



Università degli studi di Sassari – DADU Alghero
Master di II Livello



Costruzione del Paesaggio – Rischio Idrogeologico e Progetto Urbano

Contratto di Laguna del Calich

Analisi territoriale e progettualità per la valorizzazione ambientale

Relatori:

Prof. Giovanni Maria Biddau

Prof.ssa Silvia Serreli

Candidato: Dott. Roberto Marrosu

matr. 50033035
Prova finale – marzo 2021

SOMMARIO

1.	Introduzione.....	4
2.	I Contratti di Fiume: uno strumento per la gestione partecipata del territorio	5
2.1.	Aspetti generali.....	5
2.2.	Principali riferimenti normativi europei	6
2.2.1	La Direttiva Quadro sulle Acque	6
2.2.2	La Direttiva Habitat e la Direttiva Uccelli.....	7
2.2.3	La Direttiva Alluvioni	7
2.3.	Il contesto italiano.....	8
2.3.1	Normativa nazionale	8
2.3.2	Normativa regionale.....	9
2.4.	Le Linee guida per l’attuazione dei Contratti di Fiume.....	11
3.	Dal progetto marittimo transfrontaliero Italia-Francia “Retralags” al Contratto di Laguna del Calich.....	15
3.1.	Il percorso verso il Contratto di Laguna del Calich.....	15
4.	Gli ambiti territoriali del bacino imbrifero del Calich	19
4.1.	La Laguna del Calich	19
4.2.	L’idrografia superficiale.....	21
4.3.	La geologia, la geomorfologia e l’idrogeologia	24
4.4.	Gli usi del suolo.....	25
5.	Le potenzialità e i processi di crisi dell’area umida del Calich.....	27
5.1.	Risorse, conflitti e dinamiche	27
5.2.	La Laguna nel contesto ambientale d’area vasta: La Rete Ecologica	29
5.3.	Le trasformazioni della bonifica	31
5.4.	L’eutrofia delle acque della laguna.....	36
5.5.	Il fenomeno della marea gialla.....	38

6.	Il problema della depurazione dei reflui urbani	40
6.1.	La gestione dei reflui fognari di Alghero	40
6.1.1	La filiera della depurazione	41
6.2.	Il riutilizzo dei reflui in agricoltura	42
6.2.1	Il sistema di distribuzione	42
6.2.2	Le istanze dell'agro	44
6.3.	Il sistema di depurazione diffuso nel bacino imbrifero	48
7.	La riorganizzazione del sistema di depurazione: opportunità per un progetto di riqualificazione ambientale per la Laguna del Calich	51
7.1.	Il progetto ambientale	51
7.2.	I sistemi della fitodepurazione	53
7.3.	Il dimensionamento dell'impianto di fitodepurazione	57
7.4.	Esempi progettuali: Le Melegghine in Finale Emilia.....	61
7.4.1	Il contesto territoriale.....	61
7.4.2	L'impianto di fitodepurazione	62
7.4.3	Il monitoraggio della qualità delle acque.....	63
7.4.4	La funzionalità dell'impianto	63
7.4.5	Valenza ecologica dell'area.....	65
7.5.	Esempi progettuali: Cà di Mezzo, un'area umida in zona di bonifica agraria	65
7.5.1	Il contesto territoriale.....	65
7.5.2	Il funzionamento idraulico di Ca' di Mezzo.....	66
7.5.3	La componente vegetale	68
7.5.4	La funzionalità dell'impianto	69
7.6.	La proposta progettuale	70
8.	Conclusioni	76
9.	Riferimenti bibliografici	77
9.1.	Bibliografia	77
9.1.	Sitografia.....	78

INTRODUZIONE

Il lavoro descritto nella tesi riguarda il tema della riqualificazione delle acque di fluviali, attuata attraverso uno strumento di progettazione territoriale noto come Contratto di Fiume e la sua applicazione nel territorio della Nurra Algherese. La tesi intende mostrare come attraverso tale strumento, sviluppato in Francia già dagli anni Novanta e più recentemente presente anche in Italia, si possano efficacemente proporre analisi di criticità, programmi di intervento e azioni mirate alla riqualificazione. Il Contratto di Fiume difatti mira a creare e, successivamente, ad attuare un programma di azioni volti al recupero delle acque continentali, servendosi di percorsi di partecipazione sociale, politica e tecnica delle comunità e dei territori interessati. Attraverso la condivisione delle necessità, degli interessi e delle criticità esposte dai soggetti partecipanti, si crea uno scenario condiviso e una *visione* comune per lo sviluppo futuro di una preziosa risorsa collettiva.

Si è colta così l'occasione del Contratto di Laguna del Calich, avviato alla fine del 2019 su impulso dell'amministrazione comunale di Alghero, per proporre un proprio studio di analisi e progettazione di possibili interventi volti alla riqualificazione e alla valorizzazione del territorio considerato. Il procedimento che si intende seguire prevede uno studio approfondito delle specifiche dinamiche e criticità locali e di varie tematiche di interesse ambientale. Considerato che il tema offre molteplici possibilità di studio e di applicazione, si è deciso di concentrarsi su recupero, valorizzazione e connessione degli ambienti umidi naturali presenti, formulando ipotesi di azioni e progettualità capaci sia di mitigare l'inquinamento delle acque che di ristabilire la funzione autodepurativa tipica degli ecosistemi fluviali. In quest'ottica l'elaborato ha come obiettivo l'analisi delle problematiche legate al trattamento delle acque reflue in ambienti fluviali e lacustri, proponendone come soluzione la fitodepurazione.

1. I CONTRATTI DI FIUME: UNO STRUMENTO PER LA GESTIONE PARTECIPATA DEL TERRITORIO

1.1. Aspetti generali

Il termine “*Contratto di Fiume*” è stato introdotto per la prima volta nel 2000 all’Aia durante la seconda Conferenza internazionale sull’acqua. In quell’occasione, questo strumento è stato definito come “*forme di accordo che permettono di adottare un sistema di regole in cui i criteri di utilità pubblica, rendimento economico, valore sociale, sostenibilità ambientale intervengono in modo paritario nella ricerca di soluzioni efficaci per la riqualificazione di un bacino fluviale*”¹. Lo strumento si prefigge, quindi, non solo di raggiungere obiettivi di sostenibilità, tutela ambientale e sicurezza idraulica, ma anche di coinvolgere e responsabilizzare gli attori per il raggiungimento di tali obiettivi.

I Contratti di Fiume (CdF) propongono azioni strategiche che mirano alla riqualificazione di un bacino fluviale, avvalendosi del contributo della comunità che partecipa attivamente al processo, in una logica di prevenzione attiva, al fine di raggiungere gli obiettivi di qualità previsti dalla Direttiva Acque 2000/60/CE (cfr. sotto paragrafo 2.2.1). Sono perciò definiti come “*strumenti volontari di programmazione strategica e negoziata che perseguono la tutela, la corretta gestione delle risorse idriche e la valorizzazione dei territori fluviali unitamente alla salvaguardia dal rischio idraulico, contribuendo allo sviluppo locale*”². La forza innovativa dei CdF è quella di mettere in comunicazione diversi strumenti pianificatori per il miglioramento degli ecosistemi terrestri e acquatici e la gestione dei corpi idrici.

Nel contesto nazionale non esistono solo i Contratti di Fiume. Rientrano in questa definizione, infatti, anche i contratti di Lago e Laguna, di Costa, di Acque di Transizione, di Foce, di Fontanile e di Falda, qualora gli strumenti sopra descritti vengano utilizzati ponendo l’attenzione a categorie di corpo idrico diverse dal fiume.

¹ Carta Nazionale dei Contratti di Fiume

² I contratti di Fiume in Italia e oltreconfine, Il X Tavolo Nazionale dei Contratti di Fiume e il Contributo del Ministero dell’Ambiente alla diffusione e all’internazionalizzazione dei Contratti di Fiume

1.2. Principali riferimenti normativi europei

Per trattare il tema dei Contratti di Fiume, Lago, Foce, etc. è necessario prendere in esame le principali direttive comunitarie riguardanti il tema delle acque. A livello comunitario i CdF recepiscono gli obiettivi e gli indirizzi della:

- Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE, che prefigura politiche sistemiche di riqualificazione delle acque creando obiettivi comuni con altre normative europee che promuovono l'utilizzo di strumenti di *governance* e sussidiarietà per attuare le politiche ambientali
- Direttiva Habitat 92/42/CEE, che prevede la creazione di una Rete ecologica europea
- Direttiva Uccelli 79/409/CEE, concernente la conservazione di tutte le specie di uccelli selvatici stabilendo regole per la loro protezione, conservazione, gestione e regolazione
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE, relativa alla gestione del rischio alluvioni, e la Proposta di Direttiva Quadro per la Protezione del Suolo (SFD – Soil Framework Directive) avente l'obiettivo di “proteggere il suolo dall'erosione e dall'inquinamento”.

1.2.1 La Direttiva Quadro sulle Acque

I Contratti di fiume si ispirano nei loro elementi fondamentali alla Direttiva 2000/60/CE “che istituisce un quadro per l'azione comunitaria, introducendo un approccio innovativo nella legislazione europea in materia di acque, tanto dal punto di vista ambientale, quanto amministrativo-gestionale”³. La direttiva ha lo scopo di normare e proteggere i corpi idrici per impedirne il deterioramento e conseguire un buono stato delle acque superficiali e sotterranee in Europa. In particolare, stabilisce gli obiettivi: di protezione di tutte le forme d'acqua (di superficie, sotterranee, interne e di transizione); il ripristino degli ecosistemi connessi; la riduzione dell'inquinamento nei corpi idrici; l'uso sostenibile della risorsa; la partecipazione dei cittadini alle scelte adottate in materia.

³ Dal sito della Commissione Europea, sezione Ambiente

La Direttiva attribuisce chiare responsabilità agli Stati Membri, introducendo un approccio alla tutela delle risorse idriche sulla base di formazioni geografiche naturali: i bacini idrografici. I governi Nazionali hanno l'obbligo di individuare i bacini idrografici presenti sul proprio territorio, designare le autorità competenti per la loro gestione in linea con le norme dell'Unione, ed analizzarne le caratteristiche, le peculiarità e gli impatti, oltre che monitorare lo stato delle acque di ciascun di essi. A tal riguardo, l'art. 13 prevede la messa in atto di "*Piani di Gestione dei bacini idrografici*" per evitare il deterioramento delle acque superficiali, proteggere e migliorare le acque sotterranee e preservare le aree protette. La Direttiva Acque inoltre auspica la partecipazione dei cittadini alle decisioni. Gli Stati membri sono tenuti a organizzare ampie consultazioni con i cittadini e le parti interessate per individuare i problemi, le soluzioni e i relativi costi da inserire nei piani di gestione dei bacini idrografici. La partecipazione e il sostegno dell'opinione pubblica sono elementi essenziali per la protezione delle acque.

1.2.2 La Direttiva Habitat e la Direttiva Uccelli

La Direttiva 92/43/CEE sulla "*Conservazione degli Habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche*", detta "*Direttiva Habitat*" e la Direttiva 79/409/CEE riguardante la "*Conservazione degli uccelli selvatici*", conosciuta come "*Direttiva Uccelli*", vengono riconosciute come i pilastri normativi per la conservazione della biodiversità. Nell'ambito dei CdF risulta fondamentale prendere in considerazione anche queste normative comunitarie al fine di creare un quadro che tenga conto, non solo dell'elemento acqua, bensì del complesso di ecosistemi di un corpo idrico. Le Direttive in oggetto hanno lo scopo di "*promuovere il mantenimento della biodiversità mediante la conservazione degli habitat naturali*" (art. 2 Direttiva Habitat). Propongono altresì una serie di misure indirizzate alla conservazione degli habitat e della flora e fauna selvatiche. Queste sono la base della rete europea Natura 2000 (cfr. paragrafo 5.3.) che comprende le aree ad alto valore di biodiversità.

1.2.3 La Direttiva Alluvioni

La Direttiva Europea 2007/60/CE intende istituire un quadro "*per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni, volto a ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche*" (art.1). Tale direttiva si collega in molti dei suoi articoli alla Direttiva Acque ed è in linea con i principi internazionali di gestione dei bacini idrografici. La Direttiva Alluvioni promuove un approccio specifico per la gestione dei rischi di alluvioni

e un'azione concreta e coordinata a livello comunitario. L'obiettivo finale è di dotare gli Stati Membri di "Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni" che contemplino tutti gli aspetti della gestione del rischio e in particolare *"la prevenzione, la protezione, e la preparazione, comprese la previsione di alluvioni e i sistemi di allertamento"*⁴. La Direttiva ha altresì l'intento di promuovere, all'interno delle politiche comunitarie, l'integrazione di un elevato livello di tutela ambientale nella pianificazione territoriale, secondo il principio dello sviluppo sostenibile.

1.3. Il contesto italiano

A differenza degli altri Paesi nordeuropei, i Contratti di Fiume si affacciano sul panorama legislativo del nostro Paese solo dal 2000 per tentare di dare risposta alle istanze sollevate negli ultimi anni dai drammatici fenomeni alluvionali e di dissesto idrogeologico occorsi in tutta la penisola.

Maturata era la consapevolezza che il dissesto idrogeologico fosse causato dall'intensivo e poco programmato sfruttamento del territorio, dal continuo disboscamento, dall'impiego di tecniche agricole poco rispettose dell'ambiente, e dall'occupazione di zone di pertinenza fluviale. Servivano strumenti innovativi che fungessero da punto d'incontro tra le esigenze di sviluppo socioeconomico, la gestione del rischio e la salvaguardia dell'ambiente. I Contratti di Fiume in Italia vedono un forte coinvolgimento delle comunità locali al fine di intervenire in via preliminare sulle condizioni di rischio e sulla mitigazione degli impatti.

1.3.1 Normativa nazionale

Lo strumento dei CdF è stato introdotto in Italia per attuare la Direttiva Acque. A livello nazionale, principali riferimenti di legge sono costituiti dal D.Lgs. 152/2006, che rappresenta la normativa quadro sull'Ambiente, e dal D.Lgs. 42/2004 (e le sue successive modifiche) anche noto come *"Codice dei Beni culturali e del Paesaggio"*. Nel D.Lgs. 42/2004 il concetto di tutela trova un'adeguata collocazione nella previsione che il Piano Paesaggistico possa salvaguardare il paesaggio sia sotto il profilo della sua rilevanza naturalistica ed ambientale, sia come paesaggio artificiale, opera dell'uomo; prevede inoltre che le Regioni possano individuare gli ambiti fluviali di bacini/sottobacini come ambiti/aree da sottoporre a specifiche misure di salvaguardia e utilizzazione.

⁴ Acqua di buona qualità in Europa, Direttiva europea sulle acque

Nella parte III del D.Lgs. 152/2006 riguardante “*i distretti idrografici e i servizi idrici ad uso civile*”, si ripristina l’integrazione tra difesa del suolo e tutela delle acque, riprendendo un concetto cardine della legge 18 maggio 1989 n. 183 (Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo); l’ispirazione di fondo è quella di coordinare, all’interno di un’unità territoriale funzionale, il bacino idrografico inteso come sistema unitario, le molte funzioni settoriali della difesa del suolo, recuperando contributi tipici di altre competenze di intervento pubblico di tutela ambientale.

1.3.2 Normativa regionale

Per quanto riguarda i CdF da realizzare in Sardegna, a quanto sopra si aggiunge una nutrita lista di ulteriori norme regionali:

- PPR - Piano Paesaggistico Regionale approvato con Delibera della Giunta Regionale 36/7 del 5 settembre 2006
- Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) della Sardegna, approvato con Decreto del Presidente della Regione Sardegna n.67 del 10.07.2006, e le relative Norme Tecniche di attuazione approvate con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 1 del 03/10/2019
- Art. 43 delle Norme di Attuazione del Titolo V, Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) della Sardegna, che istituisce i Contratti di Fiume, che in questa definizione contengono anche i Contratti di Lago, di Costa, di Laguna, di acque di Transizione, di Foce e di Falda, qualora gli strumenti normativi sopra descritti vengano utilizzati ponendo l’attenzione a categorie di corpo idrico diverse dal fiume
- Il VII Programma di Azione per l’Ambiente della Comunità europea, che ha valore vincolante per tutti gli Stati membri (art. 251 del Trattato sull’Unione europea) e che conferma e rafforza l’integrazione della dimensione ambientale nei piani e nei programmi di tutti gli enti pubblici
- D.Lgs. 10 dicembre 2010, n. 219, ed in particolare l’art. 4 relativo alle “Disposizioni transitorie”
- Delibera n. 1 del 3.12.2014, del Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino della Sardegna con la quale si approva la Valutazione Globale Provvisoria del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del distretto idrografico della RAS

- Delibera n. 1 del 18.12.2014, del Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino della Sardegna con la quale si approva relativamente al Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del distretto idrografico della Regione Autonoma della Sardegna, il Progetto di Piano e il Rapporto preliminare sulla VAS in Attuazione della Direttiva 2007/60/CE
- Deliberazione della Giunta Regionale n. 19/16 del 28.04.2015 che istituisce il Tavolo di Coordinamento per l’attuazione della direttiva 2007/60/CE e la redazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni della Sardegna” per assicurare carattere di priorità alle attività volte alla elaborazione del piano di gestione del rischio di alluvioni
- Deliberazione n. 1 del 30.07.2015, del Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino della Sardegna “Attuazione della Direttiva 2007/60/CE e del D.Lgs. 23 febbraio 2010 n. 49 - Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del distretto idrografico della Regione Autonoma della Sardegna. Adempimenti art. 13 del D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152: Proposta di Piano, Rapporto ambientale, Sintesi non tecnica e Valutazione di Incidenza con la quale è stata adottata, per le finalità di cui all’art. 13 del D.Lgs. 152/2006, la “Proposta del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni”
- Deliberazione n. 2 del 30.07.2015, del Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino della Sardegna “Direttiva 2007/60/CE – D.Lgs. 49/2010 – Coordinamento tra il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) e gli strumenti della pianificazione di bacino di cui alla Parte Terza del D.Lgs.152/2006 e s.m.i. – Modifica alle Norme di Attuazione del Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico (PAI)”
- Deliberazione n. 1 del 17.12.2015, del Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino della Sardegna con la quale il PGRA è stato approvato a livello regionale ai fini del successivo iter di approvazione in sede statale
- Deliberazione n. 2 del 15.03.2016, del Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino della Sardegna con la quale il PGRA è stato approvato in via definitiva
- Deliberazione n. 1 del 27.02.2018, del Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino della Sardegna con la quale sono state approvate alcune modifiche alle NTA del PAI riguardo alla disciplina sull’utilizzo delle aree individuate come allagabili e ai principi generali circa le azioni possibili riguardo alle tematiche dell’uso del suolo, della

gestione delle attività agricole, della gestione selvicolturale e dell'esercizio della pastorizia

- Delibera 40/21 del 10.10.2019 Attivazione della Rete Regionale dei Contratti di Fiume.

1.4. Le Linee guida per l'attuazione dei Contratti di Fiume

Sulla scorta delle esperienze sui Contratti di Fiume attive ormai da diversi anni sul territorio nazionale, la Regione Sardegna ha avviato nel 2018 un'attività di ricerca finalizzata all'elaborazione di "*Linee Guida Regionali per l'attivazione dei Contratti di Fiume*". Le attività del progetto di ricerca sono state sviluppate all'interno di un accordo di collaborazione tra l'Università degli studi di Sassari, Dipartimento di Architettura Design e Urbanistica di Alghero, la Regione Autonoma, e l'Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Sardegna (ADIS). Questo documento vuole essere una sorta di vademecum nell'ambito dei contratti che illustra una metodologia da applicare alle diverse realtà territoriali. Le linee guida, infatti, forniscono le indicazioni sulla gestione degli aspetti giuridici, normativi e gestionali del CdF sui temi della sicurezza del territorio, sulla qualità del paesaggio-ambiente e sulla rigenerazione degli ambienti urbani in relazione con il fiume. La loro elaborazione tiene conto delle risultanze delle attività condotte nell'ambito del CdF del caso pilota della bassa valle del Coghias.

All'interno del documento vengono, altresì, espone le diverse tappe che costituiscono i nodi peculiari e fondamentali nel percorso di attivazione, costruzione, e consolidamento di processi di programmazione negoziata. Esse rappresentano una base metodologica di riferimento per tutto il territorio nazionale riconosciuta e sponsorizzata anche dal Tavolo nazionale Contratti di fiume e dal Ministero dell'Ambiente⁵.

In sintesi, i processi partecipati prendono anzitutto avvio con la costruzione una rete di attori locali, accomunati dalla volontà di dialogare per il perseguimento di obiettivi comuni attraverso un approccio che implica concertazione, negoziazione, individuazione di priorità, e sviluppo di progettualità nelle quali l'eterogeneità dei soggetti è rivolta verso le priorità del

⁵ Cfr. "*Definizioni e requisiti qualitativi di base dei Contratti di Fiume*", documento redatto dal Tavolo Nazionale dei Contratti di Fiume in coordinamento con il Ministero della Tutela dell'Ambiente, del Territorio e del Mare (MATIM) e l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

territorio che diviene elemento centrale. Gli attori adottano regole e strumenti condivisi per la gestione del processo la cui efficienza ed efficacia è tanto maggiore quanto più ampia è la loro capacità di definirne congiuntamente la struttura. A seguire, si elabora una rappresentazione del territorio allo stato attuale che consenta il passaggio alla *vision* di un progetto di territorio, coerente con le reali opportunità e potenzialità che questo esprime. Si declinano obiettivi di tutela e riqualificazione, definendo adeguate azioni progettuali. La partecipazione al processo deve essere stimolata da una costante animazione territoriale praticata a vari livelli dai diversi soggetti partecipanti, ognuno secondo le proprie capacità e funzioni. Infine, tutti gli attori sottoscrivono un patto, dando così forma contrattuale al percorso intrapreso e anche a quello da intraprendere per il raggiungimento degli obiettivi prefissati. Il CdF è lo strumento attraverso cui ognuno si assume concretamente, nell'ambito delle proprie attribuzioni, impegni concreti per la realizzazione delle misure e delle azioni. La sottoscrizione, pur essendo il coronamento di un percorso impegnativo, non deve essere inteso come la chiusura del processo, bensì come il punto di partenza di un cammino di attività partecipata che deve garantire l'operatività del Programma di Azione e lo stabilizzarsi di un metodo di lavoro che dovrebbe diventare prassi nell'accompagnare i programmi di sviluppo locale del territorio. Nel rispetto dei principi ispiratori sopradescritti, gli attori mettono in atto tutte le strategie e le azioni delineate nell'accordo, valutando progressivamente i risultati raggiunti ed eventualmente ridisegnando il percorso stesso al fine di migliorarne le performance. Durante l'intero percorso si sviluppano parallelamente due attività trasversali e continue strettamente legate tra loro: attività di comunicazione e di formazione.

