



**Water pollution reduction and water  
Saving using a natural zeolite cycle**

# **Linee Guida per la regolamentazione regionale e nazionale in materia di prevenzione dell'inquinamento da nitrati**



**LIFE+ Environment Policy and Governance 2010  
Project LIFE10/ENV/IT/000321**

*Realizzato con il contributo dello strumento  
finanziario LIFE della Comunità Europea*





**WATER POLLUTION REDUCTION AND WATER  
SAVING USING A NATURAL ZEOLITITE CYCLE**

**Linee Guida  
per la regolamentazione regionale  
e nazionale in materia di prevenzione  
dell'inquinamento da nitrati**

*Guidelines for Regional and National legislation  
on matter of prevention of nitrate pollution*



**LIFE+ Environment Policy and Governance 2010  
Project LIFE10/ENV/IT/000321**

**Realizzato con il contributo dello strumento finanziario LIFE della Comunità Europea**



**BENEFICIARIO COORDINATORE:**

Università degli Studi di Ferrara



**BENEFICIARI ASSOCIATI:**

Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia



CRSA-MED Centro Ricerche e Servizi Ambientali



Provincia di Ferrara



Ente di gestione per i Parchi e le Biodiversità - Delta del Po



CURSA - Consorzio Universitario per la Ricerca Socio-economica e per l'Ambiente

**RESPONSABILE DELL'AZIONE:**

Ente di Gestione per i Parchi e la Biodiversità - Delta del Po

**FOTOGRAFIE:**

Progetto ZeoLIFE

**PROGETTO GRAFICO E STAMPA:**

Tipolitografia Baraldi snc - Cento (Fe) - Febbraio 2016

# INDICE

5	Premesa
6	Scopo delle Linee Guida
6	Zeoliti e zeolititi
7	Il progetto ZeoLIFE
12	Quali zeolititi?
13	Analisi degli studi condotti sulla zeolite come buona pratica in agricoltura e zootecnia
14	Utilizzo delle zeolititi e applicazione nelle attività agricole
17	Utilizzo delle zeolititi all'interno del quadro normativo attuale
22	Gestione sostenibile delle risorse idriche
25	Politiche per la conservazione degli habitat
26	Programmazione regionale sullo sviluppo rurale
28	Zeolititi nel contesto economico territoriale
32	Conclusioni
33	Bibliografia
35	Album fotografico del progetto ZeoLIFE



## PREMESSA

Il progetto ZeoLIFE nasce principalmente a partire da due problemi ambientali legati all'agricoltura: l'utilizzo della risorsa a scopi irrigui e l'inquinamento dell'acqua provocato dall'utilizzo di sostanze contenenti nitrati.

L'agricoltura intesa in senso lato e le attuali pratiche agronomiche sono strettamente collegate con le risorse naturali, in particolare l'acqua, che diventa materia prima per tutte le colture e che viene in parte restituita al sistema idrologico caricata di inquinanti.

L'agricoltura è la principale utilizzatrice (circa 60% con punta del 95% nel bacino idrografico del Po) delle risorse idriche sia superficiali (fiumi, laghi) che profonde (falde acquifere). L'agricoltura utilizza anche elementi e composti che devono essere addizionati al terreno per aumentare la resa delle colture, come fertilizzanti e ammendanti, chimici e/o naturali.

Di contro la maggior parte dell'acqua piovana ed irrigua apportata ai suoli agricoli viene dispersa per ruscellamento o per drenaggio, a seconda della composizione del terreno, portandosi dietro un insieme di sostanze (nitrati, fosforo, metalli pesanti nocivi, pesticidi, erbicidi) che alterano lo stato di salute delle acque e generano a cascata effetti indiretti su altre componenti naturali.

Negli ultimi decenni studi e regolamentazioni a vari livelli hanno cercato di normare la materia attraverso un contenimento degli impatti ambientali e la diffusione di tecnologie innovative e buone pratiche agronomiche.

In questo contesto il progetto ZeoLIFE si inserisce proponendo come soluzione l'uso di minerali naturali dalle particolari caratteristiche chimico-fisiche che, in funzione delle loro proprietà intrinseche di capacità di scambio cationico e ritenzione idrica, si prospettano molto interessanti per il loro utilizzo in agricoltura.



## SCOPO DELLE LINEE GUIDA

Scopo delle linee guida è quello di esplorare i possibili scenari in cui le zeoliti possono essere impiegate come buone pratiche agricole, a partire dai risultati del progetto ZeoLIFE e di altre esperienze diffuse, e come queste possono inserirsi nel quadro strategico di protezione della risorsa idrica.

Per tale motivo verranno sottoposte all'attenzione degli Enti deputati dalla normativa nazionale alla gestione e conservazione della risorsa, in primis la Regione Emilia Romagna, per integrare la legislazione esistente sul problema ambientale dei nitrati.

Struttura e contenuti delle linee guida sono stati esaminati in via preliminare nel corso di una tavola rotonda realizzata a margine del seminario del progetto ZeoLIFE del 4 giugno 2015. Alla tavola rotonda hanno partecipato rappresentanti delle istituzioni locali, delle associazioni di categoria, dei consorzi di bonifica e delle università e i tecnici che hanno lavorato al progetto.

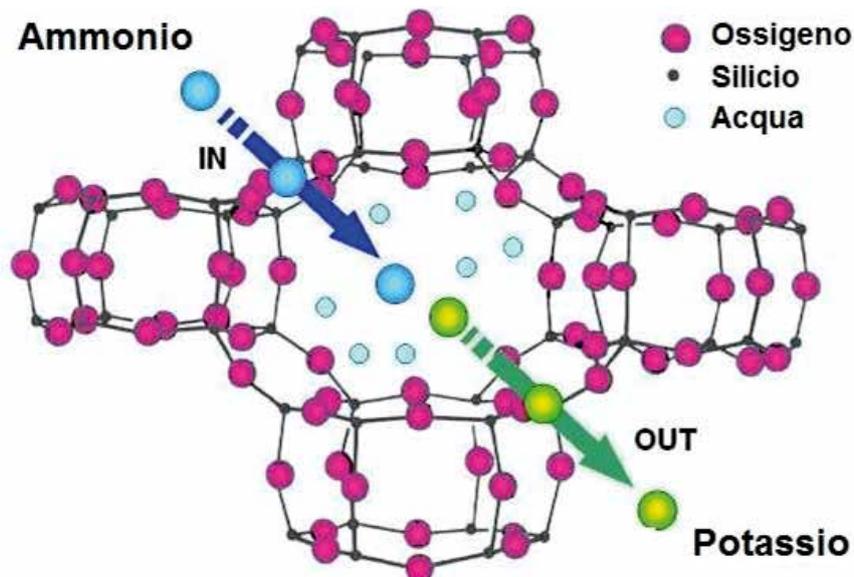
Gli elementi interessanti che sono emersi durante la tavola rotonda riguardano la capitalizzazione dei risultati del progetto e le prospettive di utilizzo della zeolite su vasta scala. Spunti per l'implementazione delle linee guida:

- analizzare il PSR 2014-2020 della Regione Emilia Romagna in ottica di metodologie che riducano l'utilizzo di fertilizzanti;
- l'utilizzo dei GOI (Gruppi operativi per l'innovazione) per continuare a lavorare sulle tematiche del progetto ZeoLIFE;
- ragionare in termini di uso efficiente della risorsa idrica e non solo in termini di risparmio;
- gli investimenti per l'efficienza del sistema ambientale sono a carico del pubblico ma il vantaggio finale, in termini di mancato costo, si ripercuotono soprattutto sulle aziende agricole.

Considerate le particolarità del territorio in cui si è svolta la sperimentazione del progetto, la pianura deltizia del fiume Po in cui l'acqua è elemento strutturale, l'uso delle zeoliti è stato indagato anche in funzione e/o ad integrazione degli elementi di valorizzazione del paesaggio e di incremento delle funzioni ecosistemiche, in una visione olistica di sviluppo sostenibile del territorio.

## ZEOLITI E ZEOLITITI

Le zeoliti sono minerali appartenenti al gruppo dei silicati, ovvero minerali costituiti da impalcature di tetraedri formati da quattro atomi di ossigeno ai vertici collegati tra loro. Al centro del tetraedro vi è normalmente silicio, ma talvolta viene sostituito da alluminio. A seguito di queste sostituzioni, la carica elettrica globale è negativa, e per raggiungere la neutralità la struttura del minerale "ospita" ioni a carica positiva (cationi), in numero tanto maggiore quanto più è l'alluminio che sostituisce il silicio (Figura 1).



**Figura 1:** Struttura cristallina della Chabasite e rappresentazione schematica dello scambio cationico con una soluzione ricca in ammonio.

La famiglia delle zeoliti comprende oltre 50 specie minerali, tutte caratterizzate dall'avere:

- Cavità che variano dal 20 al 50% del volume totale del minerale. Tali cavità risultano dalla particolare disposizione dei tetraedri che formano l'impalcatura del minerale, ed in esse si trovano i cationi compensatori della carica.

- Presenza di canali che collegano tra di loro le cavità del minerale con l'esterno; sono la forma e dimensione di queste cavità e canali che permettono di diversificare le zeoliti in diverse specie. Le più abbondanti in natura sono la clinoptilolite, la chabasite, la phillipsite, la mordenite, l'analcime e la laumontite.
- Capacità di scambio cationico (CSC) elevata e selettiva, ossia sono in grado di "selezionare" il catione che può essere ospitato nei canali (Figura 1).
- Disidratazione reversibile, ossia possono disidratarsi e reidratarsi all'infinito.
- Comportamento catalitico, cioè favoriscono reazioni chimiche.

### **COSA S'INTENDE PER "CAPACITÀ DI SCAMBIO CATIONICO" (CSC) DELLE ZEOLITI?**

I cationi all'interno dei canali possono essere facilmente rimossi e sostituiti da altri elementi purché si mantenga il bilanciamento delle cariche cationiche. Questo vuol dire che se le zeoliti vengono messe a contatto con sostanze ricche di cationi liberi, come ad esempio quelli presenti in una soluzione, esse scambiano (cedono) una parte dei cationi presenti nella loro struttura cristallina e li sostituiscono con quelli presenti nella soluzione purché abbiano dimensioni e carica adatti. Questa proprietà si misura in termini di capacità, ovvero di equivalenti (o moli) di cationi scambiati per grammo di sostanza (meq/g oppure moli/g). Le CSC delle zeoliti variano da un minimo di circa 2 ad un massimo di 7 meq/g a seconda della specie. L'elevata capacità di scambio cationico è alla base della cessione "intelligente" dei nutrienti (ammonio, potassio, calcio, ecc..) dalle zeoliti alle piante, indotta dall'emissione di acidi humici delle radici e, spesso, mediata dall'azione dei batteri presenti nel suolo.

### **COSA S'INTENDE PER "DISIDRATAZIONE REVERSIBILE" ?**

Le zeoliti sono minerali (allumino-silicati) con impalcatura tridimensionale contenente cavità occupate da cationi (principalmente Ca, Na, K e Mg) e molecole d'acqua. L'acqua può essere facilmente rimossa e riassorbita al variare della temperatura e dell'umidità relativa dell'ambiente. Per questa ragione, quando questi minerali sono aggiunti al terreno, possono cedere e captare acqua e calore a seconda delle condizioni del momento svolgendo la funzione di "termo-idroregolatori". A queste proprietà della zeolite va aggiunta quella della zeolite che trattiene acqua per effetto della micro e macroporosità. In terreni argillosi la zeolite aumenta la permeabilità e la percolazione di acqua riducendo il ruscellamento superficiale. Nei terreni sabbiosi trattiene l'acqua che altrimenti percolerebbe più rapidamente nelle falde. In entrambi i casi l'acqua presente nelle zeoliti e trattenuta dalle zeoliti rende più facilmente accessibile questa fondamentale risorsa alle colture e può consentire un minor consumo per l'irrigazione.

Le zeoliti sono rocce (tufi ed ignimbriti) diagenizzate formate prevalentemente (in percentuale in peso maggiore del 50%) da zeoliti. Le zeoliti posseggono evidentemente le stesse proprietà delle zeoliti visto che sono composte prevalentemente da questi minerali, ed altre proprietà che derivano dalla loro natura litologica come, ad esempio, la micro e macro porosità tessiturale, la consistenza litoide, la resistenza meccanica, la ritenzione idrica, la bassa densità. A seconda della specie zeolitica prevalente nella zeolite, queste rocce saranno indicate come "zeolite a clinoptilolite", "zeolite a chabasite", etc..

## **IL PROGETTO ZEOLIFE**

Il progetto ZeoLIFE è stato concepito per testare un innovativo ciclo integrato delle zeoliti, avente lo scopo di diminuire l'apporto di fertilizzanti azotati e di acqua irrigua in agricoltura, con la diretta conseguenza di una riduzione dell'inquinamento da nitrati e dell'uso eccessivo delle risorse idriche.

Le zeoliti utilizzate nel progetto sono italiane, naturalmente ricche di potassio e acqua, e sono state "caricate" (arricchite) con  $\text{NH}_4^+$  (ione ammonio, che una volta ossidato in forma nitrica diviene fonte di azoto per i vegetali) grazie al miscelamento con liquami suini e, sparse in giusta quantità nei campi agricoli, agiscono come un fertilizzante a lento rilascio. Esse non risentono del dilavamento da parte delle piogge, ma cedono i nutrienti solo a contatto con le radici delle piante, evitando la dispersione dell'azoto nel sistema idrico superficiale e migliorando di conseguenza le rese produttive.

La correzione dei terreni agricoli con zeolite può rappresentare anche una difesa contro i fenomeni di desertificazione causati dai cambiamenti climatici e dall'eccessivo sfruttamento del suolo. Le zeoliti possiedono un alto contenuto di acqua nel loro reticolo cristallino; inoltre gli scambi chimici che si innescano con gli acidi humici permettono la solubilizzazione dei fosfati, principali responsabili della formazione di croste dure che impediscono la percolazione dell'acqua.



Sulla base di questi presupposti, gli obiettivi che il progetto ha inteso perseguire sono stati:

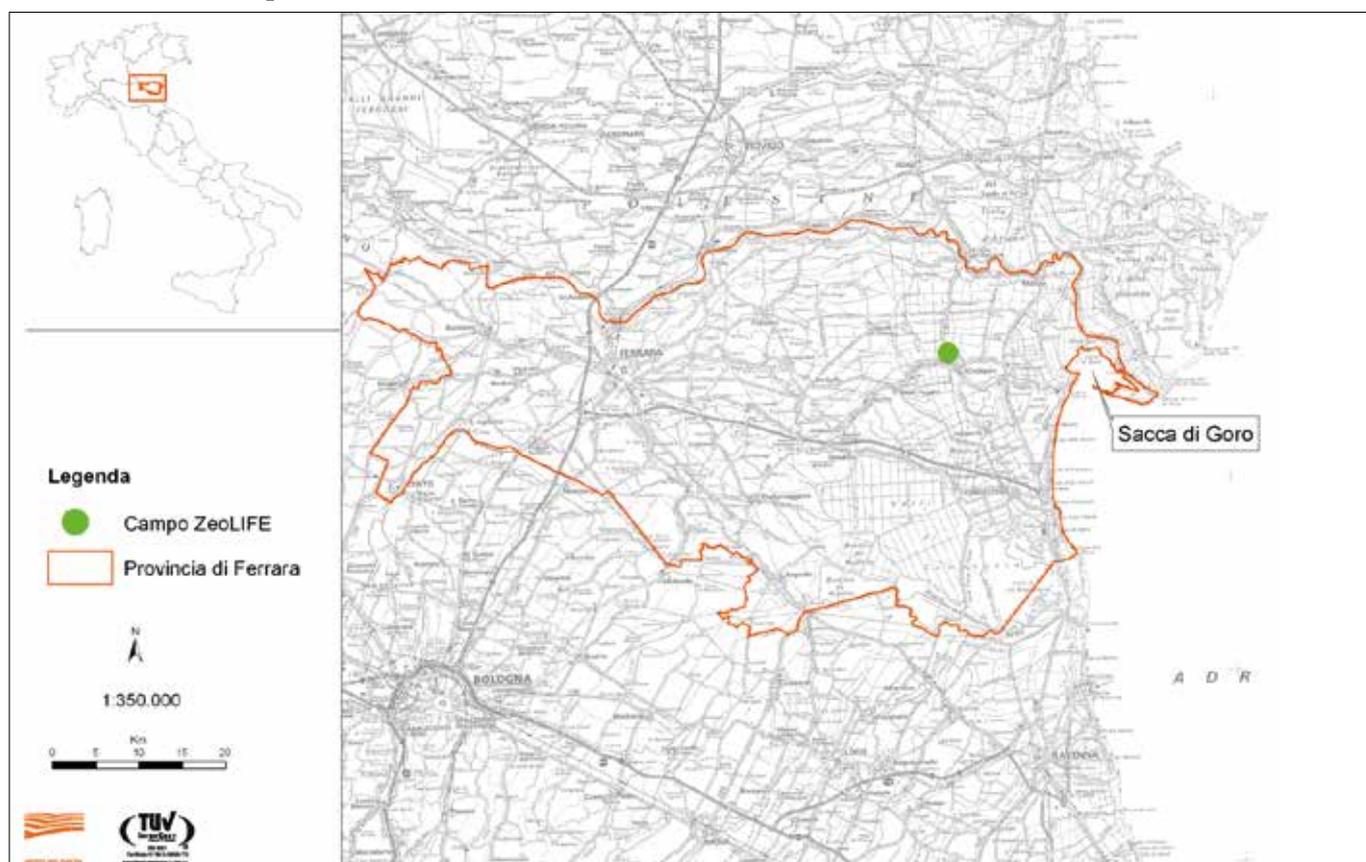
- Protezione delle acque superficiali e di falda dall'inquinamento da nitrati derivati dall'agricoltura intensiva;
- Riduzione del carico azotato che viene trasportato nelle sacche lagunari del Delta del Po;
- Riduzione della quantità di fertilizzanti chimici usati in agricoltura;
- Riduzione della quantità di acqua utilizzata per irrigare;
- Riduzione dell'impatto ambientale dei reflui degli allevamenti di bestiame;
- Miglioramento delle caratteristiche pedologiche e sedimentologiche dei suoli siltoso-argillosi;
- Contrasto ai fenomeni di desertificazione, mantenendo una disponibilità d'acqua nel suolo anche in periodi siccitosi ed impedendo l'eccessivo sfruttamento del terreno agricolo.

