

PROGETTO MIFISSO

MICROORGANISMI AUTOCTONI E FITODEPURAZIONE PER LA SICUREZZA E LA
SOSTENIBILITÀ DEL BURRO E DEI FORMAGGI A LATTE CRUDO PRODOTTI IN
VALLE CAMONICA E NEL SEBINO BRESCIANO

Linee guida sugli impianti di fitodepurazione in quota applicati alle malghe



PSR
2014 2020
LOMBARDIA
L'INNOVAZIONE
METTE RADICI





Sommario

1	Premessa.....	1
2	Problematiche legate alle attività casearie in ambito montano	3
3	Prodotti del processo di caseificazione	6
3.1	Il Latte.....	6
3.2	Il Siero.....	7
3.2.1	Chimica e microbiologia	7
3.2.2	Utilizzo	8
3.3	Trattamenti, recupero e smaltimento dei reflui caseari.....	9
4	I sistemi di fitodepurazione	13
4.1	Principi generali	13
4.2	Normativa di riferimento	15
4.3	Campi di applicazione	19
4.4	I meccanismi di rimozione degli inquinanti.....	20
4.4.1	Solidi sospesi.....	22
4.4.2	BOD e COD	22
4.4.3	Azoto	22
4.4.4	Fosforo.....	23
4.4.5	Metalli pesanti.....	24
4.4.6	Sostanze organiche refrattarie	25
4.4.7	Batteri e virus	25
4.5	La flora.....	25
4.5.1	Idrofite emergenti	26
4.5.2	Specie erbacee	26
4.6	Tipologie impiantistiche.....	30
4.6.1	Sistemi a flusso superficiale.....	30
4.6.2	Sistemi a flusso sub-superficiale	30
4.7	Criteri di progettazione di un sistema integrato	32
4.8	Costi di realizzazione	33
4.9	Gestione degli impianti	34
5	Stato dell'arte della gestione dei reflui in ambito montano e vantaggi legati alla realizzazione di un sistema di pedo-fitodepurazione in alta quota	38
6	Protocollo sulla gestione degli impianti	42
7	Monitoraggio dell'efficacia di funzionamento.....	44





8	Manutenzione degli impianti di pedo-fitodepurazione in ambito montano	45
9	Impianto pilota di pedo-fitodepurazione Malga Blumone.....	46
9.1	Perché pedo-fitodepurazione e non solo fitodepurazione	49
9.2	Problematiche connesse alla realizzazione	50
9.3	Il sistema di pedo-fitodepurazione realizzato.....	52
9.4	Costi.....	61
9.5	Valutazione dell'efficacia di depurazione	61
9.5.1	Analisi pre-intervento.....	61
9.5.2	Analisi post-intervento	62
10	Conclusioni	65
11	Altri esempi realizzati	67
11.1	Adeguamento del sistema di scarico e depurazione dei reflui dell'agriturismo Terz'Alpe mediante fitodepurazione - Comune di Canzo (CO)	69
11.2	Progettazione preliminare, definitivo-esecutiva e Direzione Lavori dell'impianto di fitodepurazione a servizio del Rifugio Tonolini (BS).....	72
11.3	Realizzazione di impianti di pedo-fitodepurazione nell'ambito del Progetto LIFE+ Bioaquae a servizio del Rifugio Pontese e del Rifugio Savoia	78
11.4	Progetto BIOpass – Ripristino aree umide e impianto di pedo-fitodepurazione Alpe Foppa, Gran Prà e Gran Piano (PSR 2007-2013 Misura 323 Azione 1 Tipologia b)	84
11.5	Impianto di fitodepurazione a servizio del Rifugio Occhi Sandro all'Aviolo - Comune di Edolo (BS)	88
11.6	Impianto di fitodepurazione a servizio del Rifugio Gnutti, Comune di Sonico (BS)	91
11.7	Impianto di pedo-fitodepurazione a servizio del Rifugio Lissone - Comune di Savio dell'Adamello (BS)	94
11.8	Impianto di pedo-fitodepurazione a servizio del Rifugio San Fermo - Comune di Borno (BS)	97
12	Bibliografia	100





1 Premessa

La redazione del presente manuale si inserisce nell'ambito del **progetto MIFISSO (Microrganismi autoctoni e fitodepurazione per la sicurezza e la sostenibilità del burro e dei formaggi a latte crudo prodotti in Valle Camonica e nel Sebino Bresciano)** e mira a illustrare lo stato dell'arte circa la risoluzione di potenziali criticità legate al rilascio degli effluenti generati dall'attività agricola in malga, in ambienti montani isolati e non serviti da reti di servizio. Nelle zone di maggiore stazionamento della mandria e nelle vicinanze dei caseifici si possono, infatti, manifestare situazioni di degrado localizzato, dovute ad un eccesso di **restituzioni di reflui** che causano la selezione di specie nitrofile con fenomeni di eutrofizzazione.

L'attività agricola, anche in malga, genera effluenti che devono essere utilizzati ed infine smaltiti secondo indicazioni di legge. In particolare, quando sono presenti caseifici, sono possibili effluenti le acque di lavaggio dei locali e degli impianti di caseificazione, residui di latte e porzioni di siero o di scotta di risulta dal processo di caseificazione, reflui provenienti dalla stabulazione di suini e reflui civili, il tutto secondo proporzioni che dipendono dall'effettivo processo di caseificazione e di gestione impiegato, dall'utilizzo dei prodotti secondari, dalle caratteristiche degli impianti e dalla stagionalità di lavorazione. Normalmente i caseifici di malga sono ubicati in zone isolate e marginali, non sono quindi serviti da pubblica fognatura e i reflui non possono essere immessi direttamente in ambiente (pascoli, bacini, fiumi, ecc.). La salvaguardia delle acque dolci superficiali, inoltre, riveste una delle principali sfide odierne: alla notevole ricchezza naturalistica e ambientale a cui dà vita questa preziosa risorsa è contrapposta una drammatica pressione antropica dovuta al suo indispensabile utilizzo e all'elevato rischio di contaminazione, quale recettrice finale di fonti di inquinamento puntuali e diffuse provenienti dal territorio circostante all'interno del bacino idrografico.

La finalità principale del presente lavoro è perciò quello di costituire una guida per la progettazione e gestione di sistemi di fitodepurazione in **ambiti territoriali di media e alta quota**, ossia realtà in cui è fondamentale preservare il delicato equilibrio ambientale per giungere ad un miglior livello di compatibilità ambientale. La realizzazione di tali sistemi, adattandosi e inserendosi in modo naturale in contesti anche di pregio ambientale, rappresentano non solo una soluzione valida e ormai ampiamente consolidata da numerose esperienze internazionali e nazionali per il trattamento e affinamento di acque che presentano un carico inquinante di natura organica (acque di scarico di abitazioni civili, agriturismi, aziende agricole, alpeggi, etc.), ma sono anche occasione di grande interesse scientifico. Si vengono, infatti, a realizzare veri e propri habitat e ambienti acquatici assolvendo a tutte quelle molteplici funzioni che caratterizzano gli ecosistemi acquatici e palustri naturali, nello specifico: siti di sosta e rifugio per l'avifauna migratoria, habitat colonizzabili da numerose e preziose comunità di anfibi (molte delle quali oggetto di tutela a livello europeo) oltre che da altre biocenosi locali legate agli ambienti acquatici e palustri.