Si deve precisare che la progressione descritta, non rappresenta né una struttura cronologica rigidamente definita, né un modello di processo valido per tutte le diverse realtà territoriali e amministrative che si cimentano in tali accordi. Piuttosto, è una struttura di percorso da modellare a seconda delle rispettive esigenze, calibrata sui caratteri identitari, sulle dinamiche naturali e antropiche e sulle emergenze delle diverse scale territoriali. Cionondimeno, con l'intento di facilitare la diffusione dei CdF, quali strumenti operativi che producono risultati concreti e monitorabili, e di armonizzarne l'interpretazione su tutto il territorio italiano, uno specifico gruppo di lavoro⁶ istituito dal Tavolo Nazionale dei Contratti di Fiume⁷ ne ha

⁶ "Gruppo di Lavoro 1" sul riconoscimento dei CdF a scala nazionale e regionale e definizione di criteri di qualità

⁷ Il Tavolo Nazionale dei Contratti di Fiume nasce nel 2007 come gruppo di lavoro del Coordinamento A21 Locali italiane, con l'obiettivo di creare una comunità in grado di scambiare esperienze e promuovere i Contratti di Fiume in Italia. Al tavolo collaborano vari soggetti: Regioni, Province, gruppi di Comuni, associazioni o singole comunità, che

individuato i requisiti minimi di base, distinguendoli in due gruppi: i) i *requisiti di finalità e coerenza* e ii) i *requisiti di impostazione*⁸. Quest'ultimi identificano le fasi, di seguito descritte, ritenute essenziali:

- Condivisione di un *“Documento d’Intenti”* quale elemento aggregante della partecipazione e catalizzatore degli altri interessi diffusi sul territorio. Il documento contiene le motivazioni e gli obiettivi generali, stabiliti anche per il perseguimento degli obblighi cui all’art.4 della Direttiva sulle Acque, le criticità specifiche oggetto del CdF e la metodologia di lavoro, condivisa tra i soggetti che prendono parte al processo. La sua sottoscrizione da parte degli attori interessati dà avvio all’attivazione del CdF
- Messa a punto di una appropriata *Analisi Conoscitiva* preliminare integrata sugli aspetti ambientali, sociali ed economici del territorio oggetto del CdF. Tra le finalità dell’analisi vi è la definizione e/o valorizzazione di obiettivi operativi, coerenti con gli obiettivi della pianificazione esistente, sui quali i sottoscrittori devono impegnarsi
- Elaborazione di un *Documento Strategico* che definisce lo scenario, riferito ad un orizzonte temporale di lungo periodo, che integri gli obiettivi della pianificazione di distretto e più in generale di area vasta, con le politiche di sviluppo locale del territorio
- Definizione di un *Programma d’Azione (PA)* con un orizzonte temporale di breve termine, alla scadenza del quale, sulla base delle risultanze del monitoraggio, sarà eventualmente possibile aggiornare il contratto o approvare un nuovo PA. Il PA deve indicare oltre agli obiettivi per ogni azione anche gli attori interessati, i rispettivi obblighi e impegni, i tempi e le modalità attuative, le risorse umane ed economiche necessarie, nonché la relativa copertura finanziaria
- Messa in atto di processi partecipativi aperti e inclusivi che consentano la condivisione d’intenti, impegni e responsabilità tra i soggetti aderenti

intendono avviare o hanno già avviato strategie per salvaguardare fiumi, laghi e coste marine in modo partecipato e cooperativo.

⁸ Cfr. *“Definizioni e requisiti qualitativi di base dei Contratti di Fiume”*, documento redatto dal Tavolo Nazionale dei Contratti di Fiume in coordinamento con il Ministero della Tutela dell’Ambiente, del Territorio e del Mare (MATTM) e l’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

- Sottoscrizione di un atto di impegno formale, il *Contratto di Fiume*, che contrattualizzi le decisioni condivise nel processo partecipativo e definisca gli impegni specifici dei contraenti
- Attivazione di un *sistema di controllo e monitoraggio* periodico del contratto per la verifica dello stato di attuazione delle varie fasi e azioni, della qualità della partecipazione e dei processi deliberativi conseguenti
- Informazione al pubblico. I dati e le informazioni sui Contratti di Fiume devono essere resi accessibili al pubblico, come richiesto dalle direttive 4/2003/CE sull'accesso del pubblico all'informazione e 35/2003/CE sulla partecipazione del pubblico ai processi decisionali su piani e programmi ambientali, attraverso una pluralità di strumenti divulgativi, utilizzando al meglio il canale digitale.

2. DAL PROGETTO MARITTIMO TRANSFRONTALIERO ITALIA-FRANCIA “RETRALAGS” AL CONTRATTO DI LAGUNA DEL CALICH

2.1. Il percorso verso il Contratto di Laguna del Calich

Va anzitutto premesso che il Contratto di Laguna è da considerarsi una tipologia specifica della più ampia categoria dei Contratti di Fiume che, come precisato, trovano principi ispiratori e solide fondamenta in un vasto corpus normativo attraverso il quale vengono indicate linee generali per la concretizzazione di politiche territoriali e ambientali. Sono strumenti volontari di programmazione strategica e negoziata che offrono un approccio innovativo nell'affrontare la questione della gestione delle risorse idriche promuovendo una visione integrata e partecipe nelle comunità locali.

Il **Contratto di Laguna del Calich** è frutto di un percorso partecipato innescato nel territorio di riferimento attraverso il **Progetto RETRALAGS – Rete TRAnsfrontaliera delle LAGune e degli Stagni**, finanziato con risorse del Programma Italia-Francia Marittimo 2014-2020. Avviato nel febbraio 2017, il progetto nasce per affrontare la sfida rappresentata dallo sviluppo di modelli innovativi di *governance* integrata dei siti naturali e culturali dell'area di cooperazione, realizzando un sistema transfrontaliero di gestione sostenibile per migliorare l'efficacia delle iniziative pubbliche a sostegno della tutela e della valorizzazione del patrimonio ecosistemico delle acque di transizione⁹. Retralags diviene quindi l'occasione per applicare in forma pilota il modello del Contratto di fiume allo specifico ambito delle lagune e degli stagni e verificarne la corretta contestualizzazione¹⁰.

Il Comune di Alghero ha coordinato come capofila il progetto Retralags, che vedeva la partecipazione dei Comuni di Massarosa e di Orbetello, del CIRSPe, della Provincia di Lucca, della Collectivité Territoriale de Corse, di IFREMER e del Dipartimento del Var. L'obiettivo era lo sviluppo di un piano d'azione congiunto per la gestione integrata e la valorizzazione ecosistemica della Rete Transfrontaliera delle Lagune, dei Laghi e degli Stagni, da attuarsi con azioni pilota nei territori dei partner coinvolti. Gli assi strategici che hanno

⁹ Dal sito <http://interreg-maritime.eu/web/retralags>

¹⁰ Cfr. AA.VV. Criteri e requisiti qualitativi minimi per la gestione dei contratti di Laguna, Lucca 2018

accomunato le azioni a livello inter-partenariale possono essere delineati nei seguenti tre macro-obiettivi:

- Tutela e riqualificazione della qualità ambientale
- Riqualificazione territoriale e paesaggistica
- Promozione, fruizione e valorizzazione economica



Figura 1) Osservatorio Nazionale Contratti di Fiume-Innova PA Corso di formazione sui CdF (2018)

La sottoscrizione nel 2019 del Contratto di Laguna del Calich ha rappresentato un prodotto fondamentale del progetto RETRALAGS. Nei fatti, il percorso partecipato avviato dall'amministrazione comunale di Alghero si è sviluppato attraverso un'opera di riallineamento dello stesso rispetto al modello convenzionale adottato nelle esperienze nazionali e ai requisiti di base codificati dal Tavolo Nazionale dei CdF, di cui accennato al paragrafo precedente.

L'allineamento del percorso partecipativo verso il Contratto di Laguna del Calich, si è reso indispensabile in quanto nel progetto RETRALAGS non vi era specificata la modalità attraverso cui realizzare la sottoscrizione di un CdF, o meglio non era espressamente prevista la tipologia di documento che ha poi costituito l'atto di impegno per i firmatari.

Il re-orientamento metodologico non ha determinato uno stravolgimento rispetto ai documenti prodotti nell'ambito di RETRALAGS, ma si è sostanziato in una riorganizzazione contenutistica. In particolare, l'azione si è concentrata sul perfezionamento dei due documenti essenziali nelle fasi di costruzione di un Contratto di Fiume, di seguito elencati:

- elaborazione di un Documento Strategico: definizione di uno scenario riferito ad un orizzonte temporale di medio-lungo termine

- definizione di un Programma d’Azione: che nel progetto era denominato Piano d’Azione e che nel processo di armonizzazione viene riorganizzato in modo tale da inquadrare un corpus di azioni, pubbliche e private, effettivamente realizzabili nell’orizzonte temporale di breve termine e contribuenti al raggiungimento degli obiettivi strategici.

Con riferimento all’ultimo punto, nel processo verso l’adozione del Contratto di Laguna i tre macro-obiettivi si sono meglio delineati nella considerazione, secondo una prospettiva d’approccio ecosistemico, di esigenze specifiche che possono essere così riassunte:

- Creare tavoli di coordinamento tra i soggetti attuatori delle diverse attività di tipo scientifico, di ricerca, di educazione ambientale, di comunicazione e informazione al fine di non dare luogo a sovrapposizioni di attività e per mettere a sistema le progettualità in atto¹¹
- Approfondire la conoscenza scientifica degli impatti, attivando e sviluppando verifiche e analisi anche di tipo innovativo, volte alla raccolta di dati di tipo sistemico e incrociato al fine di garantire un monitoraggio costante della qualità delle acque
- Sostenere l’emersione delle criticità della laguna e del bacino imbrifero, nonché delle opportunità di disciplinare gli interventi di trasformazione in un’ottica di recupero dell’equilibrio naturale delle dinamiche morfologiche ed ecologiche
- Garantire il ciclo tecnologico delle acque riconoscendo l’opportunità di incrementare l’alimentazione dei canali storici con le acque reflue dei depuratori, ulteriormente chiarificate tramite fitodepurazione, per diminuire scarichi e captazioni, migliorando la qualità delle acque e la funzionalità ecologica della rete idrica anche in funzione del risparmio idrico e di una riduzione della spesa energetica
- Riscoprire il rapporto alimentazione-territorio riconoscendo e promuovendo le aree agricole del territorio non solo come luoghi di produzione, ma soprattutto come luoghi di produzione sostenibile, di vendita diretta, di consumo, di apprendimento e di sperimentazione, incentivando le colture di pregio ed

¹¹ Cfr. documento “Piano d’Azione Transfrontaliero RETRALAGS” Prodotto T1.4.11 Contratto di Lago Laguna e Stagno, Contratto di Laguna del Calich

ecosostenibili promuovendo la riconversione delle colture intensive idroesigenti e che utilizzano sostanze chimiche impattanti

- Garantire la fruibilità del territorio valorizzando e promuovendo la laguna attraverso strutture museali, cartellonistica, sentieristica e attrezzature per lo sport e lo svago, riconoscendo l'importanza della fruizione pubblica della laguna e del territorio.



Figura 2) Mappe di Comunità – Lu Quarter 2019

3. GLI AMBITI TERRITORIALI DEL BACINO IMBRIFERO DEL CALICH

3.1. La Laguna del Calich



Figura 3) Laguna del Calich – Alghero (SS) foto F. Guillot

Il bacino lagunare del Calich è localizzato nella Sardegna nord-occidentale alle coordinate baricentriche 40.5952 N; 8.29995 E (sistema di riferimento cartografico WGS 84; EPSG: 4326). La laguna si è formata per lo sbarramento al deflusso a mare degli alvei fluviali da parte del cordone dunale del lido Maria Pia di Savoia. Quest'ultimo si è a sua volta originato durante l'ultimo periodo glaciale, allorquando il livello del mare considerevolmente più basso dell'attuale ha permesso l'emersione e successiva erosione di sedimenti marini che hanno dato genesi alla gran parte dei sistemi dunali costieri della Sardegna nordoccidentale. L'evoluzione successiva del lido e della laguna può essere sostanzialmente riassunta come il risultato dell'azione combinata delle forze meccaniche e idrodinamiche nei due comparti contrapposti delle acque costiere della rada di Alghero e dei tratti terminali dei suoi immissari a est ed ovest. In tempi storici più recenti, lo stagno ha subito notevoli modifiche dell'assetto morfologico ed ecologico, soprattutto lungo le sponde. Tali cambiamenti sono il risultato oltre che della combinazione dei fattori sopra descritti, anche di molteplici interventi antropici. Tra essi, ad esempio, il sollevamento delle sponde interne, erette con apporti di

materiali terrigeni estranei alla tipologia dell'ecosistema allo scopo di evitare l'inondazione dei campi e delle aree circostanti. Un secondo importante fattore di condizionamento antropico è legato all'alterazione dei flussi di marea in entrata e in uscita lungo lo sbocco a mare determinato dalla presenza di opere infrastrutturali sempre più importanti ed impattanti.

L'attuale sagoma dello specchio d'acqua si estende per una superficie di circa 90 ha che si espande e contrae nelle diverse stagioni in rapporto agli afflussi di acqua dolce. Essa è caratterizzata da un profilo stretto ed allungato, con asse maggiore orientato secondo la direttrice WNW-ESE parallelamente alla costa dalla quale il Calich dista mediamente 400 m (Fatichenti et al., 1978). I fondali vengono descritti come costituiti prevalentemente da fango di natura limo-argillosa (circa 80% della superficie totale) che ricopre un substrato roccioso. La profondità è variabile, compresa tra i 0.50 m nella parte orientale e 1.5 m nella zona occidentale, come mostrano i rilievi batimetrici effettuati nel 2010 da tecnici dell'ARPAS. Le misure sono state registrate in 80 punti disposti ai vertici di una maglia regolare 100X100 m, e la loro interpolazione ha fornito la carta mostrata in figura.

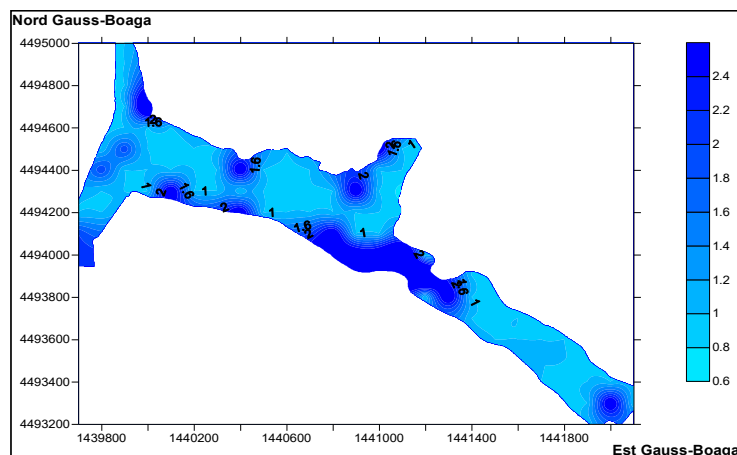


Figura 4) Batimetrica della laguna del Calich (fonte: ARPAS)

Sulla base di tali riferimenti, la capacità di invaso può essere stimata all'incirca in $1,1 \times 10^6 \text{ m}^3$; volume con buona probabilità molto inferiore rispetto a tempi passati. Difatti, dall'inizio del secolo scorso ad oggi la laguna ha subito una progressiva riduzione di profondità per fenomeni di interrimento legati al trasporto dei detriti da parte delle acque di piena degli immissari (Chessa, 1980). In un'annata di media piovosità, è stato calcolato che affluiscono allo stagno circa 80-90 Mmc d'acqua.

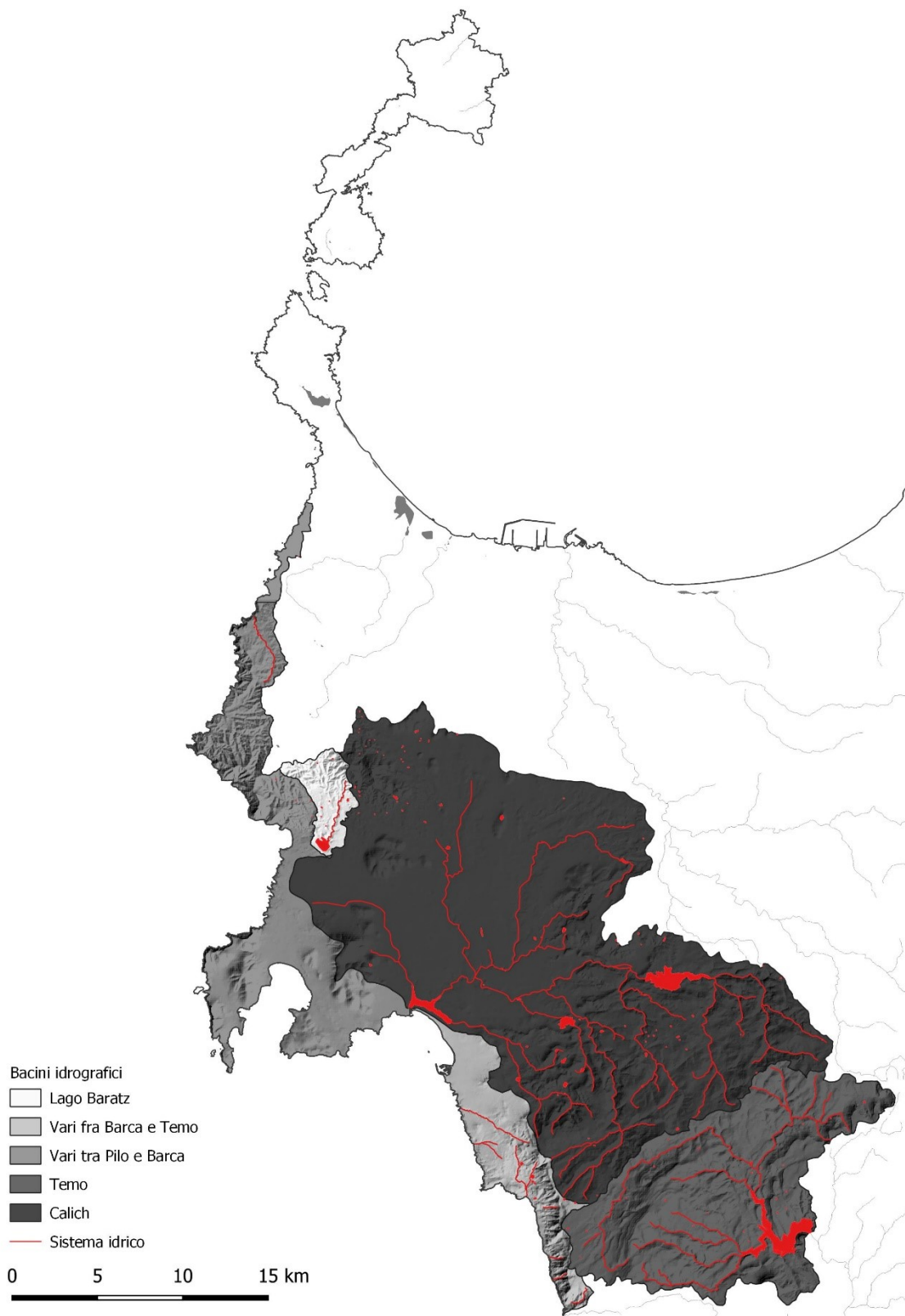
Nella sua parte nord-ovest, la laguna è posta in comunicazione con il mare attraverso un canale della lunghezza di circa 400 m, largo tra i 60 e gli 80 m, e profondo in media 2 m. Lungo il canale è insediato un porticciolo, il porto turistico di Fertilia, che può ospitare alcune centinaia di piccole imbarcazioni. Da qui, l'apertura a mare del Calich prosegue verso il largo con una particolare morfologia di depositi prevalentemente bioclastici riconducibile al paleo alveo del collettore dei due tributari (Pala et. al, 2009), che appare oggi come una evidente soluzione di continuità della locale prateria a *Posidonia oceanica*.

3.2. L'idrografia superficiale

La laguna del Calich è il corpo idrico recettore di un esteso bacino imbrifero superficiale, compreso tra i rilievi di Monte Doglia ad occidente e dai rilievi orientali, che raccoglie le acque meteoriche di buona parte della Nurra centro meridionale. Il bacino si sviluppa per circa 425 kmq, ricomprendendo territori di numerosi comuni: Alghero, Sassari, Olmedo, Ittiri, Putifigari e Villanova Monteleone, Monteleone-Roccadoria ed Uri (tramite l'invaso artificiale del Cuga). Esso, inoltre, confina a nord-ovest con il piccolo bacino tributario del Lago del Baratz (circa 0.2 Kmq) e con numerosi piccoli altri bacini localizzati lungo l'arco costiero.

La rete idrografica di riferimento all'interno del bacino del Calich si presenta articolata e complessa, come mostrato in figura. L'immissario più importante della laguna è il Rio Barca che riceve le acque del Rio Filiberto, Rio Sassu e Rio Serra; questi drenano circa il 70% del bacino imbrifero. Altro immissario rilevante è il Canale della Fighera sul quale confluisce il Canale Collettore Oruni che drena la parte settentrionale del bacino, apportando le acque di scolina dai terreni della Bonifica della Nurra. Da ultimi, il Rio Calvia ed il Rio Fangal immettono in laguna le acque della zona di Valverde, situata a sud-est del bacino idrografico. Da segnalare che, ad eccezione del Rio Serra, che riceve le acque a valle dello sbarramento del Cuga, non ci sono interruzioni della continuità fluviale per gli altri corsi d'acqua indicati. Questi, se si esclude il Rio Barca (30.705 Mmc/anno), hanno comunque portate molto modeste e, per certuni, molto variabili nel corso dell'anno (Rio Filiberto 7.469 Mmc/anno; Rio Serra 14.996 Mmc/anno; Rio de Calvia 9.337 Mmc/anno; canale Orune 5.681 Mmc/anno; fonte: Piano del distretto idrografico della Sardegna 2016).

All'interno del bacino imbrifero in analisi ricadono vari invasi artificiali, alcuni dei quali ricoprono ancora oggi un ruolo strategico per l'approvvigionamento idrico dell'area.



Denominazione	Destinazione d'uso	Capacità di invaso massima (Mmc)	Capacità di invaso autorizzata (Mmc)
Surigheddu	irriguo	2.12	-
Cuga	irriguo, civile	33.93	20.00
Alto Temo	irriguo, civile	81.18	58.87

L'invaso di Surigheddu (capacità massima di invaso 2.12 Mmc) è localizzato ad est della città di Alghero, è stato realizzato con uno sbarramento in terra sul Rio Serra. In passato, le risorse idriche allocate venivano destinate per uso irriguo, alimentando le aziende di Surigheddu e Mamuntanas, e parzialmente per uso potabile per l'approvvigionamento di Alghero. Attualmente l'invaso (gestito dall'ERSAT: Ente Regionale di Sviluppo e Assistenza Tecnica in Agricoltura) è inutilizzato. L'invaso del Cuga, gestito dal Consorzio di Bonifica della Nurra, è un serbatoio artificiale costruito nel 1975 in seguito allo sbarramento del rio omonimo, unico immissario tributario importante. L'opera si trova nei pressi dei centri abitati di Uri e Ittiri, si estende su una superficie di circa 1.8 kmq e la risorsa idrica è destinata prevalentemente ad uso irriguo e civile. Lo sbarramento è del tipo a gravità. Dall'invaso ha origine un canale adduttore destinato all'uso irriguo e capace di convogliare una portata di 10 mc s^{-1} : questo termina, dopo un percorso di circa 7 km, nella vasca di compenso di Monte Baranta, nei pressi dell'abitato di Olmedo. Il bacino imbrifero sotteso allo sbarramento ha un'estensione di circa 58 kmq insufficiente con i suoi deflussi a portare a riempimento il lago. Per questo motivo vengono addotte le acque dall'invaso artificiale dell'Alto Temo, ubicato più a sud in prossimità dei centri di Romana e Monteleone Roccadoria, mediante un collegamento che avviene in parte in galleria e in parte in alveo (il Sistema Temo-Cuga). La risorsa idrica utilizzata per scopi potabili è gestita dall'ESAF (Ente Sardo Acquedotti e Fognature) e sino al 2003 ha rappresentato la principale fonte di approvvigionamento per il Comune di Alghero, fornendo all'impianto di potabilizzazione di Monte Agnese circa 400 l s^{-1} , oltre a servire la rete di distribuzione consortile per soddisfare il fabbisogno irriguo della piana di Alghero. Dal 2003 l'erogazione della risorsa invasata, nel bacino del Cuga, per uso potabile si è ridotta notevolmente, fino a circa 30 l s^{-1} , e nel prossimo futuro questa dovrebbe cessare quando sarà ultimata la condotta che convoglierà i reflui depurati dell'impianto di depurazione del Comune di Sassari (ubicato in località Caniga) all'invaso, il quale sarà destinato a quel punto esclusivamente all'uso irriguo.

