



CONSORZIO DI BONIFICA DELL'ORISTANESE

Via Cagliari n. 170 – Oristano

**RIDUZIONE DELL'INQUINAMENTO DELL'ACQUIFERO
DELLA PIANA DI ARBOREA DA NITRATI DI ORIGINE
AGRO-ZOOTECNICA MEDIANTE TECNOLOGIE
DIFFUSE DI BIORISANAMENTO IN SITU**

C.A.T. P0722

C.U.P.: G52E22000400002

C.I.G.:

PROGETTO ESECUTIVO

Progettista
Ing. Gian Luca Zuddas

Consulente scientifico
Prof. Antonio Coppola

Collaboratori
Ing. Eleonora Trudu
Ing. Fabrizio Musiu
Geom. Matteo Casciu

Responsabile unico del progetto
Dott. Serafino Angelo Meloni

Committente
Consorzio di Bonifica dell'Oristane
Il Presidente
Dott. Carlo Corrias

Titolo

Allegato

RELAZIONE GENERALE

A

Rev.	Data	Nome file	Redattore	Verificatore
00	10/02/2023	1502P0722relgeneraleGZ	Ing. G. Zuddas	Ing. G. Bravin
01	19/07/2023	1502P0722relgeneraleRev01GZ	Ing. G. Zuddas	Ing. G. Bravin

INDICE

1. PREMESSA	1
2. STUDIO DEL CONTESTO	3
2.1 <i>Inserimento territoriale</i>	3
2.2 <i>Geologia, pedologia, zonizzazione sismica</i>	3
2.3 <i>Vincoli idrogeologici</i>	5
2.4 <i>Verifica dell'interesse archeologico</i>	6
2.5 <i>P.P.R. e Natura 2000</i>	6
2.6 <i>Zone vulnerabili da nitrati ZVN</i>	8
3. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO	11
4. INTERVENTI IN PROGETTO	13
4.1 <i>Descrizione dei lavori</i>	13
4.2 <i>Fasi lavorative e cronoprogramma</i>	18
4.3 <i>Gestione dei rifiuti</i>	18
4.4 <i>Espropri</i>	18
4.5 <i>Interferenze</i>	19

1. PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto esecutivo "Riduzione dell'inquinamento dell'acquifero della piana di Arborea da nitrati di origine agro-zootecnica mediante tecnologie diffuse di biorisanamento in situ".

L'inquinamento chimico dei suoli e delle risorse idriche sotterranee è la conseguenza di molte attività umane, tra le quali l'agricoltura è senza dubbio una delle più importanti. L'uso di fertilizzanti e agrofarmaci di sintesi rende il settore agricolo una delle principali fonti d'inquinamento diffuso per i suoli e le risorse idriche. Di particolare rilievo è l'inquinamento degli acquiferi da nitrati, specie nelle aree ad attività agricola intensiva.

La concentrazione di nitrati, in molte aree intensamente coltivate, eccede il limite massimo consentito per le acque potabili di 50mg/L NO_3 (11,6 mg/L di N-NO_3). Le pratiche agricole sono responsabili per il 50-80% dell'apporto complessivo di azoto verso i corpi idrici (EEA, 2002). Il problema nasce prevalentemente da una gestione non accurata dei fertilizzanti che porta a una bassa efficienza di uso dei nutrienti da parte delle colture e/o da una irrigazione inefficiente.

Diversi studi hanno evidenziato come i fertilizzanti vengano spesso somministrati in un'unica soluzione, superando così, in alcuni periodi dell'anno, la capacità di assorbimento delle piante. La capacità di assorbimento dell'azoto da parte delle piante coltivate varia con lo stadio fenologico e non sempre coincide con la disponibilità di nutrienti nel suolo. Inoltre, è stato rilevato che i fertilizzanti vengono forniti in quantità eccessive rispetto ai reali fabbisogni delle colture, soprattutto in aree ad intensa attività zootecnica, dove gli apporti di azoto con letame e liquami sono di facile reperimento.

L'Unione Europea ha emanato il primo strumento legislativo per contrastare l'inquinamento da nitrati nel 1991 con la Direttiva 91/676CEE, comunemente definita Direttiva Nitrati, applicata in Sardegna solo a partire dal 2005. L'Italia ha recepito la Direttiva Nitrati con il D.Lgs 152/1999 e successivamente con il D.Lgs 152 del 2006. Viene così fatto obbligo alle Regioni di individuare le Zone Vulnerabili da Nitrati (ZVN) di origine agricola, di formulare un "Codice di Buona Pratica Agricola" e di redigere il Piano di Azione Obbligatorio.

Tra le aree riconosciute come ZVN vi è la piana di Arborea e Terralba.

Riduzione dell'inquinamento dell'acquifero della piana di Arborea da nitrati di origine agro-zootecnica mediante tecnologie diffuse di biorisanamento in situ

Il progetto nasce, quindi, dalla volontà di affrontare un problema reale, ma fino ad oggi trascurato, rappresentato dalle alte concentrazioni di nitrati presenti nella falda acquifera sottostante, le quali potrebbero pregiudicare il futuro dell'economia locale qualora entrasse in vigore un qualche strumento normativo che limiti l'attività agro-zootecnica in favore del ripristino delle condizioni normali della falda.

Gli interventi previsti sono da intendersi come caso studio ovvero come intervento pilota, essendo limitati solo a quattro siti messi a disposizione da alcune attività del posto. Qualora, come è auspicabile, i risultati siano soddisfacenti, si procederà in un secondo momento alla diffusione dei bioreattori, qui proposti, in tutto il territorio ricadente in ZVN.

2. STUDIO DEL CONTESTO

2.1 Inserimento territoriale

Il progetto prevede la realizzazione di quattro bioreattori per altrettante aziende agricole presenti nella piana di Arborea, in provincia di Oristano.

L'area ha una fortissima vocazione agro-zootecnica grazie alle condizioni ideali orografiche e climatiche che hanno permesso un rapido e notevole sviluppo dell'economia locale.

I lotti individuati per gli interventi in progetto sono ricompresi tra il centro abitato di Arborea e la zona umida data dal complesso di stagni e laghi che si affacciano sul Golfo di Oristano.