Nell'ambito delle diverse applicazioni e situazioni di impiego, gli impianti di fitodepurazione possono venir localizzati a valle di impianti di depurazione o di fosse Imhoff, prima del recapito finale delle acque nei corsi idrici recettori o nel suolo/sottosuolo.

Nonostante il rispetto dei limiti di legge, i sistemi di trattamento tradizionali di depurazione mantengono, livelli di inquinamento residuo spesso non idonei comunque all'ottenimento di elevati livelli di qualità nei corpi idrici recettori (es. nitrati, fosfati, colibatteri), specie in aree naturali tutelate. Passando attraverso sistemi di fitodepurazione, le acque vengono filtrate e affinate attraverso le diverse componenti (dal substrato, alla vegetazione, alla comunità batteriche) che partecipano in diverso modo e svolgono un



ulteriore rimozione del carico inquinante residuo ancora presente nelle acque di scarico (processo di affinamento).

Anche l'inquinamento di tipo diffuso veicolato dalla rete idrografica minore (rogge e fossi di scolo agricoli) oppure proveniente dal dilavamento superficiale può essere ridotto attraverso la realizzazione di questi sistemi di fitodepurazione, mediante la sistemazione, il modellamento e la diversificazione degli alvei dei canali irrigui oppure mediante la realizzazione di bacini naturaliformi colonizzati dalla tipica vegetazione acquatica (idrofite). Nei successivi capitoli verranno esplicitati con un maggior grado di dettaglio questi "sistemi naturali" di depurazione delle acque reflue.

Il presente manuale affronta in generale la tematica di gestione ecosostenibile dei reflui di natura organica in ambito montano con particolare approfondimento alle malghe caratterizzate dalla presenza di caseifici.

Utili indicazioni per i contenuti di queste linee guida derivano dall'ampia esperienza maturata dalla Comunità Montana della Valle Camonica in impianti di fitodepurazione già realizzati nella valle e che in questi anni sono stati anche oggetto di monitoraggio.



2 Problematiche legate alle attività casearie in ambito montano

Le acque reflue casearie prodotte in malga vengono generalmente considerate **refluo assimilato al domestico** (D. Lgs 152/2006) e come tali trattate. Come detto nel capitolo precedente, i caseifici di malga non sono dotati di rete fognaria pubblica e di conseguenza questo acuisce il problema dello smaltimento.

In queste strutture tradizionalmente vigeva un ampio uso dei prodotti secondari come il latticello per l'alimentazione umana o il siero per l'allevamento di maiali. Si trattava, però, di un allevamento allo stato semi-brado e di tipo familiare, dove pochi suini venivano tenuti in piccoli ricoveri specifici. Per varie ragioni, queste pratiche sono oggi molto meno diffuse e il numero di animali da latte non corrispondono più certamente ai piccoli numeri del passato, ponendo così problemi nella gestione sostenibile dei reflui in contesti di malga, come già detto in genere non serviti da pubblica fognatura.

Il siero può quindi essere parzialmente utilizzato dai suini o smaltito in concimaia, ma non sempre il numero dei suini allevati in alpeggio può essere aumentato, pena la necessità di gestire gli ulteriori problemi dei reflui zootecnici. Il pascolo allo stato brado, inoltre, non è del tutto compatibile con terreni soggetti a problematiche di carattere idrogeologico o con cotici erbosi di alto rilievo naturalistico e la pratica dell'apposizione dell'anello metallico al naso dell'animale, pur aiutando a contenere i danni al cotico e per quanto consentita, risulta ad oggi essere una pratica di mutilazione appena tollerata per problematiche di benessere animale.

In alcuni casi le condizioni al contorno del caseificio risultano anche proibitive: terreni in pendenza soggetti a ruscellamento o non transitabili, terreni sottili con affioramenti rocciosi, presenza a valle di zone umide e torbiere, zone a vegetazione di particolare pregio possono rendere ancora più rigido e complesso il mantenimento di un equilibrio nella gestione dell'attività casearia, rendendo poco praticabili le ipotesi di espansione della produzione casearia in alpe che, in alcuni casi, troverebbe ottimi riscontri di mercato e sarebbe il cardine della sostenibilità economica dell'attività agricola in quota.



Figura 1. Piana del Gaver – Parco dell'Adamello (Comune di Breno)



La tutela dell'ambiente in cui si trovano le malghe impone poi l'adozione di adeguati strumenti di controllo della produzione che, oltre a garantire un prodotto lattiero-caseario sicuro e di qualità, permettano di **ridurre al minimo l'impatto ambientale** generato dai reflui di caseificazione e burrificazione.



Figura 2. Malga in quota

L'introduzione di un trattamento di fitodepurazione dei reflui potrebbe perciò migliorare il profilo ambientale della malga e della produzione casearia, soprattutto laddove ricadenti in territori dal sensibile pregio naturalistico e protetti (Siti Rete Natura 2000), come nel caso del progetto riportato in questo manuale. A maggior ragione in territori sensibili come i Siti Rete Natura 2000, dove la sostenibilità ambientale, oltre ad essere necessaria per la conservazione dei siti, è fondamentale anche perché condiziona l'accettabilità del prodotto finito da parte del consumatore e l'esistenza stessa dell'attività. Una parte consistente delle vendite in malga, infatti, si realizza grazie al turismo di tipo ambientale e rurale costituito principalmente da escursionisti che si muovono alla ricerca dei valori naturalistici e che cercano sempre più coerenza anche nelle attività e nelle pratiche di alpeggio.



Figura 3. Pascolo di vacche da latte in ambito montano





Esistono in bibliografia indicazioni ed esperienze progettuali di impianti di fitodepurazione applicati a realtà casearie di scala industriale (Grana Padano, Parmigiano Reggiano) ed in condizioni ambientali differenti (Pianura Padana). Questi impianti sono in grado di trattare decine di metri cubi di reflui al giorno, finalizzando il processo all'ottenimento di acque di scarico compatibili con lo scarico diretto in acque superficiali regolamentato dalla normativa. La trasposizione di queste esperienze in caseifici di malga necessita, però, di un percorso valutativo ed applicativo alle reali condizioni di un caseificio di malga e dell'ambiente ad esso circostante. Innanzitutto si tratta di valutare l'effettiva opportunità, nel contesto dell'azienda agricola e della malga considerata, di applicare un sistema di questo tipo, anche alla luce dell'effettiva convenienza ed esigenza di adottare uno strumento in più per la gestione del refluo caseario. Successivamente, si tratta di capire, nell'ampio novero delle possibilità degli impianti di fitodepurazione, quali accorgimenti impiantistici sono necessari per far fronte alle caratteristiche specifiche dei reflui caseari, alla discontinuità e stagionalità della produzione, alla necessità di utilizzare specie vegetali diverse ed adatte al contesto (sia dal punto di vista climatico, sia dal punto di vista vegetazionale) e alle eventuali difficoltà legate specificatamente al sito di lavoro.