Utilizzo Cuga (Mmc)	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Irriguo	35.8	34.3	5	25.5	41,5	13	16.9	3.7	29.6	9.2	-
Idropotabile	11.2	11.3	10.9	12.8	12.7	13.2	14	14.3	20.3	19.7	8.1
Evaporazione	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Totale risorsa	49.9	48.6	18.8	41.3	57.2	29.2	33.9	21	52.9	31.9	-

3.3. La geologia, la geomorfologia e l'idrogeologia

Le informazioni qui riportate sono desunte dal piano di tutela delle acque della Regione Sardegna. L'area in oggetto, infatti, occupa molta parte della unità idrologica omogenea (U.I.O.) che difatti prende il nome di quello dell'asta fluviale principale: il Rio Barca. Questa regione è molto varia sotto l'aspetto geologico e morfologico; sono presenti terreni appartenenti ad età variabili dal Paleozoico al Quaternario, con formazioni sedimentarie marine e continentali, interessate dalla tettonica. Il Paleozoico è rappresentato dal complesso scistoso cristallino. La successione paleozoica denota un metamorfismo molto accentuato in particolare nella parte più a nord di questa regione. Durante il Carbonifero, l'orogenesi Ercinica è responsabile della messa in posto dei graniti. All'inizio del Mesozoico l'area viene invasa dal mare e questo porta alla deposizione di una potente successione di calcari e marne, che prosegue nel Giurassico con successioni di rocce carbonatiche in banchi ben stratificati. Il terziario è rappresentato dal vulcanismo trachandesitico oligo-miocenico e dalla trasgressione marina del Miocene medio, formata da un'alternanza di marne e calcari marnosi con calcari e arenarie di maggior durezza. Nelle zone periferiche e lungo il corso del fiume si rinvencono talvolta le alluvioni quaternarie, in terrazzamenti. L'abbondanza di calcari ha favorito il carsismo, che si manifesta sia in forme superficiali che ipogee e, soprattutto lungo la costa, ha dato origine a grotte di notevole importanza.

Per quanto concerne gli acquiferi sotterranei, di seguito sono elencati gli acquiferi che interessano il territorio della U.I.O. del Barca (Figura). In particolare, il primo in elenco è stata individuato come un'area potenzialmente vulnerabile ai nitrati di origine agricola e per il quale i valori di vulnerabilità rientrano nella classe alta.

- Acquifero dei Carbonati Mesozoici della Nurra
- Acquifero Detritico-Carbonatico Oligo-Miocenico del Sassarese
- Acquifero delle Vulcaniti Oligo-Mioceniche della Sardegna Nord-Occidentale

- Acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario della Nurra

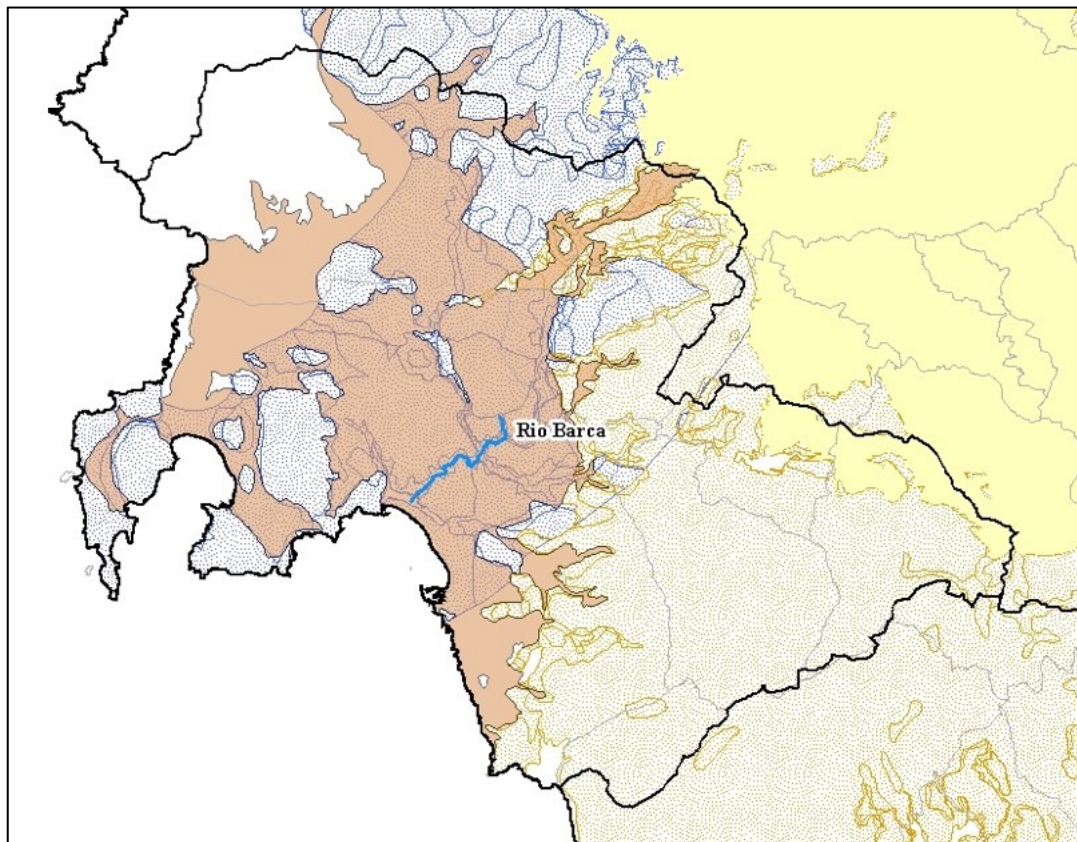


Figura 5) Complessi acquiferi presenti nella U.I.O. del Rio Barca

3.4. Gli usi del suolo

Per quanto riguarda l'uso del suolo le principali informazioni qui riportate sono desunte dalla carta d'uso del suolo 2008. Il territorio in analisi è caratterizzato per il 27.3% da zone arbustive e/o arboree; di queste circa il 42.96% è dato da macchia mediterranea, mentre le zone boscate interessano circa il 14% della superficie dell'intero bacino del Calich. La presenza della macchia mediterranea non è localizzata in zone definite, ma diffusa su tutto il territorio e costituisce, insieme alla gariga (35.95%) la componente arbustiva predominante.

L'uso del suolo prevalente è quello agricolo dal momento che ben il 49.1% della superficie è occupata da seminativi (39.6% irrigui e 9.4% non irrigui) e l'8.12% da colture permanenti, in prevalenza oliveti (5.08%) e vigneti (3.04%). Degno di nota anche le aree destinate a pascolo naturale, che occupano il 5.86% della superficie.

L'importanza dell'agricoltura è data dalla presenza, alle spalle della larga riva sabbiosa del golfo di Alghero, di una pianura facilmente coltivabile; è il comprensorio della Bonifica della Nurra. Ivi le superfici coltivate sono caratterizzate per la maggior parte da terreni adibiti a seminativi semplici e colture orticole a pieno campo, che costituiscono il la principale componente agricola. Seguono per importanza i vigneti, che trovano qui condizioni pedoclimatiche ottimali per produzioni di pregio.

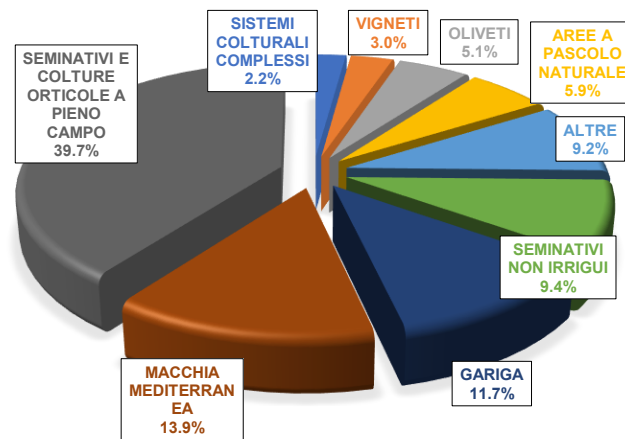


Figura 6) L'uso del suolo

4. LE POTENZIALITÀ E I PROCESSI DI CRISI DELL'AREA UMIDA DEL CALICH

4.1. Risorse, conflitti e dinamiche

Lagune e stagni costieri della Sardegna, per la ricchezza della flora e della fauna che accolgono, sono riconosciuti a livello nazionale e comunitario come ambienti umidi di elevato pregio naturalistico. Sono aree di frontiera tra terra e mare, e rappresentano ecosistemi complessi ad elevata biodiversità che necessitano di essere tutelati per salvaguardarne la ricchezza naturalistica e perpetuarne le benefiche funzioni eco-sistemiche.

Lo sfruttamento delle loro risorse alieutiche, inoltre, costituisce da secoli una risorsa economica strategica per molti dei loro territori. Come testimoniano numerosi ritrovamenti archeologici, l'esercizio della pesca all'interno delle lagune e la raccolta di molluschi acquatici sono state fra le più ancestrali pratiche di sussistenza per il popolo sardo. Più tardi, durante il Medioevo e l'Età Giudicale, la rilevanza economica delle acque interne fu tale da indurre varie forme di appropriazione ed esigere forme di gestione da parte di ordini religiosi e regnanti. Ancor oggi molti sistemi lagunari rivestono una notevole importanza per la pesca professionale e l'acquacoltura, oltre ad essere divenuti luoghi di attività turistiche e ricreative.

Tuttavia, a causa della difficoltà di conciliare le molteplici esigenze di natura economica e sociale, molti ambienti lagunari soffrono gli effetti di forti pressioni e carichi antropici sulle loro sponde (bonifichi agrarie, cantieri, usi civici, attività turistiche), che hanno spesso determinato conflittualità con le destinazioni d'uso rivolte alla conservazione ambientale ed alla produzione primaria. La Laguna del Calich, né è un classico esempio.

Nelle sue acque viene praticata sia la pesca di numerose specie ittiche di pregio (muggini, anguille, sparidi e sogliole), sia la raccolta di molluschi che rappresenta una attività tradizionale dei pescatori algheresi. Nei suoi fondali, infatti, si riscontra la presenza naturale di banchi di bivalvi (vongole, mitili, ostriche e cuori); per di più le condizioni del sistema acquatico sembrerebbero favorevoli ad uno florido sviluppo della molluschicoltura. Sotto il punto di vista dell'offerta turistica, la laguna possiede forti elementi di attrazione grazie anche alla sua prossimità con il centro urbano di Alghero e con poli nevralgici per i trasporti: l'Aerostazione ed i porti di Alghero e Porto Torres. In tal senso si può individuare in un ampio bacino di utenza legata alle attività sportive, ludiche e ricreative, e per attività di

fruizione naturalistica. Con queste finalità la laguna è stata negli ultimi anni valorizzata attraverso iniziative per progettare e realizzare camminamenti e punti di osservazione dell'avifauna; istituire e tenere corsi di educazione ambientale; predisporre attività museali sull'avifauna e sulla pesca tradizionale nello stagno; realizzare interventi di consumo dei prodotti ittici in loco; e favorire azioni di pesca turismo. Il diportismo nautico è un'altra rilevante attività economica locale e, come accennato, il canale a mare ospita un piccolo porticciolo.

Già a partire da fine Ottocento, la laguna ha subito consistenti interventi antropici che ne hanno più o meno marcatamente alterato l'assetto morfologico, con ovvie ripercussioni sui processi ecologici. Risale infatti a quegli anni l'avvio delle operazioni di bonifica delle aree acquitrinose circostanti che avevano l'intento di regimare le acque, risanare aree paludose e malariche recuperando superfici coltivabili, e favorire lo sviluppo delle produzioni agricole, specie nel settore olivicolo che rappresenta uno dei principali settori dell'agricoltura peri urbana di Alghero. Alcuni degli interventi effettuati avevano anche il significato di mantenere una buona connessione ed il ricambio delle acque lagunari con il mare, contrastarne la naturale tendenza all'interramento, e di incrementare le rese di pesca. Con queste finalità, tra il 1938 e il 1940 il canale a mare naturale fu allargato, dragato, e corredato di un molo a protezione. In epoca più recente è stato realizzato sulla sponda settentrionale un sistema d'isolotti e canali, atti a favorire la permanenza e la crescita del novellame, mentre in prossimità della congiunzione del canale a mare con la laguna è stato costruito uno sbarramento in legno in cui è posato un lavoriero.

Eppure, la laguna è ancora abbastanza interrita e le rese di pesca che in altri tempi erano state di 200-300 kg/ha son divenute assai più modeste. L'ecosistema acquatico del Calich si presenta eutrofico-ipertrofico e manifesta crisi distrofiche più o meno prolungate, morie di pesci ed esplosive proliferazioni algali che colorano intensamente le acque. Le cause principali di tutto questo dipendono dalla scarsa qualità delle acque superficiali, che afferiscono allo specchio d'acqua lagunare dopo aver raccolto le acque di scolina delle aree ago-pastorali e gli scarichi dei depuratori urbani. In aggiunta, le diminuite profondità dei fondali e la presenza di opere antropiche, ostruendo il flusso e riflusso delle correnti mareali, ostacolano l'adeguato ricambio idrico e la diluizione degli inquinanti. Sussistono in sintesi delle incongruenze con il bacino contribuente per l'eccesso di elementi nutrizionali inquinanti che vi esporta e con la presenza di infrastrutturazioni lungo il canale di comunicazione con il mare non coerenti con

le esigenze di conservazione ambientale e fruizione sostenibile, e con lo sviluppo delle attività di pesca.

4.2. La Laguna nel contesto ambientale d'area vasta: La Rete Ecologica

La zona umida del Calich rappresenta certamente una delle più importanti aree a livello ambientale e naturalistico della Sardegna settentrionale. La presenza di rilevanti peculiarità ecologiche, tra le quali svariate specie animali e vegetali rare ed alcuni endemismi, ne ha consentito la classificazione come Zona a Protezione Speciale ed il conseguente inserimento nella Rete Natura 2000. Tale rete è strutturata in Zone speciali di conservazione ZSC, ovvero Siti di Importanza Comunitaria SIC¹² e Zone di Protezione Speciale ZPS¹³ (poste lungo le rotte di migrazione dell'avifauna), e nasce per il mantenimento a lungo termine degli habitat naturali e semi naturali, e delle specie botaniche e faunistiche, marine e terrestri, minacciate a livello comunitario e ancora presenti nei territori dei Paesi Membri.

L'intendimento fondamentale della costituzione della Rete Ecologica è quello di garantire la continuità degli spostamenti migratori e dei flussi genetici delle varie specie. In altre parole, con Natura 2000 si è inteso comporre un sistema di aree strettamente relazionato dal punto di vista funzionale, e non un semplice insieme di territori isolati tra loro e scelti fra i più rappresentativi, attribuendo importanza non solo alle aree ad alta naturalità ma anche a quei territori contigui, indispensabili per mettere in relazione aree divenute distanti spazialmente ma vicine per funzionalità ecologica.

In una tale prospettiva, se si osserva il territorio in oggetto ad una scala spaziale opportunamente ampia ci si può facilmente rendere conto della sua strategica centralità nella costruzione della Rete Ecologica nell'Isola, in quanto accoglie una straordinaria complessità di interrelazioni tra aree, habitat e specie di interesse comunitario. I principali corridoi ambientali (le connessioni ecologiche che assicurano la continuità degli spostamenti migratori e dei flussi genetici delle varie specie) coinvolti sono quelli: della pianura alluvionale della Nurra, del Rio Mannu, del fiume Temo, dell'invaso del Cuga, e tutto l'arco ambientale costiero. I nodi principali sono: gli Stagni e le saline di Sassari e Stintino (Stagno di Casaraccio, Le Saline e lo Stagno di Pilo); il sistema costiero del “*mare di fuori*” di Coscia di donna e dell'Argentiera; il complesso ambientale di Baratz e Porto Ferro, Capo Caccia e Porto Conte;

¹² Istituiti ai sensi della Direttiva 92/43/CEE (Habitat)

¹³ Istituite ai sensi della Direttiva 79/409/CEE ‘*Uccelli*’ sostituita dalla Direttiva 147/2009/CE.

il cordone sabbioso litorale da Platamona ai complessi dunali di retrospiaggia; l'arco costiero compreso tra il promontorio di Punta del Gall e la rada di Alghero, fino alla località San Giovanni.

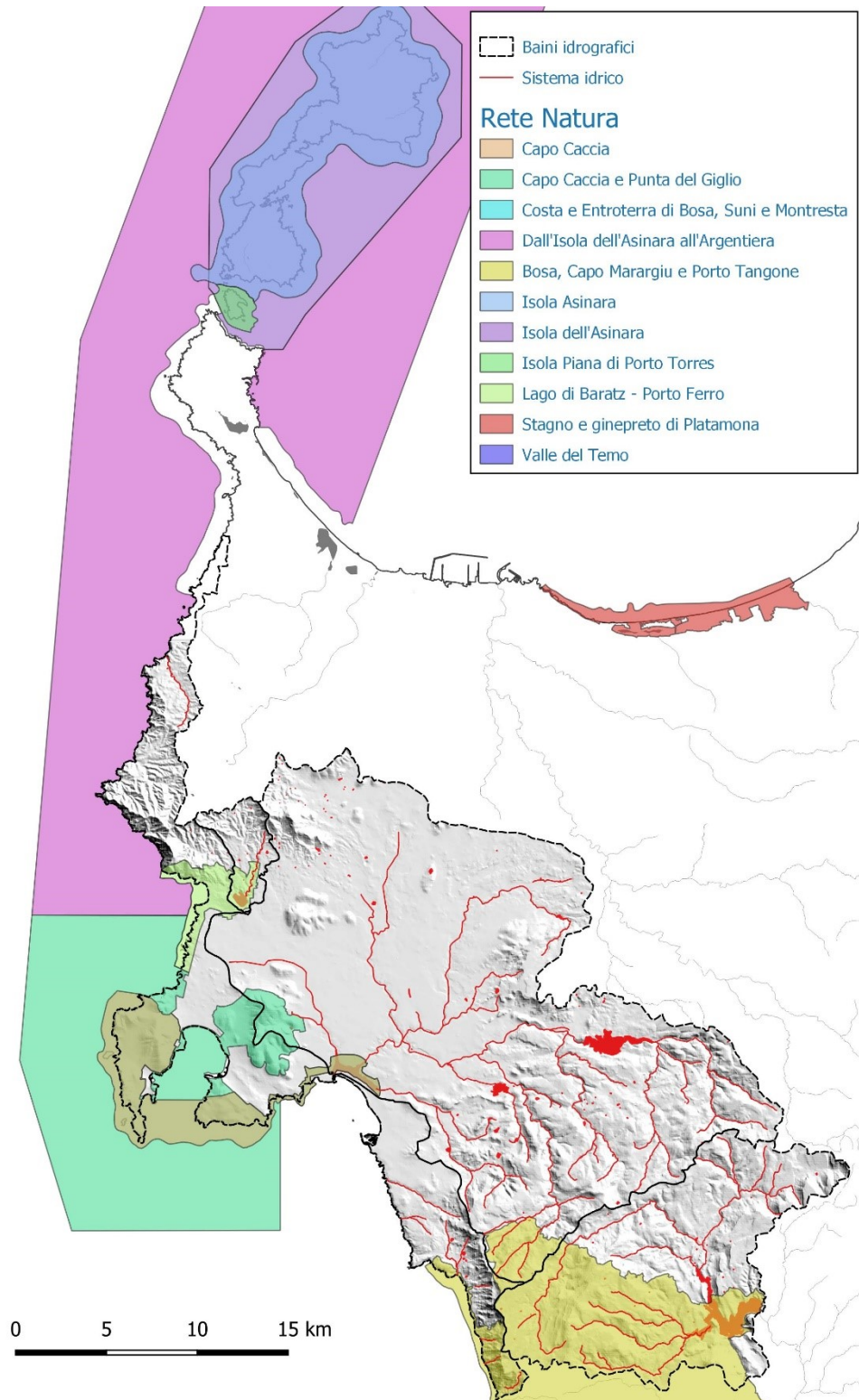


Figura 7 La Rete Natura e i SIC dell'area vasta

4.3. Le trasformazioni della bonifica

I lavori di bonifica e sistemazione idraulica, effettuati prima negli anni '30 e successivamente negli anni '80, hanno modificato in maniera radicale il paesaggio ambientale della laguna del Calich in quanto sono state eliminate numerose zone paludose, rettificata le sponde, realizzati dei canali di vivificazione e aumentate le profondità medie del bacino. Se da un lato questi interventi hanno incrementato la batimetria media, l'idro-dinamismo interno e la vivificazione, è altrettanto vero che eliminando le zone paludose di interfaccia fra acque dolci e salmastre hanno generato forti impatti sia sulle cenosi vegetali, sia sull'avifauna, sia sul reclutamento di stadi giovanili di specie ittiche con conseguenze negative sulla produttività stessa della laguna.

Un inquadramento storico-culturale, pertanto, risulta utile ai fini della comprensione dell'evoluzione degli interventi antropici nell'area in oggetto e dei processi che hanno determinato, nel corso degli anni importanti trasformazioni sotto diversi punti di vista non solo ecologico ambientale ma anche urbanistico-architettonico e socioculturale.

Dai primi del Novecento, infatti, lo sviluppo urbano della vicina città catalana di Alghero è accompagnato da un forte incremento delle attività produttive nel territorio sia per la presenza di alcune grandi aziende agricole private, sia per la realizzazione di un progetto di "bonifica integrale" voluto dal regime fascista. La Bonifica della Nurra algherese, in particolare, si inserisce come complesso organico di poderi, edifici e strutture, funzionali ad un progetto ampio di organizzazione del territorio e di una visione strategica orientata alla costituzione di una comunità fiorente, autonoma e dalla spiccata economia rurale. Questi lavori si caratterizzano per una serie di costruzioni e opere infrastrutturali di particolare rilievo, che ancora oggi definiscono il paesaggio periurbano di questa porzione di territorio comunale.

In realtà i lavori di trasformazione del territorio erano già iniziati alla fine dell'800, con la bonifica della laguna costiera del Calich, ad opera dei detenuti del vicino stabilimento penale di Alghero e della colonia penale di Cuguttu, e proseguiti con la realizzazione del *Villaggio Calik*, nel 1927. Questo primo gruppo di edifici, destinati a magazzini, dormitori per gli operai e uffici direzionali, andrà a costituire il nucleo più antico dell'odierna borgata di Fertilia, oltre ad essere un punto di partenza per quella che, dal 1933 in poi, sarà la bonifica integrale operata dall'Ente Ferrarese di Colonizzazione.

