

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA

PROGETTO:

**VALORIZZAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE PER
L'OTTIMIZZAZIONE DELL'ACQUACOLTURA
IN AMBIENTE LACUSTRE:
REALIZZAZIONE DI UN MODELLO INTENSIVO AUTO-
DEPURANTE PER L'INGRASSO NEGLI INVASI AZIENDALI
(SAMPEI)**

**MISURA 2.51 DEL PO FEAMP2014/2020
CUP: G67B18000260009**

RELAZIONE TECNICA

Data	Relazione	Rev	Il Progettista	Il Responsabile Unico del Procedimento RUP	Il Direttore Esecutivo del Contratto DEC
Febbraio 2022	RELO1	01	 Ing. per l'Ambiente ed il Territorio RAIMONDI CARMELO Via V Traversa, 1/a 95032 BELPASSO cell.3292217825 pmraimondi@gmail.com	 Ing. FICCI PIERGORGIO	 Ing. PARRINELLO ENRICO

Sommario

1	PREMESSA.....	3
1.1	Descrizione del progetto.....	4
1.2	Inquadramento dell'area.....	5
2	IMPIANTO PER ALLEVAMENTO ITTICO.....	10
2.1	Le reti.....	10
2.2	Le gabbie.....	11
2.3	Sistemi di ormeggio e ancoraggio.....	12
2.4	Le strutture di supporto delle gabbie.....	12
2.5	Sistema di aerazione.....	14
2.6	Sistema di monitoraggio e controllo.....	14
3	SISTEMA DI AFFINAMENTO DELLE ACQUE DI COLTURA.....	16
3.1	Sistema di fitodepurazione galleggiante.....	16
3.2	Sistema di fitodepurazione a flusso sub-superficiale.....	17
4	CONDOTTE DI ADDUZIONE E DISTRIBUZIONE.....	24
5	IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO.....	25
5.1	Stazione di sollevamento n°1 (INVASO 2 -letti V-SSF).....	25
5.2	Stazione di sollevamento n°2 (H-SSF-INVASO 2 o H-SSF -INVASO 1).....	26
5.3	Stazione di sollevamento n°3 (INVASO 1 – INVASO 2).....	27
6	IMPIANTO FOTOVOLTAICO.....	28
7	EDIFICIO SERVIZI.....	30
8	LE INDAGINI E GLI STUDI A CORREDO DEL PROGETTO.....	32
8.1	Rilievo planimetrico.....	32
8.2	Prelievo campioni.....	33
9	QUADRO ECONOMICO DEL PROGETTO.....	36
10	ELENCO DEGLI ELABORATI DEL PROGETTO DEFINITIVO.....	37

1 Premessa

Il presente elaborato costituisce la relazione generale del progetto definitivo relativa al progetto di ricerca dal titolo *“Valorizzazione delle risorse idriche per l’ottimizzazione dell’Acquacoltura in ambiente lacustre: realizzazione di un Modello intensivo auto-depurante per l’Ingrasso negli invasi aziendali (sAMpEI)”* che ha come obiettivo la realizzazione di un modello semiestensivo multitrofico auto-depurante a ciclo chiuso per l’ingrasso di pesci allevati in invasi aziendali allo scopo di implementare la pratica dell’acquacoltura e di valorizzare le risorse di bacino non utilizzate ancora a tali fini, divenendo un’opportunità per le imprese rurali intenzionate a intraprendere un allevamento ittico nelle aree interne.

Le attività previste nel progetto sAMpEI verranno svolte presso l’azienda “Agricola Arena Giuseppe”, ubicata in c. da Cacocciolilla del comune di Ramacca (CT).

La progettazione descritta nella presente relazione è stata eseguita dall’Ingegnere per l’Ambiente ed il Territorio Carmelo Raimondi, regolarmente iscritto al n° 1037 del relativo Albo dell’Ordine Professionale di Caltanissetta, in attuazione del contratto del 14/04/2021 e del successivo processo verbale di consegna del servizio del 11/11/2021.

Il contratto prevede quindi la progettazione di:

- un impianto per allevamento ittico da ubicarsi all’interno di un invaso aziendale di acqua dolce (INVASO 2);
- un sistema di aerazione, per assicurare la destratificazione e miscelazione delle acque di allevamento ittico;
- un sistema di monitoraggio e controllo della qualità delle acque di allevamento ittico;
- un impianto di fitodepurazione per il trattamento delle acque di ricircolo effluenti dall’INVASO 2;
- un impianto di fitodepurazione galleggiante in prossimità delle sponde dell’INVASO 2;
- un impianto fotovoltaico per la produzione locale di energia elettrica per il fabbisogno degli impianti;

Prima di procedere alla progettazione dei sopracitati interventi, si sono eseguite delle indagini e gli studi a corredo del progetto, quali:

- rilievo planimetrico;

- analisi di campioni di suolo prelevati nell'area in cui verranno realizzati i letti di fitodepurazione;
- analisi di campioni di suolo prelevati sul fondo del bacino destinato all'acquacoltura.

I risultati di tali indagini e studi sono riassunti nel capitolo 8.

1.1 Descrizione del progetto

Le attività progettuali previste nel progetto sAMPeI verranno svolte presso l'azienda "Agricola Arena Giuseppe", ubicata in c. da Cacocciolilla del comune di Ramacca (CT). Tale azienda è dotata di due invasi già autorizzati, denominati INVASO 1 e INVASO 2, entrambi con capacità di circa 40.000. In particolare, l'INVASO 2 verrà attrezzato con gabbie galleggianti per l'allevamento delle specie ittiche di persico-spigola e persico-trota, e sarà dotato di un sistema di monitoraggio per il controllo della qualità delle acque, funzionante anche da remoto. l'INVASO 1 verrà utilizzato come bacino di reintegro. Per il trattamento delle acque di ricircolo effluenti dall'INVASO 2, verrà realizzato un impianto di fitodepurazione. In prossimità delle sponde dell'INVASO 2, verranno realizzate delle strutture galleggianti, sulle quali verranno messe a dimora delle macrofite radicate emergenti al fine di eseguire un parziale processo fitodepurativo delle acque. In fine, verrà progettato e installato un impianto fotovoltaico per la produzione locale di energia elettrica per il fabbisogno degli impianti. Il progetto prevede quindi:

- la realizzazione di un impianto per allevamento ittico progettato per ospitare 6 gabbie destinate all'ingrasso di specie ittiche all'interno di un invaso aziendale di acqua dolce (INVASO 2);
- Installazione di 6 gabbie in nylon per l'allevamento delle specie ittiche di persico-spigola e persico-trota. In ciascuna gabbia verrà installato un aeratore. Altri 2 agitatori ad elica, ancorati a bordo del bacino, assicureranno la destratificazione e miscelazione delle acque di allevamento;
- L'installazione di un sistema di monitoraggio e controllo della qualità delle acque di allevamento collegato ad un PC su cui visualizzare in tempo reale i parametri di O₂, pH e temperatura, e con possibilità di attivazione degli aeratori;

- La realizzazione di un impianto di fitodepurazione per il trattamento delle acque di ricircolo effluenti dall'INVASO 2, organizzato su due linee in parallelo, ciascuna costituita da un'unità a flusso sub-superficiale verticale (V-SSF) seguito da un'unità a flusso sub-superficiale orizzontale (H-SSF);
- L'istallazione, in prossimità delle sponde dell'INVASO 2, di strutture galleggianti e la successiva ubicazione di macrofite radicate emergenti;
- L'istallazione di un impianto fotovoltaico per la produzione locale di energia elettrica per il fabbisogno degli impianti;

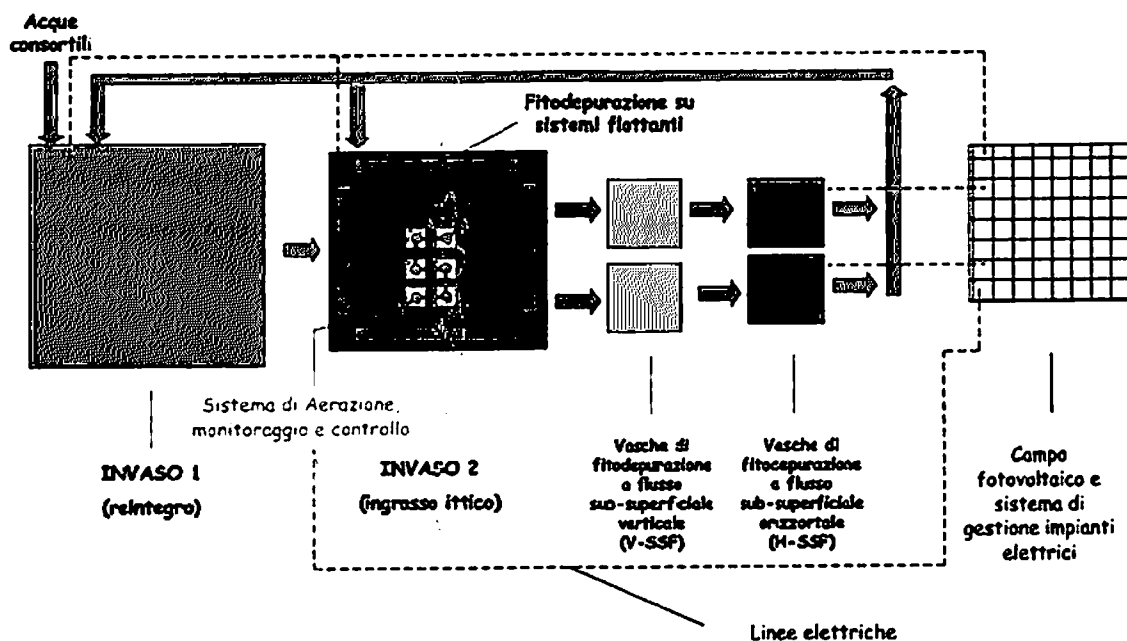


Figura 1. Schema di flusso delle opere previsto in progetto

1.2 Inquadramento dell'area

Le attività previste dal progetto SAMPEI verranno svolte presso l'*Agricola Arena Giuseppe* che fa parte delle Aziende Agricole della Famiglia Arena estese complessivamente Ha 400. Il corpo aziendale oggetto del progetto si estende in c. da Cacociolilla, nel comune di Ramacca (CT), con indirizzo colturale agrumicolo, orticolo e di allevamento di asine da latte con stabilimento autorizzato al confezionamento del latte d'asina in agricoltura biologica.