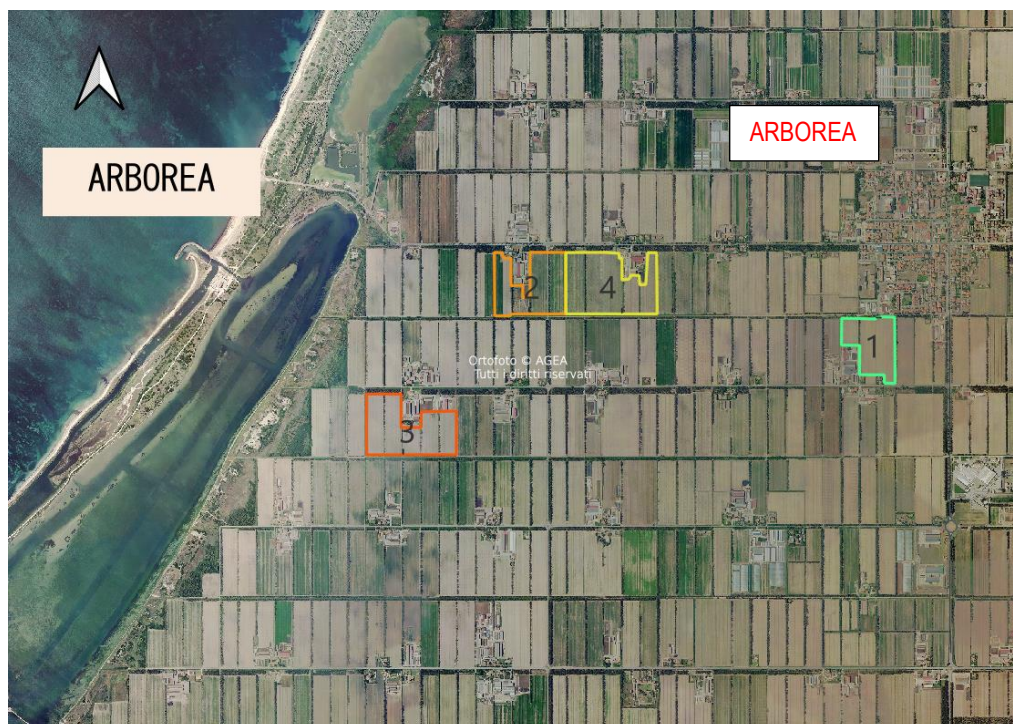


Figura 1 – In evidenza i lotti interessati dall'intervento

Cartograficamente l'area ricade interamente nel foglio 538030 della Carta Tecnica Regionale 1:10'000 e 538031 e 538032 della C.T.R. della Sardegna alla scala 1:5'000.

2.2 Geologia, pedologia, zonizzazione sismica

Dal punto di vista geologico si evidenzia un'importante uniformità. L'area in esame ricade nel Graben campidanese Plio-Quaternario, compreso tra i complessi montuosi del Monte Funesu a

Sud-Ovest e del Monte Arci a Nord-Est. Le formazioni metamorfiche del Monte Funesu sono da ricondurre alla fase collisionale dell'orogenesi ercinica, mentre, le vulcaniti del Monte Arci appartengono al ciclo vulcanico Plio-Quaternario.

Dal punto di vista morfologico la vasta pianura campidanese e i rilievi circostanti rappresentano un complesso sistema ad horst e graben, i cui bordi sono delimitati da evidenti famiglie di faglie orientate prevalentemente in direzione NW-SE o N-S.

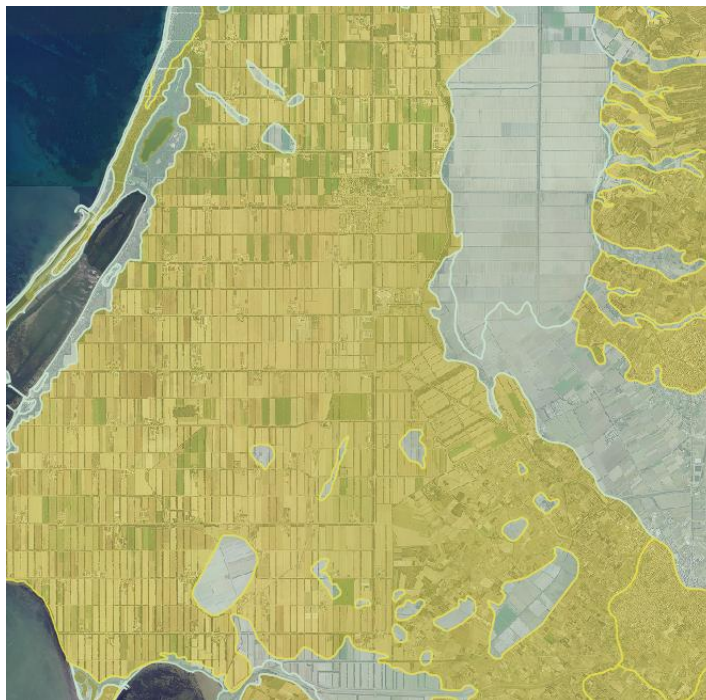


Figura 2 – Stralcio della carta geologica della Regione Sardegna nell'area di Arborea: in giallo i depositi pleistocenici dell'area continentale, e in ciano i depositi palustri

La piana ad ovest di Arborea è formata quasi interamente da depositi terrigeni eolici, con una profondità dell'ordine di 3-4 m, costituiti da sabbie, arenarie, calciruditi, ghiaie con bivalvi, gasteropodi, con subordinati depositi sabbioso-limosi e calcilutiti di stagno costiero.

Trattandosi di un'area di bonifica si osservano alcuni depositi palustri costituiti da limi ed argille limose, talvolta ciottolose, e fanghi torbosi con frammenti di molluschi.

Sulla base della caratterizzazione geologica è possibile valutare la permeabilità del suolo. Infatti, in corrispondenza dei depositi terrigeni si ha una permeabilità alta per via della elevata porosità, mentre in corrispondenza dei sedimenti palustri, ovviamente, la permeabilità risulta essere bassa.

