo dell'iniziativa era dimostrare l'applicabilità delle FTB sia per la loro efficacia nel controllo dell'inquinamento idrico diffuso di origine agricola, sia per i vantaggi economici che le aziende agricole possono ricavare dalla produzione di biomassa legnosa a fini energetici.

L'articolo presenta i risultati dell'attività di monitoraggio della qualità delle acque, con riferimento ai carichi di azoto che, dopo aver attraversato FTB di recente impianto (3-4 anni di età), pervengono ai corsi d'acqua per via subsuperficiale.

Nel corso della campagna annuale di raccolta dati sono stati controllati due siti: nel primo è stata valutata l'efficacia di una FTB larga 15m e composta da 4 filari di piante (FTB15) mentre nel secondo l'efficacia di una FTB monofilare larga 5m (FTB5). Le specie principali che compongono le due FTB sono: il salice bianco (*Salix alba* L.), il salice da ceste (*Salix triandra* L.), l'ontano nero (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn), la farnia (*Quercus robur* L.), l'acero campestre (*Acer campestre* L.) e il nocciolo (*Corylus avellana* L.).

I dati raccolti hanno dimostrato che FTB di recente impianto sono in grado di ridurre del 50% i carichi di azoto totale disciolto che le attraversano per via subsuperficiale (con una ritenzione massima di 126 kg anno di azoto totale per ettaro di FTB).

In termini di ritenzione percentuale, non sono state riscontrate differenze significative tra FTB larghe 15 m e FTB larghe 5 m, a conferma del ruolo chiave che hanno i primi 5 m della fascia, in quanto area in cui acque ricche di azoto nitrico ($N-NO_3$) incontrano un ambiente favorevole alla denitrificazione.

La ritenzione dell'azoto riscontrata nell'area di studio è imputabile principalmente alla trasformazione dell'azoto nitrico in azoto in forma gassosa (N_2O ma per lo più N_2), ad opera dei batteri denitrificanti.

Summary

The data reported in this article comes from the "demonstrative project on the use of Wooded Buffer Zones in agriculture". The project resulted from collaboration between Veneto Agricoltura (a regional organisation dealing with the agricultural, forestry and agricultural-alimentary sectors) and the Dese Sile Land Reclamation Consortium, and was funded by the LIFE – Environment programme (LIFE99 ENV/IT/000083). The aim of the initiative was to demonstrate the usefulness of wooded buffer zones, both because of their efficacy in controlling widespread hydric pollution of agricultural origin, and because of the economic advantages which agricultural enterprises can gain from the production of woody biomass used for fuel.

The article presents the results of the water quality monitoring, and gives the amounts of nitrogen which arrive at rivers after travelling across ground through the recently planted wooded buffer zones (3-4 years).

The efficacy in moderating hydric pollution was evaluated at two sites throughout the annual campaign of data collection: the first buffer zone was 15m wide and had 4 rows of trees (FTB15), and the second was 5m wide and had a single row of trees (FTB5). The two areas were mainly composed of the following species: White Willow (*Salix alba* L.), Almond Willow (*Salix Triandra* L.), European Alder (*Alnus Glutinosa* L. Gaertn), Pedunculate Oak (*Quercus Robur* L.), Hedge Maple (*Acer Campestre* L.), and Hazel (*Corylus Avellana* L.).

The data collected showed that recently planted buffer zones can reduce by 50% amounts of dissolved total nitrogen which travel across ground (with a maximum retention of 126 kg a year of total nitrogen per hectare of buffer zone).

In terms of the percentage of retention, no significant differences were found between the 15m wide and the 5m wide buffer zones, which confirms the key role the first 5 metres of the zones play, as it is in this area that water rich in nitrate nitrogen ($N-NO_3$) meets with an environment which is favourable to denitrification.

The retention of nitrogen verified in the study area can mainly be attributed to the transformation of nitrate nitrogen into nitrogen in the form of gas (N_2O , but mostly N_2) by means of denitrifying bacteria.

Il fattore che maggiormente ha limitato i processi di denitrificazione è il carbonio, fonte di energia per i batteri. Si presume pertanto che lo sviluppo delle piante, con una maggiore produzione di biomassa, sia epigea che ipogea, possa favorire nel tempo un incremento dell'attività dei batteri denitrificanti.

The factor which most limited the process of denitrification is carbon, a source of energy for bacteria. It is therefore to be presumed that the growth of trees, and thus a greater production of biomass, both epigean and hypogeous, can favour a gradual increase in the activity of denitrifying bacteria.

sono in grado di utilizzare il nitrato come accettore di elettroni alternativo all'ossigeno. L'attività metabolica dei batteri denitrificanti è strettamente legata alla disponibilità nel suolo di carbonio organico, pertanto la presenza della vegetazione arborea ha un ruolo determinante per i processi di denitrificazione, garantendo un apporto di sostanza organica anche negli strati più profondi del terreno (attraverso gli essudati radicali, i tessuti in decomposizione e le masse microbiche ospitate nella rizosfera).

In ambiente agricolo, i principi di funzionamento delle zone tampone trovano quindi applicazione nella realizzazione di Fasce Tampone Boscate (FT B) che separino i corpi idrici superficiali (scoline, fossi, canali, fiumi, laghi) da possibili fonti di inquinamento diffuso come i campi coltivati. Si tratta di formazioni a sviluppo prevalentemente lineare e gestite con tecniche forestali che possono essere integrate nel ciclo produttivo agrario, per ottenere biomasse legnose a fini energetici, legname da opera, frutti eduli, prodotti apistici, ecc. Inoltre, l'utilizzo delle FT Bi integra bene anche in una strategia di salvaguardia ambientale più ampia, che persegua l'incremento della biodiversità, il ripristino del paesaggio e la riqualificazione degli ambiti fluviali.

I primi studi sulle fasce tampone risalgono agli anni '70, quando l'*Environmental Protection Agency* degli USA ha posto in evidenza il ruolo critico dei terreni ripari e delle zone umide nel preservare la qualità delle acque dei fiumi e dei corsi d'acqua minori. Le prime misurazioni dell'abbattimento dei carichi di nutrienti che attraversano le zone riparie, con riferimento alla presenza di vegetazione arborea,

hanno interessato gli USA negli anni '80 e l'Europa a partire dagli anni '90 (Lowrance *et al.*, 1984; Peterjohn e Correll, 1984; Welsch, 1991; Haycock e Pinay, 1993; AA.VV., 1997). L'Azienda Regionale delle Foreste del Veneto (ora Veneto Agricoltura) ha realizzato la sua prima pubblicazione sulle fasce tampone nel 1996 (AA.VV., 1996).

Attività di monitoraggio della qualità delle acque

La stazione di monitoraggio della qualità delle acque è stata realizzata a Mogliano Veneto (TV), presso l'azienda agricola sperimentale "Diana" di Veneto Agricoltura (foto 1). Nel corso della campagna di raccolta dati sono stati controllati due siti: nel primo è stata valutata l'efficacia di una FT Barga 15m e composta da 4 filari di piante (FT B5) mentre nel secondo l'efficacia di una FT Bnonofilare larga 5m (FT B) (foto 2). Le specie principali che compongono le due FT B sono: il salice bianco (*Salix alba* L.), il salice da ceste (*Salix triandra* L.), l'ontano nero (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn), la farnia (*Quercus robur* L.), l'acero campestre (*Acer campestre* L.) e il nocciolo (*Corylus avellana* L.). L'impianto è stato realizzato nella primavera 1999, utilizzando piantine forestali di 2-3 anni di età, allevate in contenitore e messe a dimora con il pane di terra.