Tale azienda è stata selezionata dal Centro di ricerca Interdipartimentale per l'implementazione dei processi di monitoraggio fisico, chimico e biologico nei sistemi di Biorisanamento e di acquacoltura (CRIAB) dell'Università di Catania, attraverso una procedura di evidenza pubblica. E' un'azienda accreditata come Fattoria Didattica dall'Assessorato Regionale dell'Agricoltura con il numero 74 del 26/09/2014 ed accoglie durante l'anno scolastico numerose scolaresche oltre che gruppi di stranieri grazie anche a delle convenzioni stipulate con Tour operator a cui proponiamo percorsi didattici a secondo della stagione e della fascia di età dei ragazzi a cui sono destinati, l'azienda è dotata infatti di spazi dedicati all'accoglienza e di una buona rete viaria interna collegata alla Strada Provinciale 25I che si diparte dalla S.S.288.

L'azienda Agricola Arena Giuseppe, sita in c. da Cacociolilla nel comune di Ramacca (CT), è dotata di due invasi denominati INVASO 1 e INVASO 2, che hanno rispettivamente una superficie di circa 12.000 m² e 11.000 m² e una profondità di 4,70 m e di 5 m. Gli invasi aziendali ricadono entrambi nella CTR 633130 e nelle particelle n.159 e 239 del foglio 116 del N.C.T del comune di Ramacca (CT).

Tabella 1. Caratteristiche invasi

nome	Superficie di ingombro (m ²)	Profondità (m)	Volume di accumulo (m ³)
INVASO 1 – bacino di reintegro	12.000	4,70	40.000
INVASO 2 – bacino acquacoltura	11.000	5	37.500

Gli invasi vengono riempiti con le acque erogate dal Consorzio di Bonifica 9 della Sicilia Orientale e prelevate dalla traversa di Ponte Barca (Paternò, CT).

L'area in cui sono ubicati bacini risulta recitata con un sistema di reti metalliche e paletti in legno in buone condizioni.

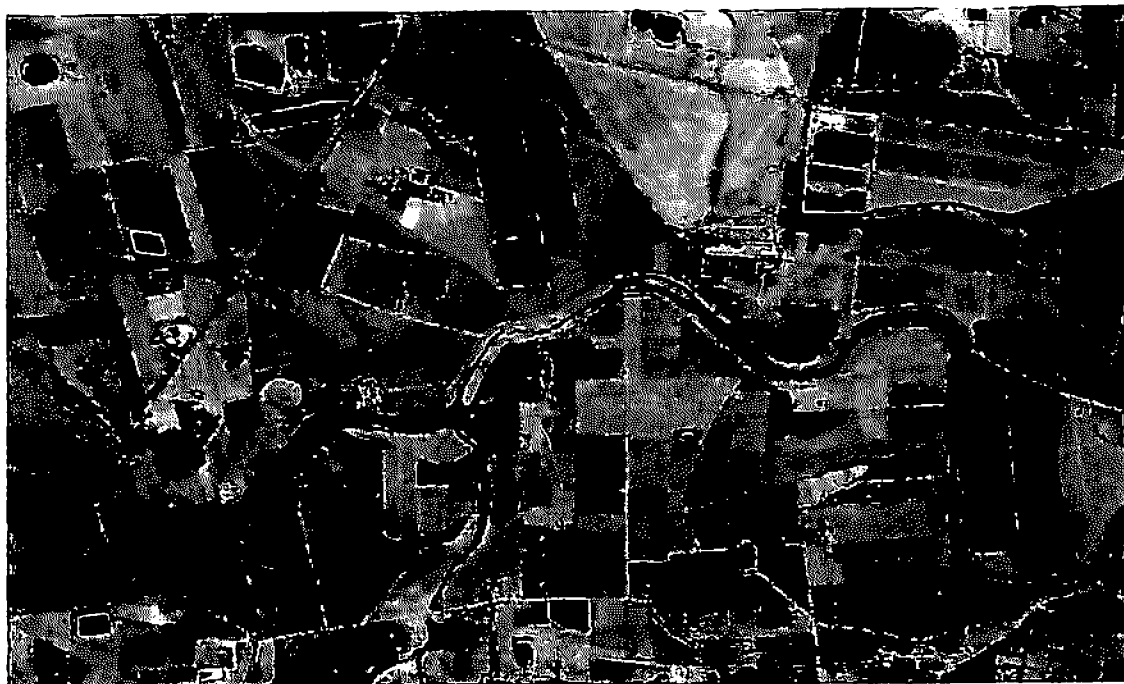


Figura 2. Inquadramento google heart. In blu l'invaso 1 e invasio 2

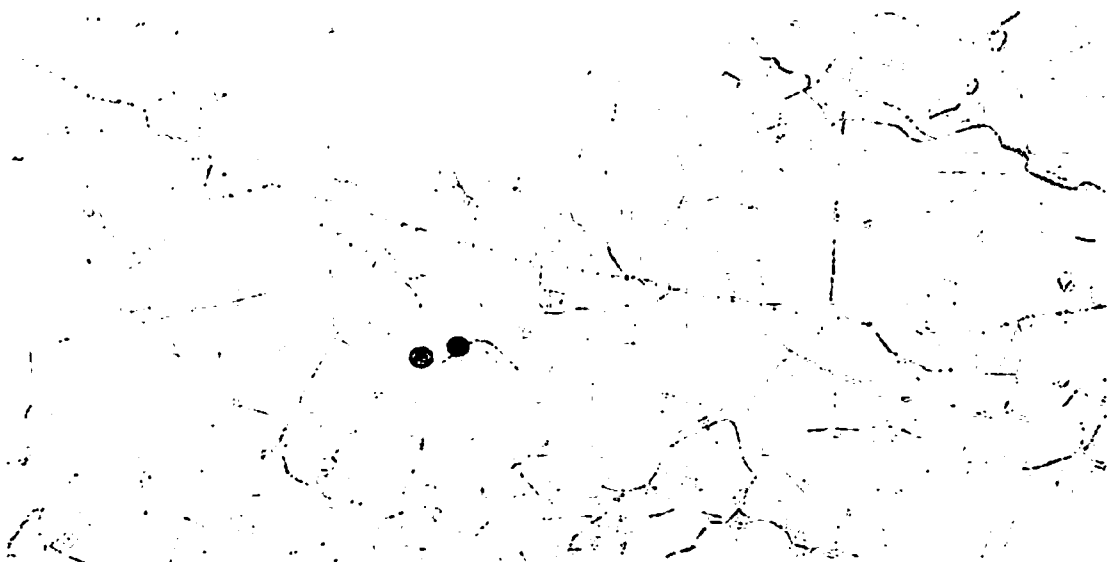


Figura 3. Inquadramento CTR 633130. In rosso l'ubicazione dell'invaso 1 e in blu l'ubicazione dell'invaso 2

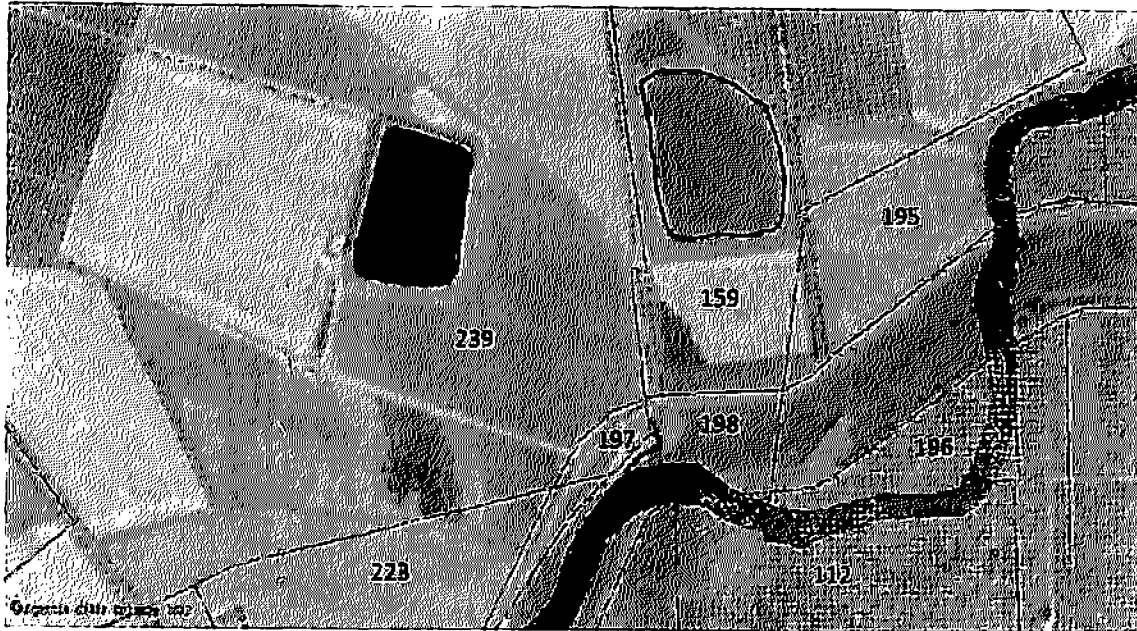


Figura 4. Inquadramento catastale, particelle n.159 e 239 del foglio 116 del N.C.T del comune di Ramacca (CT)

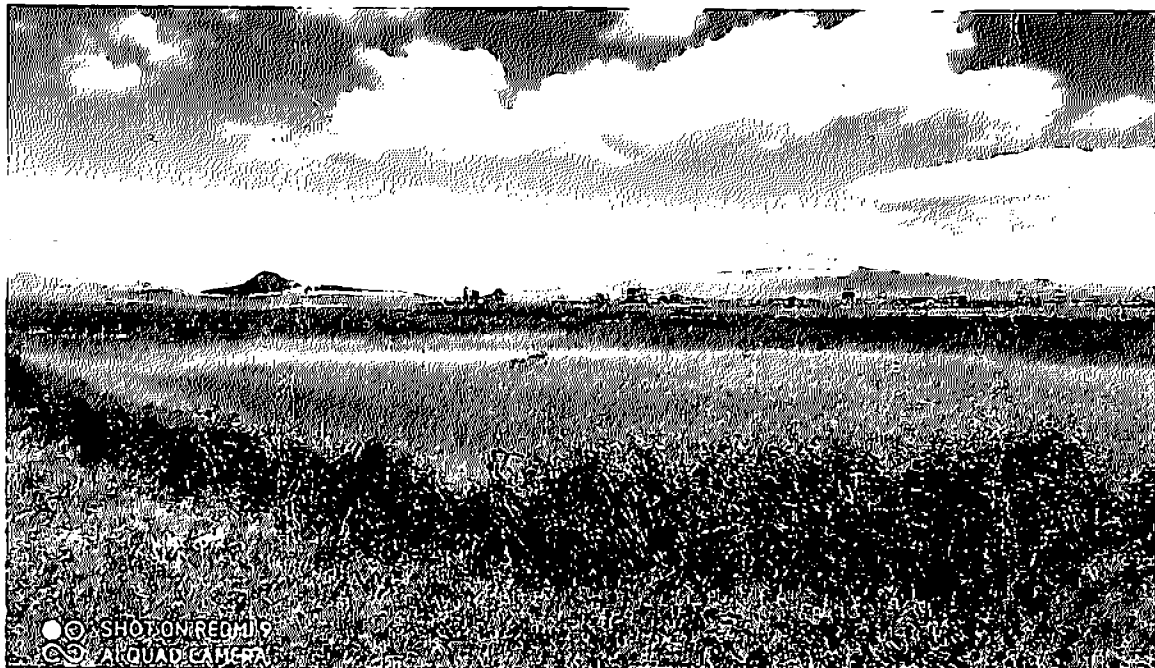


Figura 5. Stato di fatto Invaso 2, bacino in cui verrà installato l'impianto di acquacoltura.