L'Italia, a partire dagli anni '20, è sotto il regime fascista i cui obiettivi politici principali erano quelli di una generale redistribuzione della popolazione sul territorio, l'espansione demografica nazionale e, soprattutto, la volontà di compiere una riforma sociale che tramite l'agricoltura, posta a base dell'economia nazionale, creasse una mentalità nuova e corrispondente ad usi, costumi e principi differenti dalla realtà urbana della città industriale. Uno dei punti di forza della politica agraria del fascismo è dunque il concetto di "*bonifica integrale*", che si realizza con un deciso attacco al sistema capitalistico industriale, con l'intento di subordinare l'attività industriale ai reali interessi economici nazionali. Per le politiche del regime la bonifica integrale appare come lo strumento più adatto per conciliare riforma economica e riforma sociale, e questa volontà di "*ruralizzare*" il paese non poteva che realizzarsi attraverso la colonizzazione. L'Ente Ferrarese di Colonizzazione, a cui come già detto si deve la fondazione di Fertilia, viene istituito con un decreto del 7 ottobre 1933, proprio negli anni cruciali della politica mussoliniana. Il fine statutario di tale ente era decongestionare il Ferrarese, caratterizzato da un elevato numero di braccianti disoccupati, e destinare il maggior numero di famiglie nelle zone meno abitate della Sardegna, creando la piccola proprietà coltivatrice. Gli anni dell'Ente Ferrarese sono anni in cui la colonizzazione del territorio, dopo l'episodio del *Villaggio Calik*, avanza con ritmi più elevati. I principali lavori di bonifica del comprensorio consistono nello scavo di opere idrauliche di drenaggio al fine di rendere coltivabili e produttivi terreni altrimenti palustri e la sistemazione di una fitta rete stradale. "*Il territorio della Nurra, come la piana di Terralba, era*", infatti, "*acquitrinoso, infestato dalla malaria, spopolato e scarsamente sfruttato*"¹⁴. Contestualmente all'estirpazione della macchia mediterranea inizia la piantumazione di olivi, mandorli, pini e altre piante frangivento, con i lavori di dissodamento di numerosi ettari di terreno e la costruzione di circa cento case coloniche e dei primi edifici di servizio, ancora oggi ubicati nella campagna. Tra il 1933 e il 1935 vengono risanati 6.000 ettari di terreno; nel '38 gli ettari sono 12.000 su cui insistono 115 poderi e 100 case coloniche. In tutto, prima del secondo conflitto mondiale, l'Ente riuscirà a bonificare una superficie di 33.000 ettari e a costruire 20 pozzi e 50 km di strade.

Scopi dell'Ente Ferrarese di Colonizzazione oltre alle opere di bonifica e all'appoderamento, è l'inserimento di comunità lavoratrici in pianta stabile, creando un modello di insediamento rurale diffuso. Modello che si caratterizza per una sostanziale

¹⁴ Di Felice Maria Luisa in, AA. VV. a cura di A. Lino "Le città di Fondazione in Sardegna", Cagliari, C.U.E.C./I.N.U., p 106

differenza nel rapporto fra città e campagna rispetto al passato. La città, sede delle funzioni amministrative, non è pensabile al di fuori dell'organizzazione territoriale che la sorregge e al quale serve; mentre negli esempi del passato la produzione nelle campagne era al servizio della città, in questo nuovo sistema tra podere e borgo la città sorge al servizio della bonifica. Ed è proprio sul contatto con il circondario e con l'agro, sulla base dell'asse viario rettilineo che la collega con la borgata di Santa Maria la Palma (principale borgata di servizio inaugurata nel 1954), che si instaura il rapporto tra le file di case coloniche ed il centro urbano di Fertilia, dedicato ai servizi.

Tra il 1928 e il 1938 vengono condotti, oltre alla Nurra, altri due piani di colonizzazione del territorio che comporta la realizzazione di altri due insediamenti: Arborea nella piana di Terralba e Carbonia nel Sulcis.

In tutti questi casi l'assetto morfologico ed ecologico dei luoghi viene completamente stravolto. Si prosciugano aree umide naturali, vengono introdotte nuove specie arboree estranee come l'Eucalipto per le fasce frangivento, si tracciano chilometri di nuove strade. Nel caso della Nurra, in particolare, vengono anche distrutti numerosi siti archeologici mentre si dissoda e si sbanca il terreno con macchinari potenti, frantumando banchi di roccia affiorante. Il ponte romano a Fertilia, per esempio, subisce la distruzione di due arcate per far passare una draga che scavi i fondali dello stagno, d'altronde l'Ente Ferrarese doveva apparire potente per rispecchiare l'autorità del regime che lo aveva istituito.

A partire dal 1951, e sino agli anni Ottanta, è l'Ente per la Trasformazione Fondiaria e Agraria in Sardegna (ETFAS), istituito nell'ambito della "*Riforma Agraria*" del secondo dopoguerra, a proseguire con un programma di miglioramento fondiario della piana di Alghero che vide l'appoderamento di svariati ettari di terreno, la contemporanea rimodulazione delle funzioni di Fertilia, e la fondazione ex-novo di nuclei urbani di servizio: Santa Maria La Palma, Maristella, Sa Segada, Guardia Grande, Corea, Tottubella, Campanedda; territori attualmente iscritti tra i comuni di Alghero e Sassari.



Figura 8) Rete infrastrutturale ed abitativa della Bonifica 1944



Figura 9) Rete infrastrutturale ed abitativa della Bonifica 1958

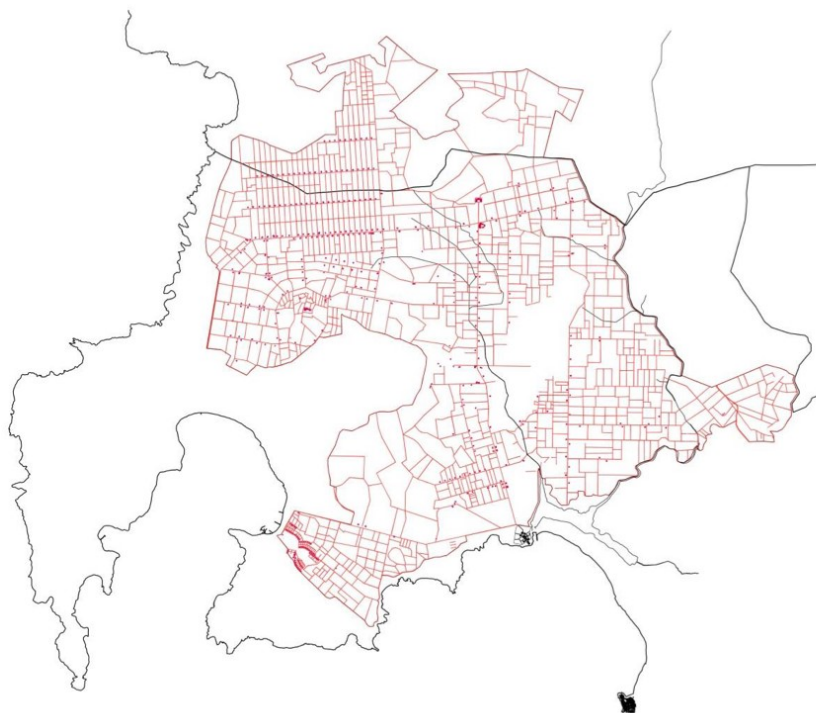


Figura 10) Rete infrastrutturale ed abitativa della Bonifica oggi



Figura 11) Area bella Bonifica, mappa storica delle opere di regimazione idraulica e appoderamento

4.4. L'eutrofia delle acque della laguna

Nello stagno del Calich sono state svolte nel tempo varie campagne di monitoraggio dei parametri trofici delle acque, finalizzate alla valutazione del suo stato di qualità ambientale. Sebbene una parte di esse sia ormai molto datata, e conseguentemente non più rappresentativa della condizione attuale, la loro considerazione permette sia di delineare un quadro di evoluzione dinamica delle condizioni della laguna che di ipotizzarne i futuri scenari evolutivi, le loro probabili cause, e le possibili strategie d'intervento per un'inversione o quantomeno una mitigazione dei processi di degrado.

Per rendere più agevole il raffronto, nella tabella a seguire si riporta una sintesi dei principali parametri trofici rilevati nelle diverse epoche di studio, anche se talvolta alquanto frammentari.

	N-NO₃ (mg N m ⁻³)	Ptot. (mg P m ⁻³)	N-NH₃ (mg N m ⁻³)	Clorofilla (mg m ⁻³)	Macrofite (g ps m ⁻³)	Campionamenti (n°)
Franco 1981	600-960	45	73-120	-	-	12
Sechi 1981	310-1230	40-120	50-200	6	500	4
Biotopi 1997	760	-	78	-	-	2
CBN 1998	10	-	3.6	4.3	122	12
CEDOC 2002	1000	80	85	12	-	4
DBEV 2005	435	35	10	8	-	4
DBEV 2009	871	132	26	9.4	110	12

Dalla lettura della tabella si evince come le prime rilevazioni di alcuni importanti descrittori trofici risalgono al lavoro di Franco et al. del 1981. Le risultanze dei campionamenti, condotti con periodicità mensile nell'arco temporale di un anno, evidenziavano una sensibile differenziazione tra la parte occidentale e la parte orientale della laguna dovuta alla allora presenza di una barriera organogena composta da policheti. Emergeva altresì una zonazione tra acque salmastre ed acque tipicamente marine. Infine, gli Autori riportano consistenti variazioni stagionali nei valori di fosforo e azoto, più alti nei periodi invernale-primaverile e con punte massime nelle stazioni di prelievo attigue agli immissari. Sempre nel 1981 Sechi riportava per i medesimi parametri trofici, misurati a cadenza stagionale, valori in buon accordo con quelli riscontrati da Franco et al. L'autore riporta, inoltre, valori abbastanza limitati di clorofilla, (inferiore a 8 mg m⁻³); presenza nello stagno di flora macrofittica esuberante; e valori della biomassa (500 g p.s. m⁻²) eccedenti i 200 g m⁻², limite che identifica gli ambienti molto produttivi. Qualche anno più tardi (1994) in base ad analisi di salinità e dei valori della concentrazione dei principali composti nutrizionali,

la laguna veniva classificata come eutrofica *nell'inventario dei Biotopi Presenti nella Fascia Costiera della Sardegna, "Stagno di Calich"* della R.A.S. Nel 1997, il Consorzio di Bonifica della Nurra, avviava un'indagine dal titolo "*Progetto per la modernizzazione delle produzioni ittiche con opere di regolazione e salvaguardia ambientale nello Stagno di Calich-Alghero*"; le indagini sperimentali vennero effettuate in sei stazioni lagunari a cadenza mensile nell'arco di un anno (1997/98). Il quadro a livello ecologico che i risultati dell'indagine facevano emergere era di una condizione di mesotrofia delle acque lagunari, sebbene l'assenza di valutazioni sul contenuto di fosforo totale non permettesse di definire una trofia in termini stringenti. Ulteriori dati sperimentali sono riportati nella banca dati CEDOC regionale, rilevati dal Presidio Multizonale di Prevenzione dal 2002 al 2005. Dall'analisi dei parametri trofici collezionati risultava uno stagno che con molta probabilità poteva essere classificato come ipertrofico. Di un certo interesse sono i dati rilevati nel 2005 e nel 2009 dal Dipartimento di Botanica ed Ecologia vegetale (DBEV) a cadenza stagionale. Quest'ultima campagna di rilievi fu promossa dal Parco di Porto Conte successivamente all'entrata in funzione del nuovo depuratore di Alghero, posto in zona San Marco, interna al bacino imbrifero. L'indagine è stata svolta interessando tre stazioni disposte lungo l'asse lagunare maggiore e con prelievi ad intervallo mensile. Nel complesso l'esame dei parametri più significativi in termini trofici restituiva una situazione lagunare tipica di condizioni di elevata trofia in combinazione con una sensibile contaminazione azotata.

Il quadro complessivo derivante dall'insieme dei dati esposti parrebbe indicare una spiccata tendenza alla conversione da condizioni eutrofiche verso quelle ipertrofiche, con proliferazioni algali imponenti come quelle segnalate già dal 2008/09, che necessiterebbero interventi di riduzione dei carichi inquinanti nutrizionali e limitazione delle loro fonti. Il tracciante primario di tale cambiamento risulterebbe il fosforo totale che deriva dai rilasci del bacino idrografico e degli scarichi urbani. In particolare, degni di nota apparrebbero i valori medi intorno agli 80 mg P m^{-3} del 2005, ben superiori ai $20\text{-}30 \text{ mg P m}^{-3}$ valore universalmente accettato come limite di transizione tra sistemi mesotrofici e sistemi eutrofici. Dal 2009 la situazione sembrerebbe cambiare ulteriormente ed il parametro trofico si attesterebbe su valori maggiori di 100 mg P m^{-3} che viene fissato come limite di transizione tra sistemi eutrofici e sistemi ipertrofici, cioè severamente condizionati dalle immissioni di nutrienti. Per quanto concerne gli altri parametri, essi presenterebbero situazioni più diversificate ma è senz'altro evidente che le concentrazioni della clorofilla sarebbero in aumento ed i valori, ancorché non proporzionalmente allineati alle grandi disponibilità nutrizionali

(plausibilmente a causa della competizione del fitobenthos) sarebbero comunque anomali rispetto ad una accettabile normalità lagunare in cui i valori dovrebbero essere inferiori a 2-3 mg m⁻³.

Questa situazione, in ragione anche degli esiti del monitoraggio periodico condotto dall'ARPAS nel periodo dal 2009 al 2018 (cfr. *Indagini sullo stato trofico dello stagno del Calich 10 anni di controlli (2009-2018)* – ARPAS 2018; *Studio di fattibilità per l'attuazione di sistemi di mitigazione delle conseguenze della eutrofizzazione nel bacino lagunare di Calich* – Lenzi M.), appare molto critica sotto il profilo della tutela ambientale con pesanti conseguenze negative sulla laguna in termini di riduzione della biodiversità, bloom algali, decadimento sul fondo della materia organica, crisi anossiche, moria di pesci, etc.

4.5. Il fenomeno della marea gialla

Le sorti ecologiche delle acque di transizione sono sempre intimamente connesse a quelle del mare, con il quale comunicano e instaurano molteplici rapporti mutualistici di scambio. La problematica in epigrafe, in particolare, si riferisce proprio ad un fenomeno che più volte ha interessato il braccio di mare antistante la rada di Alghero, tra il golfo di Fertilia e il litorale di Maria Pia, e proveniente dal bacino lagunare del Calich.

Il reticolo idrografico sotteso dal golfo accoglie diversi scarichi di natura civile e industriale. Come discusso al paragrafo precedente, gli ingenti apporti idrici provenienti da tali sorgenti puntuali, compreso il malfunzionamento di taluni di essi, nonché gli scarichi diffusi provenienti principalmente dalle attività agro-zootecniche, hanno aggravato le già precarie condizioni trofiche della laguna, “fertilizzando” ulteriormente le acque naturali mediante l'apporto delle sostanze del tipo azoto, fosforo, potassio e zolfo. Per brevi tratti le coltivazioni agricole arrivano fin quasi alla linea di battigia del Calich.

Gli apporti eccessivi interessano anche materiali detritici, asportati prevalentemente dalle superfici coltivate e trascinati dalle piene fluviali, che causano l'interramento del corpo idrico. Esso progredisce molto celermente, restringendo rovinosamente l'ambiente di vita acquatico. Tutto questo a fronte di un'importante limitazione del naturale scambio idrico con il mare, dovuto alla realizzazione di sbarramenti antropici quali le palizzate del lavoriero, il ponte stradale di Fertilia e le opere portuali nell'omonimo porto canale (dove insistono, peraltro, attività di rimessaggio per la nautica turistica e da diporto). Quest'ultime, principalmente per mezzo del molo di sopraflutto, hanno notevolmente diminuito l'ingresso di acque fresche

povere di nutrienti e l'esportazione a largo dei materiali detritici. In conseguenza, l'eccessivo apporto di sostanze trofiche nel sistema lagunare e l'innalzamento dei fondali, ha provocato effetti di tipo cronico dovuti a fenomeni di successivo accumulo, con ripercussioni negative di lenta manifestazione.



Figura 12) Infrastrutture nel porto-canale di Fertilia (SS)

Quanto illustrato ha indotto nel sistema lagunare una particolare e abnorme crescita algale (bloom) di prevalente colorazione gialla e maleodorante, percepita dalla popolazione come inquinamento idrico. La specie maggiormente coinvolta è l'*Alexandrium Tailory*, un'alga nociva sotto diversi punti di vista (Satta et. al., 2010) Tale fenomeno, successivamente denominato "*marea gialla*" dai media, fuoriesce dall'imboccatura del molo del porto di Fertilia, che canalizza i flussi uscenti verso le spiagge affacciate sulla rada del golfo, comportando ricadute estremamente negativa sull'intero indotto economico del turismo balneare della città di Alghero.

5. IL PROBLEMA DELLA DEPURAZIONE DEI REFLUI URBANI

5.1. La gestione dei reflui fognari di Alghero

Il sistema fognario a servizio dell'agglomerato urbano di Alghero ha subito in questi ultimi anni importanti lavori di ammodernamento che ne hanno profondamente trasformato la struttura, la modalità di gestione ed il loro rapporto con l'ambiente. La modifica principale che ha interessato l'impianto è stata la realizzazione di un nuovo depuratore sito nelle vicinanze del polo industriale di Alghero, in località San Marco. Fatto che ha portato l'ubicazione dello scarico terminale non più con sversamento a mare, bensì con due destinazioni d'uso specifiche: l'una "ambientale", volta a garantire l'afflusso d'acque dolci allo stagno del Calich, l'altra irrigua, con recapito diretto nella rete di distribuzione idrica in agro del Consorzio di Bonifica della Nurra.



Figura 13) Planimetria della condotta di rilancio verso il nuovo depuratore San Marco

La fognatura nera cittadina è, nei fatti, un sistema misto con alcune vasche di prima pioggia realizzate in diverse zone dell'abitato in grado, una volta attivate, di regimentare gli afflussi in periodo di pioggia e di mitigare gli eccessi di portate reflue nel periodo estivo. Questo sistema fognario convoglia le acque da inviare a trattamento nel vecchio depuratore "Mariotti", tramutato in sistema di equalizzazione e rilancio delle portate, presso il quale è

tuttora attivo lo scarico a mare, originariamente destinato allo scarico delle acque depurate ed oggi scaricatore di troppo pieno.

Il trasferimento di tutta la portata possibile al depuratore San Marco avviene tramite un sistema di sollevamento in grado di inviare una portata di punta di circa 1400 mc h⁻¹. Il sollevamento è dotato di 5 pompe in modo da garantire la copertura delle portate con attivazione sequenziale di quattro pompe e la scorta attiva della quinta pompa. Il regime di funzionamento del sollevamento è ancora sotto monitoraggio al fine di equalizzare al meglio le portate affluenti, evitando pericolosi sovraccarichi idraulici al depuratore.

5.1.1 La filiera della depurazione

Il depuratore a servizio dell'agglomerato di Alghero è un classico impianto a fanghi attivi. Ha una potenzialità di depurazione nominale pari a 77.500 abitanti equivalenti (A.E.) con produzione di circa 6.5 milioni di metri cubi annui di reflui depurati (7.5 Mmc, secondo una misurazione di Abbanoa del 2013). Lo schema di processo prevede, dopo uno stadio di decantazione primaria una filiera completa di trattamenti secondari costituita da:

- Pretrattamenti
- Decantazione primaria
- Sezione biologica costituita da un selettore anossico, la predenitrificazione e la fase ossidativa
- Decantazione secondaria.

Completa il trattamento standard la sezione di disinfezione con l'impiego di acido peracetico. La stabilizzazione dei fanghi è effettuato per via anaerobica, con pre-ispessitore, digestore anaerobico, post ispessitore, e successiva disidratazione con centrifuga.

Il trattamento è ultimato da due distinte sezioni di affinamento funzionali l'una al riutilizzo irriguo delle acque in uscita dall'impianto, l'altra allo scarico nel Rio Filiberto con recapito finale nello stagno del Calich, circa 8 km più a valle. I due distinti processi sono finalizzati a garantire, nel primo caso il raggiungimento dei limiti per il riutilizzo delle acque e, nel secondo, l'ulteriore affinamento per la riduzione del fosforo, attività non necessaria con recapito esclusivo al riutilizzo.

Riprendendo sinteticamente la relazione progettuale si rilevano i seguenti elementi principali. L'impianto dopo uno stadio primario e secondario, e una disinfezione con acido peracetico, avvia il refluo destinato all'irrigazione ad una fase di affinamento consistente in un sistema di filtrazione a tele, per ridurre ulteriormente i solidi sospesi, e un trattamento UV per abbattere ulteriormente la carica batterica evitando la formazione di sottoprodotti di disinfezione. L'acqua deve poi essere sollevata per l'immissione nella rete irrigua. Il refluo destinato allo scarico in ambiente (Rio Filibertu) subisce un processo di abbattimento ulteriore del fosforo denominato ACTIFLO (tecnologia di chiari-flocculazione chimica seguita da una decantazione accelerata e da disinfezione con acido peracetico).

5.2. Il riutilizzo dei reflui in agricoltura

5.2.1 Il sistema di distribuzione

Dalle informazioni reperite con la lettura di documenti, atti e resoconti dei tavoli tematici, redatti nell'ambito del progetto Retralags, la storia del nuovo depuratore del comunale può essere sinteticamente schematizzata come di seguito riportato.

Il progetto del depuratore è stato approvato in via definitiva con deliberazione Giunta comunale n. 328 del 15 ottobre 2003. A conclusione dei lavori è entrato in funzione nella primavera del 2009. Fino al maggio 2011 i reflui trattati nell'impianto venivano interamente scaricati nel Rio Filibertu, eccezion fatta per il periodo di agosto 2010 quando, in piena emergenza "*marea gialla*", viene richiesta alla provincia l'autorizzazione al riuso in agricoltura, cui è seguita multa e interruzione del riuso per assenza del piano di gestione dei reflui come imposto dal DM 185/03 e DGR 75/15 del 30/12/2008.

Nella primavera 2011, l'Agenzia Regionale del Distretto Idrografico approva il Piano di gestione dei Reflui redatto dal Consorzio di Bonifica della Nurra. Contestualmente è stata rilasciata l'autorizzazione provinciale al riutilizzo ai fini irrigui delle acque depurate dell'impianto di San Marco. Da maggio 2011 le acque reflue vengono in parte immesse direttamente nelle condotte di distribuzione irrigua del consorzio di Bonifica, in parte scaricate nel rio Filibertu con destinazione Calich.

Il dato gestionale di maggior interesse è rappresentato dalla portata giornaliera di refluo trattato e immesso nell'impianto irriguo nel periodo estivo (stagione irrigua) che ammonta a circa 20 mila mc/giorno su un totale 23 mila prodotti.