La stazione di monitoraggio è dotata di 3 griglie di piezometri a maglia 5m x 3m, per un totale di 36 piezometri, di cui 30 per il monitoraggio della FT B5 e 6 per il monitoraggio della FT B. I piezometri sono stati utilizzati sia per le misure di livello delle acque subsuperficiali che per la raccolta di cam-

Foto 1 – Impianti sperimentali
Photo 1 – Experimental plant



Foto 2 – Stazione di Monitoraggio FTB15
Photo 2 – Monitoring station FTB15



pioni di acqua. Il deflusso delle acque subsuperficiali attraverso le FT avveniva grazie a un sistema di irrigazione a sollevamento meccanico che immetteva l'acqua del fiume Zero in 3 solchi adacquatori. La baulatura dei terreni permetteva di avere una differenza di quota tra i solchi adacquatori e le scoline che delimitano gli appezzamenti, favorendo così il deflusso delle acque attraverso le FT B

Durante il periodo di studio sono state condotte 12 campagne mensili di monitoraggio. La qualità delle acque in ingresso è stata controllata utilizzando un conduttimetro fisso e un campionatore automatico. I campioni sono stati raccolti con frequenza mensile dai piezometri posti tra i filari di piante e con frequenza giornaliera dal fiume Zero, in modo da poter valutare le variazioni di concentrazione dei composti azotati nelle acque subsuperficiali che attraversavano le FT B. La profondità delle acque subsuperficiali è stata misurata sia mensilmente, all'interno di tutti i piezometri, che in continuo, mediante 2 trasduttori di pressione inseriti in 2 piezometri e collegati a un data logger. Il gradiente idraulico è stato monitorato servendosi di segnalivello in metallo con basamento quotato, inseriti nelle scoline di ingresso e di uscita dell'acqua.

Le misurazioni in campo e le determinazioni analitiche di laboratorio per la valutazione della qualità delle acque sono state eseguite secondo i seguenti parametri. Misurazioni in campo: pH, temperatura, conducibilità elettrica e quota. Determinazioni analitiche: nitrati (N-NO₃), nitriti (N-NO₂), ammoniaca (N-NH₄), azoto Kjeldahl (N_{Kj}), carbonio organico disciolto, ferro disciolto, manganese disciolto, fosforo totale disciolto, ortofostato (P-PO₄) e cloruro. L'azoto totale è stato calcolato sommando nitrati, nitriti e N_{Kj} (N_T totale), l'azoto organico è stato calcolato sottraendo al N_{Kj} azoto ammoniacale (N_{Organico}). I fenomeni di diluizione-dispersione sono stati valutati attraverso un bilancio idrico e utilizzando il cloro come tracciante biologicamente inerte.

Nel periodo di studio, sono state inoltre eseguite campagne stagionali di monitoraggio dei terreni per valutare nel sito FT B5 il rateo di denitrificazione *in situ* e per misurare l'attività enzimatica dei batteri denitrificanti con diverse modalità di incubazione: ottimizzando le condizioni di saturazione, con aggiunta di azoto, con aggiunta di carbonio e con aggiunta simultanea di azoto e carbonio. I campioni di terreno sono stati raccolti a tre diverse profondità: a 0-15 cm per lo strato superficiale, a 40-55 cm per lo strato intermedio e a 80-95 cm per lo strato profondo.

I parametri da analizzare e le metodiche analitiche sono state individuate con la collaborazione dei partners del Progetto europeo NIC OLAS (*Nitrogen Control by Landscape Structures in Agricultural Environments*, Research Project 1997-2000, European Commission D_{XII}) che ha visto la partecipazione di altri 7 Paesi europei: Francia, Gran Bretagna, Paesi Bassi, Spagna, Polonia, Romania e Svizzera. Le analisi di laboratorio sono state eseguite dall'ARPA del Veneto (Centro Agroambientale di Castelfranco Veneto V) e dall'Università di Bologna, con la collaborazione del Dipartimento di Microbiologia dell'Università di Padova.

Risultati

Qualità delle acque

Nel sito FT B5 è stato misurato un input di azoto totale di 103 kg/ha anno, mentre nel sito FT B un input di 240 kg/ha anno. La ritenzione di azoto totale è stata di 52 kg/ha anno (50%) nel sito FT B5 e di 126 kg/ha anno (52%) nel sito FT B. Nel periodo di studio, l'azoto totale in ingresso è risultato in media composto per il 72% da nitrati (N-NO₃), per il 18% da azoto ammoniacale (N-NH₄), per l'8% da azoto organico e per il 2% da nitriti (N-NO₂). L'azoto totale in uscita è risultato invece composto in media per il 44% da nitrati (N-NO₃), per il 16% da azoto ammoniacale (N-NH₄), per il 39% da azoto organico e per l'1% da

nitriti (N-NO₂). L'azoto totale che ha attraversato le FT ha quindi subito delle trasformazioni che hanno portato, sia alla riduzione dei carichi in uscita, che a una minore incidenza percentuale dell'azoto nitrico (N-NO₃), la forma azotata più prontamente assimilabile in natura e quindi più pericolosa per l'equilibrio degli ecosistemi. Nei siti FT 5 e FT 15 la ritenzione media annua delle varie forme di azoto è stata rispettivamente del 68%-72% per i nitrati (N-NO₃), del 55-56% per l'azoto ammoniacale (N-NH₄) e del 84-86% per i nitriti (N-NO₂). Gli output di azoto organico sono invece risultati superiori agli input, con rilasci di 14-20 kg/ha anno rispettivamente per i siti FT 15 e FT 5 (fig.1). Nel corso dei 12 mesi di studio si è inoltre rilevata una variabilità stagionale che ha evidenziato valori massimi di ritenzione dell'azoto nel periodo estivo (giugno-settembre), con riduzioni del 70-85 % dell'azoto totale.

Denitrificazione

Denitrificazione *in situ*

In generale sono stati registrati ratei di denitrificazione superiori nei due strati più profondi, in corrispondenza della zona di terreno attraversata dai deflussi idrici. I valori medi annuali registrati sono stati: strato superficiale (0,13 ± 0,04 µgN g⁻¹ giorno), strato intermedio (0,18 ± 0,14 µgN g⁻¹ giorno), strato profondo (0,16 ± 0,11 µgN g⁻¹ giorno). Questa è una situazione diversa da quella che normalmente si verifica nelle zone umide naturali, in cui è lo strato superficiale del terreno a presentare condizioni di saturazione idrica ottimali per il processo di denitrificazione.