2.3 Vincoli idrogeologici

La piana di Arborea è un territorio pianeggiante nato in seguito agli interventi di bonifica che nel secolo scorso hanno interessato le aree palustri comprese tra il fiume Tirso e il rio Mogoro.

In tale contesto si realizzarono dei canali di guardia posti su diverse linee di quota col compito di intercettare le acque provenienti dai versanti occidentali del Monte Arci. Detti canali prendono il nome di Canale delle Piene Millenarie, Canale delle Acque Alte, Canale delle Acque Medie e Canale delle Acque Basse, rispettivamente spostandosi da monte verso valle.

La piana di Arborea, compresa tra il Canale delle Acque Basse e il Golfo di Oristano, è priva di un reticolo idrografico naturale ma è dotata di un fitto reticolo di drenaggio per l'allontanamento delle acque meteoriche dai campi. Il territorio si sviluppa con una notevole omogeneità, con lotti di dimensioni uguali che si ripetono come in una matrice, costeggiati da canali di dreno più o meno grandi a seconda del bacino contribuente di monte.

Il vincolo idrogeologico è istituito e normato con il Regio Decreto n.3627 del 30.12.1923 e il successivo regolamento di attuazione R.D. 1126/1926. Esso rivolge particolare attenzione alla protezione dal dissesto idrogeologico ed istituisce tale vincolo come strumento di prevenzione e difesa del suolo, limitando il territorio ad un uso conservativo.

La perimetrazione vigente del vincolo idrogeologico è disponibile per ogni Servizio Territoriale dell'Ispettorato Ripartimentale (STIR), con la relativa documentazione di approvazione del vincolo nonché la cartografia e l'elenco catastale. Nel caso di specie, non sono presenti nell'area di interesse vincoli di natura idrogeologica ai sensi del R.D.L. 3267/23

Negli ultimi decenni sono nati nuovi strumenti di pianificazione di natura idrogeologica riconducibili fondamentalmente ai seguenti piani:

- Piano di Assetto Idrogeologico, PAI;
- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, PSFF;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, PGRA;
- Ex art.8 delle Norme di Attuazione del PAI;
- Altri (Ciclone Cleopatra, Scenari di intervento, etc).

Esaminando tutti gli strumenti di pianificazione di cui sopra, si osserva come l'area sia scevra da vincoli di natura idrogeologica.

2.4 Verifica dell'interesse archeologico

Nel corso degli anni, le grandi trasformazioni del territorio hanno inciso pesantemente nel paesaggio circostante l'area di intervento e lo hanno certamente sconvolto. Diventa quindi difficile ipotizzare nei punti di interesse la possibilità di intercettare una presenza antropica antica costituita da strutture abitative e/o necropoli e/o insediamenti produttivi o militari.

Inoltre, visto anche il tipo di intervento che non prevede scavi profondi e di grande estensione, si ritiene non sussistano rischi di natura archeologica.

A supporto di quanto sopra si rimanda alla "Relazione archeologica e di classificazione dei beni architettonici" presente sul sito del comune di Arborea in tema di P.U.C.

2.5 P.P.R. e Natura 2000

Il comune di Arborea è uno dei 25 comuni del Campidano di Oristano e il suo territorio ricade all'interno dell'ambito di paesaggio n.9 Golfo di Oristano, più precisamente nelle tavole 528_II e 539_I.

Si osserva come l'intera zona di interesse ricada all'interno delle "aree della bonifica modificate ai sensi dell'art. 5 c.8 della L.R. 3/2009 – Bonifica di Arborea"

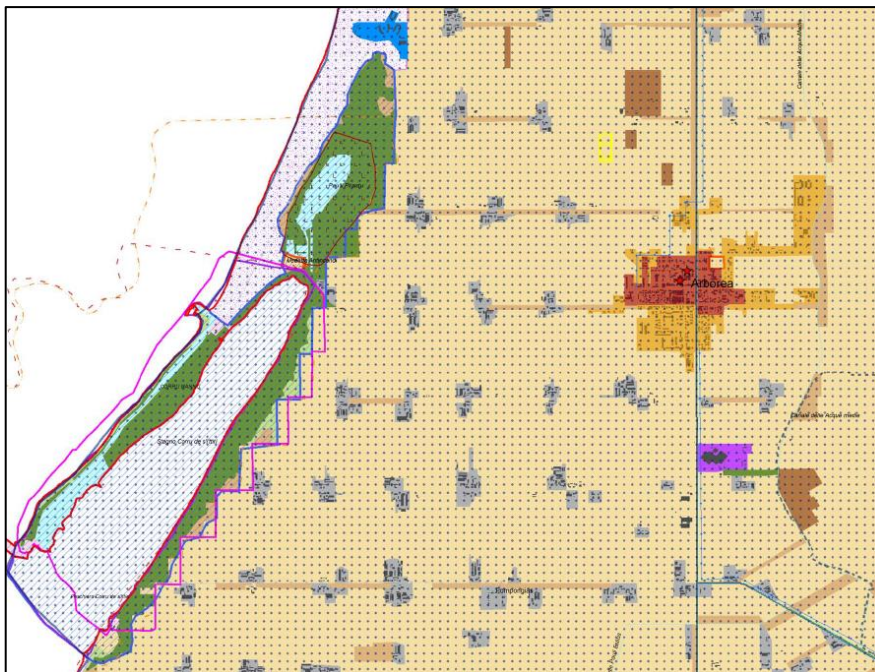


Figura 3 – Stralcio dalla tavola 539_I dell'Ambito di Paesaggio n.9

Riduzione dell'inquinamento dell'acquifero della piana di Arborea da nitrati di origine agro-
zootecnica mediante tecnologie diffuse di biorisanamento in situ

Come si osserva in figura 3, sono presenti sulla costa dei beni paesaggistici, ai sensi dell'art. 143 del D.Lgs 152/2006 riconducibili a "Zone umide costiere", "Laghi, invasi e stagni" e "Aree di interesse faunistico".