Con il progetto è stato realizzato un prototipo per il trattamento del liquame suino, a cui una quantità appropriata di zeolite potassica naturale (zeolite a chabasite) è stata addizionata ed agitata meccanicamente (Campisi et al., 2012). La zeolite è stata poi lasciata sedimentare affinché raggiungesse l'equilibrio cationico con il liquame: in un lasso di tempo di 12-18 ore essa ha sottratto per scambio cationico un considerevole quantitativo di  $\text{NH}_4^+$  dal liquido. Il contenuto in  $\text{NH}_4^+$  del liquame suino al termine dei trattamenti è risultato mediamente ridotto del 20% con CSC operativa della zeolite corrispondente a 0.60 meq/g (i.e. ogni g di zeolite ha rimosso circa 8 mg di  $\text{NH}_4^+$ ). Anche i contenuti di potassio e fosforo del liquame subiscono una decrescita, al contrario di sodio, calcio, magnesio e metalli pesanti che non subiscono significanti variazioni (Brigatti et al., 2013, Faccini et al., 2015).

Con il progetto è stata effettuata inoltre una sperimentazione in campo aperto del ciclo integrato delle zeoliti per 3 anni di coltivazione. La zeolite caricata ad  $\text{NH}_4^+$  nel prototipo è stata addizionata a due parcelle sperimentali di terreno agricolo, ove ha rilasciato il nutriente solamente per scambio cationico, indotto dagli acidi umici delle radici delle piante ed in proporzione alle reali necessità delle colture. La sperimentazione ha previsto anche la realizzazione di due parcelle addizionate con zeolite allo stato naturale e tre parcelle di controllo coltivate in maniera tradizionale, per comparazione (Coltorti et al., 2015).

## Il campo sperimentale

Il campo sperimentale è situato nell'estremità orientale della Provincia di Ferrara, in un'area agricola nelle vicinanze dell'abitato di Codigoro. La posizione relativa rispetto alla Provincia di Ferrara ed alla Sacca di Goro è visibile in Figura 2.



**Figura 2:** Localizzazione del campo sperimentale rispetto alla Provincia di Ferrara ed alla Sacca di Goro

Lo strato superficiale del suolo, ovvero quello interessato dalle pratiche agricole, è un limo argilloso, dunque a tessitura fine.

Il campo, della dimensione di poco più di 6 ettari, è stato suddiviso in parcelle per effettuare la sperimentazione della zeolite in campo agronomico, secondo le indicazioni ricavate dai test in serra. Il materiale semi-lavorato di cava è stato utilizzato in due taglie diverse: zeolite “fine”, con granulometria compresa tra 0,7 e 2 mm e “grossolana”, con taglia compresa tra 3 e 6 mm. L’uso di zeolite fine ha consentito di ottenere il massimo intrappolamento di ammonio dal trattamento con il prototipo (in media 7-8 mg per ciascun grammo di zeolite, vedi anche *Faccini et al.*, 2015; la zeolite grossolana si arricchisce meno (in media 5 mg di  $\text{NH}_4^+$  per ciascun grammo di zeolite, vedi anche *Faccini et al.*, 2015) ma, addizionata in un suolo argilloso-limoso, ne migliora le caratteristiche tessiture.

La suddivisione per il primo anno di coltivazione sperimentale (Anno agronomico 2012/13) comprendeva 6 parcelle (Figura 3, Tabella 1):

- tre controlli, senza utilizzo di zeolite (CNTR 1, 2, 3);
- una parcella ammendata con 7 Kg/m<sup>2</sup> di zeolite fine arricchita in  $\text{NH}_4^+$  (70 ton/ha, CZE0 1);
- una parcella ammendata con 5 Kg/m<sup>2</sup> di zeolite grossolana naturale (50 ton/ha, NZEO5);
- una parcella ammendata con 15 Kg/m<sup>2</sup> di zeolite grossolana naturale (150 ton/ha, NZEO15).

Per il secondo anno di coltivazione sperimentale (Anno agronomico 2013/14) è stata creata una nuova parcella ammendata con zeolite grossolana arricchita in  $\text{NH}_4^+$  dal secondo controllo, e la dose nella parcella ammendata con zeolite caricata l’anno precedente è stata portata al pari della nuova parcella (Figura 4, Tabella 1):

- tre controlli, senza utilizzo di zeolite (CNTR 1, 2, 3);
- due parcelle ammendate con 10 kg/m<sup>2</sup> di zeolite arricchita in  $\text{NH}_4^+$ , una con materiale fine (CZE0 1) e una con materiale grossolano (CZE0 2);
- una parcella ammendata con 5 Kg/m<sup>2</sup> di zeolite grossolana naturale (50 ton/ha, NZEO5);
- una parcella ammendata con 15 Kg/m<sup>2</sup> di zeolite grossolana naturale (150 ton/ha, NZEO15).

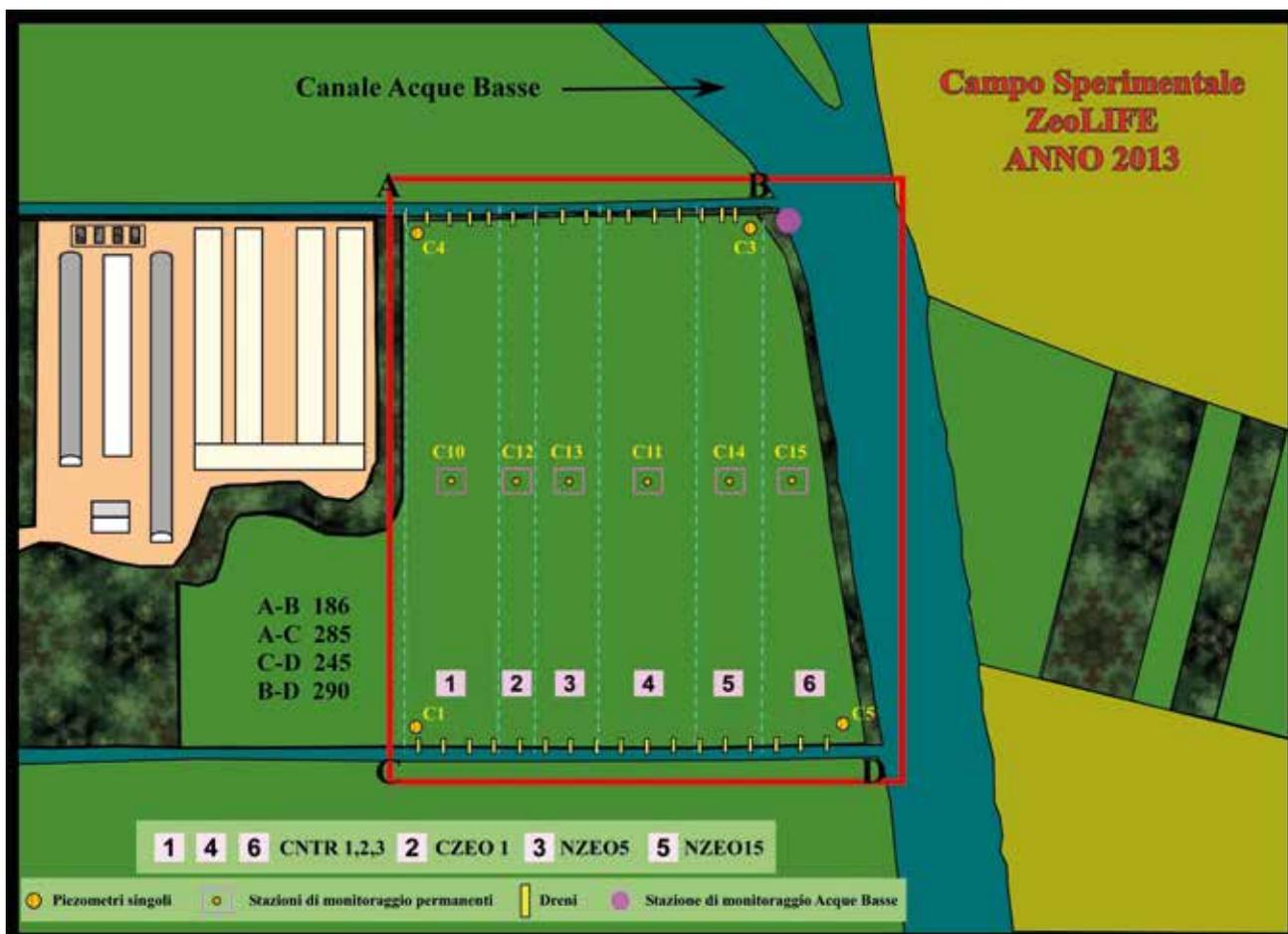
Nel terzo anno di coltivazione (Anno agronomico 2014/15) l’assetto del campo sperimentale non è variato e non è stata aggiunta nuova zeolite.

Parcella	Superficie (ha)	Dose di zeolite (ton/ha)			Apporto di N da zeolite (kg N/ha)			Apporto di N da fertilizzante (Kg N/ha)			Riduzione fert. (%)			Resa (q/ha)			Incremento* (%)		
		Sorgo	Mais	Grano	Sorgo	Mais	Grano	Sorgo	Mais	Grano	Sorgo	Mais	Grano	Sorgo	Mais	Grano	Sorgo	Mais	Grano
CNTR 1	1,51				-	-		175	241	149				57.5	94.9	63.7			
CNTR 2	1,51: 1,11**				-	-		183	236	157				65.3	107	69.9			
CNTR 3	0,78				-	-		151	214	184				51.5	88.3	64.5			
CZE0 1	0,50	70	30	0	436	160	0	81	123	101	52	46	41	66.3	97.1	70.6	13.9	0.12	6.93
CZE0 2	0,40	-	100	0	-	390	0	-	123	104	-	47	41	-	100	65.3	-	3.12	-1.08
NZEO5	1,01	50	0	0	0	0	0	122	180	114	28	22	32	60.3	103	72.0	3.7	6.30	9.06
NZEO15	1,01	150	0	0	0	0	0	127	176	114	25	23	32	60.3	118	70.6	3.7	21.7	6.91

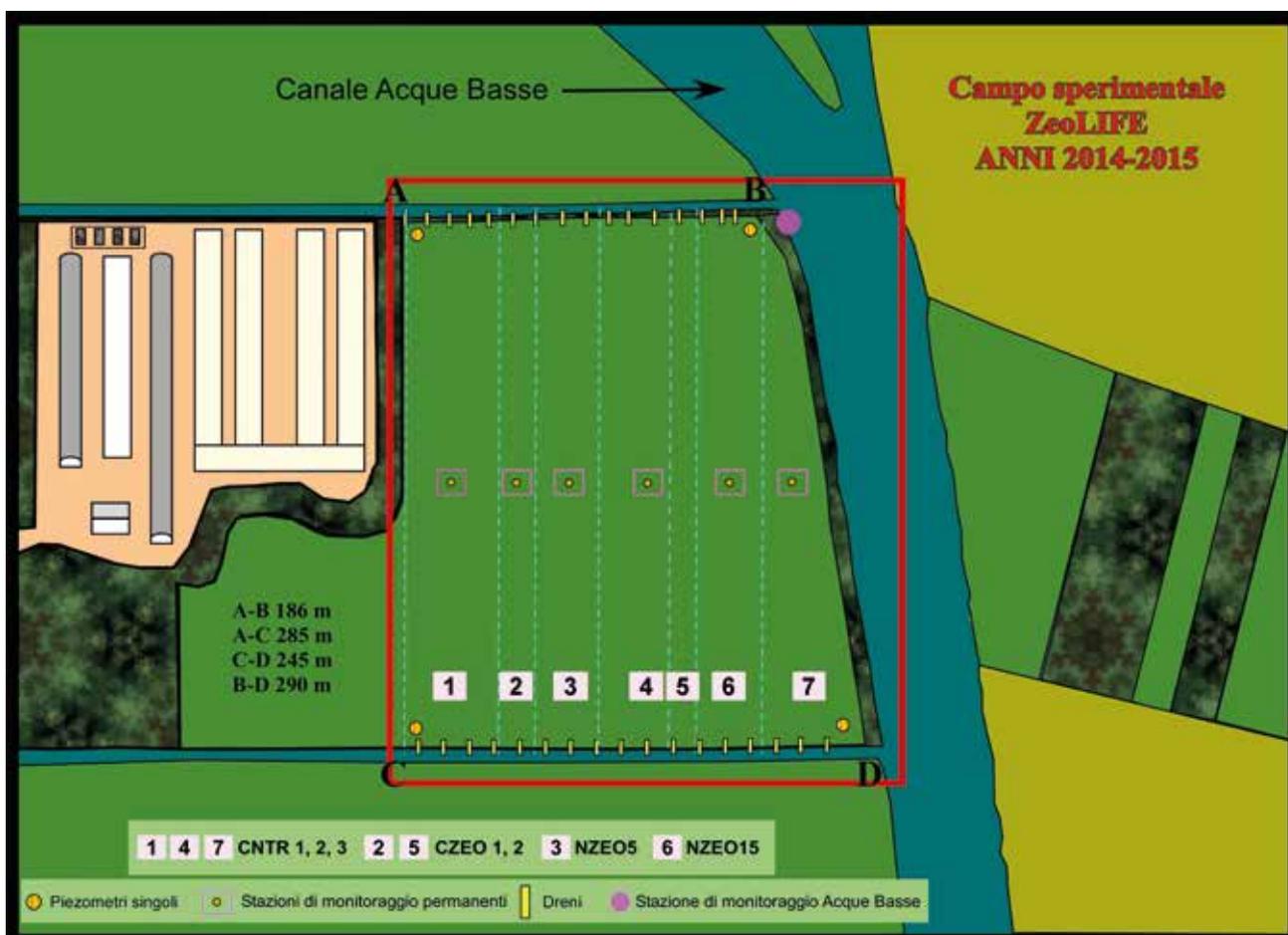
\*\* la superficie di CNTR 2 è stata ridotta in autunno 2013 per la realizzazione della parcella CZE0 2

**Tabella 1:** Parcellizzazione del campo sperimentale, dosi di zeolite e azoto apportato al campo, percentuali di riduzione della fertilizzazione azotata, rese e percentuali di incrementi di resa per i tre anni di coltivazione sperimentale.





**Figura 3.** Schema del campo sperimentale nel primo anno di coltivazione (Anno agronomico 2012/13)



**Figura 4.** Schema del campo sperimentale nel secondo e terzo anno di coltivazione (Anni agronomici 2013/2014 e 2014/15)

Nei tre controlli sono state utilizzate le pratiche agricole intensive di tipo tradizionale, seguendo i piani colturali dell'azienda agricola ospitante il progetto: Sorgo da granella nel 2013, Mais nel 2014 e Grano duro nel 2015. Nelle parcelle addizionate con zeolite, sono state previste riduzioni della fertilizzazione, a partire dalla dose distribuita nei controlli:

- Anno 2012/13: {
  - CZEO 1: riduzione del 50%
  - NZEO5, NZEO15: riduzione del 30%
- Anno 2013/14: {
  - CZEO 1, CZEO 2: riduzione del 50%
  - NZEO5, NZEO15: riduzione del 30%
- Anno 2014/15: Riduzione del 30% in tutte le parcelle addizionate con zeolite.

I risultati del progetto ZeoLIFE in relazione agli obiettivi del progetto, lo sviluppo della sperimentazione condotta ha portato a verificare i seguenti risultati (Tabella 2).

Risultato atteso	Target atteso	Risultato verificato	Target raggiunto
Riduzione dell'inquinamento da nitrati nell'acqua delle falde e nelle acque superficiali	- Diminuzione del 50% dell'inquinamento da nitrati nell'acqua correggendo i terreni agricoli con 5-15 Kg/m <sup>2</sup> (a seconda della granulometria del terreno) di zeolite sia naturale che caricata ad NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - Riduzione del 20-30% del contenuto di NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> nel liquame suino	Riduzione del contenuto di nitrati nell'acqua interstiziale del terreno (porewater)  Riduzione del contenuto di NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> nel liquame animale a seguito del trattamento nel prototipo per l'arricchimento della zeolite	Concentrazione del nitrato nel porewater tra il 17 e il 43% inferiore rispetto ai controlli  Contenuto di NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> del liquame al termine dei trattamenti mediamente ridotto del 20% con CSC operativa media della zeolite di 0.60 meq/g (i.e. ogni g di zeolite ha rimosso circa 8 mg di NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )
Riduzione dell'inquinamento da nitrati nelle lagune costiere	Diminuzione del 50% dell'inquinamento da nitrati nell'acqua del sistema idrico superficiale correggendo i terreni agricoli con 5-15 Kg/m <sup>2</sup> sia naturale che caricata ad NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Riduzione del contenuto di nitrati nell'acqua immessa nel sistema idrico superficiale	Concentrazione del nitrato nell'acqua immessa nel sistema superficiale inferiore tra il 7 e il 30% rispetto ai controlli
Riduzione dei consumi idrici per l'irrigazione	Risparmio minimo del 30-40% di acqua per irrigazione	Riduzione della irrigazione nelle parcelle ammendate con zeolite  Minor volume di acqua drenato dal terreno nelle parcelle trattate con zeoliti	Riduzione del 50% dell'irrigazione su mais  Acqua trattenuta nelle parcelle addizionate con zeolite maggiore del 7-12% rispetto a quella trattenuta nei controlli
Riduzione dell'utilizzo di fertilizzanti di sintesi	Riduzione di almeno il 30% dell'uso di fertilizzanti di sintesi, con aggiunta di zeolite sia naturale che caricata ad NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Fertilizzazione ridotta del 30 e del 50% rispettivamente nelle parcelle addizionate con zeolite arricchita in ammonio e allo stato naturale, per 3 cicli colturali (sorgo, mais, grano), rispetto alle pratiche tradizionali	Resa del raccolto invariata o aumentata fino al 21% in tutte le parcelle addizionate con zeolite, rispetto alle rese ottenute nelle parcelle di controllo
Miglioramento delle caratteristiche del suolo	Miglioramento della aerazione del suolo, della ritenzione idrica e delle riserve di nutrienti, permettendo così una buona produzione persino durante i periodi di siccità e/o di forti piogge	Aumento della ritenzione idrica e miglioramento della tessitura del suolo	Ritenzione idrica maggiore fino al 13%  Introduzione di una frazione di ghiaia (fino al 9%), che permette una maggiore aerazione del terreno siltoso-argilloso  Minore ristagno di acqua nelle parcelle addizionate con zeolite a granulometria grossolana (3-6 mm)

**Tabella 2:** Confronto tra i risultati attesi e quelli ottenuti dal Progetto ZeoLIFE



## QUALI ZEOLITITI?

Una specifica azione del progetto era mirata ad individuare la zeolite italiana a più elevato contenuto in K-chabasite, una zeolite ad elevato contenuto di potassio, in grado di rimuovere selettivamente  $\text{NH}_4^+$  per scambio cationico e di rilasciarlo facilmente grazie all'azione degli acidi umici emessi dalle radici delle piante. La cava da cui acquistare il materiale doveva avere elevata potenzialità estrattiva, essere locata alla minor distanza dal luogo di utilizzo (per diminuire al massimo la Carbon Footprint del ciclo integrato delle zeoliti) e disporre di zeolite come scarto semilavorato in cava attiva.