Attività enzimatica dei batteri denitrificanti

I fattori che influenzano la denitrificazione sono: il contenuto d'acqua nel suolo, la temperatura, la disponibilità di carbonio e la disponibilità di azoto nitrico. La valutazione dell'attività enzimatica dei batteri ha permesso di individuare, più in dettaglio, quali siano i fattori che limitano il processo di denitrificazione all'interno dell'area di studio. Ponendo i campioni di suolo ad incubare in condizioni di saturazione e con aggiunta di N e/o C sono stati ottenuti aumenti dei ratei di gran lunga più elevati di quelli misurati *in situ*. In particolare con l'aggiunta, durante il periodo di incubazione, sia di nitrati che di carbonio è stata rilevata la maggior potenzialità dei batteri denitrificanti dello strato superficiale (2,79 µgN g⁻¹ giorno) rispetto a quello intermedio (1,41 µgN g⁻¹ giorno) e a quello profondo (0,59 µgN g⁻¹ giorno).

Il maggior fattore limitante in generale è risultato essere il carbonio. Tuttavia lo strato superficiale, quasi mai interessato dal deflusso subsuperficiale, sembra soffrire maggiormente della carenza di nitrati oltre che della minore umidità del suolo (tab.1).

Essendo la componente arborea di recente impianto e mancando la capacità da parte della vegetazione erbacea di influenzare in modo consistente la concentrazione dei soluti nelle acque di deflusso subsuperficiali, si presume che la riduzione dell'azoto nelle acque che hanno attraversato le FT B sia dovuta prevalentemente all'attività dei batteri denitrificanti.

A conferma di ciò, si può notare come trasformando il rateo medio giornaliero di denitrificazione misurato nello strato intermedio si ottengano 65 kg N/ha anno, valore del-

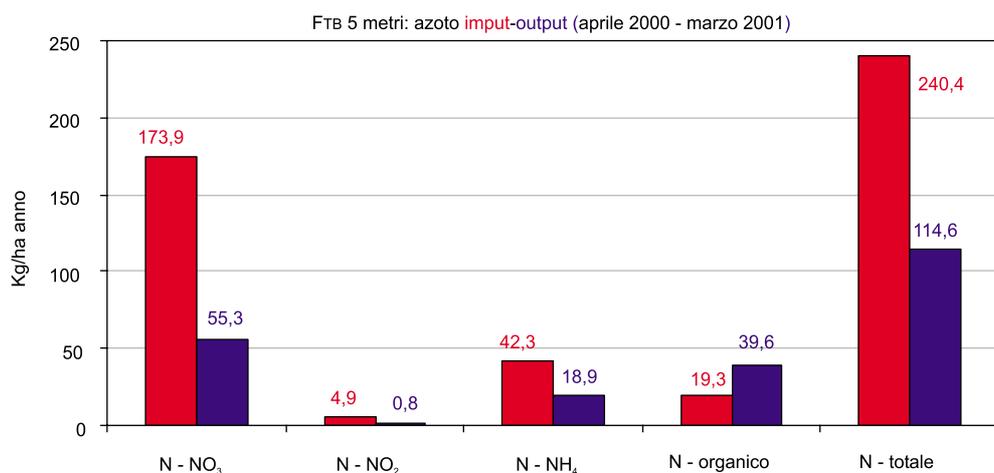
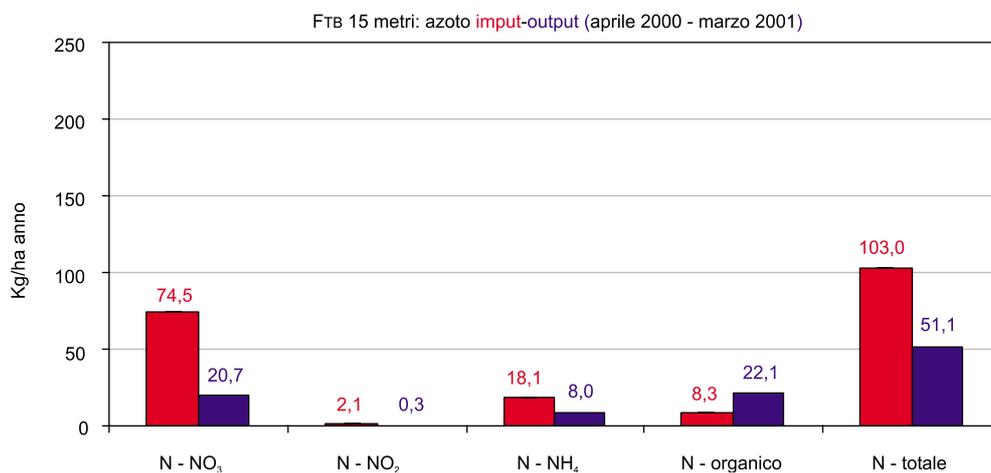
Tabella 1 – Confronto tra valori di denitrificazione misurati in diverse condizioni

Table 1 – Comparison of denitrification levels recorded under different conditions

(µg N g⁻¹ suolo giorno – media annua)

Denitrificazione <i>in situ</i> e in aggiunta di azoto nitrico (N) e carbonio (C)				
Profondità	<i>in situ</i>	N	C	N + C
0-15 cm	0,13	0,47	0,67	2,79
40-55 cm	0,18	0,46	1,50	1,41
80-95 cm	0,16	0,38	0,61	0,59

Figura 1 – Stazione di monitoraggio di Mogliano Veneto (TV). Fascia tampone larga 15 e 5 metri: ritenzione annua di nitrati (N-NO₃), nitriti (N-NO₂), ammoniaca (N-NH₄), azoto organico e azoto totale
 Figure 1 – Monitoring station of Mogliano Veneto (TV). 15 meters wide and 5 meters wide: annual retention of nitrates (N-NO₃), nitrites (N-NO₂), ammonia (N-NH₄), organic nitrogen and total nitrogen



Azoto	input (kg/ha)	ouput (kg/ha)	Ritenzione (kg/ha)	Ritenzione (%)
FTB 15 m				
N – NO ₃	74,5	20,7	53,8	72
N – NO ₂	2,1	0,3	1,8	88
N – NH ₄	18,1	8,0	10,1	56
N organico	8,3	22,1	-13,8	-166
N totale	103,0	51,1	51,9	50
FTB 5 m				
N – NO ₃	173,9	55,3	118,6	68
N – NO ₂	4,9	0,8	4,1	84
N – NH ₄	42,3	18,9	23,4	55
N organico	19,3	39,6	-20,3	-105
N totale	240,4	114,6	125,8	52

lo stesso ordine di grandezza dell'effettiva riduzione di azoto totale misurata nelle acque di deflusso 52 kg N/ha anno.