Il cosiddetto "Progetto Natura" realizzato in collaborazione con il Portale Cartografico Nazionale della Direzione Difesa Suolo, contiene le banche dati geografiche realizzate dalla Direzione Protezione Natura delle principali aree naturali protette:

- le aree protette iscritte nell'Elenco Ufficiale Aree Protette (EUAP), comprensive dei Parchi Nazionali, delle Aree Naturali Marine Protette, delle Riserve Naturali Marine, delle Riserve Naturali Statali, dei Parchi e Riserve Naturali Regionali;
- la Rete Natura 2000, costituita ai sensi della Direttiva "Habitat" dai Siti di Importanza Comunitari (SIC) e dalle Zone di Protezione Speciale (ZPS) previste dalla Direttiva "Uccelli";
- le Important Bird Areas (IBA);
- le aree Ramsar, aree umide di importanza internazionale;
- integrandone le informazioni con i limiti amministrativi (Regioni, Province, Comuni), le cartografie IGM alla scala 1:250'000, 1:100'000, 1:25'000 e le Ortofoto a colori.

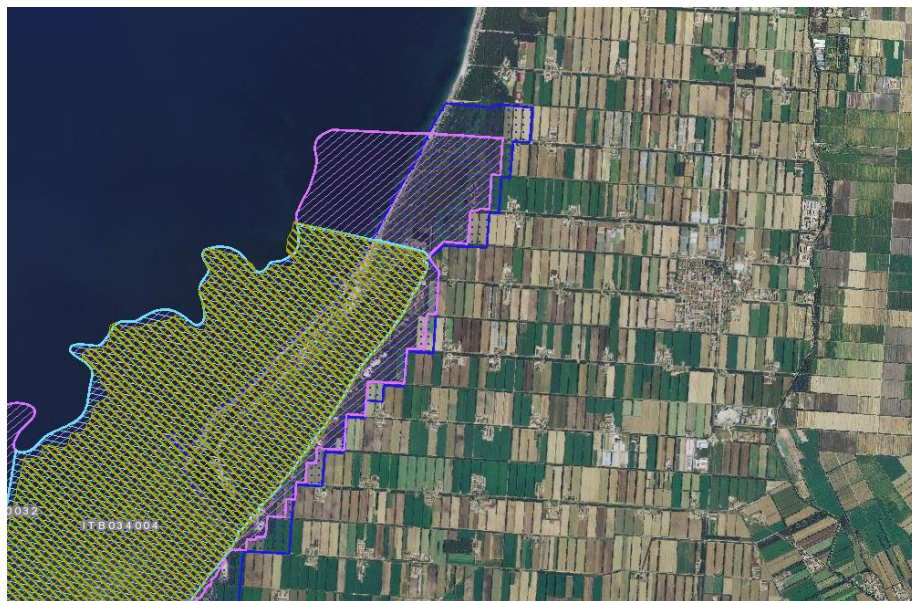


Figura 4 - Stralcio da Rete Natura 2000

In merito all'area di interesse, si rileva come non sia gravata da vincoli, i quali sono invece presenti nella fascia costiera adiacente, dove scaricano i canali di drenaggio della piana arborese. I vincoli sono di seguito descritti:

- Zone umide di importanza internazionale (Ramsar) - "Corru s'Ittiri – S.Giovanni e Marceddi"
- Sito di Importanza Comunitaria (SIC) - ITB030032 "Stagno di Corru s'Ittiri"
- Zona di Protezione Speciale (ZPS) – ITB034004 "Corru s'Ittiri, stagno di S.Giovanni e Marceddi"
- Important Bird Area – IBA218 "Sinis e stagni di Oristano"

2.6 Zone vulnerabili da nitrati ZVN

In determinate aree, l'utilizzo sui campi di liquami di origine zootecnica e di fertilizzanti azotati su particolari tipologie di terreni, possono generare, specie su falde acquifere molto superficiali, residui di nitrati molto elevati, con conseguente aumento del degrado dei corpi idrici. Particolare rilevanza hanno tali informazioni quando sono poste in relazione e riguardano zone vulnerabili da nitrati, all'interno delle quali i limiti di spandimento sono ancora maggiormente stringenti.

La normativa in vigore prevede l'invio di una comunicazione dell'utilizzo a fini agronomici dei fertilizzanti azotati, che rappresenterà la fonte dei dati sia per le imprese che utilizzano i fertilizzanti azotati, sia per i siti di spandimento. La possibilità di fruire dei dati delle aziende che utilizzano i fertilizzanti azotati assume particolare rilevanza ai fini della tutela della risorsa idrica. Infatti, i nitrati di origine agricola risultano essere la causa principale dell'inquinamento delle acque.

L'Unione Europea ha emanato il primo strumento legislativo per contrastare l'inquinamento da nitrati nel 1991 con la Direttiva 91/676CEE, comunemente definita Direttiva Nitrati, applicata in Sardegna solo a partire dal 2005. Preso atto che i nitrati di origine agricola sono la causa principale dell'inquinamento proveniente da fonti diffuse, gli obiettivi posti in essere dalla Direttiva sono:

- proteggere la qualità delle acque sotterranee e superficiali dall'apporto diretto o indiretto di nitrati provenienti da fonti agricole;
- ridurre l'inquinamento idrico risultante dallo spandimento di deiezioni animali e dall'uso eccessivo di concimi nei terreni agricoli;
- prevenire qualsiasi ulteriore inquinamento di questo tipo.

L'entrata in vigore della Direttiva Nitrati, pertanto, ha obbligato gli Stati Membri ad eseguire monitoraggi delle concentrazioni dei nitrati nelle acque dolci, a designare le aree vulnerabili, a stabilirne i programmi di azione, a fissare i codici di buona pratica agricola, a predisporre

Riduzione dell'inquinamento dell'acquifero della piana di Arborea da nitrati di origine agro-zootecnica mediante tecnologie diffuse di biorisanamento in situ

programmi per la formazione e l'informazione degli agricoltori. L'Italia ha recepito la Direttiva Nitrati con il D.Lgs 152/1999 e successivamente con il D.Lgs 152 del 2006. Viene così fatto obbligo alle Regioni di individuare le Zone Vulnerabili da Nitrati (ZVN) di origine agricola, di formulare un "Codice di Buona Pratica Agricola" e di redigere il Piano di Azione Obbligatorio.