Figura 6 Stato di fatto Invaso 1, bacino che verrà utilizzato per il reintegro dell'acqua.



Figura 7. Recinzione invaso 2.

2 Impianto per allevamento ittico

L'acquacoltura si è evoluta nel tempo attraverso l'introduzione di tecniche di allevamento innovative e di tecnologie finalizzate alla modifica degli ecosistemi acquatici e all'aumento delle produzioni. A seconda dei sistemi e delle tecnologie utilizzati i sistemi acquatici modificati possono essere classificati in:

- sistemi aperti, in cui la produzione è ottenuta in acque naturali (es. corsi d'acqua, laghi, mare);
- sistemi semichiusi, dove la produzione è ottenuta prelevando acqua da risorse naturali, cui fa ritorno dopo un unico passaggio attraverso il sistema;
- sistemi chiusi, in cui l'acqua non è mai rinnovata oppure è rinnovata ad ampi intervalli di tempo.

Il tipo di impianto per allevamento ittico oggetto della presente relazione rientra tra i sistemi chiusi, sistemi in cui il fluido di supporto alla coltura non è scambiato con risorse idriche esterne ma viene continuamente ricircolato attraverso gli ambienti di allevamento per mezzo di pompe; eventuali immissioni o interscambi di acqua con l'esterno avverranno soltanto occasionalmente in concomitanza con specifiche esigenze tecniche (es. perdite di acqua per evaporazione, correzione dei parametri chimici, carico o svuotamento dell'impianto).

2.1 Le reti

Le reti normalmente utilizzate in acquacoltura possono essere di due tipi:

- reti flessibili, in fibre naturali o sintetiche (es. cotone, nylon);
- reti rigide o semirigide, in metallo o in materie plastiche estruse.

Entrambi i tipi sono fabbricati in una vastissima gamma di forme e di dimensioni.

Le fibre naturali sono utilizzate raramente per le fabbricazioni di reti per gabbie perché l'immersione prolungata le rende soggette a degradazione e alla conseguente perdita di resistenza con elevati rischi di rotture.

Pertanto, si è scelto di utilizzare le reti flessibili in fibra sintetiche senza nodi a maglia quadrata da 10 mm x 10 mm, ottenute da materiali derivati dal petrolio, e precisamente in poliammide (PA)

comunemente chiamato Nylon, corredate di trecce di rinforzo lungo il perimetro ed una piombata sul fondo. La scelta di tali reti per la costruzione delle gabbie galleggianti è stata legata principalmente alla loro leggerezza (densità media 1.14 g/cm^3), all'elevata elasticità (maggiore nelle reti senza nodi) e alla buona resistenza all'esposizione agli agenti atmosferici (ossigeno, raggi ultravioletti, ecc). Infatti, la loro densità leggermente superiore a quella dell'acqua, ne permette un facile ancoraggio alle strutture di sostegno superficiali, senza gravare eccessivamente sulle strutture di galleggiamento e di ormeggio; la leggerezza delle reti ne facilita, inoltre, la sostituzione e la pulizia.

2.2 Le gabbie (Fornitura da UNICT)

Le gabbie previste (n.6) per la localizzazione delle reti saranno gabbie galleggianti a pianta quadrata, la tipologia più largamente utilizzata nel mondo, ovvero gabbie costituite da un involucro di rete totalmente o parzialmente immerso nell'acqua, sorretto da una struttura di galleggiamento superficiale ormeggiata al fondale. Ciascuna gabbia avrà una dimensione in pianta di $5,50 \text{ m} \times 5,50 \text{ m}$ ed un'altezza di $4,50 \text{ m}$, per un volume complessivo di allevamento pari a circa 130 m^3 . Le gabbie saranno disposte su due file da 3 e raccordate al centro da un pontile galleggiante in PE o PVC ormeggiato a bordo bacino e sul fondo. Si è scelto di raggruppare le gabbie perché questo permette di semplificare i sistemi di ancoraggio e di ridurre i costi.

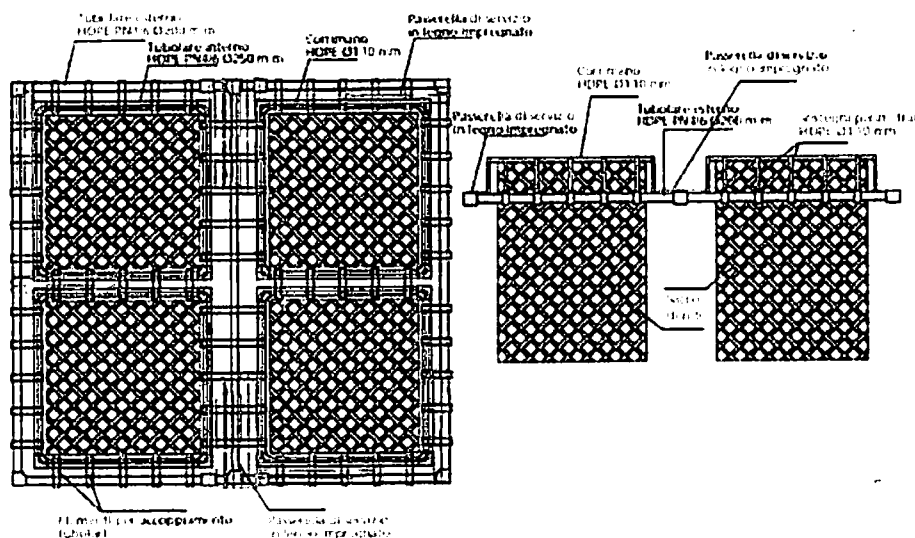


Figura 8. Schema tipo di gabbie galleggianti di forma quadrata

2.3 Sistemi di ormeggio e ancoraggio

Ormezzi e ancoraggi sono in funzione del fondale, delle condizioni del sito e delle dimensioni dell'impianto. Si è scelto di utilizzare l'ormeggio a reticolo (o griglia), dove ogni gabbia è installata all'interno di una maglia quadra, realizzata con cime di nylon disposte orizzontalmente rispetto la superficie dell'acqua. Boe di galleggiamento e zavorre pongono il reticolo ad una profondità di circa 2-3 m. Dal reticolo partono catene (tipo Genovese), dirette al fondale per l'ancoraggio, che costituiscono le linee di ormeggio.

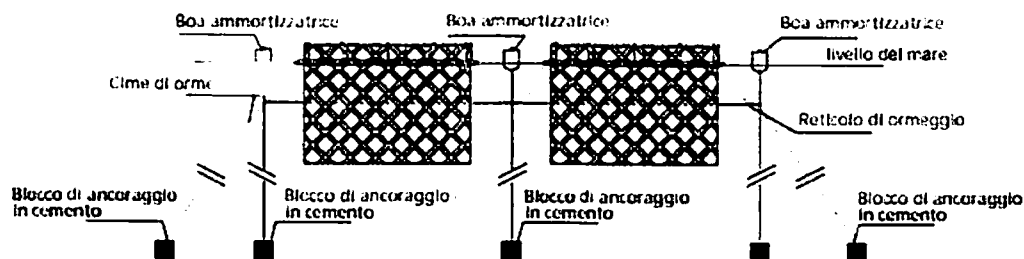


Figura 9. Schema tipo di ancoraggio

Per l'ancoraggio delle gabbie si è scelto di utilizzare il "corpo morto", il tipo di ancoraggio più semplice ed economico, costituito in un blocco di calcestruzzo, con Rck non inferiore a 30, classe di esposizione XS1, del peso ciascuno non inferiore ad 1 tonn, completi di golfare per movimentazione e ancoraggio delle catene.

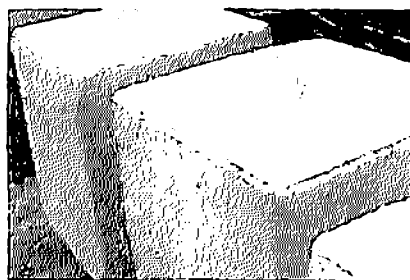


Figura 10. Ancoraggi in calcestruzzo muniti di golfare.

2.4 Le strutture di supporto delle gabbie (Fornitura da UNICT)

La struttura perimetrale della gabbia, detta "collare", oltre a sostenere le reti nella colonna d'acqua, fungerà anche da piattaforma di lavoro per l'esecuzione delle operazioni manuali di gestione (es. alimentazione, controllo, selezione, cattura); inoltre, quando le reti sono di tipo

flessibile, come in questo caso, ha la funzione di mantenerne la forma. La struttura può essere realizzata con diversi materiali come profilati metallici di acciaio zincato o di alluminio (tubi, barre, ecc.), legno trattato con prodotti impregnanti (moralì, listelli, tavole), bambù (pertiche) ecc.. Si è scelto di realizzare la struttura di supporto alle gabbie in elementi modulari galleggianti monoblocco in unico stampo in HDPE, di dimensioni pari a 50 x 50 x 40 cm e 100 x 50 x 40 cm, dimensionata per un sovraccarico massimo non inferiore a 300 Kg/m², progettato valutando il numero e la distribuzione dei galleggianti, in relazione ai diversi carichi verticali, concentrati e distribuiti, cui la struttura può essere sottoposta. Si è scelto tale sistema perché presenta un'elevata resistenza ed elasticità per gli impatti accidentali e risulta resistente alle alterazioni dovute all'esposizione prolungata agli agenti atmosferici. Tale piattaforma sarà collegata ad una sponda dell'INVASO 2 mediante un pontile/passerella (misure 37 x 2 m) composto con gli stessi elementi modulari galleggianti della struttura di supporto alle gabbie. Sia la struttura della piattaforma che il pontile saranno dotati di appositi ganci (golfare) in acciaio inox o ferro zincato necessari per l'ancoraggio sul fondo.