Conclusioni

- FT Bli recente impianto (piante di 3-4 anni di età) sono in grado di ridurre del 50% i carichi di azoto totale disciolto che le attraversano per via subsuperficiale. In termini di ritenzione percentuale, non sono state riscontrate differenze significative tra FT Barghe 15m e FT Barghe 5m, a conferma del ruolo chiave che hanno i primi 5m della fascia, in quanto area in cui acque ricche di azoto nitrico (N-NO₃) incontrano un ambiente favorevole alla denitrificazione.
- Il passaggio delle acque subsuperficiali attraverso le FT Bha comportato, oltre alla riduzione del carico di azoto totale, una variazione nella composizione delle diverse forme azotate. L'effetto più evidente è la riduzione dei rilasci di azoto nitrico (N-NO₃) e l'aumento dei rilasci di azoto organico.
- La ritenzione dell'azoto riscontrata nell'area di studio è imputabile principalmente alla trasformazione dell'azoto nitrico in azoto in forma gassosa (N₂O ma per lo più N₂), ad opera dei batteri denitrificanti. Il tasso medio di denitrificazione misurato nel sito FT B5 è stato infatti di 65 kg N/ha anno, valore dello stesso ordine di grandezza della ritenzione di azoto totale misurata nelle acque di deflusso: 52 kg N/ha anno.
- Il fattore che maggiormente ha limitato i processi di denitrificazione è il carbonio,

fonte di energia per i batteri. Si presume pertanto che lo sviluppo delle piante, con una maggiore produzione di biomassa, sia epigea che ipogea, possa favorire nel tempo un incremento dell'attività dei batteri denitrificanti.

Bibliografia

- AA.VV. (1996). *Fasce Tampone. Regione del Veneto*. Azienda Regionale delle Foreste, Venezia Mestre.
- AA.VV. (1997). *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection*. Ed. N.E. Haycock, T.P. Burt, K.W. T. Goulding, G. Pinay. Quest Environmental UK.
- AA.VV. (2002). *Fasce Tampone Boscate in ambiente agricolo*. Regione del Veneto - Veneto Agricoltura, Legnaro (PD).
- Haycock N.E., G Pinay (1993). *Groundwater nitrate dynamics in grass and poplar vegetated riparian buffer strips during the winter*. Journal of Environmental Quality 22:273-278.
- Lowrance R.R., R.L. Todd, J.J. Fail, O.J. Hendrickson, R. Leonard, L.E. Asmussen (1984). *Riparian forests as nutrient filters in agricultural watersheds*. Bioscience 34: 374-377.
- Peterjohn W. T., D.L. Correll (1984). *Nitrogen dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest*. Ecology 65: 1466-1475.
- Welsch D.J. (1991) *Riparian forest buffers*. USDA-FS Publication No. NA-PR-07-91. Radnor, Pa. US.

Il progetto "Ottimizzazione a fini irrigui delle qualità delle acque reflue, per la salvaguardia della risorsa suolo e per l'utilizzo plurimo della risorsa acqua"

The Project "Optimization of the quality of refluent waters for irrigation purposes, for the safeguard of soils and multiple use of the water resource"

Alberto Micheli, Linda Cingolani, Giacomo Bodo, Stefano Ortica, Carlo Graziani

Introduzione

Molti degli usi dell'acqua non sono distruttivi della stessa ma soltanto modificativi delle sue caratteristiche fisiche, chimiche e microbiologiche. Pertanto molte attività possono produrre acque reflue, spesso contaminate, che rappresentano un potenziale danno per l'ambiente. C'è vale per le acque urbane, industriali, zootecniche. Gli effluenti zootecnici sono prodotti in quantità rilevante tendendo ad aumentare; questi possono essere di notevole importanza per coprire i fabbisogni irrigui di molte aree, afflitte da carenza di acqua, rendendo disponibili risorse idriche di buona qualità per altri scopi.

L'impiego delle acque reflue zootecniche in agricoltura, se da un lato può essere visto come un ritorno al terreno delle sostanze fertilizzanti in esse contenute (azoto, fosforo, potassio, sostanze organiche), dall'altro può comportare dei problemi sulle caratteristiche fisiche, idropedologiche e microbiologiche dei suoli, per la presenza, tra l'altro, di metalli pesanti, solidi sospesi, microrganismi patogeni.

In tale contesto si colloca il progetto di ricerca "Ottimizzazione a fini irrigui delle qualità delle acque reflue per la salvaguardia della risorsa suolo e per l'utilizzo plurimo della risorsa acqua" presentato dall'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante di Roma

ai Ministeri dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca e delle Politiche Agricole e Forestali, che hanno giudicato il progetto ammissibile al finanziamento.

Le Unità di ricerca partecipanti sono: Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante di Roma, quale coordinatore, Centro di Ecologia Teorica ed Applicata di Trieste, Centro Sperimentale per lo Studio e l'Analisi del Suolo dell'Università degli Studi di Bologna, ARPA Umbria, Faber s.r.l. Tecnologie Avanzate per l'Ambiente di Napoli, Vekos s.r.l. di Vicenza.

Obiettivi

Il progetto mira a verificare:

- l'efficacia dell'utilizzazione a fini irrigui di reflui suinicoli trattati con processi tradizionali (processo di digestione anaerobica seguito da un trattamento aerobico a fanghi attivi);
- l'efficacia di un ulteriore trattamento di fitodepurazione sull'effluente finale per renderlo più compatibile per l'irrigazione.

Nel primo anno di sperimentazione le indagini hanno riguardato esclusivamente il primo punto.

Nell'ambito di questo progetto di ricerca, ARPA Umbria ha avuto il compito di predisporre un campo dimostrativo dove impiantare mais da

Sommario

Il progetto di ricerca, finanziato dal MIUR e dal MiPAF, è coordinato dall'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante di Roma, con la collaborazione di ARPA Umbria, del Centro di Ecologia Teorica ed Applicata di Trieste, Centro Sperimentale per lo Studio e l'Analisi del Suolo dell'Università degli Studi di Bologna, Ditta Faber s.r.l. Tecnologie Avanzate per l'Ambiente di Napoli, Ditta Vekos s.r.l. di Vicenza. Ha per obiettivo l'individuazione delle modalità di gestione ed ottimizzazione dell'impiego di acque reflue di origine zootecnica, trattate con processi di depurazione anaerobici, aerobici e di fitodepurazione, da impiegare per scopi irrigui su mais da insilato. Il progetto ha, inoltre, lo scopo di determinare i limiti tecnici, agronomici (quantità di refluo da apportare al terreno, frequenza delle irrigazioni, caratteristiche chimico-fisiche e microbiologiche delle acque reflue) nell'impiego di tali acque. Gli obiettivi di cui sopra vengono perseguiti con il monitoraggio (chimico e microbiologico) delle acque reflue di irrigazione, dell'acqua di infiltrazione nel sottosuolo (mediante appositi lisimetri di superficie), del terreno e della coltura di mais.

Summary

The research project, financed by MIUR and MiPAF, is coordinated by the Institute of Plant Nutrition, Rome, with the collaboration of ARPA Umbria, the Centre of Theoretical and Applied Ecology in Trieste, the Centre of Study and Analysis of the Soil at Bologna University, Faber Ltd, Advanced Technology for the Environment in Naples, and Vekos Ltd in Vicenza. Its aim is to identify ways to manage and optimize the use of refluents of zootechnical origin, treated with processes of anaerobic depuration, aerobic depuration and phytodepuration, to be used for irrigation of silo maize. A further aim is to determine the technical, agronomic limits for the use of these waters (quantity of refluents to add to the ground, irrigation frequency, chemical, physical and microbiological characteristics of the refluents). Monitoring is used to achieve these objectives, chemical and microbiological monitoring of the refluents, of waters infiltrated underground (by surface lysimeters for the purpose), of the soil and of the maize cultivated.

insilato classe FAO 600 (gg 128), con la collaborazione della CODEP Soc. Coop a r.l. di Passaggio di Bettona, che ha messo a disposizione il terreno dove condurre la prova.