Mediante un sollevamento di circa 48 metri, le acque reflue trattate e destinate all'agricoltura vengono immesse direttamente nella rete di distribuzione, non essendo prevista la possibilità tecnica di una loro pre-miscelazione con le acque grezze del Cuga all'interno di un bacino di lagunaggio. Il collegamento con l'impianto di depurazione San Marco avviene tramite condotta DN300 che si innesta alla condotta Adduttrice Principale Alta DN1400 del Consorzio di Bonifica della Nurra, che costituisce un ramo dell'anello a servizio del comprensorio Sud.

Per le caratteristiche funzionali e distributive del sistema irriguo consortile il punto di immissione dei reflui affinati (parte centrale della rete bassa servita a gravità dalla vasca di accumulo e compenso sita a Monte Baranta; quota idraulica s.l.m. 86 m) è tale che solo teoricamente possa alimentare tutta la rete irrigua del Consorzio, compresa la parte alta della rete, alimentata con i sollevamenti di Olmedo, Monte Uccari, e Campanedda, in quanto i reflui affinati potrebbero alimentare, a ritroso, la vasca di Monte Baranta che, a sua volta, alimenta tutti i sollevamenti citati.

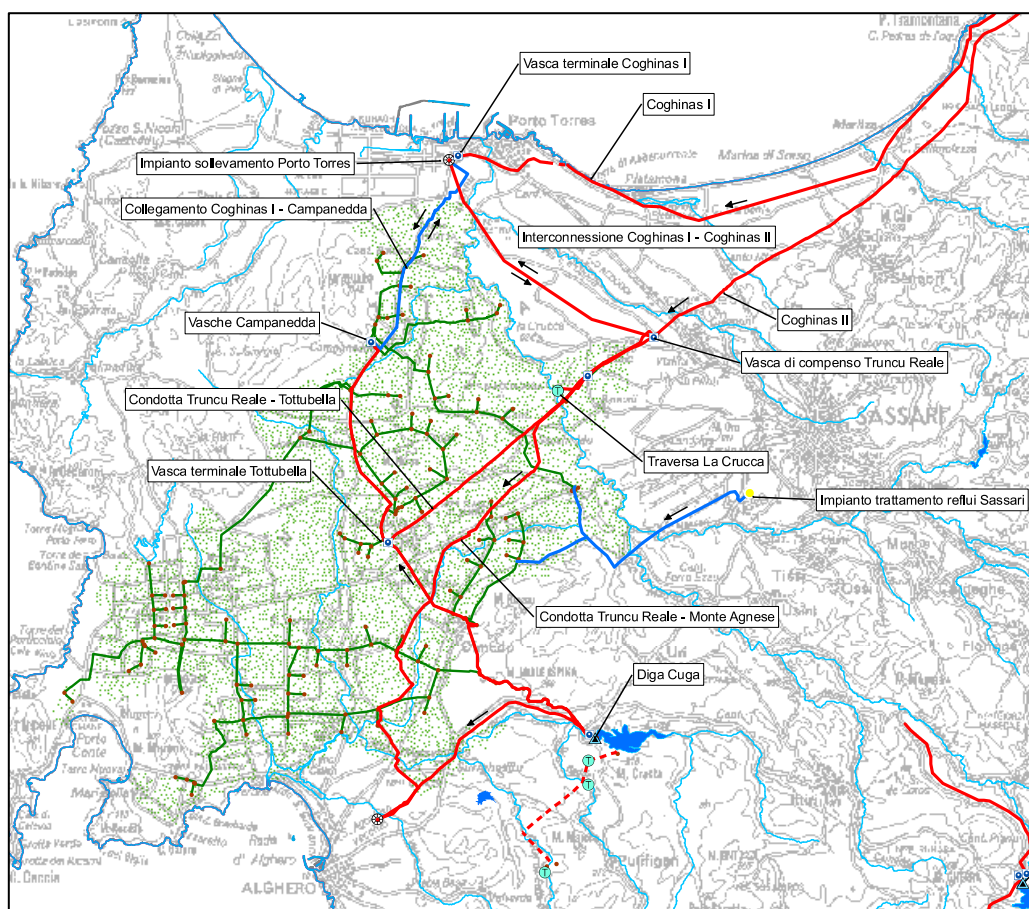


Figura 14) Schema acquedottistico della Sardegna nord-occidentale. Campitura verde: comprensorio irriguo del Consorzio di Bonifica della Nurra

Prima del 2018 la Direttiva Regionale sul riuso dei reflui in agricoltura (cfr. Delibera della Giunta regionale n. 75/15 del 30.12.2008) imponeva un rapporto di miscelazione massimo di 1:1 (acqua recuperata : acqua grezza), equiparando la miscela all'acqua grezza. Fino ad allora il consorzio di Bonifica ha dichiarato di aver adottato un limite più cautelativo rispetto a quello previsto per legge: 1/3 di risorsa idrica proveniente dal depuratore e 2/3 dall'invaso del Cuga. Nel maggio 2018 con delibera n° 12/2 del 6.03.2018 la Regione ha abrogato l'obbligo della miscelazione delle acque al 50% nel periodo estivo, allineando la normativa regionale a quella statale con la seguente motivazione:

“oggi si rende tuttavia necessario riconsiderare le limitazioni imposte dalla direttiva regionale sui metodi irrigui adottati per il riuso dei reflui e sul possibile contatto diretto dei prodotti edibili crudi con le acque reflue recuperate, in ragione dell'esperienza acquisita in quasi un decennio (dall'emanazione della stessa direttiva) da tutto il sistema regionale, dei limiti che tale norma comporta in termini di volumi massimi riutilizzabili (tenuto conto del forte deficit idrico che sta interessando, e che ha già interessato in passato, l'intero territorio regionale), dei costi necessari per l'infrastrutturazione di un sistema che garantisca la possibilità di miscelare opportunamente le due risorse (refluo e grezzo) nella misura minima fissata dalla direttiva regionale per superare le suddette limitazioni, oltre che della difficoltà tecnica, in molti casi, di accertamento del suddetto rapporto di miscelazione.

5.2.2 Le istanze dell'agro

In seguito all'immissione nelle condotte del Consorzio di Bonifica vari agricoltori cominciarono a lamentare serie preoccupazioni per l'andamento estivo delle coltivazioni, a causa di alcuni fenomeni mai riscontrati in passato, quando delle condotte arrivava acqua solo dell'invaso del Cuga. Fra d'esse, la presenza di acqua torbida e maleodorante nelle bocchette di irrigazione, e la comparsa di efflorescenze saline sui suoli. I primi sintomi osservati sulle colture sono stati l'avvizzimento delle ortive di pieno campo, specie quando trattate con il sistema della fertirrigazione. Il fenomeno è stato quasi immediato nei terreni con maggiori percentuali nella frazione argillosa, ma più tardi si è altresì manifestato nei suoli sciolti a maggiore capacità di drenaggio. Risultava invece meno evidente nei comprensori non fertirrigati, ancorché le colture mostrassero un accrescimento stentato ed alterazioni delle caratteristiche qualitative del prodotto alla raccolta.

Per comprendere meglio le ragioni di questi fenomeni, nel 2011 è stata avviata dall'Università degli Studi di Sassari (dipartimento di Agraria, sede di Nuoro) una campagna di monitoraggi che ha previsto la raccolta presso alcuni centri aziendali di campioni di terreno, dei sedimenti depositatisi nei gruppi di filtraggio di impianti d'irrigazione e d'acqua irrigua, prelevata direttamente ai punti di derivazione delle utenze poderali. I risultati delle indagini laboratoriali hanno posto in evidenza alcuni problemi oggettivi.

Furono anzitutto riscontrate elevate concentrazioni di solidi sospesi nell'acqua che provocavano un rapido intasamento dei filtri doppia-camera, posti in testa delle ali distributrici (filtro a sabbia associato ad una calza), costringendo gli agricoltori a un maggior numero di operazioni di lavaggio per ripristinare la corretta funzionalità dell'impianto di aspersione. Il fenomeno era ancor più evidente, e dannoso, nelle manichette di irrigazione dove l'occlusione dei gocciolatoi dei sistemi di micro-irrigazione, difficilmente reversibile, arrecava disomogeneità d'umettamento del suolo e conseguente calo di resa produttiva.

Per controllare la qualità chimica dell'acqua irrigua venne misurato, con cadenza oraria e per un periodo di alcune settimane, esclusivamente il parametro della conduttività elettrica tramite l'installazione di un auto-campionatore portatile. I risultati mostrarono una spiccata variabilità giornaliera del parametro monitorato, con valori bassi di notte, assimilabili a quelli delle acque prelevate dal Cuga (circa 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$), e molto elevati di giorno, con picchi che superavano i 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, imputabili all'arrivo di acque prevalentemente reflue.

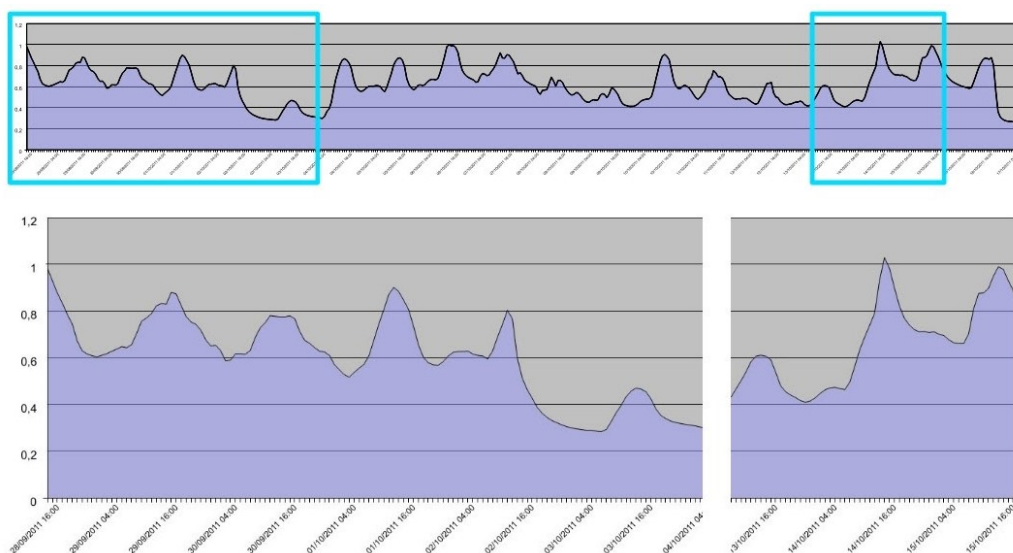


Figura 15) Registrazione oraria della conduttività elettrica dell'acqua, periodo 28/9-17/10 2011¹⁵

La media mensile (circa 550 $\mu\text{S}/\text{cm}$), tuttavia, rispettava i limiti cautelativi adottati dal consorzio che, come già ricordato, applicava il rapporto di 1/3 di risorsa irrigua proveniente dal depuratore e 2/3 dal bacino del Cuga. La miscelazione, seppur formalmente nei limiti di legge su scala mensile, nel 2011 appariva non rispondere a criteri di omogeneità delle caratteristiche chimico-fisiche confacenti all'uso irriguo.

Da ultimo, i riscontri analitici effettuati su campioni di suolo agrario rivelarono un marcato incremento nei valori di conducibilità elettrica lungo il profilo del franco di coltivazione di terreni fertirrigati (3670 $\mu\text{S}/\text{cm}$), rispetto ai terreni non irrigati (272 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Meno in quelli irrigati senza uso di fertilizzanti (1152 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Le conseguenze di siffatto eccessivo accumulo di sali nel terreno sono l'instaurarsi condizioni sfavorevoli alla crescita delle piante: limitato assorbimento radicale d'acqua, per effetto dell'elevata pressione osmotica della soluzione circolante, e diminuita disponibilità di nutritivi. Inoltre, la formazione di croste saline sulla superficie dei suoli ostacola la germinazione e l'emergenza delle piante, mentre favorisce il ruscellamento superficiale e, nel caso di elevate concentrazioni di sodio, anche la destrutturazione del suolo per deflocculazione di composti colloidali.

SUOLI	pH in H ₂ O	pH in KCl (1N)	pH in CaCl ₂ (0,02 N)	Conducibilità $\mu\text{S}/\text{cm}$
Suolo irrigato Senza fert. PARTE BIANCA	8,1	8,1	8,2	1152
Suolo irrigato con fert. PARTE BIANCA	7,8	7,7	7,8	3670
Suolo non irrigato	7,8	7,5	7,6	315
Suolo irrigato Senza fert. PARTE SCURA	8,0	8,0	8,9	272
Suolo irrigato con fert. PARTE SCURA	8,1	7,8	7,8	1081

Figura 16) Analisi laboratoriali su campioni di suolo 2011¹⁵

In sintesi, le cause delle osservazioni potevano essere ricondotte a diversi fattori fra loro concorrenti:

- L'inidoneità di funzionamento del trattamento di filtrazione a tela del depuratore di San Marco per questo tipo di destinazione d'uso del refluo

¹⁵ Prof. Chiara Rosnati, docente di Tecniche di valutazione di impatto ambientale, Università degli Studi di Sassari Dip. Agraria

- La miscelazione gestita come semplice alternanza di immissione nella rete irrigua di acqua tal quale proveniente dal depuratore e risorsa grezza dal Cuga, considerata l'assenza di un lagunaggio a monte che assicurasse l'omogeneizzazione delle due risorse contestualmente ad una sedimentazione dei solidi sospesi ancora presenti nelle acque reflue da avviare al reimpiego irriguo
- Carenti manutenzioni e lavaggi periodici delle vasche di accumulo e compenso, dei canali e delle condotte che compongono il sistema della distribuzione irrigua del Consorzio
- Eccesso di cloruro di sodio nelle acque fognarie in ingresso al depuratore, associato a cospicui apporti estemporanei di acque salmastre nelle fognature cittadine, che non viene abbattuto con i trattamenti previsti.

La situazione fin qui tratteggiata è emersa in tutta la sua criticità, e conflittualità fra le parti coinvolte, in occasione di numerose consultazioni pubbliche organizzate sul tema. In particolare, nell'ambito del potenziamento dei processi partecipativi a sostegno del Contratto di Laguna del Calich, nel 2019 lo staff organizzativo del progetto RETRALAGS ha predisposto tre giornate di lavoro tese ad aprire uno spazio di confronto, scambio e condivisione con gli operatori del settore agro-zootecnico, le cui attività produttive hanno come più volte affermato, ricadute innegabili sulla *governance* della Laguna. Durante questi “*tavoli tematici sull'agricoltura*” le principali recriminazioni degli intervenuti del comparto produttivo vertevano sulla assenza di informazione. Denunciavano di aver appreso dell'immissione dei reflui trattati nella rete di irrigazione solo dai quotidiani, e di essere stati colti totalmente impreparati, specie sotto il profilo tecnico, dal nuovo sistema di gestione dei reflui della depurazione. Riferivano altresì come nessuno degli Enti preposti avesse verificato gli effetti dell'uso dei reflui in agricoltura. Eppure, nel piano di gestione approvato a maggio 2011 si dichiarava che “*verrà proposto un programma di monitoraggio degli effetti del riutilizzo, sui suoli e sulle colture, volto alla verifica del sistema del riuso irriguo in argomento, indicando tempistiche, modalità e terreni/culture interessati, che verrà predisposto e allegato al Piano di gestione entro 3 mesi dall'approvazione*”¹⁶.

¹⁶ Piano di Gestione per il Riutilizzo delle Acque Reflue in Agricoltura nel Comune di Alghero, Consorzio di Bonifica della Nurra

5.3. Il sistema di depurazione diffuso nel bacino imbrifero

A completamento del quadro delineato va messo in rilievo il fatto che il Calich è la destinazione finale di un ingente quantitativo idrico proveniente oltre che dal depuratore a servizio dell'abitato di Alghero anche da una nutrita lista di altri depuratori a servizio di piccoli nuclei urbani che insistono all'interno dell'area del bacino o che hanno, quali recettori finali, acque superficiali riconducibili al reticolo idrografico che alimenta la Laguna. Si ricordano:

- Aeroporto di Alghero (1.000 ae)
- Borgata Santa Maria La Palma (12.900 ae)
- Agenzia Agris Sardegna (1.550 ae)
- Comune di Olmedo (3.200 ae)
- Frazione di Tottubella (nd)
- Consorzio Industriale Provinciale (nd)

Una trattazione completa delle caratteristiche impiantistiche di ciascuno degli impianti elencati esula dalle finalità di questa memoria. È utile, tuttavia, sottolineare come la totalità di essi siano classici impianti a fanghi attivi, privi di trattamento terziario dei reflui depurati. Molti, inoltre, sono ormai strutturalmente carenti, obsoleti od in condizioni manutentive precarie, come confermato anche dai controlli effettuati dall'Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente della Sardegna (Arpas). L'Arpas è istituzionalmente impegnata, sia sul fronte del monitoraggio delle acque di transizione, con prelievi ed analisi eseguiti ai sensi del D.Lgs. 152/06 per la valutazione dello stato ambientale della laguna del Calich, sia in relazione agli approfondimenti eseguiti con le indagini previste per il *Piano di Gestione dei Reflui Depurati* del depuratore Alghero-San Marco. Dal 2018 inoltre il Dipartimento di Sassari e Gallura è entrato a far parte del progetto RETRALAGS nell'ambito del quale prende parte all'azione pilota relativa alla sperimentazione per allevamento di molluschi bivalvi all'interno della laguna.

Gli istogrammi a seguire riportano una breve sintesi degli esiti dei controlli sui reflui eseguiti, nell'ultimo decennio (2009 - 2018), sia da ARPAS sia dai gestori degli impianti in parola. Sono considerati i campioni nei quali almeno un indicatore è risultato eccedere limiti normativi, anche se la valutazione si riferisce alla media annua (e.g.: Ntot. e Ptot.).

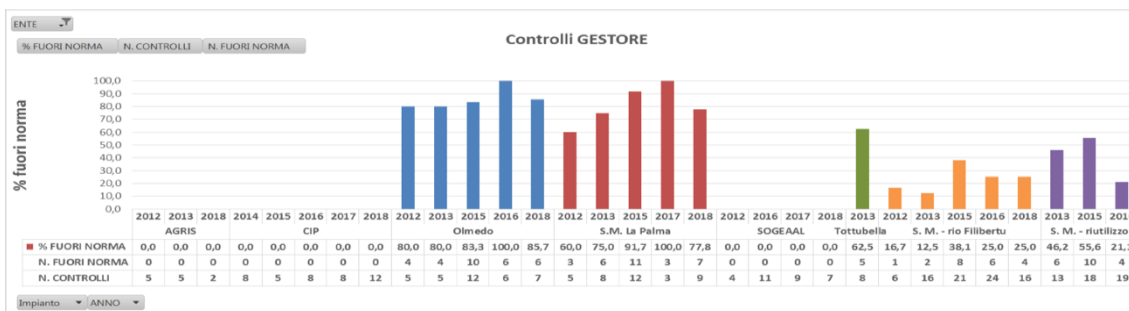


Figura 17) Autocontrolli sui reflui depurati; periodo di riferimento 2009-2018

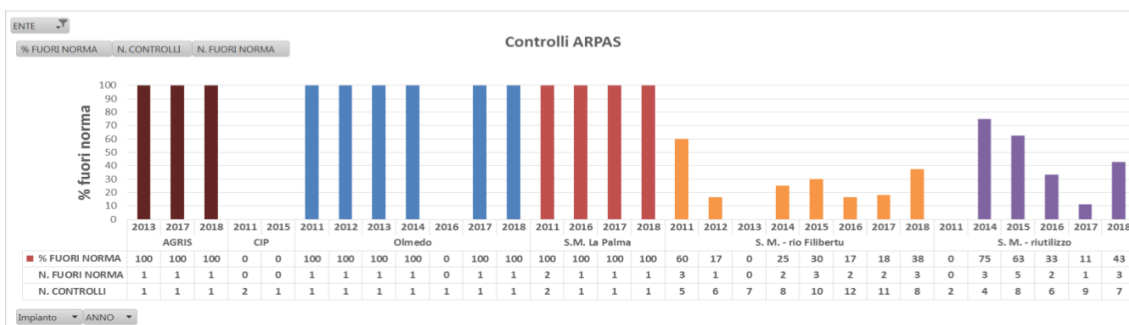


Figura 18) Controlli sui reflui depurati effettuati da Arpas; periodo di riferimento 2009-2018

Appare subito chiaro che le principali criticità si riferiscono agli impianti di Santa Maria La Palma e Olmedo per i quali sia Arpas, con la totalità dei rilievi con parametri fuori norma (ad esclusione di un prelievo del 2016 presso il depuratore di Olmedo) sia all'ente gestore Abbanoa hanno constatato carenze depurative. Si precisa che talora il numero di controlli Arpas si riferiscono ad un unico campione annuo che, se fuori norma, si traduce nel totale dei non conformi.

È importante, inoltre, sottolineare che fra i due impianti quello della borgata di Santa Maria La Palma possiede un numero di abitanti equivalenti decisamente elevato, quasi 13.000, che non rispecchia più il contesto odierno. Dopo lo spostamento delle strutture di trasformazione della Co.a.p.la (Cooperativa allevatori e produttori latte di Sassari) dalla sede storica di S. Maria La Palma ai moderni stabilimenti di Sassari, intorno alla metà degli anni Novanta, il depuratore rimase a solo servizio degli abitati della borgata stessa e di Fertilia. Nel 2001 l'impianto è stato sottoposto a modifiche ed ampliamenti, così da assumere l'aspetto e la funzionalità attuali, e dal 2008 processa le acque nere coltettate anche della vicina borgata di Maristella.

Per quanto attiene l'impianto a servizio dell'agglomerato di Olmedo, ad oggi risulta deliberata la realizzazione di un collettamento delle acque nere verso il depuratore di San

Marco, risoluzione volta a ripianare la situazione di non conformità. Tale intervento rientra anche nella pianificazione delle azioni a supporto del Contratto di Laguna del Calich, di cui il Comune di Olmedo è sottoscrittore.

Da ultimo, i dati di Arpas relativi all'impianto a servizio di AGRIS hanno sempre manifestato dei superamenti, contrariamente a quanto indicato dagli autocontrolli pervenuti dall'Azienda, sempre entro i limiti normativi.