Nei bordi della piattaforma galleggiante e del pontile verrà realizzata una struttura di protezione anticaduta attraverso paletti in acciaio inox o ferro zincato, di altezza pari ad almeno 0,70 m, e corda passamano, quest'ultima in poliestere e con un diametro di circa 14 mm.

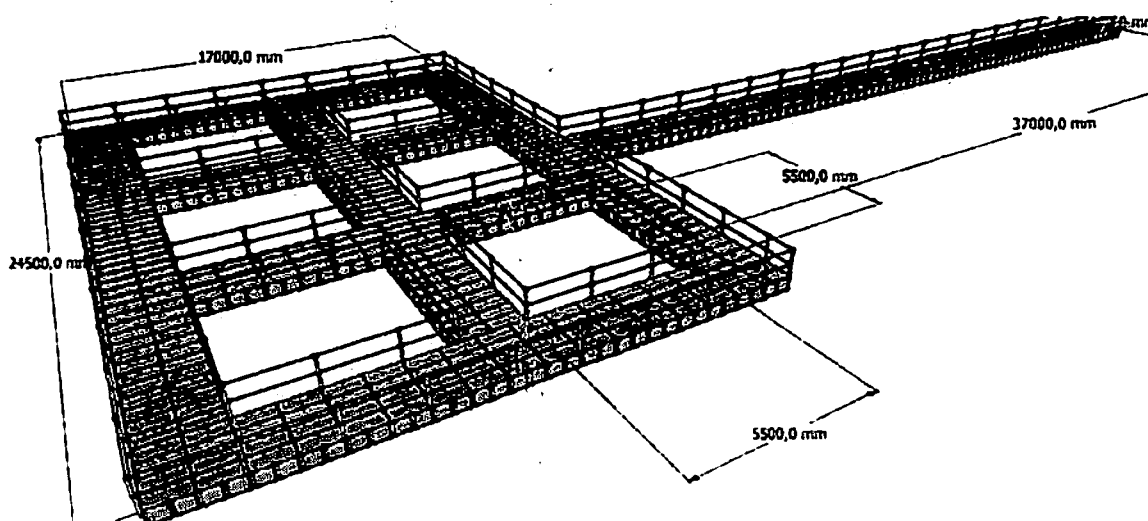


Figura 11. Schema della piattaforma galleggiante e del pontile

2.5 Sistema di aerazione (Fornitura da UNICT)

La concentrazione di ossigeno nell'acqua rappresenta uno dei parametri qualitativi più importanti. Negli stagni utilizzati in acquacoltura la concentrazione di ossigeno disciolto può ridursi di 5-10 mg/l durante la notte fino a raggiungere valori inferiori a 2 mg/l (Boyd, 1990); concentrazioni di ossigeno così basse possono provocare elevato stress o anche vere e proprie morie negli organismi allevati. Le tecnologie utilizzate in acquacoltura per dissolvere ossigeno nell'acqua sono concepite per sfruttare al massimo la superficie di scambio tra aria e acqua, il tempo di contatto tra aria e acqua e l'intensità di miscelazione dell'acqua.

In acquacoltura le tecniche di aerazione hanno avuto una grande evoluzione negli ultimi decenni. Tra questi, si è scelto di utilizzare gli aeratori superficiali galleggianti, essendo in grado di operare con un'efficienza di trasferimento dell'ossigeno vicina a quella massima teorica, con costi di installazione e di gestione relativamente bassi. In particolare, in ciascuna gabbia verrà installato, al centro della stessa, un aeratore di superficie a pompa verticale con portata di almeno 120 m³/h, costituito da un motore ad elica da 1 Kw, mentre in due angoli esterni della piattaforma, verrà installato un circolatore sommerso orizzontale/inclinabile a pale rotanti, sempre da 1 Kw, con struttura portante e supporto galleggiante. Sia gli aeratori (n.6) che i circolatori (n.2) saranno collegati e comandati dalle centraline del sistema di monitoraggio.

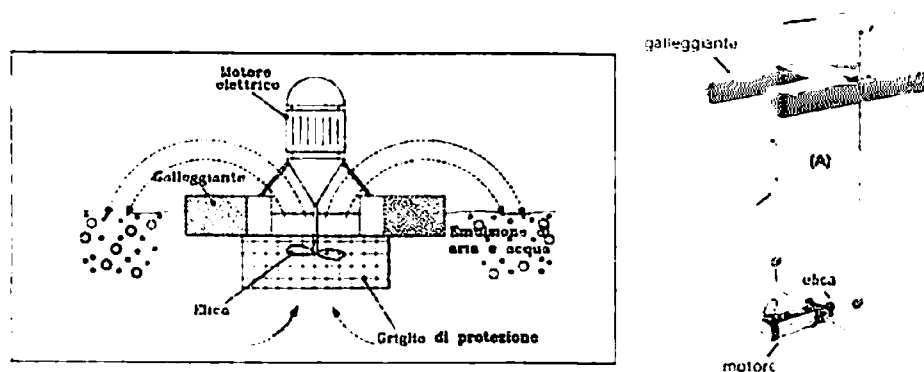


Figura 12. Schema di un aeratore galleggiante (a sinistra) e di un circolatore (a destra)

2.6 Sistema di monitoraggio e controllo (Fornitura da UNICT)

La messa a punto di sistemi di allevamento intensivi e semi-intensivi ha comportato l'esigenza di disporre di tecnologie per il controllo e la correzione dei parametri qualitativi dell'acqua, in

funzione dei fabbisogni specifici delle specie allevate. La temperatura, la concentrazione di ossigeno e il livello dell'acqua nei sistemi di acquacoltura a ricircolo è di estrema importanza poiché il tasso di crescita e la salute degli animali sono direttamente legati a questi valori. Il controllo delle apparecchiature e dei parametri qualitativi dell'acqua sarà garantito da un sistema di monitoraggio centralizzato con PC e monitor dedicati, interfacciato a microprocessori con sonde in Wi-Fi per un'eventuale gestione anche in remoto. Tale sistema sarà capace di misurare i parametri qualitativi delle acque e gestire, in tempo reale, le apparecchiature di ossigenazione (aeratori) in base alle soglie di intervento programmate e inviare allarmi impostati per mail. All'interno di ogni gabbia, sarà utilizzata una sonda ottica multiparametrica per la misurazione e registrazione in continuo di Ossigeno e Temperatura. Ogni sonda sarà collegata ad una centralina di comando che si interfacerà al sistema centrale per il controllo degli aeratori. Una sonda, opportunamente collocata all'interno dell'INVASO 2, consentirà la misurazione e registrazione in continuo di oltre che dell'Ossigeno e Temperatura anche di pH e Conducibilità Elettrica.

3 Sistema di affinamento delle acque di coltura

3.1 Sistema di fitodepurazione galleggiante

In prossimità delle sponde dell'INVASO 2 verranno realizzate delle strutture galleggianti, della superficie complessiva di circa 400 m², sulle quali verranno messe a dimora delle macrofite radicate emergenti che presenteranno l'apparato radicale e, eventualmente, una porzione del culmo immerso in acqua.

Tali macrofite verranno selezionate in funzione delle caratteristiche qualitative delle acque, del loro potenziale sviluppo radicale e della capacità di trasferimento di aria dalle parti aeree a quelle sommerse.

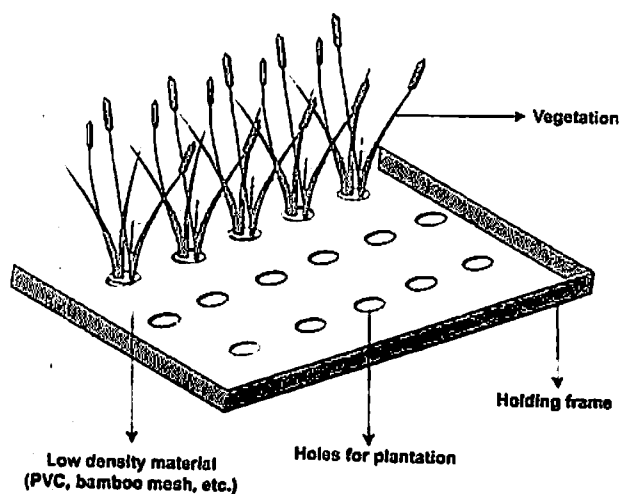


Figura 13. Schema sistemi galleggianti di fitodepurazione

La funzione di tali elementi flottanti sarà quella di eseguire un parziale processo fitodepurativo delle acque determinato, principalmente, da:

- attività degradativa della sostanza organica ad opera della microflora batterica attecchita agli apparati radicale;
- assorbimento di nutrienti dalla vegetazione macrofita e dalla microflora batterica;
- ossigenazione della massa d'acqua a diretto contatto con l'apparato radicale della vegetazione macrofita.

Il sistema di fitodepurazione flottante sarà composto da unità modulari galleggianti vegetate aventi ciascuna una dimensione di 2 m X 1,5 m. Tali moduli saranno realizzati mediante tubazioni in PVC sui quali verranno fissate con l'ausilio di fascette, nella parte inferiore, rete estrusa in HDPE resistente ai raggi UV, mentre nella parte superiore reti antierosive biodegradabili in fibre di juta. Su ogni unità flottante verranno successivamente messe a dimora delle macrofite radicate emergenti, come la *Typha latifolia*, con una densità di 6 piante a m². Ogni modulo sarà fissato alle sponde del bacino mediante treccia in polipropilene e picchetto in acciaio zincato.