Si rinviene che nelle formazioni piroclastiche prodotte dall'attività eruttiva dei vulcani dell'Italia centrale, le zeoliti presenti sono a chabasite e a phillipsite, con valori teorici di CSC (2,17 meq/g) e di ritenzione idrica (49%) superiori e valori di densità inferiori rispetto a quelli delle zeoliti a clinoptilolite molto diffuse all'estero (Passaglia, 2008).

Sulla base di tali considerazioni l'Università degli Studi di Modena ha individuato la migliore cava di zeolite ai fini progettuali, utilizzando i seguenti criteri:

- accesso facile
- bassi costi di trasporto su campo
- adeguati valori di CSC
- capacità di assorbimento di  $\text{NH}_4^+$  e successivo rilascio in condizioni controllate

Dall'analisi dei campioni provenienti da diverse zone di estrazione del Centro Italia si è selezionata la cava di Piandirena (GR), che fornisce materiale con proprietà tecnologiche adeguate (Laurora et al. 2012; Malferari et al., 2013). Le diverse pezzature (0,7-2 mm e 3-6 mm) sono ottenute direttamente nell'area di estrazione, utilizzando unicamente lo scarto derivante dal taglio dei blocchi di tufo da cui sono ricavate mattonelle per l'edilizia.

L'analisi chimico-fisica e mineralogica della zeolite utilizzata nel progetto è riportata in Tabella 3.

El. maggiori	Wt%	Minerale	Wt%	Caratteristiche chimico-fisiche	
$\text{SiO}_2$	52,3	Cabasite	68,5	CEC (meq/100 g)	217
$\text{Al}_2\text{O}_3$	18,0	Phillipsite	1,8	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	0,89
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	-	Analcime	0,6		(<3 mm)
MgO	0,71	Mica	5,3		0,58
CaO	5,73	K-feldspato	9,7		(3-6 mm)
SrO	0,06	Pirosseno	2,9	Ritenzione idrica (wt%)	48,8
BaO	tracce	Vetro vulcanico	11,2		(< 3mm)
$\text{Na}_2\text{O}$	0,43	tot	100		34,0
$\text{K}_2\text{O}$	4,95				(3-6 mm)
$\text{H}_2\text{O}$	17,8				
tot	100				

**Tabella 3:** Caratteristiche chimico-fisiche e mineralogiche della zeolite di Piandirena (GR)



## ANALISI DEGLI STUDI CONDOTTI SULLA ZEOLITITE COME BUONA PRATICA IN AGRICOLTURA E ZOOTECNIA

Le applicazioni delle zeoliti in campo agronomico e zootecnico sono innumerevoli, come testimoniato dalla vasta letteratura scientifica degli ultimi 30 anni. Di seguito si riportano solo alcuni esempi relativi all'uso delle zeoliti per la riduzione dell'inquinamento da composti azotati nelle acque.

Una ricerca condotta dall'Università degli Studi di Torino (Dipartimenti DITAG e Di.Va.P.R.A, *Comba et al.*, 2012) ha studiato l'utilizzo delle zeoliti in associazione al ferro zero valente come soluzione per la decontaminazione delle acque di falda da nitrati e ammonio. Il metodo è potenzialmente applicabile alla filtrazione dell'acqua. La contaminazione di nitrati nell'acqua di falda è ampiamente dovuta alla lisciviazione dell'azoto contenuto nei fertilizzanti usati in agricoltura per la produzione intensiva, i processi alimentari, gli scarichi industriali dei rifiuti. La riduzione dei nitrati viene effettuata mediante l'uso di microparticelle di ferro zerovalente che trasformano il nitrato in ammonio, e le zeoliti hanno il ruolo di catturare l'ammonio dall'acqua di falda. La combinazione dei due materiali abbassa la concentrazione dei nitrati sia nell'acqua di falda che in quella deionizzata, sotto i limiti suggeriti dall'Unione Europea. La combinazione di ferro zerovalente e zeolite naturale per la rimozione del nitrato e dell'ammonio può essere fattibile anche a livello di costi, anche se l'efficienza è data solo dalla combinazione dei due. I risultati dei test di laboratorio mostrano che i nitrati possono essere eliminati insieme alla contemporanea rimozione dell'ammonio prodotto tramite le reazioni sequenziali con il ferro zero valente micrometrico e la chabasite naturale. Uno step futuro della ricerca è quello di ottimizzare l'uso della zeolite arricchita dal processo indicato. Essa può essere rigenerata e l'ammoniaca recuperata può essere riutilizzata oppure la zeolite può lei stessa essere utilizzata come fertilizzante e ammendante per il suolo.

Un'altra ricerca condotta nel New Mexico analizza l'utilizzo della zeolite per la decontaminazione delle acque di falda. I suoli sabbiosi e argillosi del sud del New Mexico ricevono moltissime fertilizzazioni cariche di azoto e filtrano grandi quantità di nitrato nelle acque di falda. Esperimenti di assorbimento e filtrazione sono stati condotti per investigare sull'uso della zeolite a clinoptilolite (CZ) per aumentare la ritenzione di azoto e ridurre la lisciviazione di ammonio. L'aggiunta di CZ ai suoli sabbiosi aumenta la quantità di ammonio assorbito nel terreno. Questo aumento è dovuto all'alta affinità della CZ nei confronti di tale specie chimica (*Piñón-Villarreal et al.*, 2013). Questo andrebbe a ridurre i costi della produzione delle coltivazioni e il rischio della contaminazione delle acque superficiali e di falda.

All'interno del progetto ZeoLIFE sono stati condotti esperimenti in laboratorio, per valutare la lisciviazione dell'azoto dalla zeolite caricata di ammonio. Due colonne riempite di zeolite arricchita in ammonio sia dal miscelamento con liquame suino che mediante l'uso di una soluzione di  $\text{NH}_4^+ \text{Cl}$  sono state percolate con acqua piovana sintetica in condizioni saturate. L'ammonio contenuto nel percolato della prima colonna era più alto di quello misurato nella seconda colonna ma entrambi i casi rappresentavano meno del 9% del totale di ammonio scambiabile. Una piccola quantità di nitrato è stato ritrovato nella colonna scambiata con liquame suino. La quantità di ammonio rimasto nella zeolite dopo la lisciviazione è stata determinata mediante scambio cationico con cloruro di potassio. Il risultato di questo studio suggerisce che la zeolite caricata di ammonio è affetta solo in minima parte dalla lisciviazione a seguito di piogge e può essere usata in come ammendante per scopi agricoli (*Faccini et al.*, 2014). Gli studi condotti provano che l'intera quantità di ammonio acquisita durante il trattamento con il liquame suino è trattenuto dalla zeolite e può rimanere a disposizione delle piante anche per più anni. L'uso della zeolite carica di ammonio in agricoltura sembra essere un metodo promettente per ridurre la lisciviazione dell'azoto nei sistemi idrogeologici. Aggiungere 5-10 kg/m<sup>2</sup> di zeolite caricata con ammonio ad un terreno vorrebbe dire creare una riserva di azoto scambiabile per permettere una riduzione nel quantitativo di fertilizzanti. Ciò andrebbe a contribuire all'ulteriore decrescita del potenziale inquinante delle coltivazioni, specialmente di quelle che hanno un'elevata domanda di azoto.

Recenti studi svolti in collaborazione con l'Institute of soil research, della BOKU University di Venna hanno inoltre dimostrato che lo spandimento di zeolite ha una grossa influenza sulle emissioni gassose sia di N sottoforma ammoniacale o come ossido che di CO<sub>2</sub>. Con un grado di umidità analogo del 65% i suoli ammendati con zeolite emettono una quantità di CO<sub>2</sub> inferiore tra 20 e 30% rispetto al suolo non ammendato. Questa minor emissione di CO<sub>2</sub> può essere messa in relazione o ad un processo di intrappolamento della molecola all'interno del reticolo cristallino del minerale o ad un migliore utilizzo della CO<sub>2</sub> da parte



della micromassa microbica. Per quanto riguarda le emissioni di ammoniaca tutte le parcelle trattate con zeolite naturale mostrano una riduzione delle emissioni da 24 al 61%, mentre la parcella trattata con zeolite caricata mostra un tasso di emissione superiore. La volatilizzazione dell'azoto sotto forma ammoniacale è un processo principalmente fisico che dipende dalle condizioni di umidità del suolo, dal pH, dalla presenza di vento, etc. Si stima che fino al 60% di azoto distribuito durante le pratiche di fertilizzazione possa essere disperso in atmosfera sotto forma di  $\text{NH}_3$ . La zeolite naturale ha la capacità di ritenere facilmente  $\text{NH}_4$  all'interno del suo reticolo e questo spiega la forte riduzione nella volatilizzazione di ammoniaca. La zeolite arricchita in ammonio che ha già raggiunto il massimo della sua capacità di assorbire  $\text{NH}_4$  non può ovviamente svolgere questo compito. Va inoltre sottolineato che questo materiale, per ridurre al minimo il consumo di acqua nel progetto ZeoLIFE, non è stato sottoposto ad una azione di lavaggio, per cui la superficie dei granuli cristallini è abbondantemente ricoperta di materiale organico e azoto ammoniacale che facilmente volatilizza. In un ciclo industriale di caricamento della zeolite potrebbe essere previsto un processo di lavaggio (e di recupero delle acque) atto a superare questo problema. Se questo processo dovesse risultare economicamente ed ambientalmente non perseguibile, la zeolite arricchita rimane comunque tale solo per un ciclo di coltivazione (viene "scaricata" a seguito della crescita della coltivazione). L'anno successivo pertanto si comporterà allo stesso modo della zeolite naturale per quanto riguarda le emissioni di  $\text{NH}_3$ . Va infine sottolineato che non si sono svolti esperimenti con un suolo concimato in maniera naturale, ovvero con una parte più o meno consistente del carico azotato fornita attraverso la pratica di spandimento del liquame. Tuttavia, la quantità di ammoniaca emessa con la zeolite è sicuramente inferiore a quella prodotta da un normale spandimento di liquame in campo, essendo il residuo organico attaccato alla zeolite dopo il processo di arricchimento una frazione minima rispetto alla quantità di liquame spandibile per ettaro. Per quanto concerne infine le emissioni di  $\text{NO}_x$  gli studi condotti hanno evidenziato che le parcelle trattate con zeolite naturale hanno un tasso emissivo inferiore dal 9 al 30%. Rispetto ad un suolo non fertilizzato, quello trattato con zeolite caricata presenta ovviamente un tasso emissivo superiore. Oltre la considerazione già espressa in merito al residuo di liquame che resta nei pori della zeolite, e sull'eventuale rimedio attraverso un lavaggio, va sottolineato che i test di laboratorio sono stati effettuati con fertilizzazione uguale in tutte le tesi, mentre nel progetto ZeoLIFE i fertilizzanti sono stati ridotti del 50% nelle parcelle addizionate con zeolite arricchita in ammonio. Pertanto la pratica di spandimento di un materiale zeolitico sia pre-arricchito in ammonio che naturale porta ad una quantità di azoto emesso in atmosfera rispettivamente paragonabile, e inferiore a quella di un suolo agricolo fertilizzato in maniera tradizionale.

Per concludere questa breve disamina sull'utilizzo della zeolite in campo agronomico e zootecnico si riportano i dati ottenuti dall'IFIP, (International Federation for Information Processing), presso la stazione sperimentale "Institut du porc" (Bretagna, Francia). Mescolando una percentuale minima di zeolite nel mangime (<3%), sostituendola in parte a quella porzione di materiale inorganico previsto per legge, le emissioni gassose sia degli animali ( $\text{NH}_4$  ridotto del 28%) che del liquame stoccato nelle vasche ( $\text{NH}_3$  < 18%;  $\text{N}_2\text{O}$  < 21%;  $\text{CO}_2$  < 18%) ha subito una riduzione molto importante. Questo migliorando anche lo stato di salute dell'animale (Passaglia 2015, comunicazione personale).

## UTILIZZO DELLE ZEOLITITI E APPLICAZIONE NELLE ATTIVITÀ AGRICOLE

Le zeoliti trovano largo impiego in settori applicativi in quanto si presentano largamente disponibili in natura e con costi estrattivi limitati. Attualmente i principali settori applicativi afferiscono a quelli dell'edilizia, del trattamento di reflui industriali, civili e zootecnici, alla nutrizione animale e alla floricoltura e agricoltura. Questi ultimi settori sono quelli in cui le zeoliti manifestano tutte le loro proprietà chimico-fisiche.

In agricoltura la zeolite può essere utilizzata o come tale in associazione con i tradizionali concimi naturali (stallatico, liquami zootecnici) e fertilizzanti di sintesi (sali solubili di azoto, potassio, fosforo), o dopo arricchimento (naturale o artificiale) in elementi nutritivi (K,  $\text{NH}_4^+$ ).

### ***Zeoliti in Agricoltura e Floricoltura***

Da punto di vista strettamente produttivo, esiste una corposa letteratura a sostegno dell'aumento delle rese in alcuni specifici tipi di colture nel caso di utilizzo di zeolite allo stato naturale o arricchita in  $\text{NH}_4^+$  senza riduzione dell'apporto di fertilizzanti: Sorgo: + 50% (Eberl et al., 1995); Grano: + 14% (Iskenderov & Mamedova, 1988); Bietola: + 19% (Langella et al., 1995); Ravanello: + 3.8 % (Langella et al., 1995); Basilico: + 28% (Passaglia, 2008); Pomodoro: + 16% (Passaglia et al., 1997); Cocomero: + 8.5% (Kanazirska et al., 1997); Zucchini: + 8.6 % (Passaglia et al., 2005); Tappeto erboso: (Volterrani et al., 1999).



Effetti agronomici dell'utilizzo di zeolite allo stato naturale o arricchita in  $\text{NH}_4^+$  si hanno anche nel caso della riduzione dell'apporto di fertilizzanti:

- Riso:
  - a) coltivazione in sommersione: fertilizzante - 31.4%, raccolto + 7.6%;
  - b) coltivazione in asciutta: fertilizzante - 58.8%, raccolto + 21.5% (*Passaglia, 2008*);
- Grano:
  - a) Coltivazione su miscela di  $\text{NH}_4^+$  e K-zeolite (3:1) e apatite naturale (5:1) fertilizzante -100%, raccolto + 124.9% (*Ming et al., 1995*)
  - b) Coltivazione in substrato sabbioso-siltoso addizionato con 16.7% di zeolite + pollina (rapporto 1:2). Fertilizzante di sintesi -100%, raccolto + 156% (*Leggo, 2000*)
- Spinaci: coltivazione senza apporto di fertilizzante (-100%) su terreno addizionato con zeolite allo stato naturale (cespi foliari +15%), caricata con  $\text{NH}_4^+$  (cespi foliari +15.5%) e caricata con potassio (cespi foliari +20.7) (*Langella et al., 1991*)
- Lattuga cappuccina: fertirrigazione -33.3%, raccolto +13.7% (*Passaglia & Poppi, 2005*)
- Sedano: fertilizzante -12.5%, peso secco dell'apparato epigeo +64% (*Bazzocchi et al., 1996*)
- Ravanello: fertilizzante -100%; peso fresco della radice +52.6% (*Lewis et al., 1984*)
- Melone: fertilizzante -80%, raccolto +13.3% (*Passaglia et al., 2005*)
- Fragola: irrigazione -40%, raccolto +4.9% (*Passaglia & Poppi, 2005*)
- Kiwi: fertirrigazione - 37%, raccolto +8.3% (*Passaglia & Poppi, 2005*)

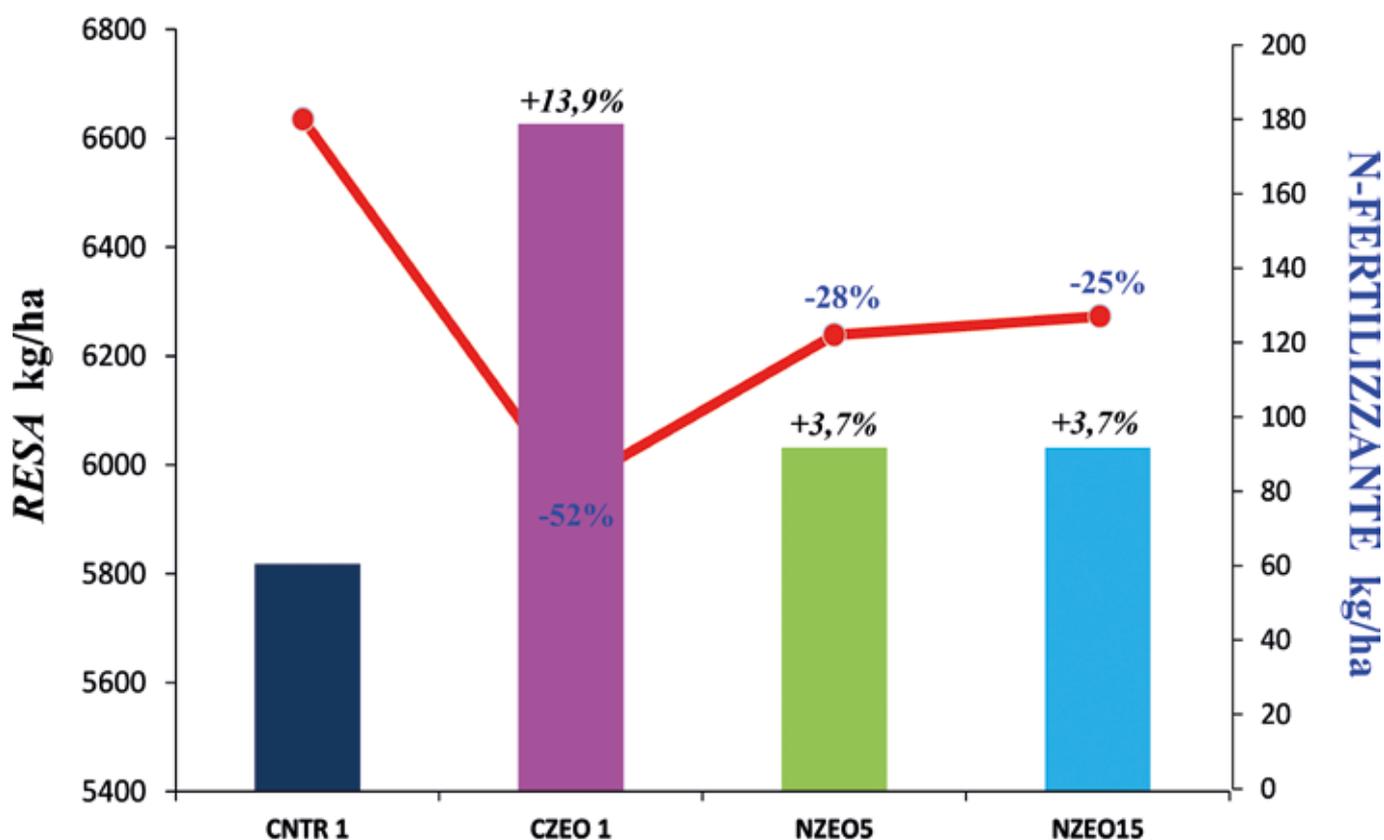
Anche la sperimentazione effettuata nell'ambito del progetto ZeoLIFE, su terreno limo-argilloso presso l'allevamento suinicolo "Amadori" di Codigoro (Ferrara) ha rilevato risultati agronomici apprezzabili.