Le prescrizioni della Direttiva Nitrati sono state recepite in Sardegna con il DGR n.1/12 del 18.01.2005, sulla base del quale è stata individuata la Zona Vulnerabile da Nitrati di Arborea e con i DGR n.4/13 del 31.01.2006 e DGR n.14/17 del 04.04.2006 con cui la Regione ha adottato il relativo Programma d'Azione.

Successivamente con DGR n. 21/34 del 05.06.2013 la Regione ha adottato il Disciplinare Regionale che regola per l'intero territorio regionale le attività di utilizzazione agronomica delle deiezioni zootecniche e delle acque reflue per le fasi di produzione, raccolta, stoccaggio, fermentazione e maturazione, trasporto e diffusione (Disciplina Regionale Effluenti).

In Sardegna sono presenti poche Zone Vulnerabili da Nitrati, per la quasi totalità concentrate nelle aree agricole dei comuni di Arborea, Terralba e Marrubiu.



Figura 5 – In rosso la ZVN designata con D.G.R. n 1/12 del 18.01.2005, in viola le ZVN aggiornate

Riduzione dell'inquinamento dell'acquifero della piana di Arborea da nitrati di origine agro-zootecnica mediante tecnologie diffuse di biorisanamento in situ

3. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO

L'area su cui devono essere realizzate le opere è caratterizzata dalla classica conformazione dei territori soggetti a bonifica e riordino fondiario.

L'intero agro di Arborea, infatti, è suddiviso in lotti rettangolari di circa 400 m x 100 m, separati tra loro sul lato lungo da filari di frangivento di eucaliptus. Lungo i lati corti, dove è comunque presente una fascia frangivento più o meno larga, corrono parallelamente strade di servizio e/o canali di raccolta delle acque provenienti dai drenaggi superficiali dei terreni agricoli.

Come detto anche nei paragrafi precedenti, Arborea è un comune con una fortissima vocazione agro-zootecnica, nella quale si ha una ripetizione costante di colture al fine di sfruttare al massimo potenziale la qualità del suolo, nonché importanti allevamenti di bovini.

Nella piana di Arborea, Zona Vulnerabile da Nitrati (ZVN) individuata dalla Regione Sardegna, l'utilizzo sui campi di deiezioni animali, oltre che di fertilizzanti azotati di sintesi, ha generato concentrazioni di nitrato molto elevate, specie nelle acque di falde molto superficiali. Ancora recentemente, sebbene l'area si trovi in ZVN e quindi i limiti di spandimento dei reflui zootecnici siano particolarmente stringenti, molti dei pozzi per il monitoraggio dei nitrati fanno registrare valori anche molto al di sopra del limite di 50 mg/L (Ghiglieri et al., 2016).

Questa criticità è riscontrabile nel Piano di monitoraggio e controllo (PMC) per la ZVN di Arborea; nel rapporto di ottobre 2017 (attività 2016 e risultati 2013-2016), si sottolinea un trend di crescita delle quantità di nitrati in falda superficiale. Inoltre, i valori indicano come i carichi di azoto registrati siano vicini alle quantità presenti negli anni in cui il programma d'azione ZVN non era ancora in azione.

È comunque da rilevare il fatto che nella Piana di Arborea si trovino alcuni pozzi caratterizzati da concentrazioni di nitrati estremamente elevate localizzati in aree in cui, a parità di pratiche di gestione agro-zootecnica, si rilevano invece concentrazioni ben al di sotto dei limiti dei 50mg/L (vedi figura 6).

In queste aree inquinate molto circoscritte sono da indagare le cause effettive dell'inquinamento, che potrebbero essere ascrivibili a condizioni idro-pedologiche particolarmente favorevoli al trasporto di nitrati in falda, a condizioni ecologiche che ostacolano la denitrificazione naturale o, più semplicemente, alla presenza nelle vicinanze di siti di deposito di reflui zootecnici non adeguatamente impermeabilizzati.

Riduzione dell'inquinamento dell'acquifero della piana di Arborea da nitrati di origine agro-zootecnica mediante tecnologie diffuse di biorisanamento in situ