3.2 Sistema di fitodepurazione a flusso sub-superficiale

Per il trattamento delle acque di allevamento, in relazione all'elevato grado di naturalità del sito ricercato ed al territorio di appartenenza, nonché alle favorevoli condizioni climatiche, si è ritenuto conveniente orientarsi verso processi di trattamento a basso costo e a bassissimo impatto ambientale quali la fitodepurazione. Il notevole interesse per tale tecnica di trattamento è legato in particolare alle seguenti caratteristiche:

- relativa semplicità in fase di costruzione, di esercizio e di manutenzione;
- notevole economicità in fase di esercizio e manutenzione;
- efficienza dei processi depurativi;
- affidabilità in diverse condizioni operative.

Le acque di ricircolo, pari ad una portata giornaliera di circa 80 m³, verranno trattate mediante un impianto di fitodepurazione organizzato su due linee in parallelo, ciascuna costituita da un'unità a flusso sub-superficiale verticale (V-SSF) seguito da un'unità a flusso sub-superficiale orizzontale (H-SSF), ubicato in prossimità dell'invaso 2, in un'area pianeggiante.

In tal modo nel letto V-SSF, in condizioni aerobiche, verrà eseguita, ad opera dei batteri appartenenti al gruppo Nitroso e Nitro, un'ossidazione dell'azoto ammoniacale dapprima in nitrito e successivamente in nitrato (nitrificazione) che verrà assimilato in concentrazioni ridotte dalle piante attraverso le radici oppure subire una riduzione dissimilativa ad ossido di azoto (denitrificazione) nel successivo trattamento H-SSF. La denitrificazione è condotta da batteri anaerobi facoltativi (*Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Spirillum*) che, in assenza di ossigeno, traggono energia dalla respirazione di NO₃⁻, NO₂⁻ o N₂O. Ne consegue che il processo di denitrificazione avviene esclusivamente in ambienti anaerobici, tipicamente presenti

nei sistemi H-SSF, in cui i batteri utilizzano come donatore di elettroni il carbonio organico e sostituiscono, come accettore terminale di elettroni, l'ossigeno con il nitrato.



Figura 14. Area in cui verrà realizzato l'impianto di fitodepurazione a flusso sub-superficiale per il trattamento delle acque di ricircolo dell'allevamento pesci

I parametri utilizzati per progettare i sistemi di fitodepurazione a flusso subsuperficiale sono: le concentrazioni dell'inquinante in ingresso C_i ed in uscita C_o (mg/L), la portata in ingresso Q (m^3 /giorno), l'area A (m^2) del bacino, l'altezza h (m) della colonna d'acqua e la porosità ϵ (m_3/m_3) del letto. La porosità ϵ rappresenta l'effettiva porzione del bacino occupata dalle acque reflue e, sebbene la sua esatta valutazione sia alquanto difficile, solitamente varia fra 0,3 e 0,4 per i sistemi a flusso subsuperficiale. Il volume di acque reflue V (m^3) all'interno del bacino risulta dunque pari a:

$$V = Ah\epsilon \quad (1)$$

Il tempo di detenzione nominale dei liquami t_d (giorni) all'interno del sistema è dato dalla nota relazione:

$$t_d = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

Sostituendo nella (2) il valore di V ottenuto dalla (1) ed indicando con $q = Q/A$ il carico idraulico superficiale (m/giorno o cm/giorno) si ottiene:

$$t_d = \frac{Ah\varepsilon}{Q} = \frac{h\varepsilon}{q} \quad (3)$$

Per il dimensionamento del letto di fitodepurazione si può applicare il modello monoparametrico di Reed (1995):

$$t_d = -\frac{1}{k} \ln\left(\frac{C_o}{C_i}\right) \text{giorni}^{-1} \quad (4)$$

dove k (m/giorno o m/anno) è il coefficiente di rimozione ed è funzione della temperatura T (°C) delle acque reflue secondo la relazione:

$$k_T = k_{20} \theta^{(T-20)} \quad (5)$$

con:

k_T = coefficiente di rimozione alla temperatura generica T (°C);

k_{20} = coefficiente di rimozione alla temperatura di 20 °C pari a 1,104 giorni⁻¹;

θ = fattore di correzione della temperatura pari a 1,06.

Conoscendo dunque tali parametri, la portata e la concentrazione in ingresso e fissando il valore C_o della concentrazione del generico inquinante (generalmente il BOD₅) che si vuole ottenere in uscita, dalla relazione (4) è possibile ricavare l'area necessaria per il sistema di fitodepurazione:

$$A = -\frac{Q}{k} \ln\left(\frac{C_o}{C_i}\right) \quad (6)$$

Una volta stabilita l'area, per determinare la lunghezza L (m) e la larghezza W (m) del bacino di fitodepurazione viene scelto un rapporto L/W che usualmente può variare da 1/1 fino a 3/1 per i sistemi SSF. L'altezza h viene stabilita generalmente compresa tra 0,4-0,6 m per i sistemi a flusso subsuperficiale, l'altezza δ (m) del letto filtrante viene generalmente fissata di qualche centimetro (5-10 cm) maggiore di h. La lunghezza L (m) e la larghezza W (m) del bacino di fitodepurazione vengono scelte in modo da assicurare un rapporto L/W usualmente da 1/1 fino a 3/1 per i sistemi SSF. Ciascuna linea di dovrà trattare complessivamente volume giornaliero medio di circa 40

m³/giorno. Per il dimensionamento del sistema di fitodepurazione si è fissata una concentrazione in ingresso C_i pari a 80mg/L, ed un valore della concentrazione in uscita C_o (mg/L) pari a 50 mg/L. Inoltre per il dimensionamento dei letti H-SSF sono stati adottati i seguenti parametri progettuali:

- altezza della colonna d'acqua h (m) pari a 0.55 m;
- porosità ε (m³/m³) pari a 0.40;
- temperatura media di esercizio pari a 14°C;
- conducibilità idraulica in esercizio k_s pari a 5000 (m/giorno);

La progettazione dei sistemi di fitodepurazione a flusso subsuperficiale verticale (V-SSF) si basa sulla stima dell'area superficiale (A) in funzione della richiesta di ossigeno necessario per ossidare la sostanza organica, o più frequentemente la sostanza azotata, contenuta nelle acque reflue da trattare. In particolare, l'efficacia di depurazione di tali sistemi dipende dalla capacità di trasferimento dell'ossigeno (OTC, oxygen transfer capacity).

Adottando il valore suggerito da Johansen (2000) per la stima della capacità di trasferimento dell'ossigeno (OTC) pari a 30 g O₂/m² giorno o altri valori di letteratura, come quelli proposti da Platzer (1999) pari a 28 g O₂/m²×giorno per un'unità di trattamento a cui è applicato un basso carico e 64 g O₂/m²×giorno nel caso in cui sia applicato un alto carico, l'area superficiale del bacino a flusso subsuperficiale verticale (V-SSF) è data:

$$A = \frac{[BOD_m - BOD_{out}] + [NH_{4,m} - NH_{4,out}] \times 4.3}{OTC} \times Q$$

In relazione ai dati ottenuti ai letti di fitodepurazione sono state assegnate le dimensioni, misurate sulla superficie del letto, riportate in tabella

Tabella 2. Caratteristiche letti di fitodepurazione

Letto di fitodepurazione	Superficie (m ²)	Lunghezza (m)	Larghezza (m)
H-SSF1	150	20	7.8
H-SSF2	150	20	7.8
V-SSF1	150	12.2	12.2
V-SSF2	150	12.2	12.2

Il fondo e le sponde delle vasche di fitodepurazione verranno impermeabilizzati, per evitare l'infiltrazione di inquinanti in falda, mediante guaina in PVC armata.

L'alimentazione dei letti V-SSF, eseguita per mezzo di un impianto di sollevamento ubicato all'interno della vasca di allevamento (INVASO 2), avverrà in modo alternato discontinuo grazie all'impiego di elettrovalvole e relativo programmatore di comando di apertura delle elettrovalvole e di azionamento delle pompe. Le acque da trattare, immesse sull'intera superficie dei letti V-SSF, percoleranno lentamente in senso verticale attraverso il medium di riempimento nel quale si creerà un ambiente prevalentemente aerobico. Ciascuna unità V-SSF avrà un'altezza del materiale filtrante di circa 1,00 m ed una superficie di circa 150 m². Per la realizzazione del mezzo filtrante verranno impiegati diverse tipologie di materiale così come meglio specificato nei disegni tecnici. Le acque trattate verranno raccolte da un sistema di tubazioni drenaggio collocato sul fondo dell'unità V-SSF e collegato ad un pozzetto di uscita per l'alimentazione in continuo del successivo stadio di trattamento H-SSF.

Ciascun'unità H-SSF, della superficie di circa 150 m², sarà costituita da un primo sottile strato di materiale vagliato proveniente dagli scavi, posto a diretto contatto con la guaina per salvaguardarla, ed un secondo strato di pietrisco avente una dimensione granulometrica costante, così come meglio specificato nei disegni tecnici.

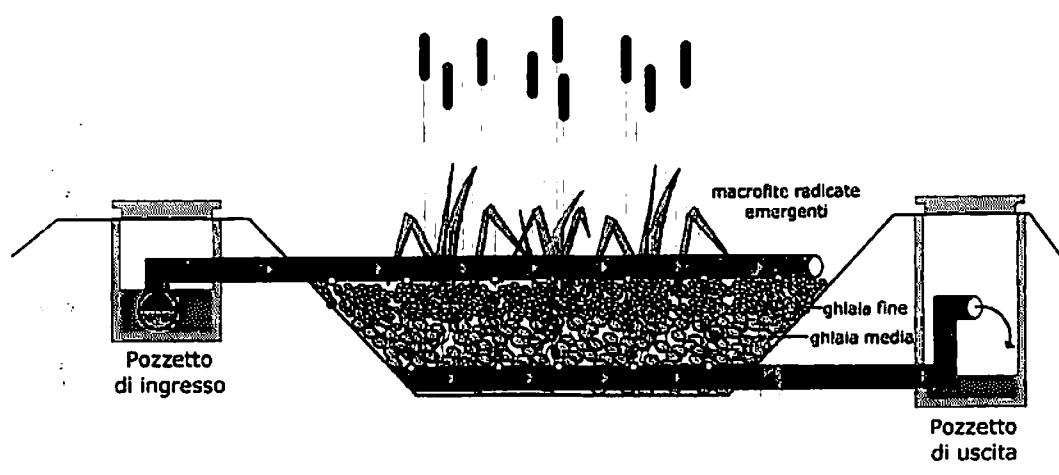


Figura 15. Schema sistemi a flusso sub-superficiale verticale (V-SSF)

Nelle sezioni di ingresso e di uscita verrà posto del pietrame con una dimensione granulometrica grossolana al fine di evitare fenomeni di intasamento e favorire una distribuzione omogenea delle acque. Tali acque verranno immesse in testa al letto di fitodepurazione H-SSF mediante una

tubazione di distribuzione interrata posta trasversalmente alla direzione del flusso. Tale tubazione presenterà una serie di fori lungo tutta la sua lunghezza, in modo tale da permettere un'omogenea distribuzione delle acque in tutta la sezione del letto ed evitare il più possibile i fenomeni di "cortocircuitazione idraulica".