In Tabella 1 sono riportate le reali quantità di N distribuito e le percentuali di riduzione effettive, calcolate mediante le bilance in dotazione ai mezzi di spandimento dei concimi.

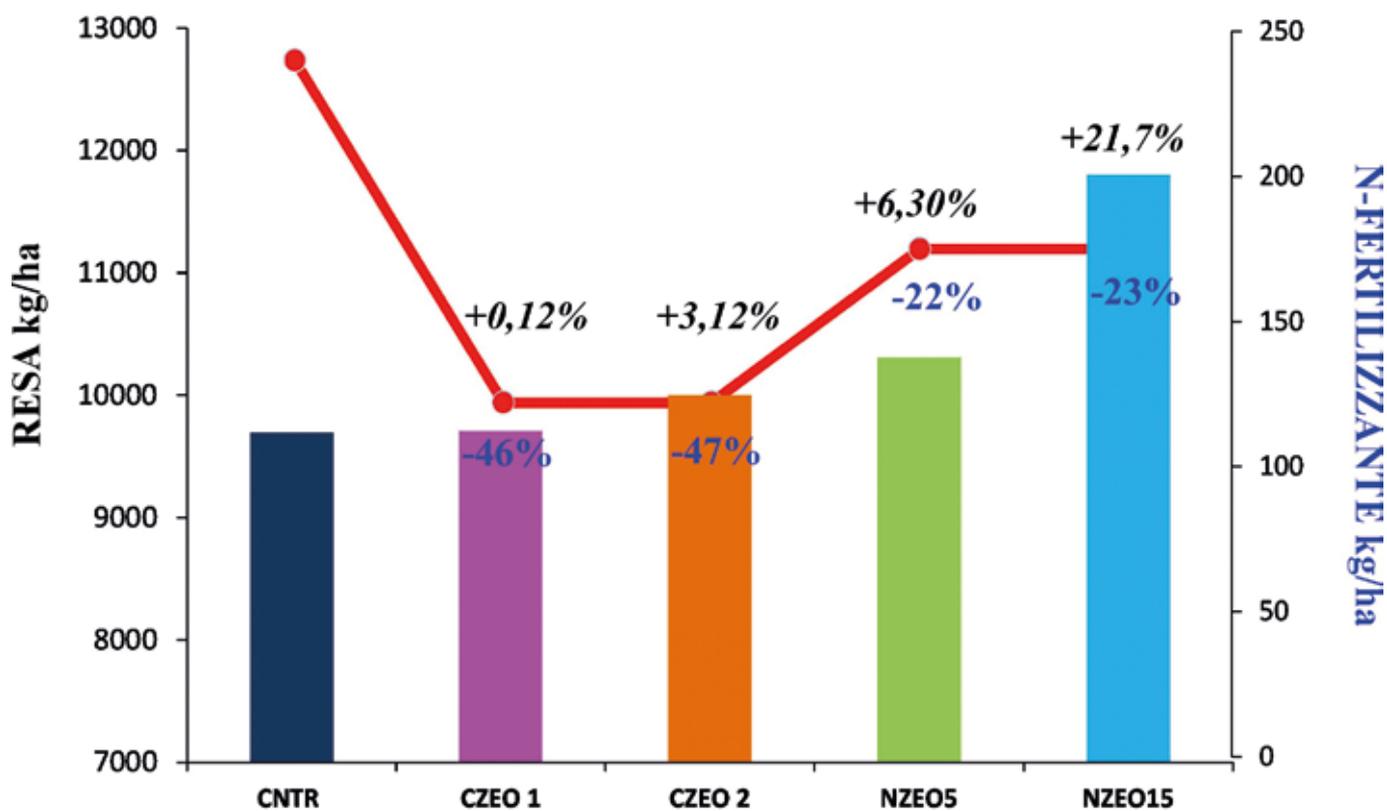
Per quanto riguarda l'irrigazione, è stata effettuata solo durante il secondo anno di coltivazione su mais; in tutte le parcelle addizionate con zeolite la quantità di acqua irrigua è stata ridotta del 50%.

Il raccolto è stato pesato singolarmente per ciascuna parcella. In tutti e tre gli anni di utilizzo del ciclo integrato delle zeolititi si sono avute rese superiori o sostanzialmente uguali alla media dei controlli (Figura 5), fino ad un massimo di oltre il 20%.

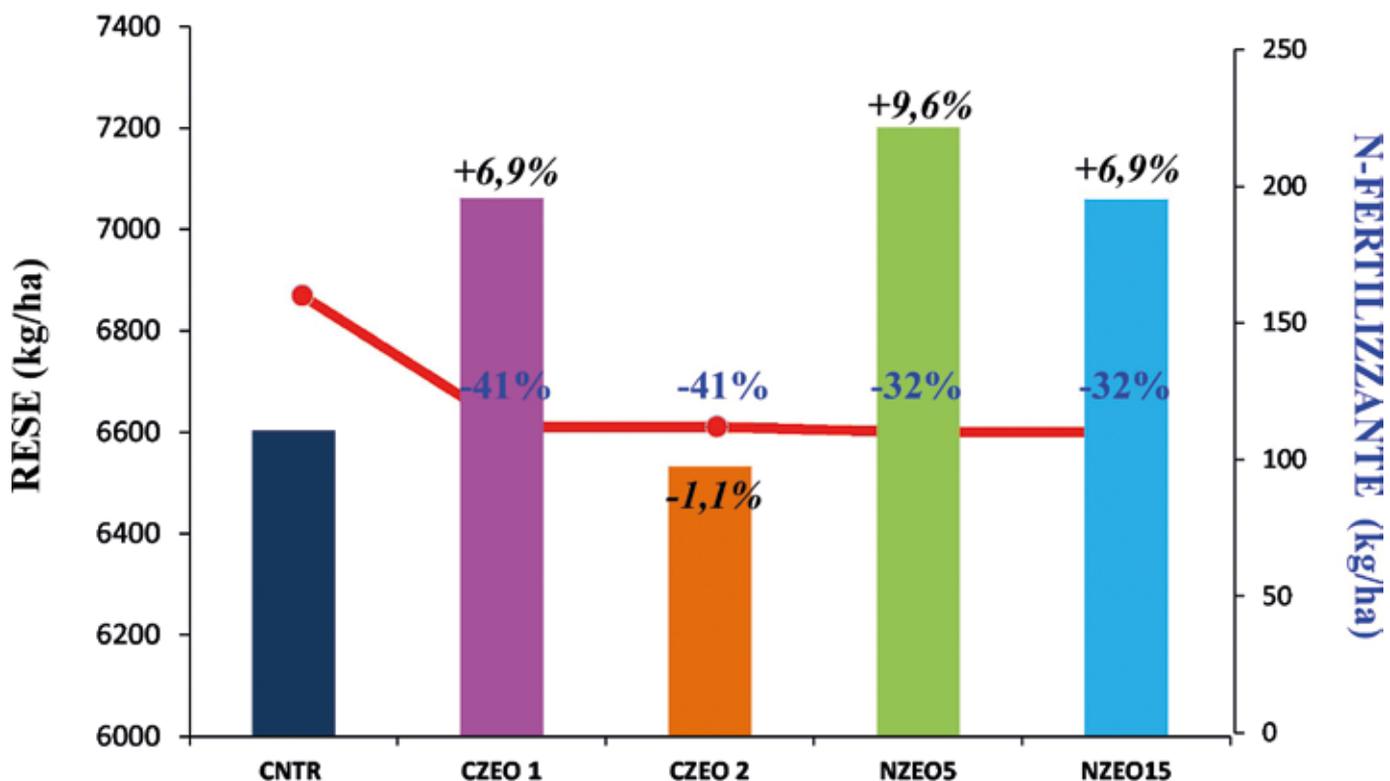
### Anno agronomico 2012/2013



### Anno agronomico 2013/2014



### Anno agronomico 2014/2015



**Figura 5:** Rese produttive nei tre anni di applicazione del ciclo integrato delle zeoliti, comparate alle riduzioni di fertilizzante rispetto alla Massima Applicazione Standard (MAS). Per l'identità delle parcelle si rimanda alla descrizione del campo sperimentale.

Per i diversi settori applicativi i risultati quali-quantitativi dipendono dalla zeolite utilizzata ed è quindi di fondamentale importanza una sua preventiva caratterizzazione mineralogica e chimico-fisica.

Una volta introdotte nel terreno le zeolititi ne fanno parte integrante ed indistruttibile e sono quindi per sempre nella possibilità di svolgere i loro specifici effetti positivi. Modificando la composizione del terreno ne consegue dal punto di vista agronomico una serie di vantaggi legati alle proprietà chimico-fisiche della zeolite, quali tra tutti:

- incremento della ritenzione idrica e di acqua disponibile per le colture;
- rilascio lento dei nutrienti per le colture.

## UTILIZZO DELLE ZEOLITITI ALL'INTERNO DEL QUADRO NORMATIVO ATTUALE

### ***Direttive e normativa comunitaria***

In relazione al background del progetto ZeoLIFE e alle tematiche trattate, gli obiettivi di politica ambientale europea perseguibili sono quelli dettati dalla Direttiva 2000/60/CE “Direttiva quadro in materia di acque” e dalla Direttiva 91/676/CEE “Direttiva Nitrati”.

La Direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque, persegue molteplici obiettivi, quali la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento, la promozione di un utilizzo sostenibile dell'acqua, la protezione dell'ambiente, il miglioramento delle condizioni degli ecosistemi acquatici e la mitigazione degli effetti delle inondazioni e della siccità. Il suo obiettivo ultimo è raggiungere un buono stato ecologico e chimico di tutte le acque comunitarie entro il 2015. La Direttiva assegna inoltre agli Stati Membri il ruolo di identificare tutti i bacini idrografici presenti nel loro territorio e ad assegnarli ai singoli distretti idrografici. Con riferimento all'area di progetto, il Bacino Idrografico è quello del fiume Po e la relativa autorità competente, designata dallo Stato membro, è l'Autorità di Bacino del Fiume Po.

Relativamente allo stato di attuazione della Direttiva, è oramai assodato che i corpi idrici italiani sono ancora lontani dal “buono stato” che doveva essere raggiunto entro il 2015. Tale carenza è dovuta a diversi fattori: sotto il profilo normativo, il recepimento della suddetta Direttiva prevede un sistema di pianificazione ridondante e con sovrapposizione di competenze; il quadro conoscitivo è ancora carente; molti corpi idrici soffrono, in particolare in alcuni mesi, di carenza di portate a causa dell'eccesso di prelievi; l'infrastruttura depurativa di base; mancano strategie per ridurre l'inquinamento diffuso di origine agricola o dovuto agli sfioratori delle reti fognarie.

La Direttiva 91/676/CEE mira a proteggere la qualità delle acque in Europa prevenendo l'inquinamento delle acque sotterranee e superficiali provocato direttamente o indirettamente dai nitrati provenienti da fonti agricole e favorendo l'uso di corrette pratiche agricole. Tale Direttiva ha introdotto due importanti novità: la designazione di Zone Vulnerabili ai Nitrati di origine agricola (ZVN) e la predisposizione ed applicazione di specifici “Programmi d'azione” che, facendo riferimento anche a quanto indicato nei Codici di Buona Pratica Agricola, stabiliscono le modalità con cui può essere effettuata l'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento nelle Zone Vulnerabili.

### ***Normativa nazionale e regionale***

In Italia la Direttiva Nitrati è stata recepita con D.Lgs. 11 maggio 1999 n. 152, successivamente abrogato e sostituito dal D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152, recante “Norme in materia ambientale”. Ai sensi dell'art. 112 del D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 è stato emanato il Decreto 7 Aprile 2006 recante: “Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento” che disciplina l'intero ciclo dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento (produzione, raccolta, stoccaggio, fermentazione e maturazione, trasporto e spandimento).

I recepimenti nazionali e regionali hanno designato le zone vulnerabili che, nel caso specifico della Provincia

di Ferrara, sono definite dal titolo III delle Norme del Piano di Tutela delle Acque (PTA) approvato dall'Assemblea legislativa con deliberazione n. 40 del 21 dicembre 2005. Per esigenze di omogeneità la Zona Vulnerabile ai Nitrati dell'area del bacino Burana-Po di Volano è stata fatta coincidere con i confini amministrativi provinciali, seppur porzioni ridotte del territorio provinciale non siano afferenti al bacino suddetto. Alcuni corpi idrici superficiali inseriti in quest'area, in particolare la Sacca di Goro presentano, a causa del loro specifico equilibrio ecologico, una significativa vulnerabilità all'inquinamento da nitrati. La morfologia della Sacca di Goro, infatti, ha una tendenza naturale a formare cordoni sabbiosi che diminuiscono lo scambio delle acque tra laguna e mare determinando sia un progressivo interrimento sia, nel periodo estivo, un accentuarsi dei fenomeni di eutrofizzazione con anormali crescite algali e conseguente instaurarsi di condizioni di anossia delle acque e morie di molluschi con riflessi negativi in termini ambientali e danni economici. Per tali acque esistono i presupposti per essere considerate "inquinata" ai sensi dell'art. 3 della Direttiva Nitrati.

A livello regionale, la L.R. 4/2007 "Adeguamenti normativi in materia ambientale. Modifiche a leggi regionali" mantiene in capo alle Province, quale autorità competente, le funzioni amministrative connesse alla utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento, stabilisce che le disposizioni inerenti l'utilizzazione agronomica degli effluenti e delle acque reflue provenienti da aziende agricole e piccole aziende agro-alimentari di allevamento siano emanate con apposito regolamento che disciplina tra gli altri:

- a) il Programma d'azione per le zone vulnerabili ai nitrati di origine agricola (ZVN) in coerenza con le misure di cui all'Allegato 7/A - IV parte III° del D.Lgs 152/06;
- b) i soggetti tenuti alla predisposizione dei Piani di Utilizzazione Aziendale (PUA);
- c) la disciplina, le norme tecniche, le prescrizioni e i divieti nelle zone non vulnerabili e le relative pratiche agricole obbligatorie.

Il Programma d'Azione Nitrati è contenuto all'interno del **Regolamento di Giunta Regionale n.1 del 28 Ottobre 2011** recante "Regolamento regionale ai sensi dell'articolo 8 della Legge Regionale 6 Marzo 2007, n.4. Disposizioni in materia di utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue derivanti da aziende agricole e piccole aziende agro-alimentari", vigente dal 01/01/2012 al 31/12/2015. Attualmente il Programma d'Azione è in fase di riesame ed aggiornamento, fase che dovrà concludersi entro la fine del 2015.

Il Regolamento disciplina l'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento, delle acque di vegetazione dei frantoi oleari, delle acque reflue provenienti da aziende agricole e da piccole aziende agro-alimentari in coerenza con quanto previsto dall'articolo 112 del D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 (Norme in materia ambientale) ed in attuazione dei criteri e delle norme tecniche generali di cui al decreto del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali del 7 aprile 2006.

Il Regolamento definisce altresì "fertilizzante azotato" i fertilizzanti ai sensi del D.Lgs. 29 aprile 2010, n. 75 (Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti, a norma dell' art. 13 della legge 7 luglio 2009, n. 88) con un titolo in azoto significativo (superiore all'1%) ed inclusi negli allegati 1 "Concimi" e 2 "Ammendanti" del Decreto stesso.

Il recente Decreto del 3 Marzo 2015 del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, pubblicato in Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana del 7 Maggio 2015 Serie generale n. 104, riconosce la zeolite quale ammendante e ne definisce, in conseguenza ai combinati dispositivi normativi nazionali e regionali, il campo di applicazione all'interno del quadro normativo che discende dalla Direttiva Nitrati.

Il DM del 3 marzo 2015 modifica l'allegato 2 Ammendanti del D.Lgs. 29 Aprile 2010, n. 75 e definisce la zeolite come "tufo litoide con percentuali di zeoliti naturali (chabasite, clinoptilolite, mordenite, phillipsite) superiori al 50% e Capacità di Scambio Cationico superiore a 120 cmoli (+)/Kg" da certificare "mediante le metodologie analitiche riportate nell'Allegato al D.Lgs. n. 1337 del 27 Gennaio 2014 del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali.

Ne consegue che l'utilizzo della zeolite in campo agricolo deve sottostare ai vincoli disposti dal Regolamento regionale ai sensi dell'articolo 8 della legge regionale 6 marzo 2007, n. 4. Disposizioni in materia di utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue derivanti da aziende agricole e piccole aziende agro-alimentari".

Va tuttavia sottolineato che pur essendo stata inserita nella categoria degli ammendanti per una giusta col-

locazione merceologica del materiale, la zeolite naturale non apporta nessun carico inquinante all'interno del terreno e che anzi il suo spargimento in fasce tampone o in prossimità degli argini dei canali può portare un notevole beneficio alla qualità delle acque per quanto riguarda il loro contenuto in nitrato (vedi risultati del progetto ZeoLIFE riportati sotto).

Parimenti la zeolite caricata, aldilà del carico azoto assorbito sulla superficie dei granuli già discusso ed illustrato precedentemente, non è sottoposta, se non in percentuale minima (< 10%) alla lisciviazione. Sarebbe pertanto opportuno stralciare la zeolite, soprattutto quella naturale, dai vincoli giustamente introdotti dalla normativa per la modalità di spargimento degli ammendanti in prossimità dei canali. Infatti, mentre lo spargimento di liquame o assimilati in prossimità dei canali avrebbe un effetto fortemente negativo sulla qualità delle acque la distribuzione delle zeoliti naturali avrebbe un effetto benefico.