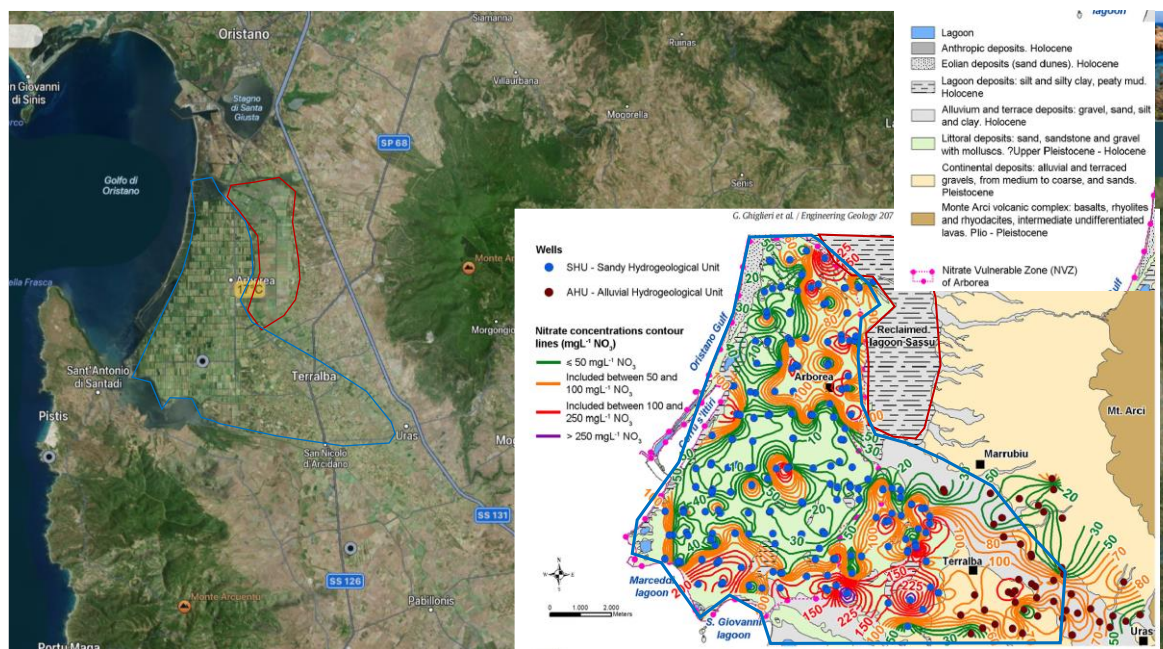


Figura 6 - Concentrazioni di nitrato nell'area della Piana di Arborea (delimitata in blu nell'immagine aerea) e nell'area dell'ex stagno Sassu (delimitata in rosso nell'immagine aerea)

D'altra parte, la ZVN pone non pochi problemi alle aziende agro-zootecniche che operano nella Piana di Arborea, soprattutto perché i limiti di spandimento delle deiezioni rendono gli attuali carichi di bestiame non sostenibili sull'area in oggetto. Questo ha, nel migliore dei casi, indotto lo spandimento di reflui in eccesso in terreni presi in affitto al di fuori della ZVN, cosa che ha solo spostato il problema all'esterno della ZVN, allargando la scala territoriale del problema.

4. INTERVENTI IN PROGETTO

4.1 Descrizione dei lavori

La Piana di Arborea si caratterizza per profili di suolo in prevalenza sabbioso con ritenzioni idriche basse ed elevata conducibilità idraulica. L'unità elementare di questa parte dell'area della bonifica di Arborea è un campo di circa 4 ettari (400m x 100m) spesso delimitato da canali di colo a superficie libera disposti longitudinalmente in corrispondenza di filari di eucalipto.

In questi suoli prevalgono flussi di percolazione di acqua e di soluti verso la falda superficiale piuttosto che deflussi superficiali verso il reticolo di drenaggio. In caso di irrigazione non efficiente nel periodo irriguo, volumi significativi di acque irrigue possono essere persi per percolazione profonda, con un conseguente trasporto di nutrienti verso la falda. Inoltre, in caso di ridotta soggiacenza della falda, sono attesi anche importanti flussi di drenaggio di acqua e di nitrati dalla falda verso il reticolo di drenaggio sia durante il periodo invernale, quando gli apporti da precipitazione superano l'evapotraspirazione e la capacità di ritenzione idrica dei suoli, sia durante la stagione irrigua in risposta a interventi irrigui in eccesso rispetto ai fabbisogni.

Con queste premesse, il presente progetto si basa sulla realizzazione di tecnologie distribuite sul territorio per il biorisanamento dell'acquifero di Arborea, con benefici per l'ambiente ma allo stesso tempo salvaguardando la competitività delle aziende agro-zootecniche. Le tecnologie proposte prevedono una riduzione progressiva (nel medio periodo) delle concentrazioni di nitrato in falda attraverso l'intercettazione parziale dei flussi di percolazione di acqua e dei nitrati disciolti attraverso un sistema di drenaggio, in parte già esistente, costituito da canali aperti, e in parte da realizzare con dreni tubolari interrati.

L'abbattimento dei nitrati viene ottenuto facendo confluire parte dei volumi drenati in un bioreattore dove avviene un processo (naturale) di denitrificazione completa (da nitrato ad azoto molecolare). Rispetto ad un qualsiasi altro tipo di trattamento che preveda il trattamento delle acque già inquinate (strippaggio, per esempio), l'intercettazione dei flussi di nitrato per drenaggio e il successivo passaggio attraverso bioreattore, consente di risolvere il problema a monte, quando cioè l'inquinante non si è ancora propagato in falda, riducendo notevolmente i volumi da trattare.

Riduzione dell'inquinamento dell'acquifero della piana di Arborea da nitrati di origine agro-zootecnica mediante tecnologie diffuse di biorisanamento in situ

L'intervento verrà realizzato in quattro differenti siti messi a disposizione dalle aziende del luogo e prevederà i seguenti interventi:

1. Realizzazione della rete di drenaggio;
2. Collettamento dei dreni;
3. Realizzazione del bioreattore e dei relativi pozzetti;
4. Strumentazione di misura.

Al fine di raccogliere le acque della falda superficiale e allontanare le acque percolate ricche di nitrati si andrà a posare una rete di drenaggio orizzontale sottostante i canali di dreno già presenti lungo i lotti. I dreni saranno costituiti da tubi forati in polietilene ovvero in pvc, rivestiti in fibra di cocco o con altri materiali che permettano il filtraggio dell'acqua dal materiale solido che potrebbe essere trascinato all'interno dei tubi medesimi.

I tubi-dreno, di diametro pari a 80 mm, saranno posati parallelamente al lato lungo dei singoli lotti, a circa 3 m dai fossi realizzati per il drenaggio delle acque superficiali, con interasse di circa 20 m e ad una profondità variabile di circa 100-120 cm al fine di non intralciare con le lavorazioni dei mezzi agricoli e con l'apparto radicale delle colture.

La posa sarà eseguita tramite specifica macchine posadreni a "talpa", la quale è in grado di mettere in opera tubi in materiale plastico flessibile a profondità variabili tra i 50 cm e i 200 cm e a garantire il funzionamento per gravità grazie al controllo automatico e continuo della pendenza.

A valle dei tubi-dreno verrà posato una condotta in PVC atta a collettare le acque dei lotti costituenti le aree da bonificare e convogliarle verso il bioreattore. Poiché la posadreni è in grado di lavorare fino ad un diametro di circa 200 mm, si è scelto di posizionare i bioreattori in maniera tale da suddividere il collettore in due rami, confluenti nel pozzetto di immissioni.

Diversamente, date le dimensioni di alcune aziende, si renderebbe necessario un collettore di diametri maggiori (variabile fino a 315 mm), per i quali non si potrebbe ricorrere alla posadreni ma bensì alla posa classica, ovvero tramite scavo e reinterro, e procedere raccordando le immissioni dei tubi-dreno.