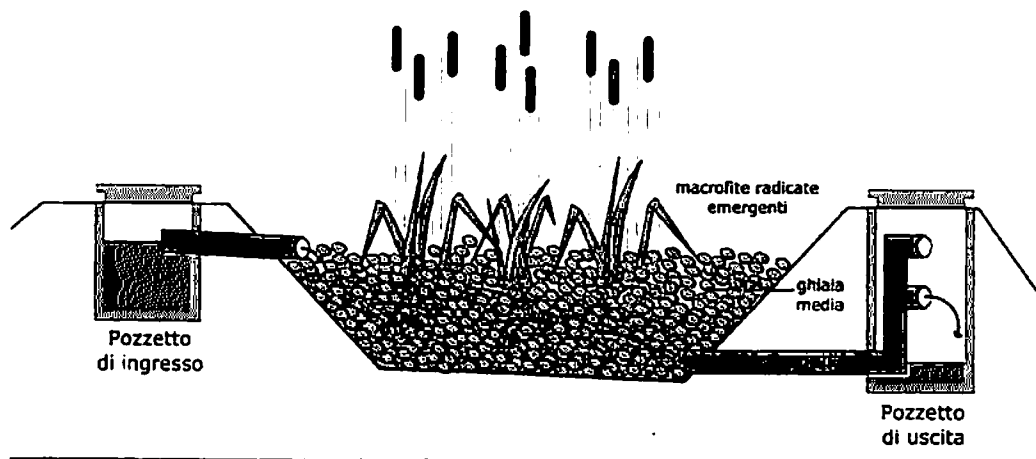


Figura 16. Schema sistemi a flusso subsuperficiale orizzontale (H-SSF)

Un'analogia tubazione trasversale, forata per tutta la sua lunghezza, posta sul fondo del letto nella sua sezione terminale, raccoglierà le acque trattate che verranno poi convogliate al pozzetto di uscita. Nel pozzetto di uscita sarà installata una struttura di regolazione del livello idrico all'interno del letto filtrante. Da tale pozzetto le acque trattate verranno convogliate al bacino di allevamento.

Le unità H-SSF verranno mantenute costantemente in condizioni saturate per determinare la formazione di ambiente anaerobico ad eccezione delle porzioni direttamente a contatto con gli apparati radicali delle macrofite. Sulla superficie delle quattro unità di fitodepurazione verranno messe a dimora macrofite radicate emergenti. In particolare, sulla base dei dati oggi disponibili in letteratura, ed in particolare dell'efficacia depurativa, dell'ecologia, della disponibilità nel territorio, e della compatibilità ambientale verranno poste a dimora macrofite radicate emergenti e in particolare la *Canna indica* verrà piantumata nei letti a flusso verticale e la *Typha latifolia* nei letti a flusso orizzontale.

La Ditta Proprietaria Arena si è impegnata a realizzare lo scavo per l'ottenimento del piano che ospiterà la realizzazione dell'impianto di fitodepurazione. Detta attività di movimento terra comporterà uno scavo di circa 720 mc ed un riporto di circa 40 mc così da ottenere un unico piano livellato a quota +125,00 m s.l.m.

4 Condotte di adduzione e distribuzione

Il trasporto delle acque, di ricircolo e di reintegro, verrà effettuato con condotte in pressione con sollevamento.

Il dimensionamento delle condotte è stato effettuato fissando una velocità di progetto pari a circa 1.5 m/s (velocità ritenuta consigliabile nel caso delle condotte di sollevamento) sostituendo nell'equazione di continuità $Q=V*A$, il valore fissato della velocità V e aggiustando dimensionalmente le grandezze interessate si ottiene il diametro teorico per la condotta di sollevamento. Ne consegue che per la realizzazione della condotta è necessario impiegare il diametro commerciale, disponibile per tubazioni in PVC, non inferiore a quello individuato.

La cadente piezometrica può essere valutata utilizzando la seguente formula messa a punto da De Marchi-Marchetti per condotte circolari in PVC, PEAD e Vetroresina in regime di moto turbolento

$$J = 9,237 \cdot 10^8 (Q^{1.81}) / (D^{4.80})$$

in cui:

J = cadente piezometrica ovvero perdita di carico per unità di lunghezza (m/Km)

Q = portata (l/s)

D = diametro della condotta (mm)

Le perdite di carico distribuite totali $Y=J * L$, in L è la lunghezza della condotta (m)

5 Impianti di sollevamento

Il trasporto delle acque, di ricircolo e di reintegro, avverrà tramite 4 stazioni di sollevamento:

- stazione di sollevamento n°1: alimentazione letti V-SSF;
- stazione di sollevamento n°2: ricircolo INVASO 2;
- stazione di sollevamento n°3: reintegro INVASO 2;

La stazione di sollevamento n°2 è costituita da pozzetti in cls, con pendenza del fondo del 5%, in cui sono alloggiare le pompe e, esternamente, alcune valvole gestite da una centralina digitale per l'irrigazione. Mentre le stazioni di sollevamento n°1 e n°3 sono costituite da pompe posizionate rispettivamente all'interno dell'INVASO 2 e dell'INVASO 1.

Ogni stazione di sollevamento si compone di:

- uno o due pompe sommergibili centrifughe alimentate da motore elettrico asincrono trifase;
- galleggianti, che controllano le pompe (due per pompa);
- valvole automatiche di ritegno a palla in ghisa sferoidale
- centralina digitale per irrigazione
- quadro elettrico speciale di protezione e comando.

La potenza di ogni pompa è stata dimensionata secondo la seguente relazione:

$$P = (Q \times H) / (102 \times \eta) \text{ [kw]}$$

Dove Q = portata (l/s); H= prevalenza (m), η = rendimento della pompa pari a 0.6.

La prevalenza H da assegnare ad ogni gruppo di sollevamento è data dalla:

$$H = (Dz + Po + Y^*) \text{ [m]}$$

dove: Dz= dislivello massimo da superare [m]; Po = pressione di esercizio [m], Y* = perdite di carico distribuite (aumentate di circa il 20% per tenere conto delle perdite di carico localizzate) m.

5.1 Stazione di sollevamento n°1 (INVASO 2 -letti V-SSF)

L'alimentazione dei letti a flusso verticale (V-SSF) avviene in modo discontinuo tramite un sistema di pompaggio, ubicato su un massetto in cls, in prossimità della sponda dell'INVASO 2 con le seguenti caratteristiche:

- N.2 elettropompe autoadescanti (pompa A- pompa B), con lunghezza aspirazione 39 m, lunghezza mandata 90 m diametro DN90, complete di sonde e sensori, orologio e timer per dosaggi temporizzati;
- n.2 contatori volumetrici, uno per ciascuna tubazione di mandata, per la verifica dei volumi di acqua convogliati ai letti V-SSF.
- Prevalenza nominale 23 m;
- Portata nominale 6 l/s (6 cicli giorno da 10-15 minuti) ciascuna;
- Potenza nom. Motore 4 kW;

5.2 Stazione di sollevamento n°2 (H-SSF-INVASO 2 o H-SSF -INVASO 1)

L'acqua in uscita dai letti a flusso orizzontale (H-SSF) verrà convogliata, per gravità, all'interno di un pozzetto e da qui ricircolata nella vasca di allevamento dei pesci (INVASO 2) o nel bacino di reintegro tramite un sistema di pompaggio con le seguenti caratteristiche:

- 2 pompe elettropompe autoadescanti (pompa D e Pompa E). Entrambe le pompe sono ubicate su un massetto in cls, realizzato in prossimità di un pozzetto in cls posto a valle dei letti di fitodepurazione H-SSF. Le pompe D ed E convogliano le acque, rispettivamente, al bacino di acquacoltura (INVASO 2) e al bacino di reintegro (INVASO 1).
- Pompa D, lunghezza aspirazione 2,50m, lunghezza mandata 120 m diametri entrambi DN90.
 - Prevalenza nominale 15.5 m;
 - Portata nominale 3.7 L/s ;
 - Potenza nom. 1.1 kW;
- Pompa E, lunghezza aspirazione 2,50 m, lunghezza mandata 280 m diametri entrambi DN90.
 - Prevalenza nominale 18.5 m;
 - Portata nominale 3.7 L/s ;
 - Potenza nom. 4 kW;

Le due pompe sono comandate tramite le sonde di rilevamento del livello idrico

5.3 Stazione di sollevamento n°3 (INVASO 1 – INVASO 2)

Il livello idrico della vasca di allevamento dei pesci (INVASO 2) verrà mantenuto costante tramite un sistema di pompaggio (regolato tramite timer) ubicato sulle sponde del bacino di reintegro (INVASO 1) con le seguenti caratteristiche

- ° 1 elettropompa autoadescante (pompa C), lunghezza aspirazione 10m, lunghezza mandata 220m, diametri entrambi DN90, completa di sonda e sensore, orologio e timer per dosaggi temporizzati.
- Portata nominale 3.7 l/s (24 cicli giorno da 20 minuti);
- Prevalenza nominale 17 m;
- Potenza nom. Motore 1.5 kW;

6 Impianto fotovoltaico

L'impianto fotovoltaico è l'insieme dei componenti meccanici, elettrici ed elettronici che captano l'energia solare per trasformarla in energia elettrica che poi viene resa disponibile all'utilizzazione da parte dell'utenza. Gli impianti fotovoltaici possono essere:

- *alimentazione diretta*: l'apparecchio da alimentare viene collegato direttamente al FV (acronimo di modulo fotovoltaico); lo svantaggio di questo tipo di impianti è che l'apparecchio collegato al modulo fotovoltaico non funziona in assenza di sole (di notte); applicazioni: piccole utenze come radio, piccole pompe, calcolatrici tascabili, ecc.;
- *funzionamento ad isola*: il modulo FV alimenta uno o più apparecchi elettrici; l'energia fornita dal modulo, ma momentaneamente non utilizzata, viene usata per caricare degli accumulatori; quando il fabbisogno aumenta, o quando il modulo FV non funziona (p.e. di notte), viene utilizzata l'energia immagazzinata negli accumulatori; applicazioni: zone non raggiunte dalla rete di distribuzione elettrica e dove l'installazione di essa non sarebbe conveniente;
- *funzionamento per immissione in rete*: come nell'impianto ad isola il modulo solare alimenta le apparecchiature elettriche collegate, l'energia momentaneamente non utilizzata viene immessa nella rete pubblica; il gestore di un impianto di questo tipo fornisce dunque l'energia eccedente a tutti gli altri utenti collegati alla rete elettrica, come una normale centrale elettrica; nelle ore serali e di notte la corrente elettrica può essere nuovamente prelevata dalla rete pubblica.