<b>Vincoli utilizzo delle zeoliti come ammendanti in Zone Vulnerabili ai Nitrati (capo I del Reg. regionale)</b>	<b>Vincoli utilizzo delle zeoliti come ammendanti in Zone non Vulnerabili ai Nitrati (capo II del Reg. regionale)</b>
<p>L'utilizzazione agronomica è vietata sulle superfici non interessate dall'attività agricola, fatta eccezione per le aree a verde pubblico, privato e per le aree soggette a recupero-ripristino ambientale, nei boschi, sui terreni gelati, innevati, con falda acquifera affiorante, con frane in atto (interessati da movimenti di massa tali da non consentirne la coltivazione) e terreni saturi d'acqua, fatta eccezione per i terreni adibiti a colture che richiedono la sommersione.</p>	<p>L'utilizzazione agronomica è vietata sulle superfici non interessate dall'attività agricola, fatta eccezione per le aree a verde pubblico, privato e per le aree soggette a recupero-ripristino ambientale, nei boschi, sui terreni gelati, innevati, con falda acquifera affiorante, con frane in atto (interessati da movimenti di massa tali da non consentirne la coltivazione) e terreni saturi d'acqua, fatta eccezione per i terreni adibiti a colture che richiedono la sommersione.</p>
<p>In relazione alle colture, il divieto per l'uso di liquami, letami e prodotti a questi assimilati e di correttivi da materiali biologici si applica:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) nei casi in cui i suddetti materiali possano venire a diretto contatto con i prodotti destinati al consumo umano;</li> <li>b) in orticoltura, a coltura presente, nonché su colture da frutto, a meno che il sistema di distribuzione non consenta di salvaguardare integralmente la parte aerea delle piante;</li> <li>c) su colture foraggere nelle tre settimane precedenti lo sfalcio del foraggio o il pascolamento.</li> </ul>	<p>In relazione alle colture, il divieto si applica:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) nei casi in cui i liquami possano venire a diretto contatto con i prodotti destinati al consumo umano;</li> <li>b) in orticoltura, a coltura presente, nonché su colture da frutto, a meno che il sistema di distribuzione non consenta di salvaguardare integralmente la parte aerea delle piante;</li> <li>c) su colture foraggere nelle tre settimane precedenti lo sfalcio del foraggio o il pascolamento.</li> </ul>



<p>In relazione ai corsi d'acqua superficiali, il divieto si applica:</p> <p>a) entro 5 m lineari dalla sponda dei corsi d'acqua superficiali per i letami e assimilati, per gli altri fertilizzanti azotati e per i correttivi da materiali bw individuate ai sensi della convenzione di Ramsar del 2 febbraio 1971, per tutti i fertilizzanti azotati;</p> <p>d) limitatamente ai liquami e assimilati, nella fascia fluviale A, come individuata dal Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino del fiume Po e recepita nei Piani Territoriale di Coordinamento Provinciale.</p> <p>In tali fasce di rispetto è sviluppata una copertura erbacea permanente, anche spontanea, ed è raccomandata la costituzione di siepi e di superfici boscate.</p> <p>Entro 5 m lineari dalla sponda dei corsi d'acqua superficiali non sono ammesse lavorazioni del terreno, tranne quelle necessarie alla costituzione della copertura e dell'impianto (semina e piantumazione).</p>	<p>In relazione ai corsi d'acqua superficiali, il divieto si applica:</p> <p>a) entro 5 m lineari dalla sponda dei corsi d'acqua superficiali per i letami;</p> <p>b) entro 10 m lineari dalla sponda dei corsi d'acqua superficiali per i liquami;</p> <p>c) entro 30 m dall'arenile per le acque lacuali, marino-costiere e di transizione, nonché dei corpi idrici ricadenti nelle zone umide individuate ai sensi della convenzione di Ramsar del 2 febbraio 1971;</p> <p>d) limitatamente ai liquami, nella fascia fluviale A, come individuata dal Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino del fiume Po e recepita nei Piani Territoriale di Coordinamento Provinciale.</p> <p>In tali fasce di rispetto è sviluppata una copertura erbacea permanente, anche spontanea, ed è raccomandata la costituzione di siepi e di superfici boscate. Entro 5 m lineari dalla sponda dei corsi d'acqua superficiali non sono ammesse lavorazioni del terreno, tranne quelle necessarie alla costituzione della copertura e dell'impianto (semina e piantumazione).</p>
<p>L'applicazione a fini di utilizzazione agronomica di effluenti zootecnici, di fertilizzanti minerali e ammendanti è vietata in caso di rischio significativo di perdite di nutrienti da dilavamento e percolazione.</p>	<p>L'applicazione a fini di utilizzazione agronomica di effluenti zootecnici, di fertilizzanti minerali e ammendanti è vietata in caso di rischio significativo di perdite di nutrienti da dilavamento e percolazione.</p>
<p>Su terreni con pendenza superiore al 10%, devono essere assicurate la copertura vegetale del suolo e, laddove possibile, l'applicazione di appropriate pratiche per la conservazione del suolo. Sui terreni arativi, deve essere praticata l'incorporazione dei fertilizzanti.</p>	<p>Su terreni con pendenza superiore al 10%, devono essere assicurate la copertura vegetale del suolo e, laddove possibile, l'applicazione di appropriate pratiche per la conservazione del suolo. Sui terreni arativi, deve essere praticata l'incorporazione dei fertilizzanti.</p>
<p>È consentito l'utilizzo di liquami su appezzamenti con pendenze sino al 15% in presenza di misure volte ad evitare il ruscellamento attraverso la copertura vegetale del suolo e l'applicazione di tecniche appropriate per la conservazione di esso, nonché attraverso l'utilizzo di adeguate tecniche di spandimento.</p>	<p>È consentito l'utilizzo di liquami su appezzamenti con pendenze sino al 15% in presenza di misure volte ad evitare il ruscellamento attraverso la copertura vegetale del suolo e l'applicazione di tecniche appropriate per la conservazione di esso, nonché attraverso l'utilizzo di adeguate tecniche di spandimento.</p>
<p>In caso di aree agricole svantaggiate l'applicazione di liquami è permessa su terreni in pendenza fino al 30% purché i carichi di azoto e di liquame siano frazionati in modo da non superare, per ogni applicazione, rispettivamente i 50 kg/ha e le 35 t/ha.</p>	<p>In caso di aree agricole svantaggiate l'applicazione di liquami è permessa su terreni in pendenza fino al 30% purché i carichi di azoto e di liquame siano frazionati in modo da non superare, per ogni applicazione, rispettivamente i 50 kg/ha e le 35 t/ha.</p>
<p>Una razionale ed efficace fertilizzazione effettuata con effluenti di allevamento e altri fertilizzanti azotati, conformemente alla buona pratica agricola, comporta:</p> <p>a) la definizione preventiva degli apporti per coltura;</p> <p>b) l'attuazione progressiva del piano nei terreni aziendali;</p> <p>c) la registrazione delle utilizzazioni effettive per coltura e appezzamenti.</p> <p>L'apporto di fertilizzanti azotati ai suoli agricoli deve tendere a equilibrare il bilancio dell'azoto del sistema suolo-coltura.</p> <p>In rapporto alle caratteristiche della zona vulnerabile interessata, occorre rispettare le seguenti condizioni e criteri specifici:</p> <p>a) la quantità di effluente zootecnico, palabile/non palabile, non deve in ogni caso determinare un apporto di azoto al campo superiore a 170 kg per ettaro e per anno, inteso come quantitativo medio aziendale;</p> <p>b) caratteristiche del suolo: tipo e pendenza del suolo;</p> <p>c) condizioni meteorologiche e modalità di irrigazione;</p> <p>d) uso del terreno e prassi agricole, inclusi i sistemi di rotazione delle colture.</p>	

<p>L'apporto di azoto proveniente dalla distribuzione di fertilizzanti azotati e di correttivi da materiali biologici, non deve superare i limiti di Massima Applicazione Standard (MAS).</p>	<p>La quantità di azoto non deve superare il fabbisogno delle colture attenendosi ai limiti di Massima Applicazione Standard, e comunque la quantità di azoto da effluenti disponibile al campo non deve superare i 340 kg per ettaro e per anno.</p>
<p>Al fine di evitare i rilasci di azoto nelle acque superficiali e sotterranee, l'utilizzazione degli effluenti di allevamento, dei fertilizzanti azotati e dei correttivi da materiali biologici, nella stagione autunno-invernale, dal 1 novembre fino al termine di febbraio, è regolata dai periodi di divieto.</p>	<p>In considerazione del rischio di rilascio di azoto dal suolo alle acque é vietato distribuire fertilizzanti azotati nel periodo <b>1 novembre - 31 gennaio</b>.</p> <p>Le Province possono consentire, nel periodo di divieto, l'applicazione su prati con prevalenza di graminacee per i seguenti fertilizzanti:</p> <p>a) letame bovino e ovicaprino, con contenuto di sostanza secca pari almeno al 20%, ed assenza di percolati;</p> <p>b) ammendante compostato misto ed ammendante compostato verde con contenuto di azoto totale inferiore al 2,5% sul secco e di azoto minerale non superiore al 15% dell'azoto totale.</p>
<p>Al fine di contenere le dispersioni di nutrienti nelle acque superficiali e profonde, le tecniche di distribuzione e le altre misure adottate devono assicurare:</p> <p>a) l'uniformità di applicazione del fertilizzante;</p> <p>b) l'elevata utilizzazione degli elementi nutritivi ottenibile con un insieme di buone pratiche che comprende la somministrazione dei fertilizzanti azotati il più vicino possibile al momento della loro utilizzazione, il frazionamento della dose con il ricorso a più applicazioni ripetute nell'anno ed il ricorso a mezzi di spandimento atti a minimizzare le emissioni di azoto in atmosfera;</p> <p>c) la corretta applicazione al suolo sia di concimi azotati e ammendanti organici di cui al D.Lgs. n. 75 del 2010, sia di acque reflue di cui al Titolo III del presente regolamento, conformemente alle disposizioni del CBPA;</p> <p>d) l'adozione di sistemi di avvicendamento delle colture nella gestione dell'uso del suolo conformemente alle disposizioni del CBPA;</p> <p>e) la conformità delle pratiche irrigue alle disposizioni del CBPA ed all'Allegato II al presente regolamento. Al fine di contenere i rilasci di azoto dal suolo alle acque e le emissioni in atmosfera di azoto ammoniacale e di odori molesti, la distribuzione al suolo degli effluenti di allevamento e di altri fertilizzanti si svolge secondo le seguenti modalità:</p> <p>a) la distribuzione dei liquami con erogatori deve avvenire a pressioni di esercizio inferiori a 6 atmosfere;</p> <p>b) i liquami, i letami e materiali assimilati, gli ammendanti organici e correttivi da materiali biologici, se distribuiti su terreno nudo o con residui colturali, devono essere incorporati nel terreno entro 24 ore dalla loro applicazione. Sono esclusi da tali modalità gli appezzamenti coltivati con copertura vegetale in atto e anche quelli con semina già effettuata.</p>	<p>Al fine di contenere le dispersioni di nutrienti nelle acque superficiali e sotterranee, le tecniche di distribuzione e le altre misure adottate devono assicurare:</p> <p>a) l'uniformità di applicazione del fertilizzante;</p> <p>b) l'elevata utilizzazione degli elementi nutritivi ottenibile con un insieme di buone pratiche che comprende: la somministrazione dei fertilizzanti azotati il più vicino possibile al momento della loro utilizzazione; il frazionamento della dose con il ricorso a più applicazioni ripetute nell'anno; il ricorso a mezzi di spandimento atti a minimizzare le emissioni di azoto in atmosfera;</p> <p>c) la corretta applicazione al suolo sia di concimi azotati e ammendanti organici di cui al D.Lgs. n. 75 del 2010, sia di effluenti di allevamento, sia di acque reflue di cui al Titolo III del presente regolamento, conformemente alle disposizioni del CBPA;</p> <p>d) l'adozione di sistemi di avvicendamento delle colture nella gestione dell'uso del suolo conformemente alle disposizioni del CBPA;</p> <p>e) la conformità delle pratiche irrigue alle disposizioni del CBPA ed all'Allegato II al presente regolamento.</p> <p>Al fine di contenere i rilasci di azoto dal suolo alle acque e le emissioni in atmosfera di azoto ammoniacale e di odori molesti, la distribuzione al suolo degli effluenti di allevamento e di altri fertilizzanti si svolge secondo le seguenti modalità:</p> <p>a) la distribuzione dei liquami con erogatori deve avvenire a pressioni di esercizio inferiori a 6 atmosfere;</p> <p>b) i liquami, i letami e materiali assimilati, gli ammendanti organici devono essere incorporati nel terreno entro 24 ore dalla distribuzione. Sono esclusi gli appezzamenti con inerbimento: foraggere temporanee in atto, prati permanenti, pascoli; frutteti e vigneti mantenuti inerbiti.</p>
<p>L'utilizzazione agronomica deve essere effettuata garantendo comunque il rispetto di una distanza:</p> <p>a) non inferiore a 100 m dalla delimitazione dell'ambito urbano consolidato, come individuato dallo strumento urbanistico vigente;</p> <p>b) di almeno 50 m dagli edifici ad uso abitativo e/o produttivi di terzi, se utilizzati, in zona agricola.</p>	<p>L'utilizzazione agronomica deve essere effettuata garantendo comunque il rispetto di una distanza:</p> <p>a) non inferiore a 100 m dalla delimitazione dell'ambito urbano consolidato, come individuato dallo strumento urbanistico vigente;</p> <p>b) di almeno 50 m dagli edifici ad uso abitativo e/o produttivi di terzi, se utilizzati, in zona agricola.</p>

## GESTIONE SOSTENIBILE DELLE RISORSE IDRICHE

Sul sistema idrico l'utilizzo delle zeoliti in agricoltura potrebbe agire sul versante quantitativo (la zeolite ha capacità di trattenere umidità, come anche confermato dagli esperimenti di laboratorio per cui si è visto un aumento del 13%) e qualitativo (grazie alla capacità di scambio cationico è possibile ridurre l'uso di fertilizzanti nel terreno).

Il progetto ZeoLIFE ha previsto interventi specifici tesi a verificare e quantificare queste possibili ricadute ambientali nell'area sperimentale e in particolare:

- verificare e quantificare la riduzione della quantità d'acqua impiegata nell'irrigazione;
- verificare e quantificare la riduzione nella quantità dei composti azotati rilasciata nella rete idrica circostante l'area del campo sperimentale e nella falda;

### *Stima del risparmio idrico*

Per la stima del risparmio idrico sono stati analizzati i dati rilevati dalle portate dei dreni misurate durante le diverse attivazioni avvenute tra novembre 2012 e marzo 2015 e, in misura minore, dai contaltri, che hanno misurato i volumi totali in mc emessi dalle varie parcelle del campo sperimentale nello stesso periodo (Figura 6, Figura 7). Contrariamente a quanto inizialmente prospettato infatti i contaltri non hanno, se non in alcuni casi, funzionato correttamente sia per intasamento a causa di piccoli lombrichi che ostruivano la loro reticella di protezione, sia per il cattivo posizionamento del contaltri, dovuta alla sua eccessiva lunghezza, che a volte non permetteva di captare l'intero flusso.



**Figura 6:** Rappresentazione del sistema di drenaggio del campo sperimentale, che comprende 15 dreni a nord e 18 dreni a sud. Il dreno utilizzato per ciascuna parcella (sia lato nord che lato sud) è identificato con la sigla riportata.



**Figura 7:** Esempio di conta-litri installato nella parte terminale dei dreni del campo sperimentale e misurazione della concentrazione delle specie azotate (ammonio e nitrato) presenti nell'acqua immessa nel sistema idrico superfice.

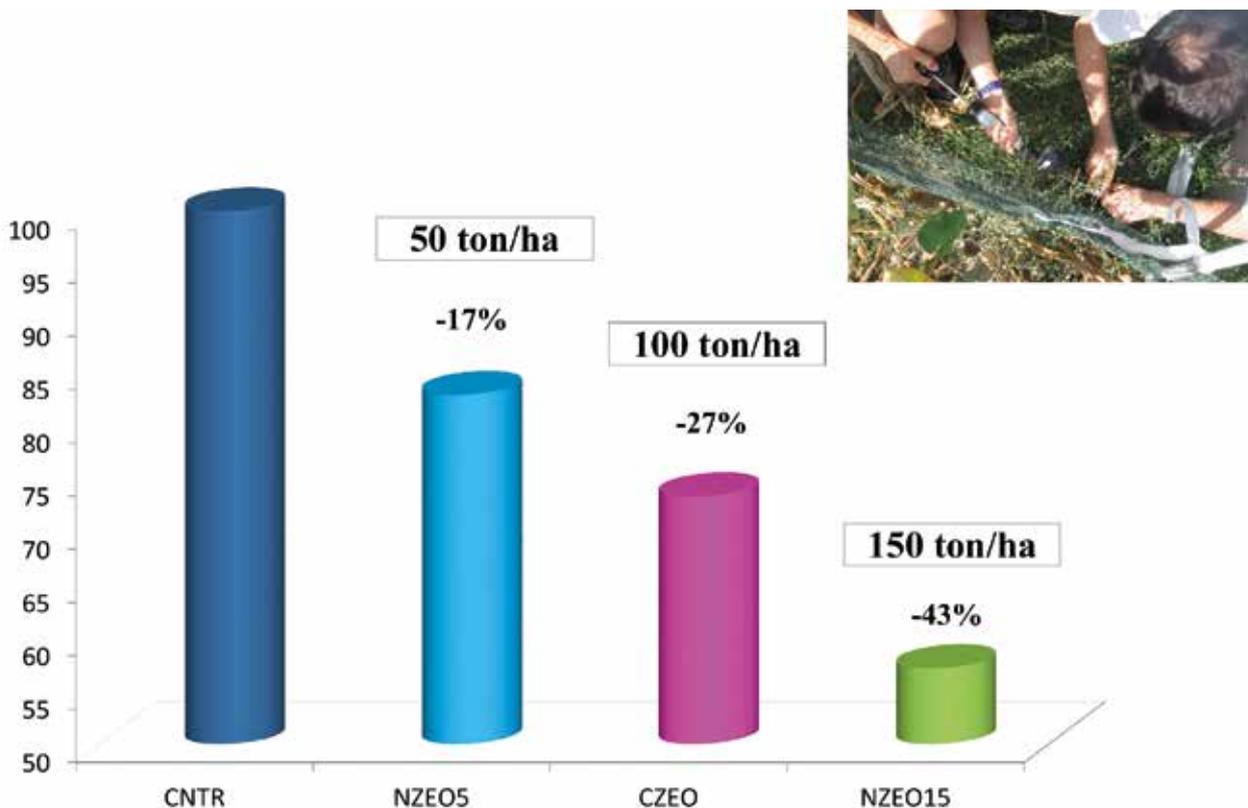
Inoltre è importante sottolineare che la quantità di acqua drenata dalle varie parcelle, a parità di caratteristiche sedimentologiche del primo metro di suolo, è fortemente dipendente dalla posizione della superficie di falda che, a causa della scarsa permeabilità del terreno, risulta più elevata nella porzione occidentale del campo rispetto a quella orientale dove la falda si raccorda con il canale Acque Basse. Per questo motivo la differenza di acqua drenata dalle varie parcelle è stata confrontata tra parcelle adiacenti considerando solo i due controlli e la parcella CZEO 1 e NZEO5. Le parcelle CNTR 3, NZEO15 e CZEO 2 che sono le più vicine al canale Acque Basse hanno infatti emesso una quantità di acqua nel periodo investigato decisamente inferiore.