I collettori si svilupperanno lungo i bordi dei lotti fino ad arrivare al pozzetto di immissione del bioreattore. Questi ultimi sono sistemi di trattamento passivo che possono essere utilizzati per rimuovere nitrati sia da acque di deflusso superficiale che da falde superficiali. Inoltre, si caratterizzano per costi di realizzazione relativamente bassi, garantendo elevati livelli di abbattimento dei nitrati contenuti nelle acque trattate.

Riduzione dell'inquinamento dell'acquifero della piana di Arborea da nitrati di origine agro-zootecnica mediante tecnologie diffuse di biorisanamento in situ

Va altresì precisato che, laddove necessario come nel caso dell'azienda n.01, si dovrà ricorrere alla posa del collettore previo scavo da realizzarsi in quanto le interferenze con le tubazioni irrigue sono tali da non permettere l'utilizzo della posadreni.

I bioreattori si basano sulla stimolazione dei naturali processi biologici degradativi e hanno dimostrato in molte applicazioni ottimi rendimenti di rimozione dei contaminanti. Tali tipologie di intervento consistono nella realizzazione di trincee, realizzate sul bordo dei campi o lungo le strade di accesso ai campi, riempite di un materiale naturale molto reattivo nei confronti del tipo di inquinamento da trattare.

Nel caso dei nitrati, i batteri denitrificanti eterotrofi richiedono materiali organici ad elevato rapporto C:N per poter operare. La biomassa costituita da colonie di batteri a metabolismo eterotrofo, naturalmente presente nel terreno e nella parte corticale del materiale di riempimento, nelle opportune condizioni di processo (ORP $\leq$ 300 mV; pH tra 5.5 e 8.0; temperatura compresa tra 20 e 35°C; ossigeno disciolto minore di 4.5 mg/L) utilizza i nitrati per ossidare il substrato carbonioso, che funge sia da fonte di energia per le attività metaboliche della biomassa, sia da donatore di elettroni. La catena di reazioni, in cui intervengono enzimi catalizzatori specifici, nelle condizioni ideali di processo, converte i nitrati in azoto molecolare.

Fra i materiali utilizzabili per il riempimento dei bioreattori, negli ultimi anni si è poi sviluppato un diffuso interesse verso il riuso in applicazioni ambientali di materiali di scarto a matrice legnosa (cippato, trinciato o pellettato di Eucaliptus, Pino, Quercia, per esempio), possibilmente a basso contenuto di tannino (che svolgerebbe azione antisettica) in alternativa al loro conferimento in discarica. Nel presente progetto si è scelto di utilizzare il cippato sebbene la tipologia di legno dovrà essere ulteriormente indagata mediante prove empiriche al fine di capirne esattamente le caratteristiche, la permeabilità e la deperibilità.

I bioreattori verranno realizzati nelle seguenti coordinate:

Bioreattore	Latitudine	Longitudine
Magnani	1461748.3	4402148.5
Rossi	1461092.9	4401348.2
Petucco	1462362.1	4402167.3
Panetto	1463851.6	4402125.7

Riduzione dell'inquinamento dell'acquifero della piana di Arborea da nitrati di origine agro-zootecnica mediante tecnologie diffuse di biorisanamento in situ

Come detto, il progetto intende intervenire sulla proprietà di quattro aziende diverse, per ognuna delle quali si realizzerà un bioreattore. Questo è costituito da uno scavo a sezione trapezia di lunghezza pari a 25 m, larghezza media di 4 m (base minore 3,60 m e base maggiore 4,40 m) e altezza di 120 cm. Il fondo dello scavo dovrà essere protetto da uno strato formato da tessuto non tessuto e da polietilene ad alta densità (HDPE), così da impedire la percolazione delle acque nel sottosuolo.

Quindi, si procede con la posa del cippato prescelto all'interno del vano creato fino al raggiungimento di un'altezza di 0.90 m, sopra il quale si dovrà posare uno strato di geotessile come elemento di separazione rispetto allo spessore di ricoprimento in terra sovrastante.

Il bioreattore è dotato inoltre di due pozzetti: uno in ingresso e uno in uscita.

Il funzionamento prevede che il collettore convogli le acque nel pozzetto in ingresso, collegato idraulicamente con il bioreattore e dotato di uno scarico di troppo pieno utile per scaricare sulla rete di bonifica esterna le portate in ingresso eccedenti. Il bioreattore, quindi, funziona come un mezzo poroso e l'acqua si muove all'interno per filtrazione fino al pozzetto di uscita, in cui è presente lo scarico verso i canali della bonifica.

Affinché il bioreattore sia efficace è necessario che il gradiente idraulico sia tale che la velocità rimanga contenuta in un campo in cui può considerarsi ancora applicabile la legge di Darcy e che l'acqua permanga all'interno del cippato per un tempo di circa 5 ore così da garantire la denitrificazione. Si rimanda alla relazione idraulica per gli ulteriori dettagli.

Si riporta di seguito uno schema esemplificativo del funzionamento del bioreattore.

Riduzione dell'inquinamento dell'acquifero della piana di Arborea da nitrati di origine agro-zootecnica mediante tecnologie diffuse di biorisanamento in situ