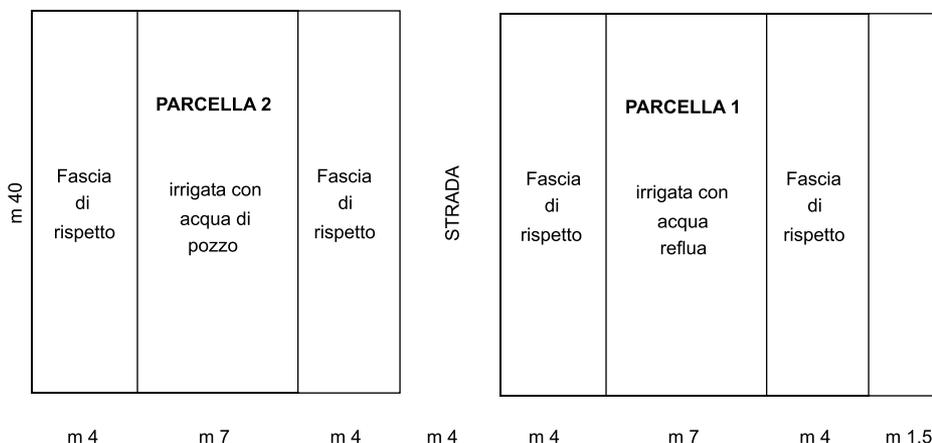
Metodo di lavoro

Nel campo dimostrativo sono state predisposte due parcelle di terreno (fig. 1) di dimensioni 7 m x 40 m: sulla parcella n. 1 (tesi) non è stata effettuata alcuna concimazione, ricevendo soltanto i nutrienti contenuti nei reflui in uscita dal depuratore di proprietà CODEP; sulla parcella n. 2 (testimone) è stata praticata una concimazione secondo le pratiche comuni della zona, ovvero apportando 244 kg/

ha di azoto e 180 kg/ha di fosforo ed irrigando con acqua di pozzo. Attorno alle parcelle sono state create due fasce di rispetto interne e due fasce di rispetto esterne coltivate a mais ed irrigate come la loro parcella di riferimento. Tra le fasce di rispetto interne è stata realizzata una strada necessaria per il transito dell'ala piovana.

Dettagli ed approfondimenti circa la semina e la concimazione della parcella n. 1 (tesi) e n. 2 (testimone) sono riportati in tabella 1. Ogni intervento irriguo è stato preceduto da un campionamento dell'acqua di pozzo e del refluo per determinare l'apporto di nutrienti e la presenza di microrganismi patogeni.

Figura 1 – Schema delle due parcelle sperimentali
 Figure 1 – Figure of the two experimental plots



I parametri presi in considerazione sono stati COD, Azoto Totale, Azoto Ammoniacale, Azoto Nitroso, Azoto Nitrico (parametri chimici), *Escherichia Coli*, coliformi fecali, coliformi totali, streptococchi fecali (parametri microbiologici).

Al centro di ciascuna parcella ed alla profondità di metri 1 è stato installato un lisimetro con l'obiettivo di prelevare l'acqua di infiltrazione da sottoporre a monitoraggio nei confronti dei 4 parametri microbiologici presi in considerazione.

Un ulteriore compito svolto da ARPA Umbria è stato quello di controllare la contaminazione da patogeni del terreno a varie profondità. Per questo motivo sono stati eseguiti dei carotaggi sulle due parcelle di terreno prima della semina del mais, con l'obiettivo di prelevare campioni di terreno a diversa profondità (da 30 cm a 150 cm) da sottoporre ad analisi microbiologica, controllando la presenza di *Escherichia Coli*, coliformi fecali, coliformi totali, streptococchi fecali.

Le medesime analisi sono state effettuate a raccolta avvenuta.

Infine, per ogni parcella sperimentale, sono stati effettuati campionamenti del prodotto raccolto per determinarne la produzione, i contenuti nutritivi (Azoto, Fosforo e Potassio) e l'eventuale

contaminazione microbiologica (*Escherichia Coli*, *Salmonella* s.p.p., coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi fecali).

Risultati

Acqua/refluo per irrigazione

Durante il mese di maggio 2003, a seguito del perdurare delle alte temperature e dell'assenza di precipitazioni atmosferiche, si è reso necessario un primo intervento irriguo, effettuato il giorno 26.

L'irrigazione è stata eseguita con un'ala piovana di 34 metri di apertura che, passando sull'apposita strada creata tra le due parcelle, ha consentito l'irrigazione delle stesse.

Nei mesi di maggio, giugno, luglio ed agosto le irrigazioni si sono susseguite ad intervalli di 7-10 giorni (tab. 2).

In tabella 3 sono riportati i valori relativi alle precipitazioni nella zona interessata al progetto.

Le precipitazioni, complessivamente pari a 67 mm di pioggia nel periodo giugno-luglio sono risultate di modesta entità, equivalendo praticamente a 19 mc di acqua per parcella; pertanto la pioggia complessivamente caduta nei due mesi è paragonabile ad un solo intervento irriguo.

Tabella 1 – Dettagli sulla semina e sulla concimazione effettuate sulle due parcelle
 Table 1 – Details of the sowing and fertilizing carried out on the two plots

Scheda agronomica e dati colturali		
	Parcella 2 (testimone)	Parcella 1 (tesi)
Coltura	Mais insilato	Mais insilato
Coltura precedente	Set aside	Set aside
Classe FAO	600 (gg 128)	600 (gg 128)
Piante teoriche (numero/m ²)	7-8	7-8
Superficie parcella (m ²)	280	280
Concimazione (kg/ha)		
N semina fosfato biammonico ₅	72	0
N copertura urea	172	0
P ₂ O ₅ semina fosfato biammonico	184	0
K ₂ O	0	0
Aratura	Agosto 2002	Agosto 2002
Epicatura finale	10 aprile 2003	10 aprile 2003
Prodotto conciante (seme)		
Data	14 aprile 2003	14 aprile 2003
Principio attivo	fludioxonil	fludioxonil
Semina	14 aprile 2003	14 aprile 2003
Geodisinfestante		
Data	14 aprile 2003	14 aprile 2003
Principio attivo	chlorpyrifos	Chlorpyrifos
Dosi	10-15 kg/ha	10-15 kg/ha
Diserbo		
Data	14 aprile 2003	14 aprile 2003
	Metolaclor 28,9%	Metolaclor 28,9%
Principio attivo	Terbutilazina 17,4%	Terbutilazina 17,4%
Dosi	4 l/ha	4 l/ha
Emergenza	28 aprile 2003	28 aprile 2003
Sarchiatura	16 maggio 2003	16 maggio 2003
Fioritura (media campo)	10 luglio 2003	10 luglio 2003
Raccolta	14 agosto 2003	14 agosto 2003

Tabella 2 – Interventi irrigui, quantitativi di acqua/refluo apportati per parcella
 Table 2 – Irrigation intervention, quantity of water/ refluent water supplied to each plot

Data	Metri cubi
26/05/2003	4
16/06/2003	5
27/06/2003	5
07/07/2003	15
14/07/2003	13
21/07/2003	13
04/08/2003	12

Tabella 3 – Precipitazioni in mm registrate nella zona
 Table 3 – Levels of precipitation in the project area

Data	Pioggia (mm)
15/06/2003	10
16/06/2003	2
17/06/2003	3
18/06/2003	3
28/06/2003	10
15/07/2003	17
24/07/2003	19
31/07/2003	3

Nelle tabelle 4 e 5 sono riportati i risultati delle analisi dell'acqua reflua con cui è stata irrigata la parcella n. 1 e dell'acqua di pozzo con cui è stata irrigata la parcella n. 2.