Il confronto ha permesso comunque di constatare una quantità di acqua emessa dalle parcelle trattate con zeolite inferiore dal 7 al 12% rispetto ai due controlli, in linea con le maggiori percentuali di umidità del suolo riscontrate in laboratorio nei suoli addizionati con zeolite (vedi anche Tabella 2).

### ***Stima della qualità delle acque***

La qualità delle acque di falda del campo sperimentale non è direttamente influenzata dalle pratiche agricole. La natura argillosa del suolo lo rende poco permeabile e scarsamente ossigenato, con una forte propensione alla denitrificazione, cioè alla trasformazione del nitrato in fasi gassose (principalmente  $\text{NO}_x$  ed  $\text{N}_2\text{O}$  e secondariamente  $\text{N}_2$ ); dunque il nitrato è scarso o assente nelle acque di falda, in cui invece abbonda azoto in forma ammoniacale derivante dalla decomposizione dell'abbondante quantità di sostanza organica in ambiente riducente. La scarsa diffusione delle specie chimiche tra i livelli profondi e le zone più superficiali del terreno è inoltre accentuata dalla presenza del sistema di drenaggio che capta l'acqua del primo metro di suolo convogliando una buona parte del nitrato nel sistema idrico superficiale (Mastrocicco et al., 2013).

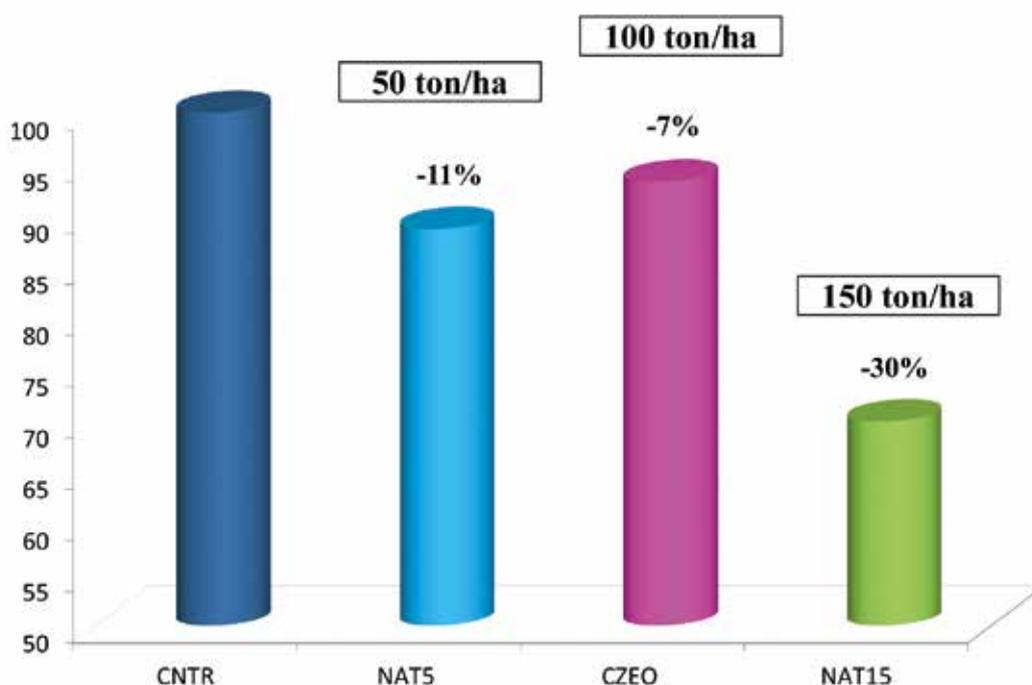
E' il porewater dei primi 100-150 cm la componente idrica che meglio registra le dinamiche del nitrato legate alle pratiche agricole e ai naturali cicli dell'azoto del suolo. Il monitoraggio delle specie azotate del porewater durante i tre anni di coltivazione sperimentale mostrano che nelle parcelle addizionate di zeolite, sia naturale che arricchita in  $\text{NH}_4^+$ , la concentrazione del nitrato è mediamente inferiore, di una percentuale variabile dal 17 al 43%, rispetto ai controlli (Figura 8). Tale diminuzione è tanto più grande quanto più è alta la dose di zeolite apportata al suolo.



**Figura 8.** Differenza percentuale della concentrazione media del nitrato nel porewater delle tesi sperimentali, da novembre 2012 a luglio 2015.

Un simile risultato è stato osservato per quanto riguarda l'acqua immessa nel sistema superficiale dai dreni. Il drenaggio è avvenuto principalmente nei mesi freddi (tra novembre e marzo), e ciascun evento ha avuto durata variabile, da 2-3 giorni fino a quasi due settimane. Lo scarico è innescato dalla combinazione di diversi fattori, quali la quantità di pioggia, l'umidità del suolo prima delle precipitazioni, l'innalzamento artificiale dei livelli di falda dovuto all'attività degli impianti idrovori.

La concentrazione media del nitrato nell'acqua dei dreni dal 2012 al 2015 è inferiore nelle parcelle ammendate con zeolite, di una percentuale variabile tra il 7 e il 30% rispetto al controllo (Figura 9).



**Figura 9.** La concentrazione media del nitrato nell'acqua dei dreni dal 2012 al 2015 è inferiore nelle parcelle ammendate con zeolite, di una percentuale variabile tra il 7 e il 30% rispetto al controllo.

Ipotizzando di estendere l'uso delle zeolititi a tutti i seminativi presenti nel bacino del Po di Volano, alle dosi sperimentate nel progetto (50-150 ton/ha), si otterrebbe una significativa riduzione della quantità di nitrato portata alla Sacca di Goro, considerando che il 79% della superficie agricola utilizzata è dedicata alla coltivazione di cereali. Tra essi, il mais è sicuramente la coltura con maggior impatto ambientale, essendo estremamente esigente sia di azoto che di acqua irrigua. La coltivazione di questa specie su terreni ammendati con zeolite può essere effettuata con un risparmio idrico notevole, poiché l'irrigazione può essere ridotta di almeno il 30% rispetto alle tradizionali pratiche agricole. Questa riduzione può arrivare al 50% in estati non particolarmente siccitose, come è stata quella del 2014 in cui durante il progetto le parcelle addizionate con zeolite hanno subito una riduzione dell'irrigazione del 50% senza che la produzione di mais ne abbia risentito.

A partire dai dati rilevati e analizzati nell'ambito della sperimentazione in campo del progetto ZeoLIFE si può osservare come un risparmio idrico per la crescita delle colture è apprezzabile nel caso di utilizzo della zeolite addizionata al terreno. Tuttavia il fabbisogno idrico e la capacità di trattenere o rilasciare acqua alle colture in maniera costante e continua dipende da molteplici fattori quali la composizione del terreno e l'esigenza idrica della tipologia di coltura stessa.

In concreto è stata dimostrata una riduzione della lisciviazione di azoto apportato dalle fertilizzazioni con conseguente riduzione dell'inquinamento del sistema idrogeologico superficiale e profondo, che abbinato ad una migliore permeabilità del terreno consente un beneficio alla risorsa idrica intesa come sistema (acqua utilizzata e restituita).

## POLITICHE PER LA CONSERVAZIONE DEGLI HABITAT

Abbiamo detto come il progetto ZeoLIFE e l'utilizzo su vasta scala delle zeolititi in agricoltura potrebbe interagire con gli obiettivi della Direttiva Quadro sulle acque. L'attenzione della stessa Direttiva europea alla tutela della biodiversità degli ecosistemi acquatici è specificata, direttamente o indirettamente, in diversi punti del testo della Direttiva. L'approccio è innovativo in quanto obbliga a pianificare in maniera integrata, attraverso lo strumento tecnico-normativo costituito dal Piano di Gestione di Distretto Idrografico (PGDI), tenendo conto di tutti i "bisogni" (degli ecosistemi, di esondazione dei fiumi, di sviluppo economico e di mitigazione degli effetti degli eventi estremi, etc.), in modo partecipato e alla scala appropriata (bacino idrografico), per la valutazione delle pressioni che agiscono a livello di Area protetta/Sito Natura 2000/ Zona Ramsar in ambito fluviale o marino-costiero. Il PGDI contiene, tra l'altro, gli obiettivi ambientali e le strategie (o misure) per raggiungerli, nonché il piano di monitoraggio per controllare l'efficacia delle misure sullo stato dei corpi idrici.

L'integrazione delle misure di tutela degli ecosistemi acquatici previste dalle tre direttive europee (Acque, Habitat e Uccelli) costituisce quindi un'opportunità per coordinare ed ottimizzare l'efficacia delle azioni previste dai piani e programmi per la tutela delle risorse idriche e della biodiversità dalla scala di bacino a quella locale.

La Direttiva sulle acque prevede inoltre che, ai fini della gestione sostenibile delle acque, occorra minimizzare gli impatti dell'agricoltura; pertanto le misure previste nei PGDI dovranno integrarsi nonché rafforzare le misure agro-ambientali previste dal Piano di Sviluppo Rurale (PSR).

Oltre a prevedere misure idonee, per il recupero dello stato delle acque nei PGDI, le stesse misure possono essere contenute nei Piani di Gestione e/o come Misure generali o specifiche di conservazione qualora funzionali alla conservazione di habitat e specie di interesse comunitario.

Di recente (gennaio 2015) è stata presentata una valutazione del livello di interazione habitat - specie con lo stato delle acque nel territorio regionale emiliano romagnolo, che evidenzia come le interazioni con corsi d'acqua sul territorio regionale interessa 117 siti della Rete Natura 2000 e che sono risultati 85 siti per i quali è risultata prioritaria la valutazione del livello di condizionamento del sito, per effetto dello stato delle acque: 28 SIC, 14 ZPS e 43 SIC-ZPS.

L'impostazione data a livello europeo per il contenimento dell'inquinamento dei nitrati provenienti dall'agricoltura sono le fasce tampone e i bacini di fitodepurazione. La finalità è quella di attenuare gli impatti derivanti dall'uso di fertilizzanti, ma anche di controllare l'inquinamento associato al trasporto dei sedimenti tramite la realizzazione aziendale e territoriale di fasce tampone di contrasto ai nitrati e di bacini di fitodepurazione.



### “FASCIA TAMPONE”

Con il termine “fascia tampone” si identificano le formazioni lineari di vegetazione erbacea, arborea e/o arbustiva fraposte fra le coltivazioni ed i corsi d’acqua che intercettano i deflussi superficiali e sub-superficiali delle acque direzionate dalla fonte di inquinamento verso il corpo idrico accettore, agendo efficacemente da filtro nei confronti degli inquinanti veicolati dalle acque. La fascia tampone deve essere di 5 metri lineari, nel rispetto della stabilità del ciglio e delle norme vigenti a tal fine.

L’efficacia di rimozione dell’azoto delle fasce tampone è variabile in funzione della tipologia prescelta e, in particolare, varia in funzione della sua complessità. In ordine crescente di efficacia le tipologie di fascia tampone sono le fasce tampone con fascia erbacea e monofilare arboreo, arbustivo e/o arboreo-arbustivo senza scolina di carico e le fasce tampone con fascia erbacea e monofilare arboreo, arbustivo e/o arboreo-arbustivo con scolina di carico.

A livello nazionale, con il Decreto del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali n. 15414 del 10 dicembre 2013, l’introduzione di fasce tampone lungo i corsi d’acqua è entrata a far parte delle Buone condizioni agronomiche e ambientali, che è uno dei criteri di condizionalità ex ante. Come riportato più avanti ed evidenziato dall’analisi economica ambientale del progetto ZeoLIFE, la distribuzione di zeolite naturale all’interno di fasce tampone in prossimità dei corsi d’acqua in relazione alla loro larghezza, alla presenza di terreni argillosi dotati di sistemi di subirrigazione e alla vicinanza di allevamenti zootecnici può rappresentare un efficace pratica per la riduzione del quantitativo di azoto disperso nelle acque.

## PROGRAMMAZIONE REGIONALE SULLO SVILUPPO RURALE

Il PSR 2014-2020 della Regione Emilia Romagna contiene diverse misure a favore di ambiente, clima e biodiversità. In esse vengono descritte le principali linee di intervento, in relazione alla strategia regionale che individua nella sostenibilità ambientale dei processi produttivi l’elemento chiave per la valorizzazione delle produzioni e la tutela delle risorse naturali.

Di seguito vengono descritte le principali misure e operazioni in cui l’utilizzo delle zeoliti, come tali o in combinazione con altri interventi agro-ambientali, può inserirsi nello sviluppo degli interventi ammissibili, in particolare quelli di contrasto all’azione dei nitrati, specificando per ogni misura il focus area di riferimento e l’ambito.

Misura	Operazione	Interventi	Ambito	Focus area
M2 Servizi di consulenza, di sostituzione e di assistenza alla gestione delle aziende agricole.	1.2.01 - Sostegno ad attività dimostrative e azioni di informazione	Intervento con funzione trasversale che finanzia progetti dimostrativi (attività di dimostrazione volte a trasferire la conoscenza) e progetti informativi (attività di reperimento, elaborazione e trasferimento di informazioni) che contribuisce al soddisfacimento in particolare dei fabbisogni F01” Sostenere processi innovativi a favore della produttività, della competitività, della sostenibilità ambientale, F02 ”Favorire integrazioni e sinergie fra imprese del settore agroalimentare col mondo della ricerca e dell’innovazione”, F03 “Migliorare la capacità professionale degli operatori attraverso gli strumenti della conoscenza: formazione, informazione, consulenza”.	Conoscenza	P4A P4B
		Gli obiettivi della Focus area verranno fissati nei bandi.		



M10 Pagamenti agro-climatico ambientali	10.1.09 - Gestione dei collegamenti ecologici dei siti Natura 2000 e con- servazione di spazi naturali e seminatu- rali e del paesaggio agrario	No interventi diretti.  Tra le condizioni di ammissibilità sono previsti una serie di impegni tra cui la riduzione dell'apporto di fertilizzanti (in particolare azoto) negli specchi d'acqua in porzioni non interessate dalla Misura.  Se utilizzate zeolititi i beneficiari devono dimostrare il rispetto del Reg. Emilia- Romagna 1/2011 Capo I se in ZVN	Aiuti	P4A
M4 Investimenti in immobilizza- zioni materiali	4.4.03 - Realizzazione di fas- ce tampone e bacini di fitodepurazione di contrasto ai nitrati	No interventi diretti.  Se utilizzate zeolititi i beneficiari devono dimostrare il rispetto del Reg. Emilia- Romagna 1/2011 Capo I se in ZVN	Investimenti	P4B
M10 Pagamenti agro-climatico ambientali	10.1.03 - Incremento sostanza organica	Il tipo di operazione fornisce una ri- sposta direttamente al Fabbisogno F17 "Promuovere la gestione sostenibile dei suoli", contribuendo in tal modo al con- seguimento degli obiettivi della Focus area P4C "Prevenzione dell'erosione dei suoli e migliore gestione degli stessi" e in- direttamente incide sulla focus area P5D "Ridurre le emissioni di gas a effetto serra e di ammoniaca prodotte dall'agri- cultura". Si riconoscono i maggiori costi rispetto all'impiego dei fertilizzanti di sintesi che comporta l'acquisto e la distri- buzione degli ammendanti e dei materia- li palabili di origine zootecnica e i costi di transazione (nella misura rispetto ai costi complessivi del 5%).  Condizioni di ammissibilità: aziende con terreni caratterizzati da un contenuto di sostanza organica ricadente nelle classi di dotazione scarsa o normale secondo la griglia riportata nei Disciplinari di Produzione Integrata.	Aiuti	P4C

Nel PSR 2014-2020 della Regione Emilia-Romagna viene riconosciuta l'esigenza di migliorare la qualità delle acque riducendo i carichi inquinanti di origine agricola e zootecnica. A tal fine si promuovono interventi per modulare maggiormente gli input chimici (agricoltura biologica e integrata), al fine di mantenere o attenuare gli impatti derivanti da fertilizzanti e fitofarmaci, investimenti per l'ottimizzazione delle strutture e attrezzature, sia per la produzione vegetale sia per quella zootecnica, per la riduzione dell'impatto di input chimici/reflui zootecnici, anche attraverso il ricorso a soluzioni innovative e l'introduzione di nuove colture/varietà per favorire l'adattamento dei sistemi colturali al minore uso di risorse idriche e chimiche. Si promuove inoltre l'applicazione di tecniche di gestione aziendale e territoriali e il supporto agli agricoltori per il riciclo delle acque, la valorizzazione ambientale della vegetazione ripariale e la realizzazione di bacini di fitodepurazione e fasce tampone, anche per controllare l'inquinamento associato al trasporto dei sedimenti. All'analisi attuale degli interventi e delle operazioni, l'utilizzo delle zeolititi non si inserisce in nessun intervento diretto. Tuttavia alla luce dei risultati ottenuti dal Progetto ZeoLIFE nel miglioramento della qualità delle acque e dei primi dati sperimentali sulle emissioni gassose, unitamente alla riduzione del carico azotato dei reflui zootecnici, tutti risultati ottenuti a parità o addirittura migliorando la resa produttiva, se ne auspica l'applicazione. La misura M10 per esempio potrebbe sicuramente ospitare degli interventi atti a ridurre l'impatto climatico e ambientale delle attività agricole e zootecniche.

## ZEOLITTI NEL CONTESTO ECONOMICO TERRITORIALE

A livello territoriale, al fine di raggiungere gli obiettivi di tutela e qualità delle acque, stabiliti dal combinato disposto delle Direttive Acque e Nitrati, diverse misure possono essere attuate; esse vanno dal sistema di governance all'adozione di misure efficaci per ridurre i prelievi idrici e l'inquinamento, dalla diffusione di buone pratiche all'integrazione delle politiche di settore.

Le zeoliti e il ciclo integrato sperimentato nel progetto ZeoLIFE potrebbero inserirsi in strategie di sviluppo territoriale sotto il profilo economico, ambientale e sociale.

Dal punto di vista microeconomico il ciclo integrato della zeolite permette di applicare principi di **economia circolare** utilizzando i liquami degli allevamenti zootecnici (sottoprodotti che se non applicati in agricoltura possono diventare rifiuti) per caricare le zeoliti. La Commissione europea sta per rivelare entro la fine del 2015 una nuova e più ambiziosa strategia per l'economia circolare che avrà lo scopo di ottenere una maggiore efficienza nell'impiego delle risorse, rendendo maggiormente competitivi i settori chiave, in particolare gestione dei rifiuti e delle risorse idriche.