La Comunità Montana di Valle Camonica - Parco dell'Adamello negli ultimi 10 anni ha realizzato o contribuito a realizzare alcuni impianti di fitodepurazione nei rifugi alpini, perseguendo una politica di maggiore sostenibilità degli insediamenti isolati in alta montagna e quindi di riduzione del carico organico (con particolare riferimento ad azoto e fosforo) che confluisce nella rete idrografica del fiume Oglio, maturando al contempo un'esperienza nella gestione di questa tipologia di impianti, sebbene non destinati specificatamente al trattamento di reflui caseari.

La definizione di una modalità aggiuntiva di gestione del refluo caseario può portare ad acquisire un maggior grado di libertà aziendale, ad esempio, nell'incrementare le vacche fresche nella mandria per poter aumentare, a pari carico, i quantitativi giornalieri di formaggio prodotti. La stessa può portare altresì alla riduzione del carico di sostanza organica e nutrienti a valle nella rete idrografica maggiore, nonché al miglioramento ambientale delle condizioni dei cotici erbosi e della rete idrica superficiale immediatamente a valle del caseificio di malga.

L'adozione di innovazioni capaci di garantire una **maggior sostenibilità ambientale** delle attività casearie di alpeggio è una esigenza fortemente sentita dagli Enti locali in funzione anche dell'attrattiva turistica in questi luoghi.



3 Prodotti del processo di caseificazione

3.1 Il Latte

Uno dei principali utilizzi del latte, soprattutto in Italia, risulta essere la trasformazione casearia; nel nostro paese oltre il 70% del latte è destinato alla produzione di formaggi (Salvadori del Prato, 1998).

Si tratta di una miscela di componenti che possono trovarsi in soluzione (Sali e vitamine idrosolubili), in fase colloidale (proteine, parte dei fosfati e citrati di calcio) o in emulsione (lipidi e proteine liposolubili). Il latte contiene anche altre componenti in misura inferiore come enzimi, ormoni, elementi in tracce e gas disciolti (diossido di carbonio, ossigeno e azoto).

Tabella 1. Caratteristiche chimico-fisiche del latte

pH	Densità media (g/ml)	Punto di congelamento/ebollizione (°C)	Kcal/Kg (Secchieri, 2008)
6,5 - 6,7	1,032	-0.55/>100	712

Tabella 2. Composizione chimica media del latte vaccino (Salvadori del Prato, 1998)

Componente	g/L	% p/p
Acqua	900 - 910	86,9 - 88,5
Grasso	35 - 45	3,3 - 4,5
Lattosio	47 - 52	4,8 - 5,1
Sostanze azotate	33 - 36	2,8 - 3,3
Ceneri	9,0 - 9,5	0,6 - 0,7
Solidi totali	125 - 130	11 - 13

Quasi il 90% del latte è costituito da acqua in cui si trovano disciolti i carboidrati, per la maggior parte costituiti dal lattosio (disaccaride composto da D-glucosio e da D-galattosio) oltre che da 1 carboidrati legati alle proteine che contribuiscono alla stabilizzazione delle caseine e intervengono nel processo di sintesi del lattosio (Corradini, 1995). Il tenore di grasso nel latte di vacca, tra il 3,3 e il 4,5%, presenta il range di variazione più elevato di tutte le componenti. I trigliceridi costituiscono il 98 - 99% della frazione grassa, mentre il rimanente 1 - 2% è costituito da fosfolipidi, steroli, carotenoidi, dalle vitamine liposolubili A, D, E, K, e da qualche traccia di acidi grassi (Webb e Johnson, 1965). Nel latte vaccino il contenuto di ceneri risulta piuttosto stabile, attorno allo 0,7%. Il latte di vacca contiene mediamente il 3.5% (g/l) di sostanze azotate, rappresentate in gran parte da molecole organiche come le proteine, di queste circa il 78% sono caseine, circa il 20% è costituito da proteine del siero, mentre il restante 2 - 3% è costituito da componenti non proteiche non dializzabili (urea, nucleotidi, aminoacidi). Le caseine del latte esistono sotto forma di diverse frazioni e la più abbondante è la α -caseina (proteina eterogenea, con numerose varianti, quali la α -s1 e la α -s2), seguita dalla β caseina, dalla k-caseina (fondamentale in fase di caseificazione) e dalla γ -caseina (che deriva dalla degradazione della β -caseina). Le tre principali proteine del siero sono invece la β -lattoglobulina, la α -lattoalbumina e l'albumina di siero bovino; esse rappresentano rispettivamente il 50%, il 20% e il 10% della frazione siero proteica (Hallen, 2008). Il restante 20% è composto da immunoglobuline e proteine ad attività enzimatica.

Durante il processo di caseificazione, e in particolare in fase di coagulazione, le proteine del siero non vengono inglobate nella cagliata e vengono perciò rimosse assieme al siero.

3.2 Il Siero

Il siero è un prodotto secondario di limitato utilizzo in campo alimentare che si ottiene dal processo di caseificazione e in generale dalle lavorazioni dell'industria casearia. Si tratta della frazione liquida risultante dalla coagulazione del latte e dalla successiva separazione della cagliata.



Figura 4. Processi generali delle lavorazioni dell'industria casearia

Il siero ha un colore giallastro/verdognolo, talvolta con riflessi blu, a seconda della tipologia e della qualità del latte di partenza (Smithers, 2008). Per ogni chilo di formaggio prodotto si ottengono in media circa 9 litri di siero; da questo dato è facile immaginare e capire come i grossi caseifici ne producano in enormi quantità.

Originariamente il siero in eccesso veniva usato come mangime per maiali, come fertilizzante, o semplicemente scartato. In tempi più recenti, attorno alla metà del 1600, il siero divenne una bevanda di moda nelle città inglesi, con l'apertura di "whey houses" che potremmo definire come l'analogo degli odierni caffè; nel XIX secolo il siero veniva utilizzato come ingrediente in molte bevande, mentre nel XX secolo vi fu un fiorire di studi per l'estrazione delle sue componenti che venivano poi utilizzate nelle industrie cosmetiche e farmaceutiche. Il crescente interesse nelle applicazioni industriali del siero ha portato allo sviluppo di processi per il recupero di questo prodotto e delle sue componenti. In Italia, negli anni 90, vennero istituiti i primi centri per il recupero e la concentrazione del siero.

3.2.1 Chimica e microbiologia

La composizione chimica e microbiologica del siero è simile a quella del latte, in quanto prodotto di derivazione del processo di caseificazione, con l'eccezione per le caseine e i grassi, i quali rimangono quasi completamente nel formaggio.

Il siero è una miscela complessa di tipo acquoso contenente circa il 7% di solidi in soluzione. Tali solidi sono composti dal 10-12% di proteine, dal 74% di lattosio, dall'8% di minerali, dal 3% di grasso e da un ulteriore 3% di acido lattico (Morr, 1989). I fattori che influenzano maggiormente la composizione del siero sono la qualità del latte e la tecnica di produzione del formaggio (temperatura di coagulazione e tempo di taglio della cagliata).