Il fabbisogno di energia elettrica delle apparecchiature elettriche ed elettroniche oggetto della presente relazione sarà soddisfatto da una fornitura in bassa tensione e da un *impianto fotovoltaico ad isola*, composto dai seguenti elementi:

- *cella solare*: per la trasformazione di energia solare in energia elettrica; per ricavare più potenza vengono collegate tra loro diverse celle;
- *regolatore di carica*: è un apparecchio elettronico che regola la ricarica e la scarica degli accumulatori; uno dei suoi compiti è di interrompere la ricarica ad accumulatore pieno;

- **accumulatori:** sono i magazzini di energia di un impianto fotovoltaico; essi forniscono l'energia elettrica quando i moduli non sono in grado di produrne, per mancanza di irradiazione solare;
- **inverter:** trasforma la corrente continua proveniente dai moduli e/o dagli accumulatori in corrente alternata convenzionale a 230 V; se l'apparecchio da alimentare necessita di corrente continua si può fare a meno di questa componente;
- **utenze:** apparecchi alimentati dall'impianto fotovoltaico.

In particolare, l'impianto fotovoltaico avrà una potenza nominale di 15 kW, con 40 pannelli da 400 W installati a terra, in prossimità della sponda nord del bacino di acquacoltura. Il sistema di accumulo sarà composto da batterie in litio, per un totale di 15 kw, idoneo per il collegamento ad inverter mono e trifase, ubicate presso l'edificio servizi.

Le apparecchiature elettriche ed elettroniche saranno collegate ai seguenti quadri elettrici:

- **QE00 – Quadro Enel (Gestione e Protezione della Fornitura Enel)**
- **QE01 – Quadro Fotovoltaico (Gestione e Protezione della Produzione Fotovoltaica)**
- **QE02 – Quadro di Commutazione (Gestione e Scambio tra Produzione Fotovoltaica ed Enel)**
- **QE03 – Quadro Generale Impianto (Gestione e Protezione delle Utenze dell' Impianto)**
- **QE04 – Quadro Aeratori (Gestione e Protezione degli Aeratori e Relative Utenze)**
- **QE05 – Quadro Pompe D ed E (Gestione e Protezione delle Pompe D ed E)**
- **QE06 – Quadro Pompe A e B (Gestione e Protezione delle Pompe A e B)**
- **QE07 – Quadro Pompa C (Gestione e Protezione della Pompa C)**
- **QEC – Quadro di Campo (Gestione e Protezione delle Stringhe Fotovoltaiche in Continua)**

Per ulteriori dettagli si rimanda alla "relazione tecnica – impianto elettrico" e i relativi allegati grafici redatti dall'ing. A. Filetti.

7 Edificio servizi

Nell'ambito del progetto è prevista l'installazione di un piccolo edificio prefabbricato per l'ubicazione delle apparecchiature relative all'impianto di telecontrollo e monitoraggio, del sistema di accumulo dell'impianto fotovoltaico nonché per lo stoccaggio dei mangimi per i pesci.

L'edificio servizi sarà ubicato in prossimità dell'INVASO 2, accanto ad un casotto esistente, e avrà all'incirca le seguenti dimensioni mt. 5.10 x 2.40 x 2.40 H int.

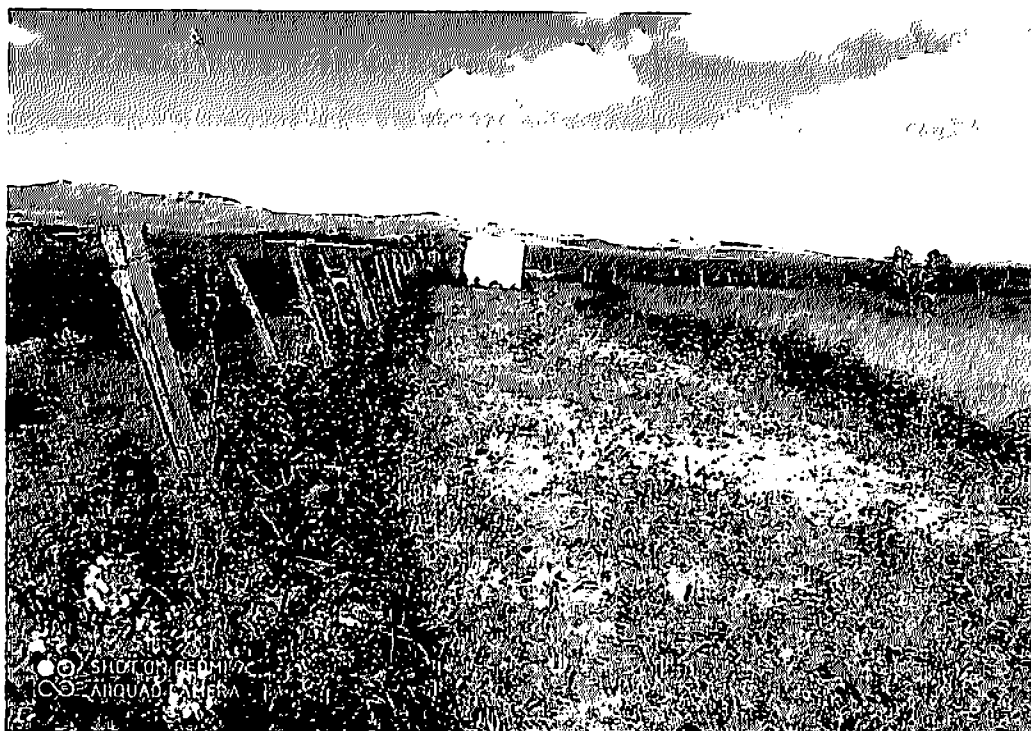


Figura 17. Area in cui verrà ubicato l'edificio servizi

La struttura portante sarà realizzata con profili spess. 15/10 in acciaio zincato pressopiegato. Il pavimento sarà composto da un foglio di linoleum incollato con apposita colla ad un pannello di panforte idrofugo dello spessore di 18 mm. Le pareti saranno composte da pannelli parete tipo sandwich sp. 40 mm aventi all'esterno e all'interno una lamiera zincata preverniciata b/g con al centro un isolamento di poliuretano autoestinguente. La copertura sarà composta da pannelli tipo sandwich sp. 40 mm (+ lo spessore della greca di rinforzo) aventi doppia lamiera: zincata preverniciata b/g lato interno e zincata preverniciata b/g grecata lato esterno con al centro un

isolamento di poliuretano autoestinguento, fissati saldamente all'intelaiatura della copertura tramite viti auto perforanti con cappello di tenuta. Finestre e porte saranno in alluminio preverniciato bianco, con doppio telaio completi di guarnizioni di tenuta e vetri di mm. 4.

8 Le indagini e gli studi a corredo del progetto

8.1 Rilievo planimetrico

E' stato eseguito uno rilievo topografico plano-altimetrico, relativo ai terreni interessati dal progetto dal dott. Geologo Giuseppe Fiorito. Per l'inquadramento e la restituzione grafica del rilievo, sono stati rilevati tutti i punti necessari per riprodurre l'andamento plano-altimetrico del terreno, facendo particolare attenzione su punti peculiari, come sui cambi di pendenza e sui manufatti presenti. Per quanto riguarda i bacini idrici presenti nell'area, sono stati rilevati tutti i punti necessari per la riproduzione dell'opera, mentre per quanto riguarda il canale di scolo oltre i punti ai punti perimetrali sono state rilevate anche dei punti in asse al canale. Tutte le attività topografiche eseguite sono state riferite alla rete di stazioni permanenti ITALPOS, tramite l'utilizzo di Antenna GNSS Stonex S800A e riposizionati tramite l'utilizzo del software Stonex Cube Desk Pro. Per maggiori dettagli si rimanda al *RILIEVO PLANO-ALTIMETRICO – RELAZIONE DESCRITTIVA*, e ai relativi allegati, redatti a firma del dott. Geologo Giuseppe Fiorito.

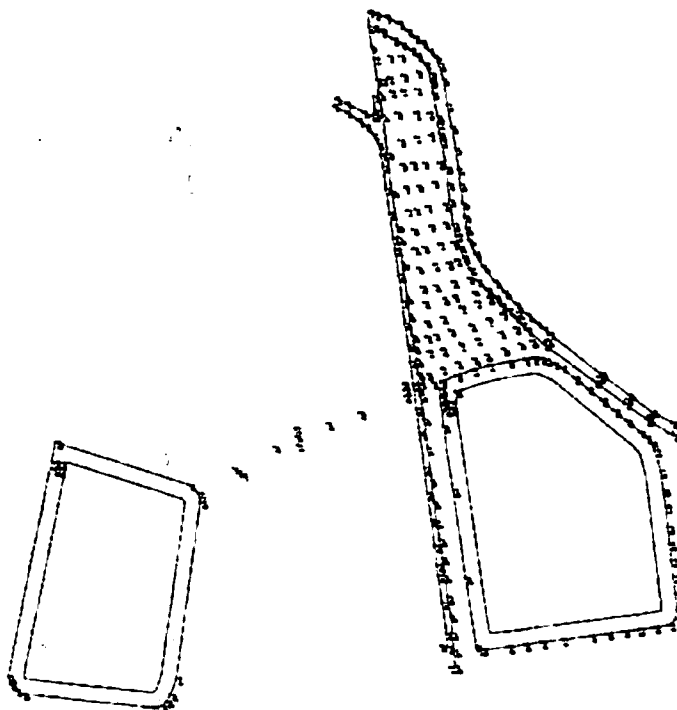


Figura 18. Rilievo plano altimetrico

8.2 Prelievo campioni

Nell'area dove sorgerà l'impianto di fitodepurazione e lungo l'argine nord dell'INVASO 2, sono stati prelevati due campioni di suolo alla profondità di 1 m, rispettivamente denominati 1R e 2R. Su tali campioni sono state eseguite prove e analisi di laboratorio con lo scopo specifico di determinare le relative caratteristiche granulometriche.