6. LA RIORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA DI DEPURAZIONE: OPPORTUNITÀ PER UN PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE PER LA LAGUNA DEL CALICH

6.1. Il progetto ambientale

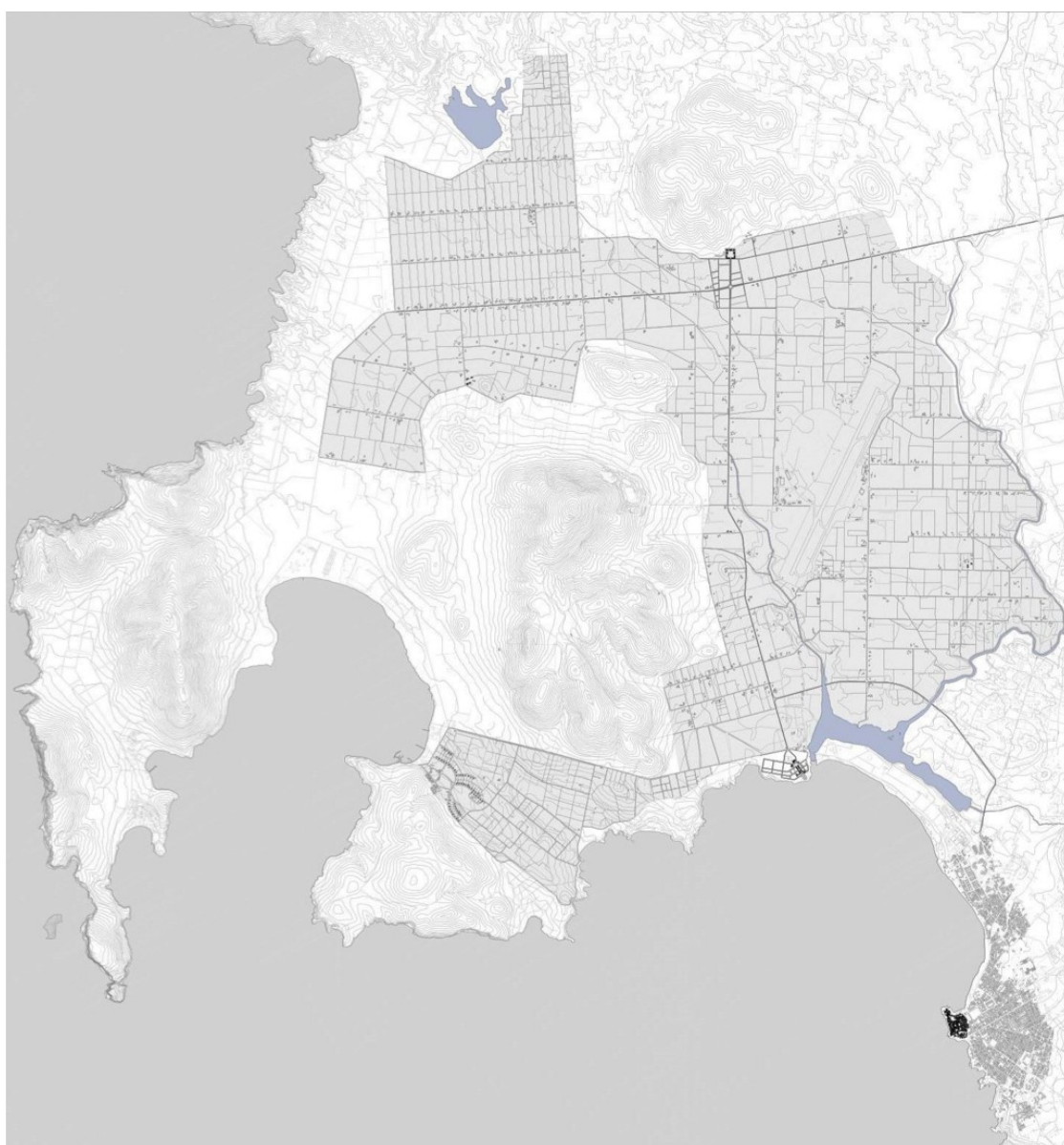
Il progetto di riqualificazione della qualità delle acque superficiali che qui viene proposto, si prefigge l'obiettivo di diventare il *centro ambientale* del sistema insediativo di area vasta. *“Questo rafforza il legame tra i centri dell'abitare e la laguna”*¹⁷. I presupposti su cui si fonda il progetto derivano dalla analisi dei paesaggi che compongono il territorio caratterizzandolo. Il paesaggio delle aree agricole, che sottolinea la grande quantità di territori intensivi, estremamente sfruttati e poco sostenibili da un punto di vista ecologico. Il paesaggio della bonifica che dispone il sistema degli appoderamenti e dei canali di scolo che segnano stabilmente il territorio. Il paesaggio della pesca che si compone al momento di poche entità che partecipano a questa attività, sottolineandone le enormi potenzialità di sviluppo. Questi sono schematizzazioni concettuali che mettono in rilievo le precipue risorse del territorio, ma anche le principali criticità. Bisogna poi ricordare i problemi legati alle azioni antropiche attuate a valle della Laguna del Calich. La costruzione del porto canale, gli sbarramenti dell'odierno ponte stradale di Fertilia e di quello antico romanico, il lavoriero.

Tutte azioni che hanno causato la modifica dell'ecosistema lagunare, favorito lo sviluppo di condizioni non compatibili con l'attività di pesca (fertilizzazione delle acque, bloom algali, anossie, interrimento della laguna). Ma la questione di maggiore attualità è rappresentata dall'immissione nella laguna di grandi quantità di acque reflue civili. Interventi idraulici e immissione di reflui dal vicino centro urbano di Alghero hanno, infatti, causato la precipitazione delle già precarie condizioni biologiche delle acque lagunari, crisi distrofiche e morie dei pesci.

Il problema fondamentale risiede nella inadeguata gestione dei reflui urbani e delle acque che afferiscono da tutto il bacino. I fiumi, i laghi e gli stagni non sono in grado di ricevere quantità di sostanze inquinanti superiore alla loro capacità autodepurativa senza veder degradata la qualità delle proprie acque ed i normali equilibri dell'ecosistema. È evidente

¹⁷Biddau G.M. Il progetto ambientale della città di Cabras e delle aree umide dell'oristanese. Tesi di Laurea Università degli Studi di Sassari, Dipartimento di Architettura A.A. 2008/09

quindi che la necessità di depurazione, attraverso sistemi di trattamento che imitino i processi biologici che avvengono naturalmente nelle aree umide di interfaccia, concorre a una generale riqualificazione degli ecosistemi grazie all'impiego di impianti che impattano positivamente sul contesto naturale in cui sono inseriti, anche da un punto di vista paesaggistico. I reflui, dopo aver affrontato il problema della depurazione, diventano la fonte sussidiaria di apporti d'acqua alla laguna.



Il contesto morfologico e abitativo attuale.

■ L'area di bonifica

Figura 19) Il paesaggio della bonifica della Nurra Algherese

6.2. I sistemi della fitodepurazione

Da progetti emersi in seno a vari Contratti di Fiume, avviati in diversi bacini sia italiani che europei, la fitodepurazione si è confermata e consolidata come una pratica capace di coniugare azioni progettuali eco-sostenibili con il miglioramento della risorsa idrica.

La fitodepurazione è un processo naturale per depurare le acque reflue che sfrutta i meccanismi di autodepurazione tipici delle aree umide. L'etimologia della parola fitodepurazione (dal greco *phito* = pianta) non deve trarre in inganno nel far ritenere che siano le piante gli attori principali nei meccanismi di rimozione degli inquinanti. Le piante, in realtà, hanno semplicemente il ruolo di favorire la creazione di microhabitat idonei alla crescita della flora microbica, vera protagonista della depurazione biologica.

A livello internazionale gli impianti di fitodepurazione vengono definiti con il termine *constructed wetlands*, che si riferisce a sistemi umidi costruiti artificialmente in modo tale da ottimizzare gli effetti della depurazione sulle acque reflue simulando un ambiente naturale. Le zone umide naturali, infatti, sono caratterizzate da un'estrema variabilità delle loro componenti funzionali. Fatto che rende praticamente impossibile prevedere gli esiti dell'apporto di acque inquinate e la traslazione dei risultati da uno specifico ambiente ad un altro.

Al contrario, aree umide costruite artificialmente offrono un maggior grado di controllo, permettendo una precisa valutazione della loro efficacia sulla base della natura del substrato, delle tipologie vegetali e dei percorsi idraulici. Esse, inoltre, offrono vantaggi aggiuntivi come, ad esempio, le possibilità di scegliere il sito dell'impianto, di dimensionare l'area e la sua geometria in base alle effettive necessità e, soprattutto, di operare il controllo dei flussi idraulici e dei tempi di ritenzione dei reflui all'interno dell'impianto stesso.

L'applicazione delle *constructed wetlands* per il trattamento delle acque reflue rappresenta ormai una scelta ampiamente diffusa nella maggior parte d'Europa e del mondo. Il successo dei sistemi di fitodepurazione, che ha determinato la rapida diffusione di questa tecnica, è imputabile a fattori economici e pratici. Sebbene non vi siano grandi differenze nei costi di realizzazione rispetto alla depurazione tradizionale, lo stesso non si può dire per i costi di esercizio e manutenzione generalmente più bassi rispetto quelli previsti per le tecnologie tradizionali. Il funzionamento di questo tipo di impianti non necessita di un utilizzo massiccio e costante di energia elettrica, la sola fonte di energia esterna necessaria è spesso solo quella

solare: la tendenza è, infatti, quella di minimizzare al massimo l'utilizzo di pompe idrauliche. Inoltre, la manutenzione degli impianti, limitata a controlli periodici, può essere eseguita da personale anche non specializzato, con notevole riduzione dei costi di gestione. I sistemi di fitodepurazione sono sistemi molto flessibili che rispondono bene alle variazioni di carico organico e idraulico, e possono essere concepiti come moduli aggregabili a seconda delle esigenze del caso. Il loro impatto sul paesaggio è nullo, se non addirittura positivo. Questo comporta la rapida accettazione, vista anche la loro funzionalità, da parte dell'opinione pubblica. In ultima analisi, quelle della fitodepurazione sono tecniche in grado di diminuire decisamente l'effetto antropico sull'ambiente, sia dal punto di vista dell'immissione di sostanze inquinanti sia come impatto visivo/ambientale.

I sistemi di fitodepurazione sono in genere classificati in base al tipo di macrofite utilizzate, oppure alle caratteristiche del cammino idraulico delle acque reflue. Nel primo caso, la classificazione comunemente accettata nei settori tecnico scientifici è quella proposta da Brix (1993):

- Sistemi a idrofite galleggianti (pleustofite)
- Sistemi a idrofite radicate sommerse
- Sistemi a macrofite radicate emergenti (elofite)
- Sistemi a microfite (alghe unicellulari).

Nel secondo caso la classificazione si basa sulla direzione prevalente di scorrimento dell'acqua. Si distinguono:

- **Sistemi a flusso libero (FWS):** sono anche detti a flusso superficiale e sono costituiti da bacini o canali, naturalmente o artificialmente impermeabilizzati. Riproducono una zona palustre naturale ove l'acqua è a diretto contatto con l'atmosfera e generalmente poco profonda; il livello dell'acqua è costantemente mantenuto sopra il livello del medium, con un battente idrico tipicamente compreso tra 0,3 e 0,6 m. Le essenze vegetali che vi vengono generalmente inserite appartengono ai gruppi delle elofite e delle rizofite

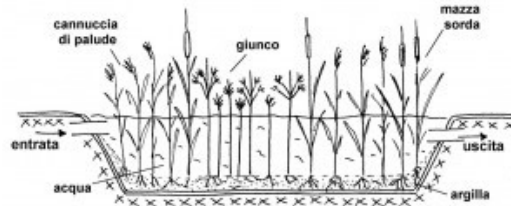


Figura 20) Sistema di fitodepurazione a flusso libero

- **Sistemi a flusso sommerso orizzontale (SFS-h o HF):** sono vassoi riempiti con materiale inerte, dove i reflui scorrono in senso orizzontale in condizioni di saturazione continua (reattori “plug-flow”) e le essenze utilizzate appartengono alle macrofite radicate emergenti



Figura 21) Sistema di fitodepurazione a flusso orizzontale

- **Sistemi a flusso sommerso verticale (SFS-v o VF):** sono vassoi riempiti con materiale inerte, dove i reflui scorrono in senso verticale in condizioni di saturazione alternata (reattori “batch”). Anche in questo caso le essenze utilizzate appartengono alle macrofite radicate emergenti.

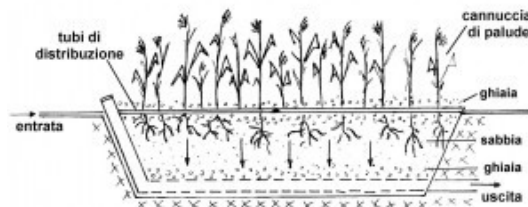


Figura 22) Sistema di fitodepurazione a flusso verticale

Nell'ambito di studio di questo elaborato, la tipologia applicabile e meritevole di un ulteriore approfondimento è rappresentata dai sistemi a flusso superficiale (*Free Water Surface*). Questa tipologia d'impianto riproduce esattamente i meccanismi di rimozione delle

sostanze inquinanti presenti nei processi di autodepurazione delle zone umide naturali, agendo contro organismi patogeni, BOD, COD, solidi sospesi, sostanze nutrienti, metalli pesanti e altri microinquinanti.

Come accennato, il sistema prevede la realizzazione di vasche o canali dove la superficie dell'acqua è esposta all'atmosfera. Il suolo, costantemente sommerso, costituisce il supporto per le radici delle piante. La loro costruzione prevede la realizzazione di bacini idrici e/o canalizzazioni aventi il più lungo percorso possibile in relazione alla geometria dell'area a disposizione, e aventi una profondità dell'acqua non superiore ai 60 cm, al fine di favorire i processi biologici. Uno dei principali obiettivi nella progettazione di un sistema libero, infatti, consiste nel garantire il più ampio contatto possibile tra refluo e superficie biologicamente attiva per garantire un adeguato tempo di permanenza idraulica del refluo ed evitare la formazione di corti-circuiti idraulici. Il flusso segue quindi un percorso tortuoso che comprende zone a bassa velocità di scorrimento e ridotta profondità con abbondante presenza di fusti che regolarizzano il deflusso.

L'ambiente in un sistema *FWS* è in genere aerobico vicino alla superficie dell'acqua e tende a diventare da anossico e fino all'anaerobico sul fondo. Il livello di aerazione raggiunto dipende da diversi fattori, alcuni sono controllabili (grado di miscelazione, stratificazione della colonna d'acqua, canalizzazioni, turbolenza, turn over, ecc.) altri invece non lo sono (temperatura, disponibilità e penetrazione della luce, velocità del vento, fauna che frequenta l'impianto). Le sostanze organiche e azotate sono rimosse attraverso processi biologici ossigenati in superficie, anossici in profondità; i solidi sospesi sono rimossi dalle radici o precipitano in profondità mentre la rimozione del fosforo avviene in maniera abbastanza lenta per adsorbimento, assorbimento, precipitazione e complessazione. La mineralizzazione dei nutrienti e di altri componenti ad opera della macrofite radicate emergenti può avvenire solo quando tali sostanze si ripartiranno nel sedimento in prossimità delle radici. Questo sistema garantisce anche un'importante azione di rimozione dei patogeni che, pur essendo molto efficace, è altamente variabile in quanto strettamente influenzata dalla variabilità dei fattori chimici, fisici e biologici. Infine, I metalli pesanti sono rimossi attraverso *l'up-take* delle piante, l'interazione chimico fisica con il suolo e la conseguente precipitazione.

Solitamente i sistemi a flusso libero sono maggiormente indicati per i trattamenti avanzati o terziario dei reflui trattati, o per loro natura già sufficientemente diluiti. Il ricorso a questa

tipologia di impianto si è rivelato ottimale nel caso di trattamenti di inquinamento diffuso sia di origine agricola (rimozione solidi sospesi totali, azoto e fosforo) che urbana.

Fra gli svantaggi associati al loro impiego va annoverato l'ampio utilizzo di suolo, fattore limitante in situazioni con scarsa disponibilità di aree libere o di elevato valore fondiario dei terreni da assoggettare ad esproprio, e la suscettibilità alle variazioni climatiche (i climi freddi, ad esempio, possono causare formazione di ghiaccio sulla superficie libera con conseguente ri-sospensione dei sedimenti). Hanno inoltre una sofisticata complessità ecosistemica, il cui controllo "umano" non è facile e sempre possibile. La possibile insorgenza di cattivi odori, infine, determina una limitata possibilità di applicazione in stretta vicinanza di centri abitati. In compenso, questi sistemi sono più semplici da progettare e realizzare, presentano basse perdite di carico idraulico e, pertanto, possono essere realizzati in zone pianeggianti senza ricorso a sistemi di pompaggio necessari in presenza di dislivelli maggiori.

6.3. Il dimensionamento dell'impianto di fitodepurazione

Il dimensionamento di un impianto di fitodepurazione può essere effettuato secondo metodi diversi, alcuni di tipo empirico ed altri, più rigorosi, basati su modelli matematici di reazioni cinetica. Sebbene sia sempre molto riduttivo affidarsi completamente ad un approccio basato esclusivamente sul dimensionamento superficiale (mq per abitante equivalente), tuttavia questo approccio può risultare molto utile per un primo dimensionamento di massima e, in parte, anche per individuare la tipologia progettuale più adatta alla situazione in analisi.

Per le finalità di questo lavoro di tesi, in considerazione anche della limitata disponibilità di misure sperimentali sull'effettivo stato di qualità delle acque reflue in ingresso alla laguna del Calich, si è optato per una procedura semplificata che tenesse in considerazione i dati disponibili relativi ai carichi di azoto (N tot), carichi di fosforo (P tot) e il numero abitanti equivalenti (A.E.).

Questi parametri permettono un dimensionamento di massima del sistema di fitodepurazione che viene progettato per abbattere i carichi inquinanti presi in esame (N, P). Viene effettuata una stima del numero di abitanti equivalenti partendo dai carichi di azoto (N tot) e carichi di fosforo (P tot) desunti da precedenti indagini laboratoriali effettuate dal Dipartimento di Botanica ed Ecologia vegetale (DBEV) nel 2009 su incarico dall'ente Parco di Porto Conte. Per la conversione dei valori di N tot. e P tot. in abitanti equivalenti ci si è

riferiti ai dati di bibliografia in cui si dichiarano le quantità medie di BOD₅, N tot, N tot, dotazione idrica e solidi sospesi per singola unità di abitanti equivalenti, A.E. (Masotti L., Verlicchi P., 2005; Viaroli P. 1997).

I dati nella tabella a seguire fanno riferimento al Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale".

	Azoto tot (N TOT)	Fosforo tot (P TOT)	BOD ₅	Dotazione idrica	Solidi sospesi
ABITANTE EQUIVALENTE (A.E.)	12 g/giorno	1.5 g/giorno	60 g/giorno	200 l/giorno	60 g/giorno

Prima dell'entrata in funzione del nuovo depuratore di San Marco, la stima teorica del carico del fosforo e dell'azoto dava i seguenti risultati. Per quanto riguardava i carichi inquinanti originati da fonti puntiformi erano presenti i centri abitati di Olmedo (3.429 abitanti), Putifigari (733 abitanti), frazioni di Sassari (498 abitanti) e l'agglomerato industriale di Alghero (stimato in 200 addetti) che complessivamente potevano liberare 1.49 t P a⁻¹ e 9.1 t N a⁻¹.

Con riferimento alle fonti diffuse nel territorio:

- Aree incolte pari 27.841 Ha e superficie agricola utilizzata SAU pari a 10.644 Ha che possono produrre un carico di 9.9 t P a⁻¹ e di 231 t N a⁻¹.
- Zootecnia: sono presenti nel bacino idrografico circa 2435 capi bovini, 1595 capi suini, 227 equini, 44177 ovini e 15141 pollame che complessivamente possono liberare 0.88 t P a⁻¹ e 5.2 t N a⁻¹.

Globalmente le fonti diffuse potevano generare un carico di 10 t P a⁻¹ e 231 t N a⁻¹ che insieme a quello puntiforme determinavano un totale di 11.7 t P a⁻¹ e 241 t N a⁻¹.

Con l'entrata in funzione del depuratore di San Marco nel 2009 lo stagno del Calich è diventato il corpo idrico recettore dei reflui (trattati convenzionalmente) degli oltre 42.000 abitanti del centro urbano di Alghero¹⁸. Le stime effettuate riportano un possibile rilascio di 14.4 t P a⁻¹ e 88 t N a⁻¹. Pertanto, il carico puntiforme sarebbe passato da 1.49 t P a⁻¹ e 9.1 t N a⁻¹ a 15.9 t P a⁻¹ e 96.9 t N a⁻¹. Ne deriva che, il carico complessivo dovrebbe essere cresciuto nel caso del fosforo da circa 12 t P a⁻¹ a 27.8 t P a⁻¹, mentre per l'azoto da 241 t N a⁻¹ a circa 328 t N a⁻¹.

¹⁸ Cfr. Piano di Gestione: "Riutilizzo delle acque reflue depurate del Comune di Alghero"

Va ora precisato che, a partire dal 2011 le acque reflue trattate giornalmente in uscita dal depuratore di San Marco vengono quasi interamente avviate all'uso irriguo nel comprensorio di bonifica per un periodo di almeno sei mesi all'anno. Si può, pertanto, ipotizzare che i valori di incremento dei carichi inquinanti puntiformi, come sopra riportati, possano essere ragionevolmente ridotti di circa la metà. Inoltre, tenuto conto del fatto che il periodo di reimpiego irriguo delle acque reflue trattate si sovrappone a quello della stagione del turismo balneare, tale stima appare comunque sufficientemente prudenziale. In un tale scenario, il carico complessivo di fosforo ammonterebbe oggi a circa 19.2 t P a⁻¹ e quello di azoto a circa 280 t N a⁻¹.

Tali dati sono necessari per il dimensionamento delle superfici del sistema di *fitodepurazione* utili alla riduzione del carico inquinante calcolato. Più nel dettaglio, nell'applicare i calcoli per il dimensionamento del sistema di fitodepurazione sono stati presi a riferimento due possibili scenari di intervento. Un primo scenario prende in considerazione l'attuale gestione dei reflui operata dall'ente gestore del depuratore (Abbanoa) con reimpiego irriguo stagionale. Il secondo scenario attiene al caso in cui i reflui depurati dovessero essere integralmente immessi nel corpo idrico superficiale (il Rio Filiberto) e recapitati in laguna.

PRIMO SCENARIO: REIMPIEGO IRRIGUO STAGIONALE DEI REFLUI TRATTATI			
AZOTO tot. (N TOT)	280000 kg/anno	767.13 kg/giorno) / (0,012 kg/giorno/A.E.)	63927 A.E. (max)
FOSFORO tot. (P TOT)	19200 kg/anno	52.6 kg/giorno) / (0,0015 kg/giorno/A.E.)	35068.5 A.E.
PORTATA MEDIA di progetto	12785.4 mc/giorno		

SECONDO SCENARIO: NESSUN REIMPIEGO			
AZOTO tot. (N TOT)	328000 kg/anno	898.63 kg/giorno) / (0,012 kg/giorno/A.E.)	74885.8 A.E. (max)
FOSFORO tot. (P TOT)	27200 kg/anno	74.52 kg/giorno) / (0,0015 kg/giorno/A.E.)	49680.37 A.E.
PORTATA MEDIA di progetto	14977.2 mc/giorno		

Si considera una popolazione equivalente approssimata a 63927 A.E. per il primo scenario e di 74885.8 A.E. per il secondo scenario; per entrambi i casi si prevede un consumo giornaliero teorico pari a 200 litri/giorno. Il quantitativo idrico consumato dalla popolazione nell'arco di 24 ore risulta essere pertanto pari a circa 12785.4 mc/giorno e 14977.2 mc/giorno rispettivamente per il primo ed il secondo scenario.

Il calcolo della superficie di depurazione necessaria viene calcolato in base alle modalità di re-immissione delle acque depurate nel sistema ecologico rappresentato in questo caso dai corpi idrici superficiali e dalla laguna.

MODALITA' DI REIMMISSIONE	RIFERIMENTO	SUPERFICIE NECESSARIA MIN
TRATTAMENTO APPROPRIATO	D.Lgs.152/99	3 mq /A.E.
SCARICO IN ACQUE SUPERFICIALI	Tab.3 D.Lgs.152/99	5 mq /A.E.
SCARICO SUL SUOLO	Tab.4 D.Lgs.152/99	6 mq /A.E.
RIUTILIZZO	DM 185/03	8 mq /A.E.