Tabella 3. Esempio di composizione chimica del siero

Parametri	Valori
pH	5,5 - 6
COD (mg/L)	70 000
Densità (g/cm ³)	1,025
Carica microbiologica (UFC/g)	120 000
Ceneri (g/L)	5,5
Grassi (g/L)	0,5
Lattosio (g/L)	47
Acido L-lattico (g/L)	1,3
Proteine totali (g/L)	8,6
NPN (g/L)	0,35
Sostanza secca (g/L)	64

Esistono due varietà di siero: il siero dolce e il siero acido, prodotte da due diverse modalità di coagulazione del latte.

Il siero dolce (pH = 6-7) si genera con l'utilizzo del caglio, mentre il siero acido (pH<5) si ottiene quando la coagulazione deriva da una parziale fermentazione del lattosio ad acido lattico o dall'aggiunta di acidi minerali.

Rispetto al siero dolce, quello acido ha un più alto contenuto di ceneri, ed in particolare di calcio, un basso contenuto di siero-proteine e un più basso tenore di lattosio. Il siero contiene alcune vitamine come l'acido pantotenico, la vitamina C, tracce di vitamina B (tiamina), ecc.; il suo colore giallo paglierino è causato dalla presenza della riboflavina (vitamina B₂) e contiene, spesso frammenti di coaguli di caseine e una percentuale di grasso di circa lo 0,2-0,5%.

Per la ampia varietà di sieri disponibili risulta sempre raccomandabile disporre e richiedere l'analisi del siero che si intende trattare, con riferimento almeno ai seguenti parametri: ST (solidi totali), COD o SV (solidi volativi), TKN o N totale (azoto presente).

Tabella 4. Componenti principali di siero e scotta (A.I.N.T. Nord Barese/Ofantino)

Componente	Siero dolce (%)	Siero acido (%)	Scotta (%)
Solidi totali	6,4	6,2	5,67
Proteine	0,8	0,75	0,39
Grasso	0,5	0,04	0,07
Lattosio	4,6	4,2	4,7
Ceneri	0,5	0,8	0,53
Acido lattico	0,05	0,4	-

3.2.2 Utilizzo

In passato il siero era considerato come solo il sottoprodotto derivante dalla produzione del formaggio. Recentemente alcuni studi hanno dimostrato le sue proprietà benefiche nei confronti di diverse patologie, tanto da essere attualmente impiegato per alcuni trattamenti nei centri termali o come nutraceutico in alcuni centri di cura.

Oggi giorno circa il 50% del siero prodotto a livello mondiale viene trattato e processato per poi essere riutilizzato nell'industria alimentare. Di questa parte, il 45% viene utilizzato direttamente in forma liquida, il 30% come siero di latte in polvere, il 15% come prodotto a base di lattosio o derivati del lattosio, e il resto





come siero proteine concentrate (Gonzalez Siso, 1996). Senza alcun trattamento il siero di latte può essere aggiunto all'acqua di abbeveraggio di animali da reddito. Altre possibilità di utilizzo del siero prevedono dei trattamenti preliminari per ottenere diversi tipi di prodotti quali il siero condensato, il siero in polvere acido, dolce, demineralizzato, delattosidato, deproteinizzato. Il siero in forma condensata e il siero in polvere mantengono a lungo le qualità del siero fresco, facilitandone il trasporto e la trasformazione.

I potenziali utilizzi delle componenti del siero come additivi funzionali e nutrizionali sono numerosi. La polvere dolce di siero è ampiamente utilizzata in caseifici, panifici, industrie dolciarie, industrie di trasformazione della carne, nell'acqua di abbeveraggio e nelle industrie specializzate nella produzione del latte per gli infanti. La polvere acida di siero ha invece un utilizzo più limitato; essa viene usata prevalentemente come agente coagulante nei processi di caseificazione acida. La polvere acida di siero viene utilizzata anche per la produzione di sorbetti, salse di formaggio (nelle quali si cerca di raggiungere un sapore sapido e piccante) e bevande a base di frutta (per mantenere un pH basso) (Kosikowski, 1979). Le proteine del siero di latte vengono utilizzate in zuppe, principalmente per la loro capacità emulsionante, ma anche in salse e conserve, per la loro buona solubilità in ambiente acido e per la loro capacità di trattenere molta acqua nei processi di riscaldamento. Attualmente il latte destinato all'alimentazione degli infanti in sostituzione del latte materno, è ottenuto prevalentemente dal latte di vacca. Tuttavia il latte a base di siero potrebbe rappresentare un'alternativa poiché contiene il giusto rapporto proteine/caseine (60/40) e un ridotto contenuto di minerali. Tutti i nutrienti richiesti dal neonato nei primi 4-6 mesi di vita potrebbero essere forniti da latte a base di siero, additivato con ferro, fluoro e vitamina D. Il siero può essere utilizzato anche come substrato per la crescita di microrganismi produttori di aminoacidi (lisina, treonina, acido glutammico), vitamine e diversi acidi utili nell'industria alimentare (acetico, propionico, lattico, citrico). Un ulteriore utilizzo consiste nella produzione di metano, idrogeno e etanolo mediante digestione anaerobica. Questi prodotti possono essere utilizzati come una fonte di energia "in situ" per il trattamento dei rifiuti industriali.

3.3 Trattamenti, recupero e smaltimento dei reflui caseari

Il siero viene indicato dalla normativa vigente come rifiuto **speciale non pericoloso** che dev'essere sottoposto ad intervento di depurazione al fine di farlo rientrare nei limiti previsti dal D.Lgs. n.152/06 prima di poterlo reimmettere in ambiente.

Secondo l'art. 184, comma 3: *"Sono rifiuti speciali: a) i rifiuti da attività agricole e agro-industriali, ai sensi e per gli effetti dell'art. 2135 c.c."*. L'art. 2135, così sostituito dall'art. 1, comma 1, D.Lgs. n. 228 del 2001 indica: *"È imprenditore agricolo chi esercita una delle seguenti attività: coltivazione del fondo, selvicoltura, allevamento di animali e attività connesse. (...). Si intendono comunque connesse le attività, esercitate dal medesimo imprenditore agricolo, dirette alla manipolazione, conservazione, trasformazione, commercializzazione e valorizzazione che abbiano ad oggetto prodotti ottenuti prevalentemente dalla coltivazione del fondo o del bosco o dall'allevamento di animali (...)"*.

La "non pericolosità" del siero come rifiuto è dettata dalla non corrispondenza dello stesso a quanto riportato all'Allegato I *"Caratteristiche di pericolo per i rifiuti"* della parte quarta del D.Lgs. n. 152/2006 (allegato così sostituito dall'art. 39, comma 5, del D.Lgs. n. 205 del 2010).