Per attuare un'economia circolare a partire dal ciclo integrato delle zeoliti tuttavia non bastano le buone pratiche ma servono modelli di business che prevedano vantaggi competitivi lungo tutta la catena di approvvigionamento e utilizzo. Il Ciclo Integrato delle Zeoliti rappresenta un interessante sistema da approfondire con modelli di valutazione economica che tengano conto sia di business plan in senso stretto sia di valutazione sulle componenti ecosistemiche interessate, con particolare riguardo al tema dell'internalizzazione del costo dell'acqua.

Nell'ambito del progetto ZeoLIFE, la valutazione economica dell'introduzione del ciclo integrato zeoliti ha utilizzato i dati tecnici della produzione; sono stati stimati i costi della produzione ed individuati dei presumibili prezzi di vendita per il prodotto innovativo: la zeolite caricata. L'analisi dei dati ha permesso di verificare la convenienza economica dell'utilizzo del Ciclo Integrato delle Zeoliti, saggiando la suscettibilità all'introduzione in termini di convenienza economica e produttiva. Le zeoliti caricate sono state identificate come miglioramento fondiario, ovvero un investimento strutturale che ha i suoi effetti in termini di produttività ed efficienza per più cicli produttivi, ed è stata verificata la convenienza dell'investimento attraverso un' "analisi costi-benefici". Al fine di saggiare invece le ricadute ambientali dell'introduzione del ciclo integrato delle Zeoliti sono stati utilizzati gli indicatori della Carbon Footprint e dell'Ecological Footprint.

### Valutazione economica a livello di azienda

L'unità produttiva Codigoro è organizzata in 295 ettari e il suo programma di coltivazione coinvolge 4 diverse colture: mais, sorgo, grano e soia. In un anno, la rotazione dei campi è organizzata per garantire un equilibrato sfruttamento del suolo e garantire la razione alimentare dell'allevamento cui è collegata. Il sistema di coltivazione nell'azienda di Codigoro segue un sistema colturale ed una rotazione interna strutturata al fine di garantire ogni anno: Mais, 100ha; Sorgo, 45ha; Grano, 80ha; Soia, 70 ha.

Tenendo conto di questi dati è stato possibile impostare una prima stima dei costi di gestione dell'azienda e dei ricavi. Questa prima elaborazione è stata impostata per ettaro (Tabella 4).

I prezzi indicati per il calcolo dei ricavi sono stati forniti dalla Borsa Merci di Bologna 2014, i dati relativi ai costi sono stati raccolti tramite interviste dirette. E' stato così calcolato il margine lordo.

Tipologia di coltivazione	Area [ha]	Produzione [ton]	Ricavi [€]	Costo [€]	Margine lordo [€]
Mais	1	10	2.000,00	1.014,67	985,33
Sorgo	1	6	1.440,00	832,60	607,40
Grano	1	6	1.440,00	534,00	906,00
Soia	1	3,7	1.683,50	408,70	1.274,80

**Tabella 4.** Risultati economici della gestione colturale per le principali colture dell'azienda di Codigoro

In considerazione dell'introduzione del ciclo integrato delle zeolititi all'interno dei processi colturali, dai risultati analitici ottenuti durante il progetto, è stato osservato un risparmio in termini di costi colturali (minor apporto di fertilizzanti) ed un incremento di resa produttiva, variabile a seconda delle colture (dal 6% al 22% rispetto alle colture condotte senza l'apporto delle zeolititi). Questo si traduce in una maggiore efficienza produttiva che è stata valutata esclusivamente dal lato dei costi colturali, come un incremento dei margini lordi (a parità di produzione e medesimo prezzo di vendita). L'incremento produttivo è stato trascurato, in quanto le prove sperimentali avrebbero bisogno di un numero superiore di osservazione per poterne stabilire l'entità in termini di incrementi di resa.

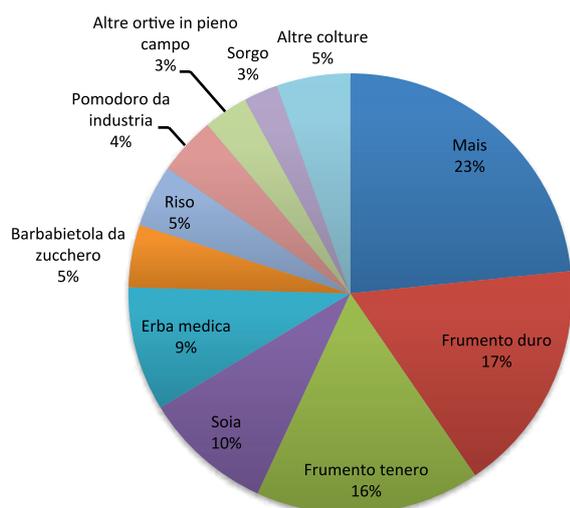
Il miglioramento fondiario, inteso come introduzione delle zeolititi caricate all'interno dei processi colturali, ha però un costo. Il presumibile prezzo di vendita, costo per le imprese, considerando la consegna e diffusione di zeolite caricata ad ammonio, tenendo conto di una quantità di 50 tonnellate/ha, è stato stabilito in 3.850 €/ha.

Ciò significa che l'unità produttiva della Codigoro dovrebbe investire circa 1.017.750,00 € per l'intera azienda. Questo dato però va interpretato in ottica di miglioramento fondiario, immaginando gli effetti positivi in termini di efficienza in un orizzonte temporale. Da una prima stima secondo l'analisi costi benefici, l'introduzione del ciclo integrato delle zeolititi all'interno dei processi di produzione dovrebbe produrre un risparmio stimato di circa 209.757,69€, come mancati costi legati agli input di processo (fertilizzanti) a parità di produzione in un orizzonte temporale di 10 anni.

### Valutazione ambientale a scala regionale

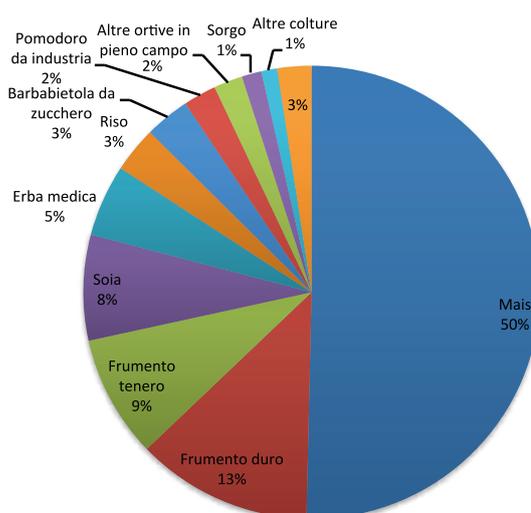
Un'impresa agricola, con le sue attività, ha un impatto sulle risorse ambientali e contribuisce alla produzione dei servizi ecosistemici. Uno dei più importanti è l'immobilizzazione di flussi di carbonio nelle strutture vegetali e nel terreno. Oltre questo, fornisce dei servizi ambientali e può contribuire agli equilibri ecosistemici delle altre specie vegetali ed animali. Al fine di valutare le ricadute ambientali dell'introduzione del ciclo integrato delle Zeolititi, quale rimedio all'inquinamento da nitrati, è stata svolta un'analisi sull'area del bacino del Po di Volano utilizzando due indicatori sintetici che ne saggiassero gli effetti. Per ottenere un quadro sintetico sono state individuate le dieci colture principali colture a livello di Provincia di Ferrara ed all'interno dell'area del Bacino del Po di Volano (Figura 10, Figura 11).

**Distribuzione Seminativi Provincia di Ferrara**



**Figura 10.** Produzioni delle colture annuali della Provincia di Ferrara (anno 2010)

**Distribuzione Seminativi po di Volano**



**Figura 11.** Produzioni colture annuali del Bacino del Po di Volano (anno 2010)

Partendo da questi dati è stato ricostruito il sistema produttivo nell'area oggetto di interesse e le tecniche colturali attraverso interviste dirette.

Le rese di produzione sono state calcolate come media dal 2001-2011 su basi ISTAT, il prezzo di vendita è stato estratto da AGER Borsa Merci Bologna Listini 2014.

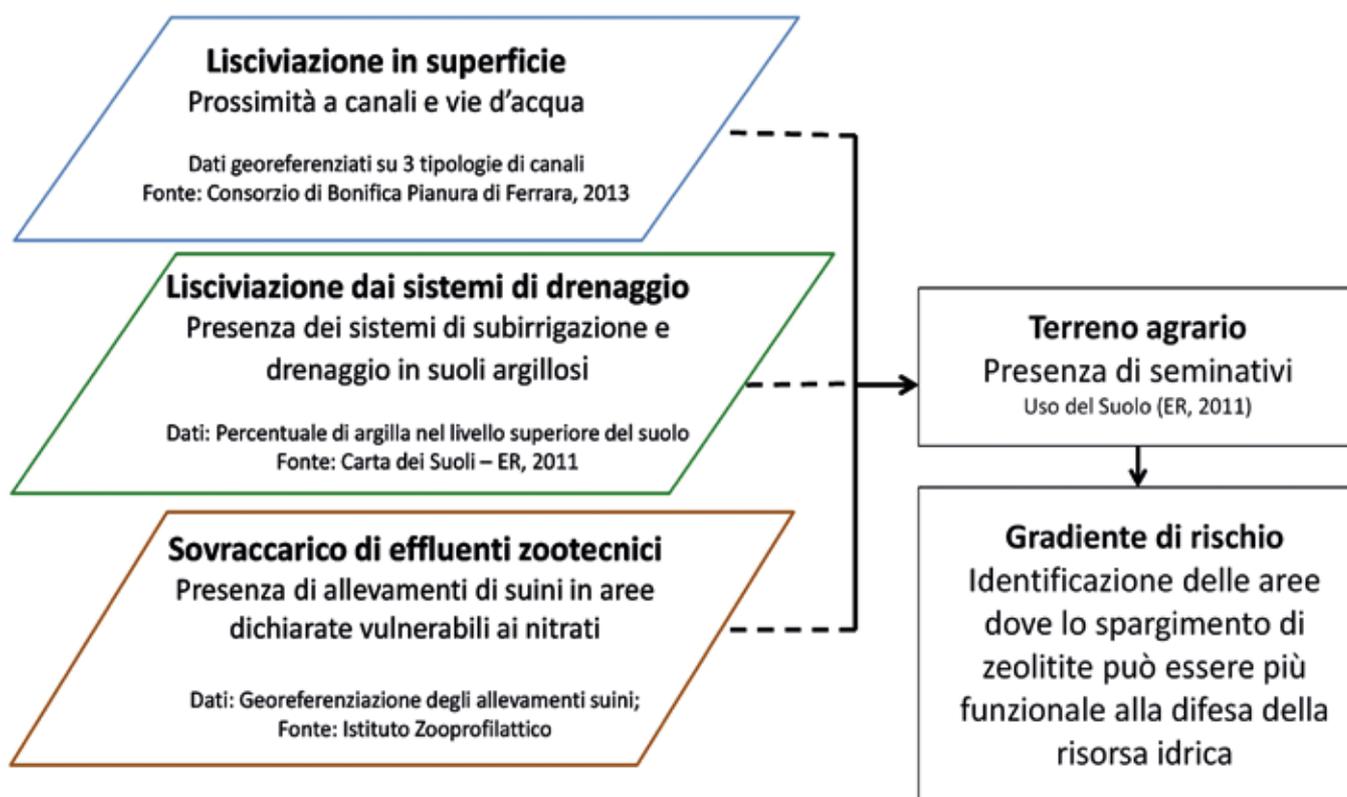
La coltivazione sul campo, per le colture prese in esame (prevalentemente seminativi) anche a scala più ampia è caratterizzato dalla rotazione delle colture. Una rotazione agronomica delle colture deve tener conto di una corretta gestione dei suoli, partendo da questo presupposto la rotazione più comune per le colture presenti nell'area è : sorgo, soia, grano, mais.

Questa rotazione è stata assunta come base per impostare un'analisi di scenario per valutare le ricadute dell'introduzione del ciclo delle zeolititi al fine di eliminare i rischi potenziali da inquinamento da nitrati.

In considerazione dei costi legati all'introduzione del ciclo integrato delle zeolititi è però utile, in un'ottica politica, individuare le aree a maggiore suscettibilità ed indirizzare i primi interventi secondo un gradiente di rischio. Questo gradiente è stato costituito a partire da dati disponibili a livello locale. I dati di cui si è tenuto conto sono:

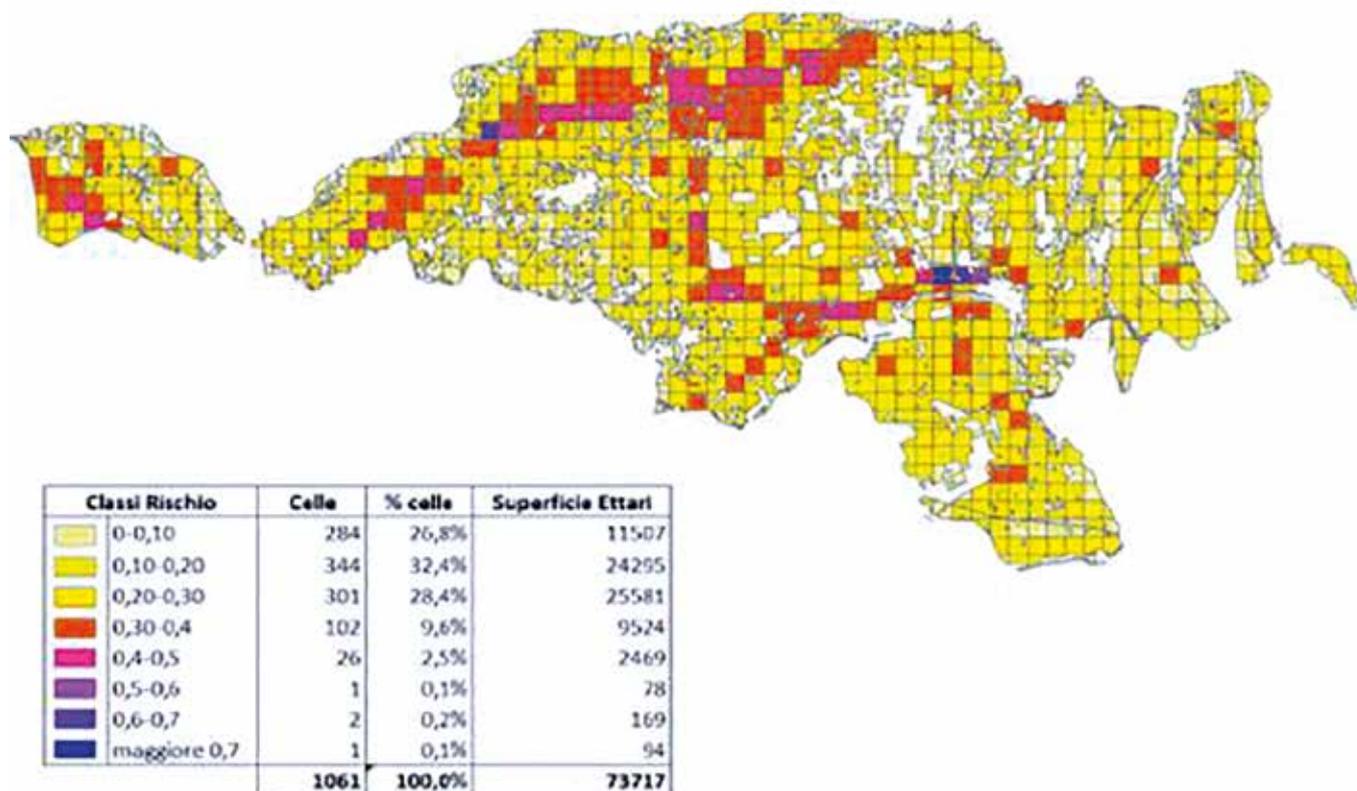
- percentuale di argilla nei suoli (0-30 cm di profondità) - presenza di dreni nel terreno
- rete dei canali (primari o secondari) - veicolo/serbatoio inquinanti e suscettibili all'inquinamento
- allevamento zootecnici in Provincia di Ferrara - fonte di inquinamento da nitrati
- uso del suolo di Provincia di Ferrara - presenza/assenza di siti potenzialmente inquinanti

È stato così creato un dataset geo-referenziato e sono stati costituiti dei layer di rischio inquinamento (Figura 12).



**Figura 12.** Matrice dei fattori utilizzati nell'analisi territoriale.

La sovrapposizione dei differenti layer di rischio ha prodotto il risultato geo-referenziato riportato in Figura 13.



**Figura 13.** Aree a rischio inquinamento da nitrati - Bacino Po di Volano

Sono state considerate fortemente a rischio le aree con un gradiente superiore a 0,4, circa 2811 ha. L'applicazione su questa area delle zeolititi produrrebbe anche degli effetti ambientali, stimati nelle tabelle seguenti:

Terreno coltivabile idoneo	Bilancio GES (ton CO <sub>2</sub> )	
	Ordinario	Applicazione Zeo+
N aree a rischio (2811 ha > 0,40)	3341,3	<b>1686,9</b>

**Tabella 5.** Risultati ambientali in termini di emissioni - Carbon Footprint

Terreno coltivabile idoneo	Impronta ecologica (gha)	
	Ordinario	Applicazione Zeo+
N aree a rischio (2811 ha > 0,40)	792,8	<b>1287,2</b>

**Tabella 6.** Risultati ambientali in termini di impronta ecologica- Ecological Balance

I risultati dell'applicazione del ciclo integrato delle zeolititi mostrano un risparmio in termini emissivi secondo l'indicatore della Carbon Footprint (CO<sub>2</sub> emessa, Tabella 5) ed un incremento ambientale secondo l'indicatore sintetico dell'Ecological Balance (Ecological Footprint – Biocapacity, Tabella 6), che stima invece il consumo delle risorse naturali di un processo produttivo a confronto col la sua capacità di mettere a disposizione servizi ecologici.

Nel corso del progetto ZeoLIFE è stata effettuata inoltre una valutazione delle prestazioni sul risparmio idrico e sulla qualità delle acque, relative ad un ampio uso delle zeolititi in agricoltura alla scala dell'intero bacino del Po di Volano ed eventuali benefici per la Sacca di Goro, in cui confluisce il Po di Volano.

Ipotizzando di estendere l'uso delle zeolititi a tutti i seminativi presenti nel bacino del Po di Volano, alle dosi sperimentate nel progetto (50-150 ton/ha), si otterrebbe una significativa riduzione della quantità di nitrato portata alla Sacca di Goro, considerando che il 79% della superficie agricola utilizzata è dedicata alla coltivazione di cereali. Tra essi, il mais è sicuramente la coltura con maggior impatto ambientale, essendo estremamente esigente sia di azoto che di acqua irrigua. La coltivazione di questa specie su terreni ammendati con zeolite può essere effettuata con un risparmio idrico notevole, poiché l'irrigazione può essere ridotta di almeno il 30% rispetto alle tradizionali pratiche agricole. Questa riduzione può arrivare al 50% in estati non particolarmente siccitose.