Al fine di raggiungere i parametri richiesti dal D.Lgs.152/99 è necessaria una superficie minima di 3 mq/A.E. Nel caso della laguna del Calich si vuole tuttavia promuovere una gestione delle acque più cautelativa di modo da migliorare le condizioni trofiche della laguna tramite l'immissione di acque dolci povere di nutrienti. Per questo motivo si prende come riferimento il parametro di 6 mq/A.E. come per soddisfare i limiti imposti dalla Tabella 3 del D.Lgs.152/99.

Considerando come popolazione equivalente valori di A.E. pari a quelli sopra determinati, per il primo e secondo scenario si ricava una superficie fitodepurativa variabile compresa tra 38.4 e 44.9 ha rispettivamente.

POPOLAZIONE EQUIVALENTE	SUPERFICIE mq/A.E.	SUPERFICIE FITODEPURATIVA
63927 A.E (Primo Scenario)	6 mq/A.E.	38.4 ha
	3 mq/A.E.	19.18 ha
74885.8 A.E. (Secondo Scenario)	6 mq/A.E.	44.9 ha
	3 mq/A.E.	22.46 ha

Pertanto, tenuto conto degli esiti del dimensionamento per i due scenari presi in analisi, nonché delle caratteristiche climatiche e territoriali in senso lato, la scelta più adeguata appare essere quella di un sistema di fitodepurazione a flusso libero, ritenuto sufficientemente efficace per abbattere il carico inquinante. Esso, inoltre, mantiene rese depurative elevate anche di fronte a forti variazioni di carico idraulico ed organico e durante i periodi più freddi.

Il sistema di fitodepurazione proposto ricalca le esperienze di altri impianti realizzati e funzionanti, e che per ambiente di utilizzo si avvicinano alle caratteristiche del territorio qui preso in esame.

Vengono presentati di seguito due casi studio realizzati in Italia che presentano una stretta relazione con quello trattato. Un loro attenta disamina risulta estremamente utile ai fini di una maggiore definizione del progetto delle aree umide della Laguna del Calich. Pertanto, per ciascuno di questi progetti vengono riportate le principali caratteristiche progettuali e di esercizio. Vengono, inoltre, riportati indicatori delle loro performance depurative in termini di abbattimento del carico di nutrienti e di riduzione dei solidi sospesi.

6.4. Esempi progettuali: Le Meleghine in Finale Emilia

6.4.1 Il contesto territoriale



Figura 23) Oasi Le Meleghine-Fianle Emilia (MO)

L'area umida "Le Meleghine" si configura come impianto di fitodepurazione ed è stata realizzata nel 1994 nel territorio comunale di Finale Emilia in provincia di Modena, nel Comprensorio di Bonifica Burana Leo - Scoltenna - Panaro. L'opera, che si estende su una superficie di circa 36 ettari, è stata promossa e realizzata dall'Amministrazione Comunale di Finale Emilia per depurare le acque del Cavo Canalazzo, interessate dagli scarichi di vari depuratori, aree produttive ed attività agroalimentari, ivi compreso lo zuccherificio di Massa Finalese. Il Cavo Canalazzo è interessato dai deflussi di un'area di 83.8 Km². Il regime idrologico del canale è caratterizzato da una portata media di circa 32000 mc/giorno. Le

acque veicolate dal Cavo provengono da scarichi puntiformi depurati e da sorgenti diffuse, e risultano particolarmente ricche di sostanze azotate (media dei carichi azotati veicolati stimata in 564 kg N/giorno con massimi di 7070 kg N/giorno; Fucci e Gradilone, 1994).

L'area su cui insiste l'impianto è caratterizzata da suoli pianeggianti di origine alluvionale a tessitura argillosa/argilloso-limosa, pietrosità e rocciosità assenti. È presente uno strato di circa 4 m di materiale coerente fortemente impermeabile che sovrasta uno strato sabbioso sede di una falda in leggera pressione il cui livello piezometrico statico si posiziona circa un metro sotto il piano campagna durante la stagione umida, mentre in estate scende a -1.5 m dal piano campagna. I suoli assumono buone caratteristiche pedologiche solo superficialmente, mentre negli strati immediatamente sottostanti lo strato coltivabile presentano connotazioni decisamente sfavorevoli a qualsiasi pratica agronomica (Fucci e Gradilone, 1994). La zona è caratterizzata da un clima mite con temperature medie annue di 14 °C. Le cumulate medie di precipitazioni assommano a circa 627 mm/anno e sono inferiori all'evapotraspirazione potenziale (779 mm/anno). L'opera ha inteso ricostruire un'area umida in un territorio caratterizzato, prima della bonifica idraulica, da distese paludose, cercando in questo modo di coniugare le esigenze impiantistiche alla ricostruzione di un paesaggio relegato alla memoria storica.

6.4.2 L'impianto di fitodepurazione

L'impianto deriva le acque dal Cavo Canalazzo con una soglia laterale, le solleva con un gruppo idrovoro per poi immetterle nel sistema con un canale. Sono presenti tre comparti in serie: uno stagno facoltativo, la palude artificiale vera e propria e uno stagno aerobico. La gestione idraulica del sistema avviene a mezzo del gruppo idrovoro costituito da 3 pompe, di cui una di riserva, ciascuna con portata di 100 l s⁻¹. In caso di necessità è possibile il ricircolo della portata trattata. Una serie di stramazzi di superficie e di scarichi di sicurezza permettono di variare i battenti idraulici nei comparti regolandone quindi i rispettivi tempi di residenza. Le quote dei fondali sono state diversificate nella zona palustre per consentire una maggiore adattabilità gestionale distinguendo: zone a vegetazione sommersa e galleggiante (profondità da 0.55 a 1.1 m); zone a vegetazione emergente (profondità da 0.05 a 0.55 m); zone riparie a bosco igrofilo, a parziale e temporaneo allagamento (profondità massima di 0.05 m). Le macrofite radicate presenti nella zona palustre sono rappresentate da *Phragmites communis*, *Typha spp.*, *Carex spp.*, *Scirpus spp.* con evidente dominanza della *Phragmites communis*. Tale

vegetazione si è sviluppata spontaneamente occupando ampie zone all'interno della palude. Nelle zone palustri riparie e in quelle a funzione ricreativa, invece, sono state messe a dimora essenze boschive igrofile tra le specie diffuse nell'areale alluvionale padano.

Le condizioni delle macrofite radicate hanno subito un'evoluzione gestita idraulicamente tramite il controllo dei battenti idrici, inizialmente per eliminare la vegetazione indesiderata presente nello stagno aerobico, in seguito per favorire la diffusione della *Phragmites communis* nella zona palustre.

6.4.3 Il monitoraggio della qualità delle acque

L'impianto è in funzione dal 1994 e a partire dal '95 le acque in ingresso e uscita sono state oggetto di monitoraggio mensile promosso dall'Ufficio Tecnico Comunale. I parametri misurati sono il: pH, il COD, i solidi sospesi totali, l'azoto (NH_4 , NO_2 e NO_3) ed il fosforo totale. Dal '96 i campionamenti sono stati intensificati su cadenza quindicinale, estesa a tutti i comparti. Infine, dal '99 le analisi sono settimanali per quanto concerne la temperatura dell'acqua, il pH, i materiali sedimentabili e l'azoto, mentre restano quindicinali per COD, BOD_5 e fosforo totale. A partire dallo stesso anno si effettua anche la registrazione dei tiranti idraulici e delle portate in ingresso.

6.4.4 La funzionalità dell'impianto

Si sono valutati i rendimenti dell'intero impianto tramite bilanci di massa per annualità diverse di cui sono state monitorate anche le portate. Nel periodo '96 - '97, nell'impianto sono stati trattati in media 10.100 mc/giorno, mentre nel periodo 1999/2000, sono stati trattati in media 7.400 mc/giorno, con tempi di residenza medi stimati di due settimane. Dai dati raccolti si osserva come l'impianto dimostri un'ottima capacità denitrificante (riduzione dell'ammoniaca con grado di efficienza superiore in entrambi i periodi al 75%). Da bilanci di massa calcolati per i tre comparti distinti emerge che i processi di ossidazione avvengono prevalentemente nei primi due comparti (stagno facoltativo e zona palustre) e secondariamente nel terzo (stagno aerobico). In entrambi i periodi, inoltre, si nota una sostanziale stabilità dei valori delle concentrazioni di NH_4 in uscita dall'area umida. Per i nitrati si osserva come il sistema realizzi una buona denitrificazione: la quantità di azoto nitrico rimossa nei due periodi in esame risulta essere pressoché la stessa (171 kg N- NO_3 /ha/anno nel periodo '96 - '97 e 150 kg N- NO_3 /ha/anno nel '99 - '00), nonostante i

diversi valori di concentrazioni in ingresso. Dai bilanci di massa per ogni singolo comparto, si è osservato come la denitrificazione avvenga maggiormente nella zona palustre dove si realizzano simultaneamente la nitrificazione e di denitrificazione. Un incremento aggiuntivo della capacità denitrificante del sistema potrebbe realizzarsi, quindi, con una maggiore diffusione della vegetazione. È stata inoltre osservata una buona capacità di rimozione dell'azoto totale inorganico disciolto (64% e 40%, rispettivamente nel periodo '96 - '97 e '99 - '00), nonostante la variabilità dei carichi in ingresso. È inoltre stata evidenziata una elevata flessibilità dell'intero sistema nei confronti di eventi perturbanti il sistema e nella capacità di risposta ai numerosi picchi di carico. Per quanto attiene alla capacità di rimozione del fosforo totale, è stata osservata una costanza nei rendimenti di rimozione, nonostante la variabilità dei carichi in ingresso. Analogo discorso può essere fatto per le capacità di rimozione dei solidi sospesi totali (rendimento di sedimentazione 63%) e degli ortofosfati (rendimento pari al 94%).

Dai dati raccolti si osserva come l'impianto sia in grado di abbattere il COD con un buon grado di efficienza, circa il 40%, nel caso in cui i carichi in ingresso siano elevati.



Figura 24) Oasi Le Melegine- Fianle Emilia (MO)

6.4.5 Valenza ecologica dell'area

L'area umida ha assunto nel tempo anche un'importante funzione naturalistica ed ecologica con un sostanziale incremento della biodiversità delle specie vegetali e di quelle animali. L'area umida di Finale Emilia dalla sua costruzione ad oggi è diventata molto importante per la sosta, lo svernamento e la nidificazione dell'avifauna tipica degli ambienti palustri. Le concentrazioni maggiori di uccelli sono rilevabili durante il periodo autunnale e primaverile quando i migratori sostano per alimentarsi nella zona palustre e nello stagno aerobico. Il bosco igrofilo impiantato ha rivelato la sua forte valenza ambientale ospitando stagionalmente dormitori e nidi di molte specie. L'area umida ha sviluppato nel tempo anche una funzione didattica, prestandosi alla fruizione di scolaresche interessate alle problematiche dell'inquinamento e agli aspetti naturalistici con la realizzazione di progetti didattici e visite guidate.

6.5. Esempi progettuali: Cà di Mezzo, un'area umida in zona di bonifica agraria



Figura 25) Impianto di fitodepurazione Ca' di Mezzo (VE)

6.5.1 Il contesto territoriale

L'area di fitodepurazione ricostruita a Ca' di Mezzo è situata nel comune di Codevigo (PD) al confine con il comune di Chioggia (VE). Essa è stata realizzata con i fondi regionali assegnati al Consorzio di Bonifica Adige-Bacchiglione (oggi Consorzio di Bonifica Adige Euganeo) per il risanamento della Laguna di Venezia.

L'area di fitodepurazione è un ecosistema palustre completamente ricostruito su terreni precedentemente agricoli. L'area si estende per circa 30 ha tra il fiume Bacchiglione e il Canal Morto, immediatamente a valle del Ponte di Ca' di Mezzo. I terreni utilizzati per la costruzione dell'area umida erano dotati di un sistema di drenaggio insufficiente per smaltire le acque di precipitazione e pertanto venivano frequentemente allagati; ciò rendeva difficoltose ed improduttive le pratiche agricole. Difatti, prima dell'avvio delle opere alcuni appezzamenti si presentavano incolti e l'alveo del fiume Bacchiglione deviava sovente dal suo percorso rettilineo per seguire il tracciato dei paleo alvei, divagando per l'antica palude fino a mare.

6.5.2 Il funzionamento idraulico di Ca' di Mezzo

La tabella a seguire riassume le caratteristiche costruttive di progetto dell'opera.

Caratteristiche costruttive dell'area umida di Cà di Mezzo	
Superficie totale (ha)	29
Numero di bacini	3
Superficie degli specchi d'acqua permanenti (ha)	8
Superficie golenale (ha)	10
Superficie delle terre emerse (ha)	11
Profondità media (m)	0.8
Volume medio delle acque invasate(mc)	90000
Livello massimo raggiungibile dall'acqua (m)	1.8
Volume massimo invasabile (mc)	300000
Portata media in ingresso (mc s ⁻¹)	1.4
Portata massima derivabile dal Canale Altipiano (mc/s)	6
Tempo di residenza medio (giorni)	2.6

L'area umida di Ca' di Mezzo riceve le acque dal Canale Altipiano attraverso una serie di opere:

- una paratoia di sostegno all'altezza del ponte di Ca' di Mezzo per innalzare i livelli nel canale Altipiano e poter deviare le acque nell'area umida
- una paratoia all'entrata dell'area per garantire la regolazione delle portate immesse
- tre saracinesche interne di interconnessione per poter gestire in maniera indipendente livelli e tempi di residenza nei tre bacini che costituiscono l'area
- un manufatto di re-immissione in alveo delle acque trattate

In totale, per la realizzazione delle aree golenali, delle arginature delle isole e penisole interne, dei canali e delle zone d'acqua profonda che compongono l'area umida si è reso necessaria la movimentazione di 125000 mc di terreno.



Figura 26) Il percorso idraulico dell'area umida di Ca di Mezzo (VE)

Il Canale Altipiano all'ingresso e allo scarico ha più o meno la stessa altezza idraulica e quindi in condizioni naturali l'acqua entrerebbe sia dall'ingresso che dallo scarico dell'area umida secondo il principio dei vasi comunicanti. Il sostegno idraulico posizionato sul ponte di Ca' di Mezzo, opportunamente sollevato, crea una cadente piezometrica variabile tra 0.10 e 0.30 m in corrispondenza dell'ingresso, consentendo alle acque di entrare nell'area umida e di uscire dallo scarico dopo avere attraversato le tre vasche. Il sollevamento della paratoia viene opportunamente regolato per garantire una portata in ingresso di 200-400 l s⁻¹. Questa area umida, integrata nel sistema idraulico del consorzio di bonifica, funziona senza alcun consumo energetico in quanto le acque entrano grazie al sistema di dislivelli creati artificialmente. Le acque in ingresso nell'area umida seguono il percorso sinuoso sino ad espandersi nel grande bacino della prima vasca. Questa, ampia e profonda, ha una funzione di sedimentazione dei solidi sospesi totali. Le acque arrivando al suo interno scorrono sempre più lentamente sino quasi a fermarsi (la velocità dell'acqua diminuisce da circa 1 m s⁻¹ a circa 0.01 m s⁻¹). In queste condizioni tutte le particelle solide pesanti, trasportate e mantenute in sospensione dal flusso turbolento della corrente, sedimentano e si immobilizzano sui fondali.

Poco a monte del termine della prima vasca il flusso delle acque si divide in due rami uguali che si dirigono verso i punti di collegamento con le altre due vasche. Queste, pertanto, ricevono ciascuna circa la metà della portata all'ingresso. Ne deriva che nelle vasche aumenta notevolmente il contatto tra le acque da trattare e la vegetazione palustre consentendo quindi alle piante, ai sedimenti associati e alla flora batterica specifica presente, di esercitare la loro funzione depurante. Le acque della seconda e terza vasche raggiungono assieme il manufatto di scarico dove vengono restituite fitodepurante al canale Altipiano dal quale erano state prelevate poche centinaia di metri a monte.

Il controllo dei parametri idraulici e l'attuazione degli organi di manovra che consentiranno la gestione idraulica sono gestiti da sistemi automatizzati e postazioni da remoto. Per il monitoraggio delle variabili climatiche locali è attiva nell'area una stazione meteorologica della rete di misura dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Veneto (ARPAV).

L'area ospita un edificio contenente un piccolo laboratorio per la preparazione dei campioni d'acqua, sedimenti e piante da analizzare, ed una sala per ricevere i visitatori. Inoltre, sono state realizzate due torrette per l'osservazione naturalistica e percorsi pedonali sugli argini e sui ponti.

6.5.3 *La componente vegetale*

Al termine dei lavori di realizzazione dell'area umida, nel 2000, sono state messe a dimora in tutte le superfici golenali, sommerse da pochi cm di acqua, delle giovani piante di *Phragmites Australis*, riprodotte da seme in serra, in misura di circa 1 pianta/mq (per un totale di circa 100000 piante). Altre essenze arboree sono state messe a dimora per costituire barriere frangivento e per facilitare la fruizione dell'area a fini ricreativi. Nel 2006 la *Phragmites* era giunta a maturazione ed inoltre l'area aveva aumentato notevolmente la sua diversità ecologica con la presenza di nuove specie autoctone che si sono sviluppate attraverso i semi portati dal vento e dalle acque soprattutto nelle zone a bassa densità di *Phragmites*. Sono state osservate: Scirpo marittimo (*Bolboschoenus maritimus*), *Schoenoplectus lacustris*, *Glyceria maxima*, il Giaggiolo (*Iris pseudacorus* L.), *Juncus inflexus* L., *J. articulatus* L., *Cyperus* sp., *Mentha aquatica* L., *Carex* (*C. otrubae* Podp., *C. riparia* Curtis). Dalle elaborazioni GIS effettuate su ortofoto risulta che nel 2006 il fragmiteto aveva raggiunto un'estensione totale, in tutta l'area, di circa 7.7 ha, con una densità media di 145 piante/mq.

6.5.4 La funzionalità dell'impianto

L'area umida di Ca' di Mezzo è stata realizzata per ridurre il carico di nutrienti versato nella Laguna di Venezia dai 9700 ha che costituiscono i sottobacini del Comprensorio di Bonifica Adige-Bacchiglione afferenti al Canale Altipiano. Il Piano Direttore Regionale degli Interventi per la Salvaguardia della Laguna ha infatti stabilito che le opere di depurazione del carico puntiforme di origine civile e industriale e le azioni di prevenzione riguardanti le sorgenti diffuse non erano sufficienti a garantire il carico inquinante massimo ammissibile fissato per legge. Per questo motivo, nel comprensorio di bonifica sono state realizzate opere per l'incremento della capacità di autodepurazione della rete di bonifica. Ove è stato possibile si sono ricalibrati i canali e realizzate ampie golene (Canale dei Cuori). Dove non è stato possibile, come nel caso del Canale Altipiano, si è ricostruita in parte l'area umida naturale che era stata bonificata e che un tempo agiva da filtro all'interfaccia tra l'ambiente terrestre e quello marino. L'area umida di Ca' di Mezzo ha lo scopo di intercettare completamente i carichi veicolati in regime di magra dal Canale Altipiano e circa la metà di quelli trasportati durante le piene.

Per poter valutare l'efficienza ed efficacia dell'opera in fase di esercizio è stato disposto un piano di monitoraggio continuo sia delle quantità delle acque versate dal Comprensorio di Bonifica (in particolare dal Canale Altipiano all'altezza del Ponte di Ca' di Mezzo), sia della qualità delle acque in ingresso ed in uscita dal sistema, sia dell'intero ecosistema ricostruito, con lo scopo di seguire le trasformazioni dell'area umida e valutare il grado di naturalità da essa raggiunto nel tempo. Dall'analisi dei dati raccolti è emerso quanto di seguito riportato.

I tempi medi di residenza delle acque sono stati stimati sperimentalmente in 6.7 giorni (maggiore rispetto a quella di progetto) e rappresentano un valore più che adeguato per i processi fitodepurativi naturali. Gli abbattimenti medi degli inquinanti sono rispettivamente del 10.9 % per quanto riguarda l'azoto totale e del 12.9% per quanto riguarda il fosforo totale, che corrispondono ad una rimozione media annua di 4.4 tonnellate di azoto totale e 0.16 tonnellate di fosforo totale.

Si deve sottolineare, infine, come l'area umida di Ca' di Mezzo sia stata ricostruita secondo il principio della multifunzionalità ed oggi si può affermare che è divenuta un ecosistema palustre di elevatissimo valore ambientale, habitat ideale per molte specie animali e vegetali, concorrendo in tal modo ad aumentare la diversità biologica dell'ambiente rurale. Esso inoltre rappresenta un importante laboratorio didattico per studenti di tutte le età, sia per

l'educazione ambientale sia per la formazione scientifica, e un'opera fruibile al pubblico con dei percorsi speciali realizzati appositamente per i disabili. Elementi che hanno consentito una valorizzazione ed un rilancio sotto il profilo economico di un'area agricola altrimenti degradata ed improduttiva.



Figura 27) Oasi Naturalistica Ca'di Mezzo (VE)

6.6. La proposta progettuale

Il progetto ipotizza un sistema integrato di fitodepurazione che verrà alimentato dai reflui e restituirà alla laguna acqua dolce e pulita. Il sistema di fitodepurazione utilizzerà il principio della depurazione con il metodo del “*flusso superficiale libero*” che non implica problemi di inquinamento acustico e di emanazione di cattivi odori. Quest'area umida ricostruita (*reconstructed wetland*) fungerà da terzo stadio per i depuratori concorrenti all'afflusso in laguna, utilizzando un'area storicamente acquitrinosa ed oggi bonificata tramite un sistema di canalizzazioni. L'acqua fitodepurata verrà successivamente reimpressa nel reticolo fluviale naturale che a sua volta è collegato alla laguna, elemento critico per via del suo insufficiente ricambio idrico. In questo modo si crea un bacino di acqua dolce necessaria all'insediarsi e l'affrancarsi di cenosi vegetali palustri come il fragmiteto o simili, e degli ecosistemi collegati. Un sistema di spazi introduttivi posto in vicinanza delle aree umide permetterà di trovare ipotesi di realizzazione di nuovi spazi di fruizione pubblica in cui possono essere localizzate strutture urbane differenti (aree per lo svago, per la didattica, etc.). In questo modo il progetto “*attraverso un unico gesto disegna i luoghi funzionali al processo depurativo ed i luoghi della fruizione*”

*pubblica. La struttura del progetto è per questo una sequenza di spazi che si adattano alla sensibilità dell'area peri-lagunare creando un percorso lungo la laguna*¹⁹. Questo percorso creerà lo spazio pubblico, divenendo principio ordinatore delle vasche di fitodepurazione. Come materiale principale da costruzione si sceglierà il legno che per qualità di reversibilità e di durata si adatta alla perfezione nel territorio. Camminamenti, piattaforme e torrette della struttura permetteranno l'accessibilità ad aree di grande interesse naturalistico consentendo punti di sosta in cui possono essere localizzate attività didattiche di supporto ai temi alla tutela ambientale e della fitodepurazione. Strutture di modeste dimensioni diventano quindi anche punti di incontro socioculturale.

Il percorso strutturato sulla laguna potrà generare nelle aree agricole adiacenti altre possibilità di localizzazione di *servizi* che definiscano la laguna come nuova centralità urbana permettendo al contempo un rilancio economico delle aree rurali.