La classificazione, inoltre, dei rifiuti caseari d'interesse è descritta nell' *"ALLEGATO D - Elenco dei rifiuti istituito Decisione della Commissione 2000/532/CE del 3 maggio 2000 (allegato così sostituito dall'allegato III, ex art. 35 della Legge n. 108 del 2021)"* sempre nella parte quarta del D.Lgs. n. 152/2006.





Tale classificazione prevede la catalogazione dei rifiuti caseari principali nei codici **EER 02 05 Rifiuti dell'industria lattiero-casearia**:

- **02 05 01** scarti inutilizzabili per il consumo o la trasformazione;
- **02 05 99** rifiuti non specificati altrimenti.

Come già precedentemente accennato, il siero non risultava appetibile a livello commerciale e il suo smaltimento comportava gravi conseguenze a livello ambientale (Clément et al., 2007). Recentemente con il progressivo aumento della consapevolezza dei consumatori in materia di nutrizione, qualità e rispetto dell'ambiente, l'industria casearia ha riconosciuto il valore delle componenti del siero (Jayaprakasha e Brueckner, 1999) che contiene circa il 50% dei solidi totali del latte, tra cui il 100% di lattosio e il 20% di proteine (Smithers, 2008). Il siero, assunto attraverso la dieta, ha effetti benefici per le sue capacità antiossidanti, antiipertensive, antitumorali, ipolipodemiche, antivirali, antibatteriche (Marshall, 2004).

Per tutte queste ragioni sono state sviluppate diverse tecnologie di valorizzazione e trattamento di questo sottoprodotto che mirano al recupero e al riutilizzo delle sue componenti, oltre che all'abbattimento del suo potere inquinante. Proprio a questo proposito, di recente, sono state introdotte delle limitazioni per lo smaltimento del siero, a causa della sua elevata *Chemical Oxygen Demand* (COD).

È bene tenere a mente che le **ipotesi di trasformazione industriale**, che vengono successivamente riportate per conoscenza, **si mal conciliano** con la localizzazione periferica dei caseifici di malga **per problemi logistici** e pertanto risultano poco appetibili.

Le acque reflue casearie sono del tutto prive di agenti tossici o inibitori dell'attività batterica, ma a causa del loro elevato contenuto organico, non possono essere scaricate direttamente nei corpi idrici e non sono sempre semplici da trattare negli impianti di depurazione comunali/consortili a causa dell'elevata concentrazione delle sostanze organiche in esse contenute.

Le caratteristiche delle acque reflue casearie sono molto variabili in funzione della tipologia di lavorazione, della dimensione dell'impianto e altri parametri. Indicativamente una tonnellata di latte lavorato produce:

Tabella 5. Componenti principali di siero e scotta (A.I.N.T. Nord Barese/Ofantino)

Componente	Valori
Quantità di siero (ton)	0,8
Quantità di refluo (m ³)	2,5 - 3,5
COD (mg/L)	2000 - 3500
TKN (mg/L)	40 - 90
P totale (mg/L)	15 - 25
Cloruri (mg/L)	500 - 800

La scotta è il residuo della lavorazione della ricotta, pertanto è costituita da siero intero depauperato in grasso e proteine e arricchito in sali e acidi organici: dal punto di vista qualitativo, come refluo, le sue caratteristiche non differiscono sostanzialmente da quelle del siero.



Tabella 6. Composizione chimica dei sottoprodotti del processo di caseificazione determinati nella campagna analitica

Parametro	Unità di misura	Sottoprodotto	
		Siero	Scotta
Azoto Organico	mg/L N	946,6	590,7
BOD ₅	mg/L O ₂	20 500	40 500
COD tal quale	mg/L O ₂	52 360	66 080
Potassio	mg/L K ₂ O	1 710	2 040
Sodio	mg/L Na	392	1 435
Fosforo	mg/L P ₂ O ₅	842,7	769,4
Solidi Sospesi Totali	mg/L	4 985	6 170
Cloruri	mg/L Cl	20 380	13 290
Tensioattivi anionici	mg/L MBAS	n.d.*	n.d.
Tensioattivi non ionici	mg/L PPAS	n.d.	n.d.
Solidi disciolti	mg/L	50 720	66 030
Alcalinità M	mg/L CO ₃	0	0
pH	Unità pH	4,74	6,18
Solfati	mg/L SO ₄	n.d.	n.d.
Calcio	mg/L Ca	375	310
Magnesio	mg/L Mg	72,9	262,6
Ammoniaca	mg/L NH ₄	117,4	25,3
Nitrati	mg/L NO ₃	n.d.	n.d.
Alcalinità	mg/L HCO ₃	1 464	1 464
Carica batterica a 22°C	UFC/mL	40 000 000	1 500
Carica batterica a 36°C	UFC/mL	22 900 000	2 800
SAR	Unità	6,9	20,5
SAR corretto	Unità	9,3	22

*n.d. parametro non determinabile analiticamente a causa di interferenze di composti grassi

Le acque reflue dei caseifici presentano generalmente concentrazioni relativamente elevate di COD, azoto e fosforo, in accordo con la natura prettamente organica del carico inquinante presente in tale refluo: grassi del latte, carboidrati (lattosio), proteine. Anche in questo caso i valori sono sempre tali da non permettere, sulla base della vigente normativa, lo scarico in acque superficiali senza aver prima effettuato idonei trattamenti depurativi.

Le acque reflue di caseificio e delle attività di lavorazione latte e formaggi si prestano, pertanto, a trattamenti depurativi analoghi a quelli utilizzati per le acque reflue urbane, quali sistemi a fanghi attivi con sedimentazione secondaria, filtri percolatori con sedimentazione secondaria, <https://it.wikipedia.org/wiki/Fitodepurazione> bioreattori a membrana e fitodepurazione.

Il trattamento depurativo prescelto va sempre preceduto da pretrattamenti preliminari mirati alla rimozione dei grassi/oli animali (disoleatura) e dei solidi sospesi.

Prima del trattamento depurativo vero e proprio, i reflui si possono far confluire in una vasca di equalizzazione/omogeneizzazione nella quale vengono livellate le punte istantanee del carico idraulico/carico organico che si verificano nell'arco della giornata lavorativa. La sedimentazione primaria non è necessaria poiché il materiale inquinante si trova totalmente in forma colloidale e in soluzione.

La fitodepurazione può essere utilizzata con successo per il trattamento dei reflui caseari; a riguardo ci sono esperienze internazionali corredate di dati di monitoraggio che ne attestano la piena efficienza.



Anche in Italia ci sono diverse applicazioni nel settore che hanno registrato un ottimo risultato in termini di efficienze depurative ed affidabilità di funzionamento; la tecnica viene inserita anche dal CRPA (Centro Ricerche Produzioni Animali) come una delle soluzioni migliori, soprattutto per piccoli e medi caseifici quando l'adozione di un impianto tecnologico risulta una soluzione non sostenibile sia per la richiesta di manodopera specializzata che per gli alti costi energetici. La fitodepurazione è invece una tecnologia semplice e caratterizzata da costi di gestione molto contenuti che ben si adatta a queste realtà.