Nelle tabelle 6 e 7 sono riportati i risultati delle analisi chimiche dell'acqua reflua con cui è stata irrigata la parcella n. 1 e dell'acqua di pozzo con cui è stata irrigata la parcella n. 2.

Acqua di infiltrazione subsuperficiale

I risultati delle analisi microbiologiche condotte sulle acque di infiltrazione prelevate dai lisimetri installati nelle parcelle 1 e 2 sono riportati rispettivamente nelle tabelle 8 e 9.

Tabella 4 – Analisi microbiologiche sull'acqua reflua impiegata per irrigare la parcella n. 1
 Table 4 – Microbiological analysis of the refluent water used to irrigate plot n. 1

Data	Escherichia coli (u.f.c./100 ml)	Coliformi totali (u.f.c./100 ml)	Coliformi fecali (u.f.c./100 ml)	Streptococchi fecali (u.f.c./100 ml)
26/05/2003	11.300	39.000	34.000	41.000
16/06/2003	300	33.000	300	6.150
07/07/2003	800	46.000	4.600	46.000
04/08/2003	3.950	51.000	7.750	6.900

Tabella 5 – Analisi microbiologiche sull'acqua di pozzo impiegata per irrigare la parcella n. 2
 Table 5 – Microbiological analysis of the well water used to irrigate plot n. 2

Data	Escherichia coli (u.f.c./100 ml)	Coliformi totali (u.f.c./100 ml)	Coliformi fecali (u.f.c./100 ml)	Streptococchi fecali (u.f.c./100 ml)
26/05/2003	0	10	2	0
07/07/2003	2	2	2	0
04/08/2003	0	51	1	0

Tabella 6 – Analisi chimiche sull'acqua reflua impiegata per irrigare la parcella n. 1
 Table 6 – Chemical analysis of the effluent water used to irrigate plot n. 1

Data	Cod (mg/l)	Ntot (mg/l)	Ammoniaca (mg/l)	Nitriti (mg/l)	Nitrati (mg/l)
28/05/2003	545	2.020	1.480	0	0
16/06/2003	4.120	0	1.320	0	-
07/07/2003	-	-	1.328	0	66,64
14/07/2003	-	-	1.351	0	43,96
21/07/2003	-	-	1.369	0	95,20
04/08/2003	1.850	1.254	1.104	0,18	28,56

Tabella 7 – Analisi chimiche sull'acqua di pozzo impiegata per irrigare la parcella n. 2
 Table 7 – Chemical analysis of the well water used to irrigate plot n. 2

Data	Cod (mg/l)	Ntot (mg/l)	Ammoniaca (mg/l)	Nitriti (mg/l)	Nitrati (mg/l)
28/05/2003	6,4	6,6	-	-	4,60
16/06/2003	5,0	6,2	0,70	0,01	4,10
07/07/2003	-	-	0,03	0,00	1,93
14/07/2003	-	-	0,03	0,00	4,55
21/07/2003	4,8	6,1	0,02	0,00	6,00
04/08/2003	5,0	7,9	0,04	0,01	7,00

Tabella 8 – Analisi microbiologiche sull'acqua prelevata dal lisimetro della parcella 1 irrigata con acqua reflua
 Table 8 – Microbiological analysis of a water sample from the lysimeter of plot n. 1 irrigated with effluent water

Data	Escherichia coli (u.f.c./100 ml)	Coliformi totali (MPN/100 ml)	Coliformi fecali (MPN/100 ml)	Streptococchi fecali (MPN/100 ml)
26/05/2003	0	1	1	1
16/06/2003	0	210	3	1
07/07/2003	0	1	1	1
04/08/2003	0	0	0	0

Tabella 9 – Analisi microbiologiche sull'acqua prelevata dal lisimetro della parcella 2 irrigata con acqua di pozzo
 Table 9 – Microbiological analysis of a sample of water from the lysimeter of plot 2 irrigated with well water

Data	Escherichia coli (u.f.c./100 ml)	Coliformi totali (MPN/100 ml)	Coliformi fecali (MPN/100 ml)	Streptococchi fecali (MPN/100 ml)
26/05/2003	0	1	1	1
16/06/2003	1	460	4	3
07/07/2003	0	9	1	23

È evidente come la presenza dei microrganismi in esame sia del tutto trascurabile.

Alla data del 26 maggio 2003, quando è stata effettuata la prima irrigazione, il mais della parcella 1 (tesi) presentava piante con meno foglie e più piccole rispetto a quelle della parcella 2 (testimone). Inoltre, il colore delle piante della parcella 2 era di un verde più intenso. A 3 settimane dalla prima irrigazione le pian-

te della parcella 1 avevano raggiunto lo stesso sviluppo di quelle della parcella 2, presentando la stessa altezza, uguale sviluppo delle foglie e stessa intensità di colore.

La fioritura ha avuto inizio il 7 luglio nella piante della parcella 2 (irrigata con acqua di pozzo), in leggero anticipo rispetto a quelle della parcella 1.

Dalla metà di luglio si è verificato un parziale

Figura 2 – Corridoio tra le due parcelle (foto a sinistra) in corrispondenza dell'avvallamento e particolare (foto a destra) delle piante della parcella 1 interessate dall'ingiallimento
Figure 2 – Strip between the two plots (photo on the left) in the area of the subsidence and detail (photo on the right) of those plants from plot 1 subject to yellowing



ingiallimento delle piante della parcella 1 (irrigata con refluo), in corrispondenza di un avvallamento del terreno che ha determinato un ristagno idrico (fig. 2). Le cause dell'ingiallimento sono riconducibili a:

- presenza di un modesto avvallamento che ha determinato un ristagno del refluo provocando asfissia radicale;
- occlusione dei pori dello strato superficiale del terreno dovuta ad una consistente presenza di solidi sospesi nel refluo (1.000 mg/l) che potrebbero aver ridotto la capacità di drenaggio;
- elevata concentrazione di azoto prevalentemente ammoniacale, presente nel refluo e pari mediamente a 1.400 mg/l;
- temperatura del refluo al momento della distribuzione di circa 20°C che, associata alle alte temperature dell'aria, ha sicuramente accentuato i fenomeni di ingiallimento evidenziati.