In particolare, sono state effettuate le seguenti prove in entrambi i campioni:

- n°2 determinazioni del contenuto d'acqua;
- n°2 analisi granulometriche e densimetriche;
- n°2 determinazioni dei Limiti di Atterberb.

I risultati delle prove di laboratorio sono riassunti nella seguente tabella:

PARAMETRI		1 R (Prof: 1.0 m)	2 R (Prof: 1.0 m)
Contenuto in acqua (%)	W	19,63	20,34
Densimetria	%	SA 7%-LI 43%-AR 50% Argilla con limo debolmente sabbiosa, poco plastica moderatamente consistente (P = 2,75 Kg/cm ²) <u>Terreno a permeabilità molto bassa</u> <u>dell'ordine di 10⁻⁶/10⁻⁷ cm/s</u>	SA 6,5%-LI 50%-AR 43,5% Limo con argilla debolmente sabbioso, poco plastico, moderatamente consistente (P = 2,50 Kg/cm ²) <u>Terreno a permeabilità molto bassa</u> <u>dell'ordine di 10⁻⁶/10⁻⁷ cm/s</u>
Limite Liquido	LL	58,9	55,7
Limite Plastico	LP	21,3	21,1
Indice Plastico	IP	38	35
Indice di consistenza	IC	1,04	1,02

Dalle caratteristiche geo-litologiche sopra riportate, si desume che i materiali provenienti dallo scavo dei luoghi in cui verranno realizzati i letti di fitodepurazione risultano idonei ad essere reimpiegati per la costruzione delle sponde degli stessi. Per maggiori dettagli si rimanda alla RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA, e ai relativi allegati, redatti a firma del dott. Geologo Giuseppe Fiorito.

Per stabilire se è necessario impermeabilizzare l'invaso 2, il 2 febbraio 2022 sono stati prelevati dei campioni di suolo, sul fondo del bacino, mediante l'ausilio di un mini-escavatore cingolato. I campioni così prelevati, sono stati collezionati in dei sacchi e portati al laboratorio "GI.GA.LAB srl" per le successive analisi granulometriche, densimetriche e di permeabilità.



Figura 19. Prelievo campioni di suolo dal fondo dell'invaso 2

Nella tabella riepilogativa seguente si riportano i risultati dei campioni di suolo prelevati sul fondo del bacino destinato all'acquacoltura.

Camp.	Profondità (m)	Contenuto d'acqua %s	Peso specifico	Peso di volume g/cm ³	Densimetria	LL	Prova di permeabilità (cm/sec)
11	1,50	26,53	—	—	10,81 10 ⁻⁴ 11,38 ⁺ 1R	47,1 ⁺ 11,21 9 ⁺ 11P	2,73*10 ⁻⁷ 1,67*10 ⁻⁷
21	1,50	25,73	—	—	11,84 10 ⁻⁴ 11,31 ⁺ 1R	36,9 ⁺ 11,21 4 ⁺ 11P	9,61*10 ⁻⁷ 2,21*10 ⁻⁷
31	1,50	29,18	—	—	26,84 14 ⁺ 11,30 ⁺ 1R	40,1 ⁺ 11,76 7 ⁺ 11P	1,74*10 ⁻⁷ 8,02*10 ⁻⁷
41	1,50	21,46	—	—	11,81 10 ⁻⁴ 11,31 ⁺ 1R	12,0 ⁺ 11,18 5 ⁺ 11P	5,09*10 ⁻⁷ 1,28*10 ⁻⁷
51	1,50	25,93	—	—	1,88 1 10 ⁻⁴ 11,31 ⁺ 1R	1,38 ⁺ 11,26 9 ⁺ 11P	4,61*10 ⁻⁷ 1,68*10 ⁻⁷
1R	2,00	31,16	—	—	19,84 10 ⁻⁴ 11,21 ⁺ 1R	33,9 ⁺ 11,12 9 ⁺ 11P	1,31*10 ⁻⁷ 6,74*10 ⁻⁷
7R	2,00	34,17	—	—	27,84 14 ⁺ 11,31 ⁺ 1R	41,9 ⁺ 11,21 4 ⁺ 11P	1,08*10 ⁻⁷ 5,61*10 ⁻⁷
4R	2,00	29,44	—	—	36,84 12 ⁺ 11,21 ⁺ 1R	33,1 ⁺ 11,15 9 ⁺ 11P	2,84*10 ⁻⁷ 1,17*10 ⁻⁷
5R	2,00	24,48	—	—	10,84 10 ⁻⁴ 11,21 ⁺ 1R	13,8 ⁺ 11,27 4 ⁺ 11P	1,11*10 ⁻⁷ 2,96*10 ⁻⁷
6R	2,00	26,14	—	—	18,88 11 10 ⁻⁴ 11,28 ⁺ 1R	17,88 ⁺ 11,17 9 ⁺ 11P	1,75*10 ⁻⁷ 6,03*10 ⁻⁷

Dall'analisi dei dati si evince che i materiali costituenti il fondo dell'INVASO 2, anche se con basse velocità, risultano permeabili e quindi non posso garantire la tenuta idrica dell'invaso. Alla luce di ciò risulta necessario eseguire la manutenzione straordinaria dell'invaso attraverso l'asportazione dei materiali costituenti il fondo e le pareti e il successivo ripristino con materiale caratterizzato da scarsa o nulla permeabilità, quali argilla. Tale argilla impermeabilizzante sarà del tipo argilla grigia, a composizione prevalentemente bentonica e montmorillonitica con una permeabilità $k < 10^{-7}$ (cm/s) e verrà collocata sul fondo e sulle pareti dell'invaso 2 per uno spessore di 40 cm. Prima della posa in opera dell'argilla, sarà asportato 1 m di materiale sul fondo dell'invaso 2 avente una superficie di circa 5.500 m² e una quantità pari a 40 cm sulle pareti aventi una superficie di circa 5.500 m², per un totale di circa m³ 7.700.

Il materiale asportato dal bacino verrà ricollocato all'interno della stessa ditta Arena per la livellazione dei terreni.

9 Quadro economico del progetto

Di seguito si riporta il quadro economico riassuntivo. I prezzi applicati per la stima delle opere sono stati desunti dal prezzario regionale OO.PP della Regione Siciliana anno 2022, dal prezzario regionale per opere ed interventi in agricoltura e nel settore forestale anno 2015, ovvero è stata effettuata l'analisi dei prezzi per le tipologie di lavori non incluse nei suddetti prezzari.

LAVORI	IMPORTO
1. Impianto Allevamento Ittico	€ 176.096,35
2. Sistema di monitoraggio, controllo e di aerazione	€ 57.255,03
3. Letti di Fitodepurazione V-SSF	€ 32.390,10
4. Letti di Fitodepurazione H-SSF	€ 30.048,11
5. Sistemi di Fitodepurazione Flottante	€ 25.820,60
6. Impianto Idraulico	€ 28.031,40
7. Impianti elettrici e impianto fotovoltaico di 15 kW	€ 120.989,82
8. Manutenzione straordinaria Invaso 2 (con argilla)	€ 118.965,00
9. Pozzetti	€ 4.079,11
10. Edificio Servizi	€ 8.993,50
11. Sicurezza (1,452877% Sull'importo Dei Lavori)	€ 8.885,72
SOMMANO I LAVORI	€ 611.594,74
Costo netto manodopera incluso nei lavori € 39.737,63	
Importo costi sicurezza inclusi nei lavori € 622,35	
Oneri speciali di sicurezza, già inclusi nei lavori € 8.263,37	
Importo dei lavori a base d'asta soggetti a ribasso	€ 602.709,02
SOMME A DISPOSIZIONE AMMINISTRAZIONE	
IVA sui lavori 10%	€ 61.159,47
Incentivo per funzioni tecniche art. 113 co. 2 Dig. 50/2016 pari al 2%	€ 12.231,89
Spese contributo ANAC	€ 375,00
Spese per accertamenti di laboratorio, provini etc. per accettazione materiali	€ 6.000,00
Liste in economia	€ 6.000,00
Imprevisti ed arrotondamenti	€ 2.638,90
TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE AMMINISTRAZIONE	88.405,26
IMPORTO COMPLESSIVO DEI LAVORI	700.000,00

10 Elenco degli elaborati del progetto definitivo

elaborato	elab01	Computo metrico estimativo
elaborato	elab02	Elenco prezzi
elaborato	elab03	Analisi prezzi
elaborato	elab04	Cronoprogramma
elaborato	elab05	Capitolato speciale d'appalto descrittivo e prestazionale
elaborato	elab06	Capitolato speciale d'appalto - norme generali e norme tecniche
elaborato	elab07	Piano di Sicurezza e di Coordinamento (PSC)
elaborato	elab08	Fascicolo dell'Opera
elaborato	elab09	Schema generale impianto elettrico
elaborato	elab10	Quadri elettrici
planimetria	plan01	Inquadramento generale
planimetria	plan02	Planimetria stato attuale
planimetria	plan03	Planimetria generale di progetto
planimetria	plan04	Planimetria e particolari impianto acquacoltura e sistema di monitoraggio
planimetria	plan05	Planimetria sistema di fitodepurazione sub-superficiale
planimetria	plan06	Planimetria e sezione letti H-SSF
planimetria	plan07	Planimetria e sezione letti V-SSF
planimetria	plan08	Planimetria e particolari sistema fitodepurazione flottante
planimetria	plan09	Planimetria impianto idraulico
planimetria	plan10	Planimetria impianti elettrici e sistema fotovoltaico
relazione	rel01	Relazione tecnica
relazione	rel02	Relazione idraulica
relazione	rel03	Relazione impianto elettrico e impianto fotovoltaico
relazione	rel04	Piano di manutenzione
relazione	rel05	Gestione delle terre e rocce da scavo