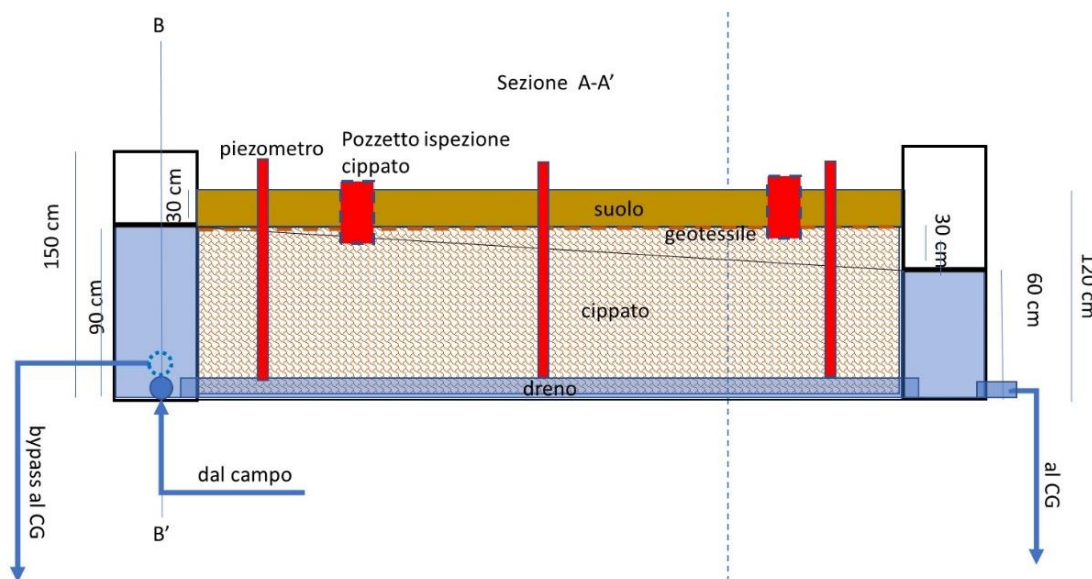


Figura 7 - Sezione esemplificativa del bioreattore

È previsto l'impiego di una elettropompa monogirante sommergibile per il drenaggio con girante aperta da posizionare sulla prima camera del pozzetto di ingresso.

L'alimentazione elettrica sarà effettuata posando un cavo di tipo multipolare armato a treccia d'acciaio posato direttamente nel terreno e ad una profondità di posa minima di 120 cm; a 60 cm dal piano di campagna e su tutta la lunghezza dello scavo dovrà essere posato un nastro segnaletico in polietilene.

Il prelievo dell'energia elettrica dovrà essere effettuato sulla fornitura elettrica esistente dell'azienda agricola preferibilmente in prossimità del punto di consegna, qualora questo fosse sconveniente o non possibile si dovrà individuare un quadro elettrico dal quale derivarsi previo averne verificato la sua idoneità e ottenuto l'accordo della proprietà.

In prossimità del bioreattore è prevista l'installazione di un quadro elettrico contenuto da un armadio in resina per posa a pavimento con chiusura a chiave con al suo interno un dispositivo di tipo magnetotermico differenziale a protezione della elettropompa ed un dispositivo per la contabilizzazione dei consumi della stessa.

L'impianto disperdente di terra sarà realizzato in prossimità del quadro elettrico mediante infissione nel terreno di picchetto di acciaio ramato con altezza minima di 100 cm da ubicarsi all'interno di un pozzetto ispezionabile in PCV.

All'interno del bioreattore dovranno essere predisposti dei piezometri tipo Casagrande, ovvero dei tubi forati alla base, così da permettere la valutazione del livello idrico e, soprattutto, per poter

eseguire misurazioni anche in continuo con sonde multiparametriche dei parametri di interesse, ossia ossigeno disciolto, presenza dei nitrati etc. Ancora, dovranno essere predisposti misuratori di livello nel pozzetto in ingresso, così da poter monitorare l'andamento del gradiente idraulico nel tempo (ci si aspetta un deterioramento del cippato e quindi una variazione delle condizioni per il flusso dell'acqua) e modificare la soglia di valle presente nel pozzetto in uscita.

4.2 Fasi lavorative e cronoprogramma

I lavori possono essere suddivisi in quattro fasi lavorative iterate per ogni azienda:

- Posa dei tubi dreno e dei collettori;
- Scavo e formazione del piano di posa per bioreattore e tubazioni;
- Messa in opera delle tubazioni e formazione dei bioreattori;
- Realizzazione impianto elettrico;
- Predisposizione della strumentazione di misura.

La durata dei lavori si può stimare in 30 (giorni) giorni naturali e consecutivi, a partire dal 05.09.2024 al 04.10.2024, così da sfruttare il periodo immediatamente successivo al taglio delle colture in atto e precedere le letamazioni propedeutiche alla successiva semina.

4.3 Gestione dei rifiuti

Le lavorazioni non dovrebbero produrre materiali di risulta in quanto i volumi di scavo verranno riutilizzato parzialmente per il rinterro superficiale e in parte per regolarizzare alcune aree degli stessi terreni.

Dovrà essere, invece, posta particolare cura nella gestione del cippato in quanto formalmente trattasi di rifiuto speciale. A tal fine dovranno essere chiesti dei pareri preventivi all'ARPAS al fine di capire quale procedura seguire per il loro riutilizzo all'interno dei bioreattori.

4.4 Espropri

Le reti di dreno e i bioreattori verranno realizzati all'interno dei terreni dei privati con il permesso degli stessi (si dovranno sottoscrivere apposite convenzioni), senza la necessità di dover procedere con gli espropri o con asservimenti. Questo in quanto il presente progetto pilota è volto a definire un sistema a cui gli stessi proprietari dovranno adeguarsi, qualora come previsto i risultati siano tali da risolvere il problema dei nitrati.

4.5 Interferenze

L'area su cui si andrà ad intervenire è dotata di una rete irrigua importante, costituita da condotte secondarie da cui si diramano le distributrici all'utenza.

Grazie ad una campagna di saggi fatti in loco, infatti, è stato possibile individuare la profondità delle condotte secondarie, poste a 67 cm nell'azienda di Rossi e 110 cm in quella di Mattiello, e delle ali distributrici poste a 90 e 80 cm rispettivamente.

I collettori della rete di dreno dei bioreattori 3 e 4 intersecano alcune ali distributrici, per cui in quei tratti si dovrà procedere con lo scavo controllato in luogo della più rapida posadreni.

Non sono rilevabili ulteriori interferenze con sottoservizi o con linee aeree.

L'azienda n.02 del sig. Magnani è attraversata da una strada asfaltata cosicché si dovrà intervenire con il taglio dell'asfalto e la posa del collettore. Per tali lavorazioni si dovranno concordare le modalità con l'Amministrazione Comunale al fine di limitare il disturbo al traffico.