Secondo un moderno concetto, infatti, i nuovi obiettivi dell'agricoltura non sono più limitati alla sola produzione. Nel contesto socioeconomico delle aree rurali, in continua evoluzione, si praticano sempre più attività collaterali all'agricoltura. Esse costituiscono spesso uno strumento importante per la tutela e la valorizzazione dell'ambiente, nonché una risposta concreta a tematiche attuali quali l'adattamento ai cambiamenti climatici e la crescente importanza ricoperta dalle fonti di energia rinnovabile. Tali attività appaiono determinanti, oltre che per i motivi esposti, anche per il rilancio e la valorizzazione delle zone rurali. La pratica e l'evoluzione della multifunzionalità consentono di integrare i *“tradizionali”* redditi agricoli dando origine a produzione di prodotti tipici locali, con utilizzo sostenibile delle risorse ambientali e sfruttamento della vocazione turistica di tali ambiti, costituendo per di più un prezioso freno contro lo spopolamento che sta caratterizzando le aree rurali. Ulteriori peculiarità sono riconducibili all'offerta di servizi ricreativi e sportivi e alla caratterizzazione dell'ospitalità rispetto alle più tradizionali forme proposte. Il territorio rurale è notevolmente interessato dal turismo, fenomeno confermato dalla attuale strutturazione di realtà economiche come gli agriturismi, il turismo rurale e la ricettività diffusa. Lo sviluppo multifunzionale all'attività agricola, come le fattorie didattiche, per citare un esempio, hanno permesso di relazionare agricoltura, ambiente, cultura e educazione alimentare cambiando lo scenario agricolo del territorio sardo. Il turismo riesce ad essere il

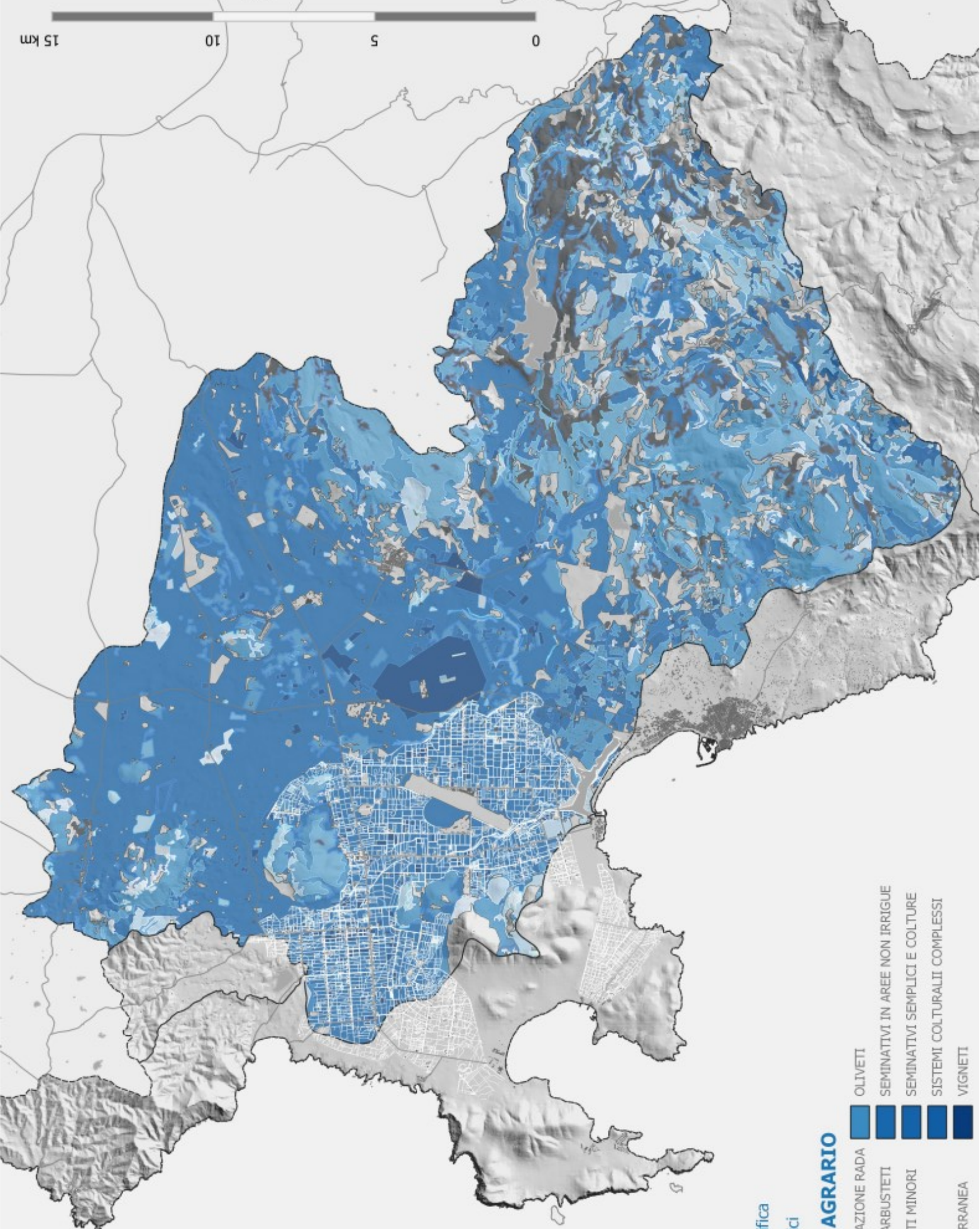
¹⁹ Biddau G.M., Il progetto ambientale della città di Cabras e delle aree umide dell'oristanese. Tesi di Laurea Università degli Studi di Sassari, Dipartimento di Architettura A.A. 2008/09

processo che permette di chiudere le filiere totalmente sul territorio, il fruitore arriva spesso nell'azienda, e produzione, trasformazione, consumo e vendita in situ sono ormai una possibilità consolidata. Nuovi target di consumatori sono ulteriormente intercettabili.

In quest'ottica, l'ipotesi di centro ambientale della Laguna del Calich ha un ruolo fulcro per quanto riguarda lo sviluppo sostenibile dell'area vasta in cui insiste, prevedendo una serie di obiettivi generali, che si strutturano in base a dei concetti di conservazione e tutela differenti dall'approccio classico perché indirizzati anche allo sviluppo socioeconomico territoriale. Tra di essi vi sono:

- la fruizione, oltre che la tutela e la conservazione delle caratteristiche ambientali, naturali, paesaggistiche, archeologiche e storiche
- la fruizione, la tutela, la conservazione, e la ricostruzione degli ecosistemi ripariali nelle aree fluviali ed in quelle terrestri ad esse adiacenti
- la conservazione e il rafforzamento all'interno del bacino idrografico, della funzione primaria della risorsa idrica, promuovendo e partecipando alle azioni di risanamento del suolo e delle acque superficiali e sotterranee, di difesa e di ricostruzione degli equilibri ambientali
- il potenziamento e rilancio produttivo delle aziende presenti, siano esse agricole o legate all'attività alieutica
- la valorizzazione dello spazio pubblico, anche a fini ludico-ricreativi e sportivi
- l'incentivazione e la valorizzazione turistica delle aree interne interessate a partire dagli ambienti insediativi e dalle loro architetture
- recupero del sistema storico-archeologico e dei beni identitari che si aprano anche a inedite funzioni

15 km 10 5 0



— Area della Bonifica
- - - Bacini idrografici

IL PAESAGGIO AGRARIO

- AREE CON VEGETAZIONE RADA
- CESPUGLIETTI ED ARBUSTETTI
- FRUTTETI E FRUTTI MINORI
- GARIGA
- MACCHIA MEDITERRANEA
- OLIVETI
- SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE
- SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE
- SISTEMI COLTURALI COMPLESSI
- VIGNETI

Sistemazioni della bonifica

— Collettori principali

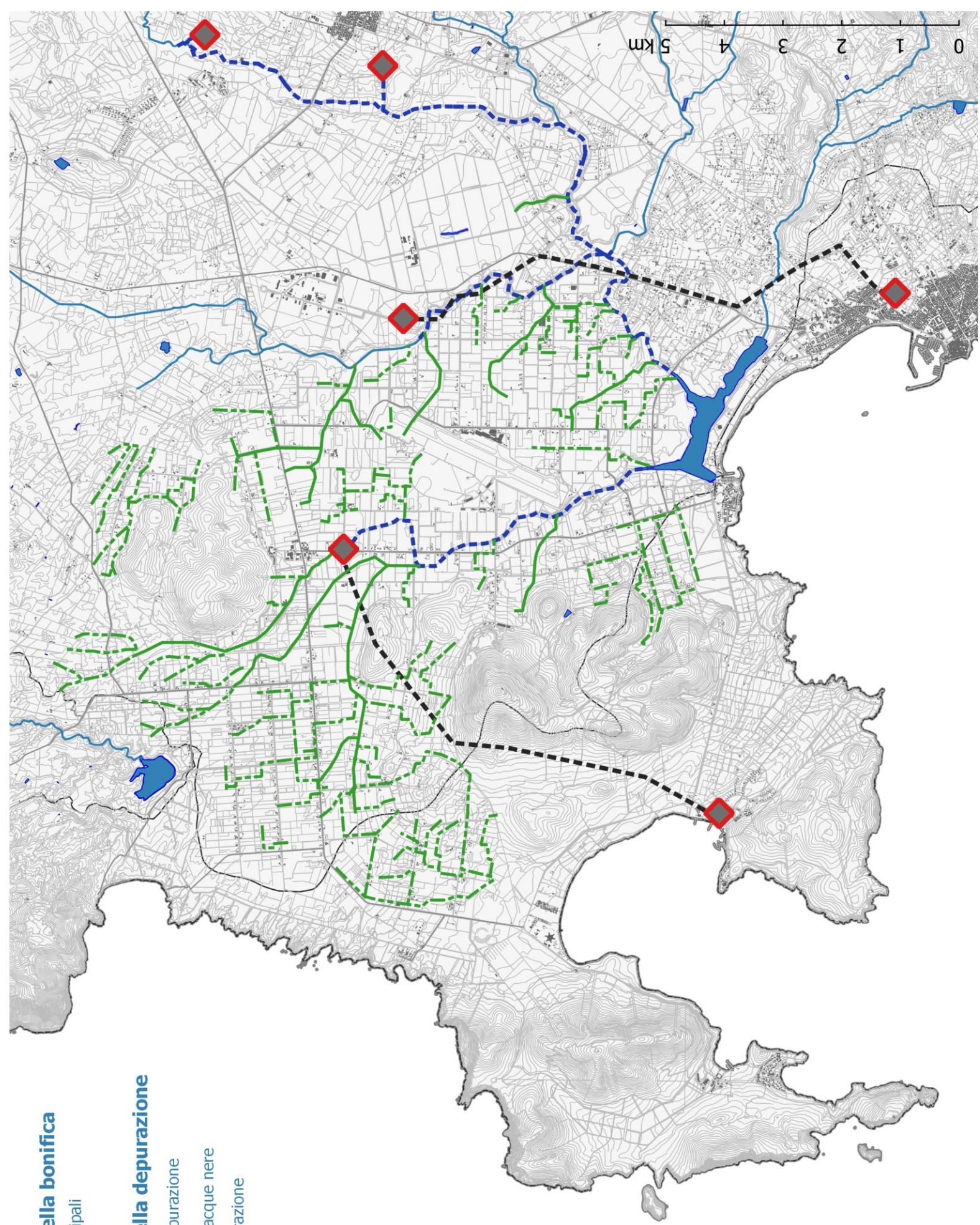
- - - Canali ausiliari

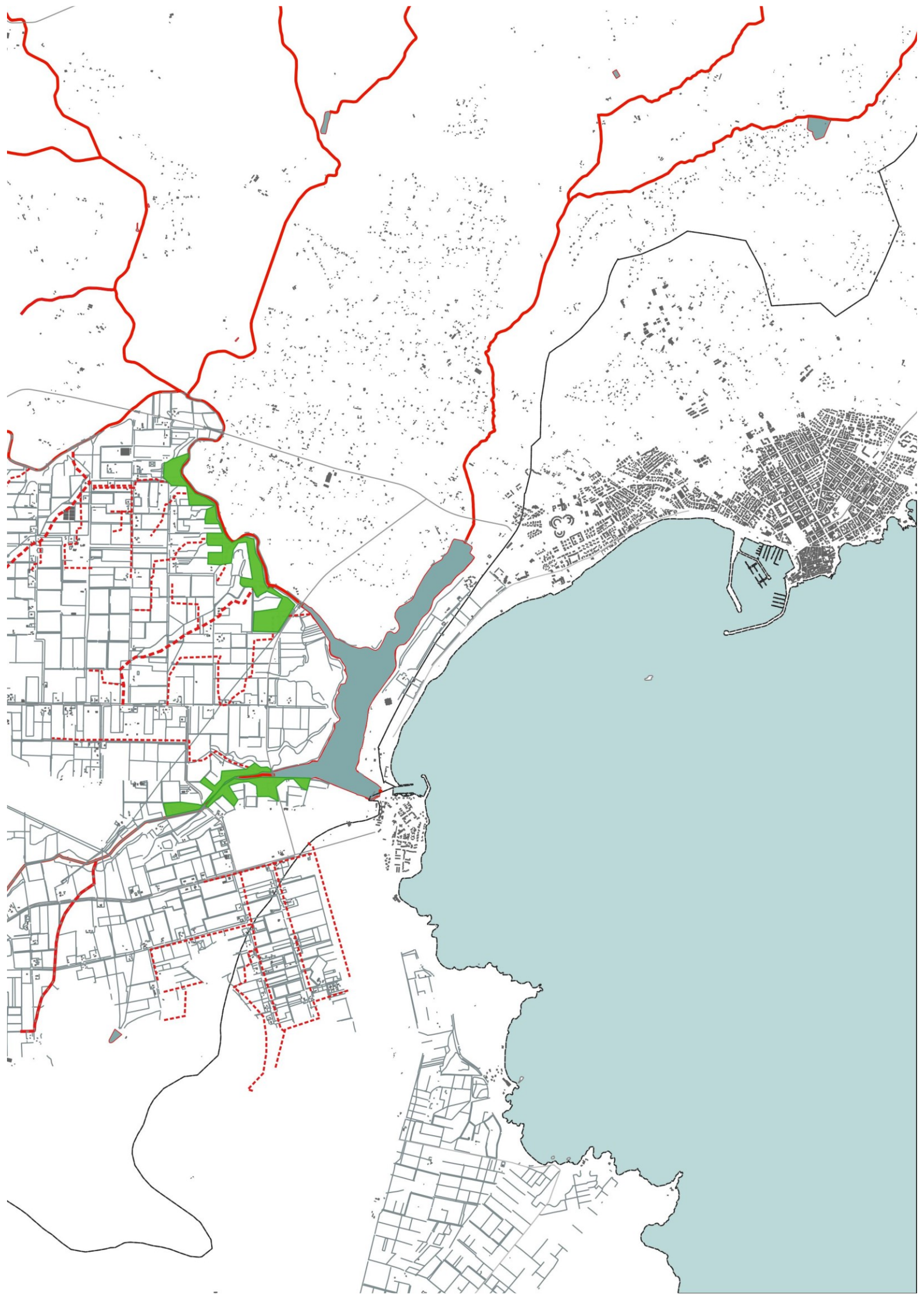
Il paesaggio della depurazione

◆ Centri della depurazione

- - - Collettamento acque nere

- - - Acque di depurazione





7. CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi, che si prefiggeva di porsi come base progettuale per azioni congiunte all'interno del Contratto di Laguna del Calich sulle tematiche della progettazione ambientali e del paesaggio, riconosce alle pratiche agricole e alle modalità dell'abitare un ruolo importante nella salvaguardia della biodiversità e manutenzione del territorio. In uno scenario di complessità di attori e di *strumenti di governance* che agiscono sul territorio una programmazione integrata e congiunta risulta centrale per la valorizzazione dei paesaggi e il miglioramento della risorsa idrica.

Il lavoro ha preso avvio dall'analisi dello strumento Contratto di Fiume, delle norme che lo disciplinano e dei processi che lo animano, riconoscendogli la potenzialità di costituirsi come strumento utile alla costruzione di una comunità resiliente attraverso modalità che mettano attorno al tavolo decisionale tutti i portatori di interesse per una gestione il più possibile trasparente dei conflitti.

Si è proceduto focalizzando l'attenzione sul paesaggio della laguna del Calich, e sviluppando una riflessione sulle fragilità e potenzialità latenti del territorio, giungendo a formulare una ipotesi di riqualificazione a partire dalle sue acque. Il riconoscimento della risorsa del paesaggio lagunare si pone, altresì, come presupposto per l'avvio di processi di sviluppo delle economie locali e di gestione del territorio, dei suoi elementi di criticità e degrado. Il concetto chiave, infatti, è quello di riqualificare i territori critici, costiero e interni, coinvolgendo le attività rurali presenti. Il fine è di estendere il coinvolgimento nella tutela del territorio ad una platea di attori la più ampia possibile. *“Un obiettivo complesso e impegnativo, come quello di conciliare lo sviluppo economico con la sostenibilità ambientale, non può essere perseguito se non attraverso un profondo cambiamento sociale e culturale: la sostenibilità deve diventare un valore condiviso dietro il quale vi è un convinto e forte sostegno di una consistente maggioranza dei cittadini. La comunità di tutti i cittadini deve essere la protagonista di questo cambiamento, altrimenti esso difficilmente avverrà. Se vogliamo davvero cambiare rotta bisogna puntare decisamente su interventi a sostegno di una effettiva “riconversione ecologica” dell'economia”²⁰.*

²⁰ Cucu D., Olbia's Waterscape Il fiume Padrogiano come risorsa urbana. Tesi di Laurea Università degli Studi di Sassari, Dipartimento di Architettura A.A. 2012/13

8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

8.1. Bibliografia

1. AA.VV, a cura di Aldo Lino, *Le città di fondazione in Sardegna*, INU sez. Sardegna, ed. Cooperativa Universitaria Editrice Cagliaritano (CUEC), Cagliari 1998.
2. AA.VV, *Dall'ETFAS all'ERSAT*, ERSAT, Cagliari 2004.
3. AA.VV., *Guida tecnica per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione per il trattamento delle acque reflue urbane*, ISPRA settore editoria, 2012
4. Bastiani M. (a cura di), *Contratti di fiume*, Dario Flaccovio, 2011
5. Bastiani M. (a cura di), *Contratti di fiume. Pianificazione strategica e partecipata dei bacini idrografici. Approcci – Esperienze - Casi studio*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2011.
6. Biddau G.M., *Il progetto ambientale della città di Cabras e delle aree umide dell'oristanese*. Tesi di Laurea Università degli Studi di Sassari, Dipartimento di Architettura A.A. 2008/09
7. Brix H. (1993) – *Waste treatment in constructed wetland: System design, removal processes, and treatment performances* - in: Moshiri G.A. “*Constructed wetland for water quality improvement*”, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokio, Lewis Publishers.
8. *Carta Nazionale dei Contratti di Fiume*, V Tavolo Nazionale dei Contratti di Fiume, Milano 2010
9. Chessa, Lorenzo Antonio (1980). *Alcune osservazioni sulla fauna della laguna di Calich e Casaraccio e dello stagno di Pilo (Sardegna): ipotesi di salvaguardia*. Bollettino della Società sarda di scienze naturali, Vol. 19 (1979), p. 129-139. ISSN 0392-6710.
10. Cucu D., *Olbia's Waterscape. Il fiume Padrogiano come risorsa urbana*. Tesi di Laurea Università degli Studi di Sassari, Dipartimento di Architettura A.A. 2012/13
11. D.Lgs. 152/2006 Norme in materia ambientale
12. D.Lgs. 42/2004 Codice dei beni culturali e del paesaggio
13. *Definizione e requisiti qualitativi di base dei Contratti di Fiume*, Ministero dell'Ambiente, A21 Italy, Ispra, 2015.
14. Direttiva Alluvioni 2007/60/CE
15. Direttiva Habitat 92/42/CEE
16. Direttiva Quadro sulla Strategia Marina 2008/56/CE
17. Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE
18. Fucci G., Gradilone F. (1994). *Un esempio di area umida artificiale per l'abbattimento di inquinanti da fonti diffuse, "Le Meleghine" in Finale Emilia*, in *Acque Superficiali del Bacino Burana-Po di Volano*, Pitagora Ed, 1994.
19. Ghiglieri G., Barbieri G, Vernier A. (2006). *Studio sulla gestione sostenibile delle risorse idriche: dall'analisi conoscitiva alle strategie di salvaguardia e tutela*, Ente per le Nuove Tecnologie L'Energia e l'Ambiente, Roma.
20. Gradilone, F., Dal Cin, L., Verlicchi, P., Masotti, L., (1997). *Rimozione degli inquinanti in un'area umida artificiale: 'Le Meleghine' in Finale Emilia (MO)*. Atti

- del Simposio Internazionale di Ingegneria Sanitaria Ambientale, ANDIS, ABES, AIDIS, Ravello, 3-7 giugno 1997
21. Hammer, D.A. (Ed.) (1989). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*, Lewis Publishers, Chelsea, USA.
 22. Masotti L., Verlicchi P. (2005). *Depurazione delle acque di piccole comunità*, Hoepli Editore, Milano.
 23. Palmeri, L. and Bendoricchio, G. (2000). *Siting and Sizing of (Re)constructed Wetlands for Watershed Planning and Management*. Proceedings of 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, IWA, Lake Buena Vista, Florida, november 11-16 2000, 1513-1522.
 24. Piano d'azione transfrontaliero Retralags, prodotto T1.4.11 contratto di Lago, Laguna e Stagno "Contratto di Laguna del Calich".
 25. Piano di Gestione: "Riutilizzo delle acque reflue depurate del Comune di Alghero
 26. Satta C.T., Pulina S., Padedda B.M., Penna A., Nicola Sechi & Antonella Lugliè (2010). Water discoloration events caused by the harmful dinoflagellate *Alexandrium taylorii* Balech in a new beach of the Western Mediterranean Sea (Platamona beach, North Sardinia), *Advances in Oceanography and Limnology*, 1:2, 259-269.
 27. Viaroli, P., Bartoli, M., Fumagalli, I. et al. (1997). Relationship between benthic fluxes and macrophyte cover in a shallow brackish lagoon. *Water Air Soil Pollut* 99, 533–540.

8.1. Sitografia

1. Agenda 21, Contratti di Fiume, <nuke.a21fiumi.eu>
2. <http://www.parcolura.it/pagina.php?id=45>
3. <https://www.biologhiegiardini.it/>
4. Regione Sardegna, Piano di Gestione Rischio Alluvioni, Contratti di Fiume <www.regione.sardegna.it/pianogestionerischioalluvioni/contrattidifiume>
5. www.igidra.eu
6. www.isprambiente.gov.it
7. www.minambiente.it
8. www.minambiente.it/pagina/rete-natura-2000
9. <https://www.regione.sardegna.it/pianogestionerischioalluvioni/contrattidifiume/>
10. www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/biodiversita/Direttiva_ucelli_2009
11. www.realizzazionebiolaghi.it/it/Descrizione
12. ente.parcoticino.it/wp-content/uploads/2018/09/manuale-per-la-costruzione-di-ecosistemi-filtro-2003.compressed.pdf