Analisi delle piante di mais

Alla fine del ciclo irriguo, prima della raccolta del mais da insilato, sono stati prelevati, su ciascuna parcella, n. 3 campioni da 5 piante ciascuno. Di ogni campione è stata misurata la

lunghezza delle piante ed il peso. Quindi i tre campioni di ogni parcella sono stati tritati al fine di condurre le analisi microbiologiche (coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi fecali, *Escherichia coli* e *Salmonella* s.p.) e chimiche (azoto, fosforo, potassio).

Nelle tabelle 10 e 11 si riportano i valori dell'altezza e del peso delle piante prelevate dalla parcella 1 e dalla parcella 2. Dai risultati ottenuti si evince che le piante di mais coltivate nella parcella 1 hanno lo stesso sviluppo in altezza di quelle coltivate nella parcella 2; tuttavia il peso delle piante della parcella 1 è leggermente inferiore a quello della parcella 2. In media una pianta coltivata nella parcella 1 (peso medio 0,765 kg) pesa il 13% in meno di quella coltivata nella parcella 2 (peso medio 0,888 kg). Volendo riportare la produzione ad ettaro, considerato il numero medio di piante per metro quadrato pari a 7, si sono avute rese pari a 535,5 quintali di insilato con l'utilizzo del refluo e 621,6 quintali con l'utilizzo dell'acqua di pozzo.

Sui campioni di mais sono state inoltre eseguite analisi per determinare l'umidità, il contenuto proteico, i grassi, le ceneri, l'amido e il contenuto di fibra (tab. 12). I risultati della ta-

Tabella 10 – Risultati delle misure di lunghezza delle piante dei campioni prelevati dalle parcelle 1 e 2
Table 10 – Length of the sample plants taken from plots 1 and 2

Parcelle n. 1 irrigata con acque reflue	
Campione n.	Altezza (cm)
1	260
2	260
3	250
Media	257
Parcelle n. 2 irrigata con acqua di pozzo	
Campione n.	Altezza (cm)
1	240
2	260
3	270
Media	257

Tabella 11 – Risultati delle pesate dei campioni prelevati dalle parcelle
Table 11 – Weight of the sample plants taken from plots 1 and 2

Parcelle n. 1 irrigata con acque reflue	
Campione n.	Peso (kg)
1	4,260
2	4,320
3	2,900
Totale	11,480
Peso medio per pianta	0,765
Parcelle n. 2 irrigata con acqua di pozzo	
Campione n.	Peso (kg)
1	3,860
2	4,540
3	4,920
Totale	13,320
Peso medio per pianta	0,888

Tabella 12 – Valori di umidità, contenuto proteico, grassi, fibre, ceneri ed amido rilevati nei campioni di mais della parcella 1 e parcella 2
Table 12 – Levels of humidity, protein content, fats, fibre, ashes and starch in the maize samples taken from plots 1 and 2

Parametro	Parcelle 1	Parcelle 2
Umidità	67,00%	69,00%
Proteina greggia (NIRA)	7,67%	6,47%
Grassi greggi (NIRA)	2,29%	2,31%
Fibra grezza (NIRA)	20,09%	21,61%
Ceneri gregge (NIRA)	4,32%	4,01%
Amido (NIRA)	29,86%	29,39%
Fibra NDF (NIRA)	42,84%	45,26%
Fibra ADF (NIRA)	16,92%	18,45%
Fibra ADL (NIRA)	2,13%	2,03%

Tabella 12 sono riportati come grafico in figura 3. I dati dei due campioni non differiscono in modo sostanziale se non per il contenuto in proteina greggia.

I risultati delle analisi microbiologiche svolte sui campioni di mais prelevati dalle due parcelle hanno fornito i risultati riportati in tabella 13. Nella stessa tabella è riportata, per ciascun parametro misurato, la metodica di misura seguita.

Gli esami eseguiti hanno messo in luce come i parametri microbiologici tradizionali

Figura 3 – Valori di umidità, contenuto proteico, grassi, fibre, ceneri ed amido rilevati nei campioni di mais della parcella 1 e parcella 2
Figure 3 – Levels of humidity, protein content, fats, fibre, ashes and starch in the maize samples taken from plots 1 and 2

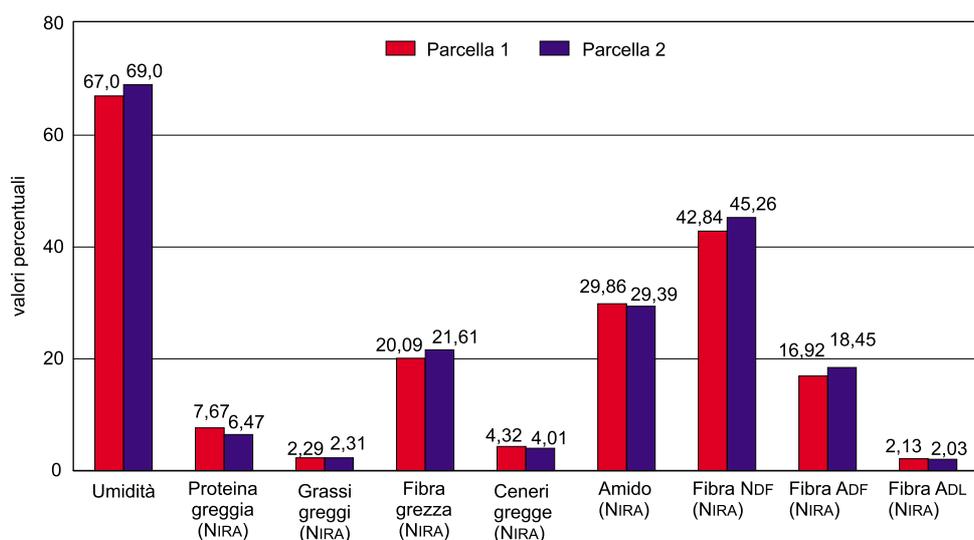


Tabella 13 – Risultati della analisi microbiologiche effettuate in data 14 agosto 2003 sui campioni di mais prelevati dalla parcella n. 1 (irrigata con acqua reflua) e n. 2 (irrigata con acqua di pozzo)
 Table 13 – Results of the microbiological analysis carried out on 14 August 2003 on the maize samples taken from plot 1 (irrigated with refluent water) and plot 2 (irrigated with well water)

Parametro	Metodica	Unità di misura	Parcella 1 (acqua reflua)	Parcella 2 (acqua di pozzo)
Coliformi totali	Metodo interno accreditato	ufc/g	280.000.000	170.000.000
Coliformi fecali	ISTISAN 1996/35	MPN/g	> 24.000	> 24.000
<i>Escherichia coli</i>	ISTISAN 1996/35	ufc/g	< 3	< 3
Streptococchi fecali	Metodo interno accreditato	ufc/g	10.000	2.300
<i>Salmonella</i> s.p. in alimenti non normati	Rapporto ISTISAN 1996/35 Met 10	Presenza / assenza in 25 g o ml	Assente	Assente
<i>Salmonella</i> s.p.	Metodo interno accreditato	MPN/g	< 3	< 3

(coliformi, streptococchi) si siano rivelati inadatti ad evidenziare la presenza di patogeni. Infatti la determinazione di *escherichia coli* e salmonella, ha mostrato come tali microrganismi, potenzialmente patogeni per gli uomini e per gli animali, siano risultati completamente assenti nei campioni irrigati con acqua reflua e con acqua di pozzo.