I sistemi di fitodepurazione applicati all'industria casearia garantiscono il rispetto dei più stringenti limiti imposti dalla Normativa vigente. La lavorazione del formaggio richiede condizioni di elevata salubrità ambientale per garantire lo svolgimento ottimale del processo di caseificazione e la maturazione del prodotto. Devono pertanto essere impiegate acque di buona qualità per i lavaggi quotidiani. A seconda dell'organizzazione dello stabilimento e dell'attenzione posta dagli addetti ai lavaggi nel limitare le perdite di latte e siero e nel contenere l'utilizzo di acqua nei caseifici si riscontrano valori molto variabili di acque reflue, sia come portata unitaria sia come concentrazione.

Il siero può essere usato come materia prima per diversi trattamenti biologici. Durante questi processi il lattosio, le proteine e la materia organica riescono a essere recuperati.

L'efficienza dei processi di recupero viene monitorata valutando la riduzione della richiesta biochimica di ossigeno (BOD) e la riduzione della domanda chimica di ossigeno (COD). I trattamenti biologici descritti in letteratura sono la digestione aerobica e anaerobica, l'idrolisi e la fermentazione.

I primi studi per la trasformazione del siero iniziarono a partire dagli anni '70, con l'applicazione dei processi di digestione aerobica, caratterizzati da una degradazione della materia organica relativamente veloce, a una temperatura di 22-24°C. I sistemi aerobici dimostrarono tuttavia una bassa riduzione degli inquinanti, senza alcuna valorizzazione dei prodotti ottenuti dal trattamento. Al contrario nei trattamenti anaerobici, il lattosio veniva utilizzato come substrato per la produzione di composti di valore, ottenendo al contempo la riduzione degli inquinanti nelle acque reflue.

Durante i trattamenti di tipo anaerobico gli inquinanti vengono convertiti in prodotti gassosi come il diossido di carbonio e il metano che può essere usato come fonte di energia alternativa (Prazeres et al., 2012). La digestione anaerobica del siero viene condotta normalmente in condizioni mesofile (35-37°C) e porta alla biodegradazione delle proteine con formazione di polipeptidi, aminoacidi e ammoniaca.

Altri trattamenti mirano alla conversione del siero nei suoi prodotti di idrolisi, come polipeptidi, aminoacidi, ammoniaca, glucosio, galattosio ma anche in prodotti di fermentazione come l'etanolo e l'acido lattico utilizzabili in diverse applicazioni industriali. L'idrolisi chimica, associata all'osmosi inversa per la rimozione dell'acqua e l'ultrafiltrazione per la concentrazione del siero in frazioni, produce il cosiddetto retentato che costituisce circa il 90% del volume iniziale del siero e contiene tra l'80 e l'85% dei solidi del siero e più del 90% del lattosio del siero (Ko e Chipley, 1983). L'attuazione, poi, di determinati trattamenti termici sul retentato portano alla formazione di legami tra le proteine che, andando incontro ad aggregazione, formano un prodotto conosciuto con il nome di microparticolato di siero proteine (Nicolai, 2007; Nicolai e Durand, 2007). Il microparticolato può essere utilizzato nell'industria alimentare come agente schiumogeno, gelificante, emulsionante, stabilizzante, con un miglioramento delle qualità sensoriali e della texture del prodotto finale (Mangino, 1984).





4 I sistemi di fitodepurazione

Ricerche svolte ed esperienze ormai acquisite a livello internazionale hanno messo in evidenza, portando a definirne anche una stima quantitativa, come i sistemi di fitodepurazione rappresentano una soluzione ideale per l'abbattimento del carico inquinante in ingresso, specialmente in contesti in cui non è possibile utilizzare sistemi depurativi tradizionali o allacciarsi direttamente alla rete fognaria.

4.1 Principi generali

La fitodepurazione è un naturale processo di depurazione che avviene nelle aree umide naturali dove, ad opera di organismi animali e/o vegetali presenti nel suolo e nelle acque, che costituiscono il filtro biologico, si attuano meccanismi di depurazione naturale tramite processi fisici, chimici e biologici (filtrazione, assorbimento, assimilazione da parte degli organismi vegetali e degradazione batterica). Trattasi dunque di una capacità intrinseca che possiedono tutti gli ecosistemi acquatici i quali, attraverso le proprie componenti, svolgono in modo naturale la depurazione delle acque, evitando dunque l'impiego di sostanze chimiche.

Negli ultimi decenni si sono approfondite notevolmente le conoscenze delle dinamiche naturali di tali ambienti fino a determinarne in modo molto realistico le efficienze depurative e poterli così ricreare artificialmente sfruttandone e ottimizzandone la capacità depurativa e, nel contempo, creando anche habitat di elevato pregio naturalistico.

Negli impianti di fitodepurazione, le varie componenti costitutive (substrato e piante acquatiche) assumono importanti compiti nella trasformazione e rimozione del carico inquinante residuo presente nelle acque che vi vengono recapitate.

Nell'ambito montano le principali componenti dei sistemi di fitodepurazione e i relativi processi depurativi che avvengono sono descritti di seguito:

- Il **substrato** (argilla, sabbia e ghiaia), oltre a costituire il supporto della vegetazione, svolge attivamente un'azione di filtrazione meccanica e chimica. Esso rappresenta un complesso sistema di competizione biologica nei confronti delle cariche batteriche presenti nei reflui; inoltre componenti quali le argille hanno una grande capacità di adsorbimento di alcuni composti quali il fosforo e l'azoto ammoniacale.
- La **microfauna** del terreno degrada il carico organico presente (processi quali rimozione del carbonio, nitrificazione dell'azoto ammoniacale, denitrificazione dell'azoto nitrico) trasformandolo in nutrienti disponibili per le specie vegetali del sistema.
- La **vegetazione**, attraverso l'apparato radicale, apporta ossigeno in profondità (permettendo lo svolgersi dei processi degradativi ossidativi), assorbe nutrienti dal terreno, riducendone la concentrazione nelle acque in uscita, e, attraverso i meccanismi di evapotraspirazione, riduce il quantitativo totale delle acque che comunque vengono scaricate nell'ambiente esterno.



Figura 5. Impianto di pedo-fitodepurazione a servizio del Rifugio Savoia presso il Lago Nivolet (Parco del Gran Paradiso, AO)



Figura 6. Piantine di *Phragmites australis* impiegate nell'impianto di fitodepurazione di Capo di Lago (Darfo Boario Terme, BS)





4.2 Normativa di riferimento

Il Decreto Legislativo n. 152/99 introduce per la prima volta indicazioni in merito all'adozione di sistemi naturali per la depurazione delle acque. Stabilisce che per impianti di depurazione con meno di 2.000 Abitanti Equivalenti debbano essere adottati "sistemi appropriati di depurazione", facendo esplicito riferimento all'impiego del lagunaggio e della fitodepurazione. Successivamente tali concetti vengono ripresi dal Decreto Legislativo n. 152/2006, con l'indicazione che *"per tutti gli insediamenti con popolazione equivalente compresa tra 50 e 2.000 abitanti equivalenti, si ritiene auspicabile il ricorso a tecnologie di depurazione naturale quali il lagunaggio o la fitodepurazione"*.