## CONCLUSIONI

Obiettivo ultimo delle linee guida è quello di ipotizzare e suggerire un approccio integrato di gestione dell'acqua e dei fertilizzanti in agricoltura e proporre modifiche/integrazioni delle norme ed eventualmente delle legislazione vigenti, a livello regionale.

Il progetto ZeoLIFE ha consentito di realizzare un'azione dimostrativa pluriennale inserendo pratiche agronomiche sperimentali nel novero delle buone pratiche riconosciute.

L'analisi dei suoli del campo sperimentale effettuata con il progetto può contribuire a definire un approccio standard, le cui modalità di impiego della zeolite possono essere variate in funzione del tipo di terreno, effettuando una sua caratterizzazione, che generalmente consiste in una analisi granulometrica e in una analisi diffrattometrica. Questo consentirebbe di stabilire quale granulometria della zeolite sia la più adatta. In particolare si suggerisce l'utilizzo di una zeolite fine (< 2mm) per i terreni prevalentemente sabbiosi come quelli presenti nelle fasce costiere del delta, mentre una granulometria più grossolana (3-6 mm) risulta più adatta ai terreni siltoso-argillosi più diffusamente presenti nelle zone più interne, cioè ad ovest della paleo-linea di costa.

Il progetto ha consentito di verificare **un risparmio nell'uso dei fertilizzanti** azotati a vantaggio di un **contenuto più basso di nitrati sia nelle acque superficiali che interstiziali** senza ridurre o addirittura in alcuni casi consentendo un **aumento della resa produttiva**. Contemporaneamente la concentrazione dell'azoto ammoniacale **nei reflui zootecnici risulta ridotto di ca. il 20%** a seguito del trattamento per l'arricchimento della zeolite, con conseguente minore impatto ambientale in conseguenza dello spargimento dei liquami nei campi.

Le misure sperimentali svolte in laboratorio suggeriscono inoltre che **l'utilizzo della zeolite naturale nel terreno riduca anche le emissioni gassose di CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub>** con conseguente beneficio della qualità dell'aria. E' superfluo sottolineare che tutti questi gas sono GHG (Green House Gases), ovvero gas che incentivano l'effetto serra; una loro riduzione si pone in linea con quanto recentemente auspicano dal summit di Parigi 2015 sui cambiamenti climatici.

Una prospettiva molto interessante e ancora più rispettosa dell'ambiente, come già sperimentato in Bretagna, potrebbe essere di aggiungere zeolite già nei mangimi zootecnici. Questo ridurrebbe ancora più marcatamente le emissioni gassose sia degli animali che dei loro liquami. Il liquame che già avrebbe una diminuzione della concentrazione di ammonio dovuto all'intrappolamento da parte della zeolite del mangime, potrebbe essere nuovamente miscelato con la zeolite e vedere ulteriormente ridotto nel suo carico azotato. Nella pratica di spargimento si andrebbe pertanto ad aggiungere direttamente zeolite nel terreno insieme ad un liquame con un carico azotato notevolmente ridotto.

In conseguenza di questo spandimento **i fertilizzanti chimici potrebbero essere ridotti fino al 50% con un notevole risparmio sia economico che ambientale** e lo spandimento della zeolite non costituirebbe un costo aggiuntivo alle pratiche già tradizionalmente messe in atto.

L'aggiunta della zeolite al terreno **va fatta solamente una volta**, o in due-tre step se si decide di arrivare gradualmente alla dose ottimale; dopo essere stata introdotta nel terreno costituisce un **miglioramento fondiario permanente**. In caso di utilizzo di zeolite arricchita in ammonio essa, dopo essersi scaricata tornando allo stato naturale, continua ad apportare i suoi benefici effetti per sempre, come evidenziato nel progetto ZeoLIFE.

La zeolite caricata ottenuta dal processo di miscelamento con il liquame potrà essere utilizzata in un'ampia varietà di applicazioni floro-vivaistiche, riducendo anche la necessità di utilizzo di fertilizzanti per questo settore, con conseguenti minori costi sia in termini economici che ambientali.

A completamento del quadro di buone pratiche agro-zootecniche è ovvio che l'utilizzo della zeolite in agronomia può risultare anche più efficace se associato ad altre buone pratiche agricole già in atto come, uso di pacciamatura e teloni ombreggianti; creazione di fasce tampone, scoli e canaletti rinaturalizzati; uso di attrezzature ad alta innovazione tecnologica e meccanica, finalizzato ad un minor consumo di acqua e/o interventi di ingegneria naturalistica con uso di buffer zone.

Si presume ad esempio che l'azione combinata dell'utilizzo di zeoliti in campi aperti e della realizzazione di fasce tampone lungo i corsi d'acqua possa generare un effetto moltiplicatore, laddove le condizioni pedologiche e ideologiche del terreno siano favorevoli al ruscellamento delle acque.

Sarebbe auspicabile che la sperimentazione in campo di queste buone pratiche sia in associazione tra di loro che singolarmente possa continuare grazie anche a sostegni mirati e sviluppati all'interno del Piano di Sviluppo Rurale. La comparazione e l'integrazione delle pratiche e la loro implementazione sarebbe molto utile per strutturare i dati e consentire uno sviluppo maggiormente sostenibile in un contesto agro-ambientale paesaggistico sensibile come quello della Provincia di Ferrara. L'insieme di queste buone pratiche e una gestione agro-zootecnica più sensibile all'ambiente potrebbe pertanto diventare modello di riferimento anche per un trasferimento in termini di **innovazione gestionale del territorio** a livello non solo provinciale o regionale, ma nazionale ed europeo.

## BIBLIOGRAFIA

Bazzocchi R., Casalicchio G., Giorgioni M.E., Loschi B., Passaglia E., Savelli C. (1996). "Effetti di zeoliti Italiane sullo sviluppo del sedano". *Colture Protette*, 11, 91-97.

Brigatti M.F., Laurora A., Malferrari D., Vezzalini M.G. (2013). "Technical report on NH<sub>4</sub>-charged zeolites from lab experiments and prototype", Deliverable product of the UniMORE (Project Code: LIFE+10/ENV/IT/000321).

Campisi T., Abbondanzi F., Andretta M. (2012) "Technical report action 4b: Design, management and start up of exsitu (pilot plant model) and insitu test fields. Ex situ tests, pilot plant model LIFE+2010" (Project code: LIFE+10/ENV/IT/000321).

Coltorti M., Faccini B., Di Giuseppe D., Ferretti G. (2015) Final technical report on test field (first, second and third cycle). Deliverable product of the UniFE (Project Code: LIFE+10/ENV/IT/000321).

Comba S., Martin M., Marchisio D., Sethi R., Barberis E. (2012). "Reduction of nitrate and ammonium adsorption using microscale iron particles and zeolite", DITAG, Dipartimento del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie, Politecnico di Torino.

Eberl D.D., Barbarick K.A., Lai T.M. (1995). "Influence of NH<sub>4</sub>-exchanged clinoptilolite on nutrient concentrations in sorghum-sudangrass", in *Natural Zeolites '93. Occurrence, Properties, Use*. D.W. Ming, F.A. Mumpton (eds.). International Committee on Natural Zeolites, Brockport, New York, 491-504.

Faccini B., Di Giuseppe D., Colombani N., Mastrocicco M., Malferrari D., Coltorti M., Ferretti G. (2014). "Column Leaching Experiments On Ammonium Charged Zeolite - Environmental quality/Qualité de l'Environnement /Qualità ambientale", 14 43-52.

Faccini B., Di Giuseppe D., Malferrari D., Coltorti M., Abbondanzi F., Campisi T., Laurora A., Passaglia E. (2015). "Ammonium-exchanged zeolite preparation for agricultural uses: from laboratory tests to large-scale application in ZeoLIFE project proto-type". *Periodico di Mineralogia*, 84, 303-321.

Iskendervov I.S., Mamedova S.N. (1988). "The utilization of natural zeolite in Azerbaijan SSR for increasing yield of wheat", in *Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolites*. D. Kallò, H.S. Sherry (eds.), Akadémiai Kiadó, Budapest, 717-720.

Kanazirska V., Simidchiev H., Chakalov K. (1997). "Effect of zeolite on yield and fruit quality of glasshouse cucumbers. *Natural Zeolites Sofia '95* (G. Kirov, Filizova L., Petrov O., eds.), Pensoft, Sofia-Moscow, 109-110.



- Laurora A., Vezzalini M.G., Brigatti M.F., Malferrari D. (2012). "Technical report action 2: Mineralogical features of the quarry materials", Deliverable product of the UniMORE (Project Code: LIFE+10/ENV/IT/000321).
- Langella A., De Gennaro M., Colella C., Buondonno A. (1995). "Effects of phillipsite or chabazite rich tuff addition to soil on the growth and yield of *Beta vulgaris* and *Raphanus sativus*". Proceedings III Convegno nazionale Scienza e Tecnologia delle zeoliti. R. Aiello (ed.), De Rose, Montalto, Cosenza, 277-285.
- Langella A., De Gennaro M., Colella C., Di Lorenzo G., Sasso G. (1991). 2Feld test on the utilization of neapolitan yellow tuff as soil conditioner in spinach culture". Atti 1° Convegno Nazionale di Scienza e Tecnologia delle Zeoliti. C. Colella (ed.), De Frede, Napoli, 163-169.
- Leggo P.J. (2000). "An investigation of plant growth in an organo-zeolitic substrate and its ecological significance". *Plant and Soil*, 219, 135-146.
- Lewis M.D., Moore F.D., Goldsberry K.L. (1984). "Ammonium-exchanged clinoptilolite and granulated clinoptilolite with urea as nitrogen fertilizer". *Zeo-Agriculture. Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture*. W.G. Pond e F.A. Mumpton (eds.), Westview Press, Boulder, Colorado, 105-111.
- Malferrari D., Laurora A., Brigatti M.F., Coltorti M., Di Giuseppe D., Faccini B., Passaglia E. (2013). "Open-field experimentation of an innovative and integrated zeolite cycle: project definition and material characterization". *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 24, 141-150.
- Mastrociccio M., Colombani N., Di Giuseppe D., Faccini B. and Coltorti M. (2013). "Contribution of the subsurface drainage system in changing the nitrogen speciation of an agricultural soil located in a complex marsh environment (Ferrara, Italy). *Agricultural Water Management*, 119, 144-153.
- Ming D.W., Barta D.J., Golden D.C., Galindo Jr. C., Henninger D.L. (1995). "Zeoponic plant-growth substrates for space applications". *Natural Zeolites '93: Occurrence, Properties, Use* (D.W Ming, F.A. Mumpton, eds.), International Committee on Natural Zeolites, Brockport, New York, 505-513.
- Parlamento Europeo e Consiglio Europeo "Direttiva 2000/60/Ce del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque".
- Passaglia E. (2008.). "Zeoliti naturali, zeoliti e loro applicazioni", Arvan
- Passaglia E., Poppi S. (2005). "Risparmio idrico e di fertilizzanti nella coltivazione di ortaggi e frutta in terreni ammendati con zeolite a chabazite". Atti 3° Convegno AISSA "Il pianeta acqua nel continente agricoltura", Reggio Emilia, 6-7 Dicembre 2005, 109-110.
- Passaglia E., Marchi E., Barbieri L., Bedogni G., Taschini G., Azzolini P. (1997). "Le zeoliti nel ciclo di depurazione delle acque reflue e loro successivo impiego in agricoltura". *Noi e L'Ambiente*, 15, 56-61.
- Passaglia E., Bellarmi T., Guidetti A., Merlotti F. (2005). "Zucchine e meloni su zeolite, più resa e meno concimazione". *L'informatore Agrario*, 50, 55-57.
- Piñón-Villarreal A.R., Bawazir A.S., Shukla M.K., Hanson A.T. (2013). "Retention and transport of Nitrate and ammonium in lomy sand amended with clinoptilolite zeolite". *J. Irrig. Drain. Eng.*, 139, 755-765.
- Volterrani M., Grossi N., Gaetani M., Miele S. (1999). "L'andamento del substrato di radicazione USGA (United States Golf Association) con zeoliti naturali: studio della dinamica dell'azoto in un tappeto erboso di *Festuca arundinacea* Schreb". *Italus Hortus*, 6, 15-20.





## **Album fotografico del progetto ZeoLIFE**



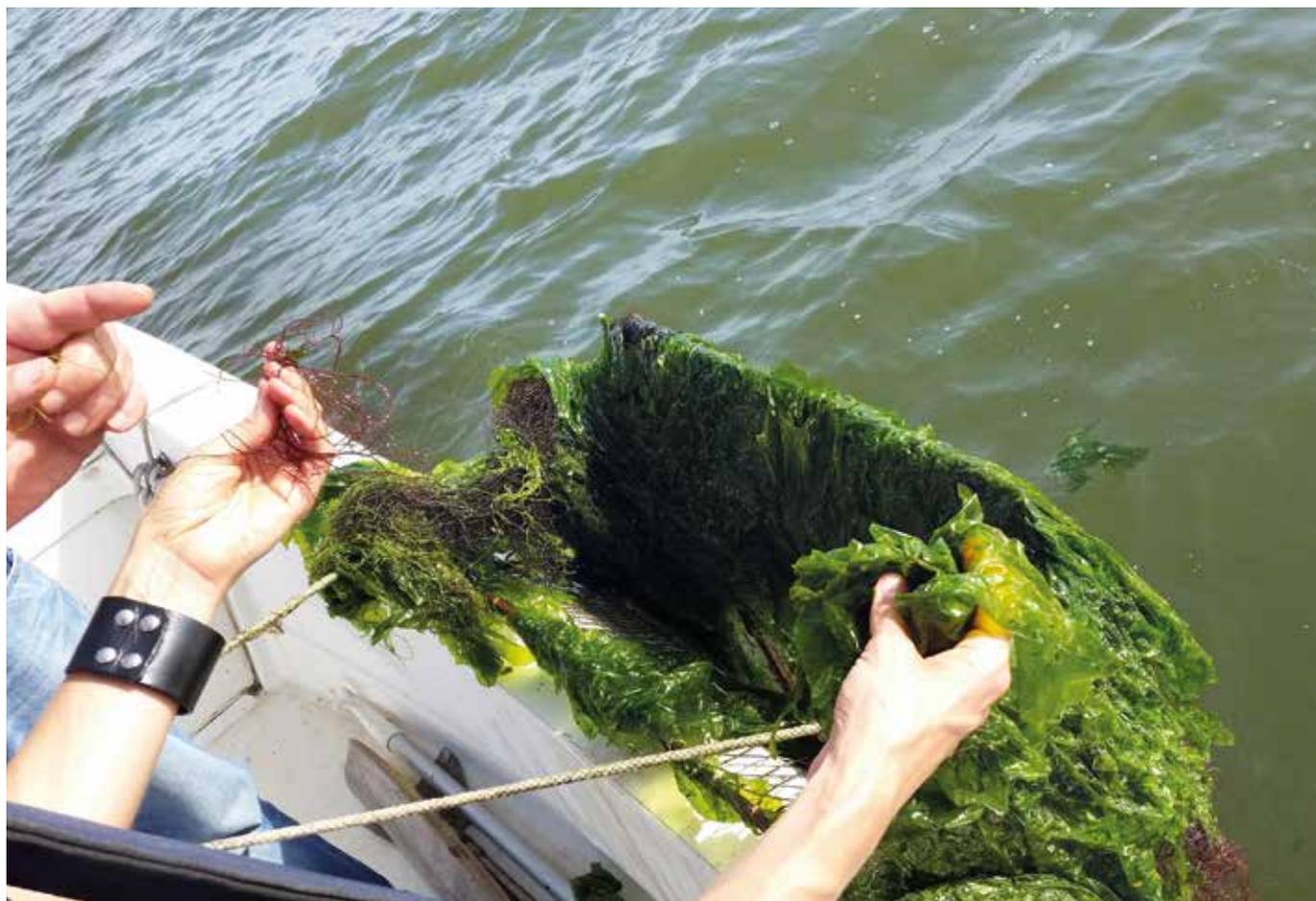


Foto 1 - Fenomeni di eutrofizzazione nella Sacca di Goro, Settembre 2015



Foto 2 - Pescatori che liberano la Sacca di Goro dalle alghe che impediscono la coltivazione di molluschi



Foto 3 - Cava di Zeolitite, Sorano (GR)



Foto 4 - Dettaglio del materiale di risulta della cava utilizzato nel progetto ZeoLIFE



Foto 5 - La zeolite frantumata



Foto 6 - I test di scambio tra zeolite e liquame suino



Foto 7 - Il prototipo sperimentale per il caricamento con ammonio della zeolite



Foto 8 - Particolare del vibrovaglio per la separazione della zeolite dopo il trattamento



*Foto 9 - Preparazione delle stazioni di monitoraggio*



*Foto 10 - Controllo di data logger, lisimetri e piezometri*



*Foto 11 - Recupero dei dreni per la subirrigazione per l'intero campo sperimentale*



*Foto 12 - Pulizia dei dreni con un sistema a getto d'acqua*



Foto 13 - Lettura dei contaltri, ovvero della quantità di acqua dispersa nei canali superficiali



Foto 14 - Cartelloni esplicativi del progetto nei pressi del campo sperimentale





Foto 15 - La stazione metereologica



Foto 16 - Operazioni per la distribuzione della zeolite sul campo sperimentale





*Foto 17 - Spandimento della zeolite in campo e successiva aratura*



*Foto 18 - La zeolite miscelata al terreno limoso-argilloso*



Foto 19 - Operazioni di semina



Foto 20 - La raccolta del mais



*Foto 21 - Il campo sperimentale ZeoLIFE durante la coltivazione del mais (anno agronomico 2013/14)*



*Foto 22 - Il campo sperimentale ZeoLIFE durante la coltivazione del grano (anno agronomico 2014/15)*



*Foto 23 - Sorgho nella parcella con zeolite arricchita in ammonio*



*Foto 24 - Campionamento della rizosfera e del grano per le analisi chimiche ed isotopiche*



*Foto 25 - Esperimenti di crescita di mais in serra per determinare la riduzione di fertilizzante da applicare nelle varie parcelle*



*Foto 26 - Esperimenti di crescita di mais in serra per determinare la riduzione di fertilizzante da applicare nelle varie parcelle*



Foto 27 - Visite guidate al prototipo di caricamento della zeolite



Foto 28 - Visita di controllo dell'andamento del progetto da parte dei monitor della Comunità Europea







PROVINCIA DI FERRARA



PARCO DELTA DEL PO  
EMILIA-ROMAGNA



Conorzio  
Universitario per  
la Ricerca  
Socioeconomica  
e per l'Ambiente



UNIMORE

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MODENA E REGGIO EMILIA

C.R.S.A. MED INGEGNERIA

Centro Ricerche e Servizi Ambientali