Le particolari condizioni climatiche (lunghi periodi di insolazione) durante il primo periodo di sperimentazione, probabilmente hanno favorito la persistenza di coliformi e streptococchi ambientali. C'è confermato dalla presenza di coliformi totali, fecali e streptococchi anche nelle piante irrigate con acqua di pozzo. È da segnalare inoltre, che le analisi sono state effettuate (14 agosto 2003) solo dopo dieci giorni dall'ultima irrigazione (4 agosto 2003), un tempo considerato breve per la scomparsa degli streptococchi dalle colture irrigate. Per tali motivi le future indagini sui microrganismi di origine fecale saranno condotte direttamente su *escherichia coli* e *salmonella* anche in relazione a normative vi-

Tabella 14 – Percentuale di Azoto, Fosforo e Potassio misurati sui campioni di mais delle parcelle 1 e 2.
 Table 14 – Percentages of sulphur, phosphorus and potassium measured in maize samples from plots 1 and 2

Parametro	Parcella 1	Parcella 2
Azoto Totale (TNK)	1,18%	1,06%
Fosforo (P)	0,12%	0,14%
Potassio	1,74%	1,26%

genti in materia sanitaria.

L'ultima analisi condotta sui campioni di mais è relativa alla determinazione del contenuto di azoto, fosforo e potassio. I risultati sono riportati in tabella 14. Dai risultati della tabella 14 emerge che il mais irrigato con acqua reflua ha pressoché la stessa percentuale di azoto, fosforo e potassio del mais irrigato con acqua di pozzo. Pertanto si può affermare che, relativamente a questi parametri, l'irrigazione con acqua reflua non ha avuto influenza.

Analisi microbiologiche del terreno

I risultati delle analisi microbiologiche condotte sul terreno a varie profondità nelle due parcelle, prima della semina e dopo il raccolto, al fine di valutarne la contaminazione

Tabella 15 – Parcella 1 (irrigata con refluo): valori dei parametri microbiologici misurati a 4 diverse profondità di carotaggio prima della semina
 Table 15 – Plot 1 (irrigated with refluent water): values of microbiological parameters measured at 4 different logging depths before sowing

Profondità di carotaggio (cm)	<i>Escherichia coli</i> (u.f.c./100 g)	Coliformi totali (u.f.c./100 g)	Coliformi fecali (u.f.c./100 g)	Streptococchi fecali (u.f.c./100 g)
0-40	<10	300	10	<10
40-65	<10	300	<10	<10
65-100	<10	20	<10	<10
100-150	<10	150	<10	<10

batterica, sono riportati nelle tabelle 15-18. La prima serie di campionamenti è stata eseguita il 10 marzo 2003, effettuando prelievi a quattro differenti profondità (0-40 cm; 40-65 cm; 65-100 cm; 100-150 cm). Nelle tabelle 15 e 16 si riportano rispettivamente i risultati ottenuti.

Dai dati si evince che il carico microbico fecale del terreno prima della semina può ritenersi trascurabile. La presenza di coliformi totali non è da ritenersi legata alla contaminazione di organismi patogeni.

Successivamente al raccolto del mais, il giorno 15 settembre 2003, sono stati eseguiti dei carotaggi sulle due parcelle per ripetere le stes-

se analisi condotte prima della semina. Poiché l'infiltrazione dell'acqua di irrigazione risultava interessare uno strato di terreno di 50 cm del terreno sono stati eseguiti 4 carotaggi per parcella entro tale spessore. Sulla parcella 1, irrigata con acqua reflua, il carotaggio è stato spinto fino a 100 cm per verificare se l'infiltrazione potesse raggiungere tale profondità.

Nelle tabelle 17 e 18 vengono riportati i risultati delle analisi effettuate.

Dai risultati esposti si evince chiaramente come gli strati di terreno esaminati siano praticamente esenti da una contaminazione microbica significativa in entrambe le parcelle.

Tabella 16 – Parcella 2 (irrigata con acqua di pozzo): valori dei parametri microbiologici misurati a 4 diverse profondità di carotaggio prima della semina.

Table 16 – Plot 2 (irrigated with well water): values of the microbiological parameters measured at 4 different logging depths before sowing

Profondità di carotaggio (cm)	Escherichia coli (u.f.c./100 g)	Coliformi totali (u.f.c./100 g)	Coliformi fecali (u.f.c./100 g)	Streptococchi fecali (u.f.c./100 g)
0-40	<10	300	10	<10
40-65	<10	200	<10	<10
65-100	<10	<10	<10	<10
100-150	<10	<10	<10	<10

Tabella 17 – Parcella 1 (irrigata con acqua reflua): valori dei parametri microbiologici misurati a 2 diverse profondità di carotaggio dopo il raccolto.

Table 17 – Plot 1 (irrigated with reflux water): values of the microbiological parameters measured at 2 different logging depths after the harvest

Carotaggio	Profondità (cm)	Escherichia coli (u.f.c./100g)	Coliformi totali (u.f.c./100 g)	Coliformi fecali (u.f.c./100 g)	Streptococchi fecali (u.f.c./100 g)
1	50	<10	70	10	<10
	100	<10	30	<10	<10
2	50	<10	58	<10	<10
	100	<10	<10	<10	<10
3	50	<10	90	<10	<10
	100	<10	90	<10	<10
4	50	<10	90	<10	<10
	100	<10	40	<10	<10

Tabella 18 – Parcella 2 (irrigata con acqua di pozzo): valori dei parametri microbiologici misurati alla profondità di 50 cm di carotaggio dopo il raccolto.

Table 18 – Plot 2 (irrigated with well water): values of the microbiological parameters measured at logging depth of 50 cm after the harvest

Carotaggio	Profondità (cm)	Escherichia coli (u.f.c./100g)	Coliformi totali (u.f.c./100 g)	Coliformi fecali (u.f.c./100 g)	Streptococchi fecali (u.f.c./100 g)
1	50	<10	< 10	10	<10
2	50	<10	< 10	<10	<10
3	50	<10	30	<10	<10
4	50	<10	30	<10	<10

Conclusioni

Allo stato attuale della ricerca si può ritenere efficace l'utilizzo dei reflui zootecnici per la fertirrigazione per i seguenti motivi:

- irrilevante contaminazione da parametri microbiologici del terreno e delle acque di infiltrazione con garanzie dal punto di vista igienico-sanitario;
- tutela delle risorse idriche sotterranee dai massicci prelievi che solitamente avvengono nei prolungati periodi di siccità estivi;
- ritorno economico dovuto al mancato ac-

quisto di concimi chimici sfruttando gli elementi nutritivi contenuti nel refluo. I redditi delle due parcelle infatti si equivalgono, nonostante la minore produttività della tesi.

Il progetto prevede al secondo anno la realizzazione di un impianto di fitodepurazione per un ulteriore trattamento del refluo in uscita dal depuratore CODEP. A tal fine sarà predisposta una ulteriore parcella sperimentale irrigata con tale refluo che, presumibilmente, avrà un minor contenuto in solidi sospesi e in azoto ammoniacale.