L'impiego di tali tecniche "naturali" risulta quindi attuabile per la **depurazione dei reflui di piccoli centri abitati**, con particolare riferimento a quei piccoli nuclei abitativi, case sparse, agriturismi, ristoranti, campeggi, ecc., aventi fluttuazioni delle utenze settimanali e/o stagionali.

La Regione Lombardia disciplina lo scarico di acque reflue tramite il Regolamento Regionale n.3 del 24 marzo 2006 *"Disciplina e regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie"* e la D.G.R. n. 8/2318 del 5 aprile 2006 *"Norme tecniche regionali in materia di trattamento degli scarichi di acque reflue"*.

Con il Regolamento Regionale sopra citato vengono regolamentati:

- gli scarichi di acque reflue domestiche e di acque reflue ad esse assimilabili;
- gli scarichi delle reti fognarie;
- il regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche, di acque reflue assimilate e di reti fognarie;
- i campionamenti e gli accertamenti analitici.

Il regolamento regionale prevede regimi diversi per gli scarichi delle pubbliche fognature secondo la potenzialità dello scarico e il recapito, nonché individua le aree sensibili (bacini idrografici dei laghi) e le aree vulnerabili da nitrati, imponendo per queste limiti più severi.

La tabella che segue riassume la **disciplina degli scarichi civili della Regione Lombardia**. Si rilevano maggiori prescrizioni se le acque trattate sono recapitate in corsi d'acqua utilizzati a scopo potabile, per le quali si rende necessario un trattamento di abbattimento della carica batterica.



Tabella 7. Riassunto della disciplina degli scarichi civili in Lombardia

Abitanti Equivalenti	Tipo di trattamento	Valori limite
Pubbliche fognature		
< 200 A.E. Su suolo	Vasca Imhoff seguita da trincea di subirrigazione senza drenaggio	Fatto salvo eventuali prescrizioni specifiche previste dall'autorizzazione allo scarico, non vengono previsti valori limite
< 200 A.E. In acque superficiali	Vasca Imhoff seguita da un ulteriore trattamento costituito da trincea di subirrigazione con drenaggio o fitodepurazione o filtrazione su tela	Fatto salvo eventuali prescrizioni specifiche previste dall'autorizzazione allo scarico, non vengono previsti valori limite
≥ 200 < 400 A.E. Su suolo	Vasca Imhoff seguita da biodischi o fitodepurazione o lagunaggio e, in fine, subirrigazione senza drenaggio	BOD ≤ 60 mg/l COD ≤ 160 mg/l Solidi sospesi ≤ 80 mg/l Fosforo totale ≤ 2 mg/l
≥ 200 < 400 A.E. In acque superficiali	Vasca Imhoff seguita da biodischi e subirrigazione con drenaggio oppure vasca Imhoff seguita da fitodepurazione o lagunaggio oppure vasca Imhoff seguita da biodischi e filtrazione su tela o sedimentazione secondaria.	BOD ≤ 60 mg/l COD ≤ 160 mg/l Solidi sospesi ≤ 80 mg/l Fosforo totale ≤ 2 mg/l
≥ 400 < 2.000 A.E. In acque superficiali	Trattamento secondario	BOD ≤ 40 mg/l COD ≤ 160 mg/l Solidi sospesi ≤ 60 mg/l NH ₄ ⁺ ≤ 25 mg/l
≥ 400 < 2.000 A.E. Nel suolo (vietato in aree vulnerabili)	Trattamento secondario che assicurano il rispetto della tabella 3 Legge Regionale	BOD ≤ 25 mg/l COD ≤ 125 mg/l Solidi sospesi ≤ 35 mg/l NH ₄ ⁺ ≤ 30 mg/l Fosforo totale ≤ 4 mg/l Tensioattivi totali ≤ 2 mg/l
≥ 2000 < A.E. ≤ 10000 In acque superficiali		BOD ≤ 25 mg/l COD ≤ 125 mg/l SST ≤ 35 mg/l Fosforo totale ≤ 2 mg/l (laghi)
Insedimenti isolati		
< 50 A.E.	Fosse Imhoff, subirrigazione	Materiali sedimentabili ≤ 0.5 ml/l
≥ 50 A.E.	Come disciplina degli scarichi fognari della stessa potenzialità	



Nel Regolamento Regionale n. 3/2006 art. 8 comma 1, si legge che i nuovi scarichi degli insediamenti isolati di carico inferiore a cinquanta A.E. non possono essere recapitati:

- in corpi d'acqua superficiali;
- sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo, nelle zone appartenenti al bacino idrografico dei laghi delimitate dalla fascia di un chilometro dalla linea di costa.

I vecchi scarichi d'insediamenti isolati devono essere adeguati alle prescrizioni del comma 1 entro tre anni dalla data di entrata in vigore del regolamento.

Con la D.G.R. n.8/2318 del 5 aprile 2006 "*Norme tecniche regionali in materia di trattamento degli scarichi di acque reflue*", la Regione individua i trattamenti appropriati cui devono essere sottoposti gli scarichi di acque reflue urbane provenienti da agglomerati con meno di 2000 abitanti equivalenti.

Secondo quanto si legge nel regolamento, "*il trattamento deve essere individuato con l'obiettivo di rendere semplice la manutenzione e la gestione, di sopportare adeguatamente forti variazioni orarie del carico idraulico e organico e di minimizzare i costi gestionali*"; in tale contesto è precisato che la tipologia di trattamento può equivalere a un trattamento primario o di un trattamento secondario a seconda della soluzione tecnica adottata e dei risultati depurativi raggiunti ed è auspicato il ricorso a tecnologie di depurazione naturali, quali il lagunaggio o la fitodepurazione, o a tecnologie con filtri percolatori o impianti di ossidazione totale.

Di seguito si riportano i trattamenti indicati dal regolamento:

1. areazione estensiva;
2. reattori biologici;
3. dischi biologici;
4. letti percolatori;
5. membrane;
6. processi a biomassa adesa in letto mobile (*moving bed*);
7. lagunaggio aerato;
8. lagunaggio naturale (stagni biologici);
9. fitodepurazione con macrofite;
10. infiltrazione percolamento;
11. fosse settiche;
12. vasca Imhoff;
13. dispersione per subirrigazione.

Nella figura di seguito riportata sono individuati i campi di concreta applicabilità dei diversi trattamenti in termini di Abitanti Equivalenti serviti. Come indicato nel Regolamento "*la valutazione riportata tiene conto degli aspetti gestionali ed economici, che rendono molti dei trattamenti intensivi non idonei a potenzialità molto limitate e, per contro, degli aspetti legali all'ingente impegno di spazio e al livello qualificativo raggiungibile, che rende alcuni trattamenti inadatti alle potenzialità più elevate*".



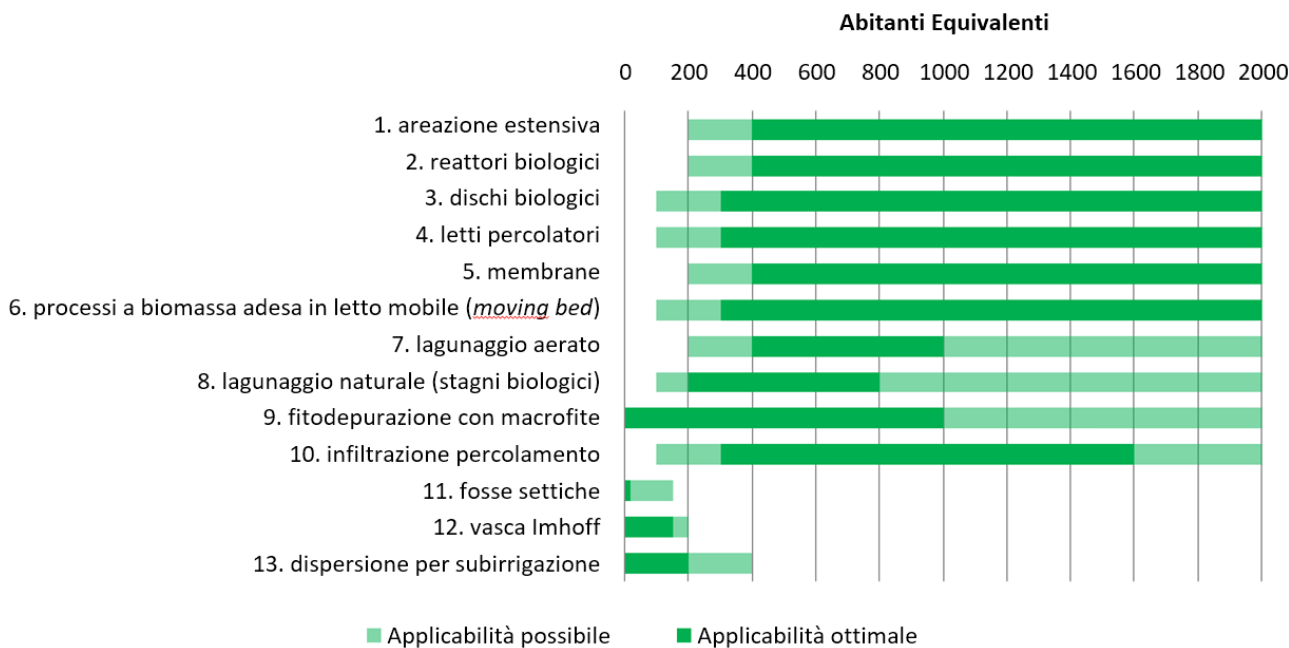


Figura 7. Campo di concreta applicabilità dei diversi trattamenti (fonte: D.G.R. n.8/2318 del 5 aprile 2006)

Sempre in Lombardia, il Regolamento Regionale 29 marzo 2019 – n. 6 “Disciplina e regimi amministrativi degli scarichi di acque reflue domestiche e di acque reflue urbane, disciplina dei controlli degli scarichi e delle modalità di approvazione dei progetti degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane, in attuazione dell’articolo 52, commi 1, lettere a) e f bis), e 3, nonché dell’articolo 55, comma 20, della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26” ha aggiornato e allungato l’elenco delle attività per le quali gli scarichi di acque reflue sono assimilabili ai domestici, con conseguenti semplificazioni in termini autorizzativi. In funzione dell’art. 4, comma 1 lett. a) del suddetto regolamento, le “piccole aziende agroalimentari appartenenti ai settori lattiero-caseario, vitivinicolo e ortofrutticolo, che producano quantitativi di acque reflue non superiori a 20 m³/giorno”.

Secondo poi l’art. 7 (Trattamenti appropriati per scarichi di acque reflue urbane provenienti da agglomerati con meno di 2000 abitanti equivalenti e sistemi adottabili per scarichi di insediamenti isolati) comma 2, “le acque reflue provenienti da insediamenti isolati o da agglomerati con un numero di AE inferiore a 200 sono sottoposte ai trattamenti di seguito riportati o ad altri trattamenti più spinti:

a) qualora recapitate su suolo o strati superficiali del sottosuolo: vasca Imhoff seguita da trincea di subirrigazione senza drenaggio;

b) qualora recapitate in acque superficiali: vasca Imhoff seguita da un ulteriore trattamento costituito da trincea di subirrigazione con drenaggio o fitodepurazione o filtrazione su tela”.

Risulta pertanto che, nel sistema di gestione degli scarichi per gli insediamenti isolati, sia obbligatorio la dotazione di una o più vasche Imhoff. Al comma 7 viene inoltre indicato che “i titolari degli scarichi provenienti da insediamenti isolati, in ragione della necessità di eseguire operazioni periodiche di svuotamento delle vasche di tipo Imhoff a garanzia della relativa buona funzionalità, provvedono **annualmente a effettuare lo svuotamento, salvo che l’autorità competente prescriva in autorizzazione una diversa frequenza per tale operazione**. Per dimostrare di aver effettuato le prescritte operazioni di svuotamento, i titolari garantiscono la registrazione delle stesse operazioni, a cura dell’esecutore dell’intervento di manutenzione. Lo svuotamento delle vasche Imhoff, in quanto operazione di raccolta di rifiuti, deve essere effettuata da un soggetto iscritto all’albo nazionale dei gestori ambientali ai sensi dell’articolo 212 del d.lgs. 152/2006”.





Per i caseifici in alta montagna, lo svuotamento annuale delle Imhoff può essere proibitivo e più o meno difficoltoso a seconda degli accessi, della geolocalizzazione e dell'altitudine a cui si trovano, pertanto risulta importante in sede di domanda di autorizzazione allo scarico far presente questo tipo di problematica all'autorità competente. La realizzazione, quindi, di un sistema di fitodepurazione da associare alla/e Imhoff potrebbe facilitare l'ottenimento di una diversa frequenza operativa in fase di autorizzazione.

L'art. 23 "Autorizzazione allo scarico di insediamenti isolati" riporta la modalità di richiesta e rilascio dell'autorizzazione allo scarico di seguito riassunta. Il titolare deve presentare domanda di autorizzazione allo scarico alla provincia usando la modulistica resa disponibile dall'ente competente del rilascio, redatta secondo le disposizioni previste nell'allegato M (comma 1). L'autorità competente deve concludere il procedimento per il rilascio entro 90 giorni dal ricevimento della domanda completa di tutte le informazioni e documenti richiesti (comma 2) e deve riportare nella specifica autorizzazione le potenzialità del sistema di trattamento e il carico generato dall'agglomerato servito, nonché un codice univoco dello scarico (comma 3). Il rinnovo dell'autorizzazione allo scarico di acque reflue domestiche, provenienti da insediamenti isolati con carico generato inferiore o uguale a 50 AE, effettuabile in forma semplificata, purché rispettate le prescrizioni previste dall'autorizzazione, mediante presentazione di istanza, la quale, dopo i 90 giorni dal ricevimento, viene accolta anche senza che l'autorità competente si esprima a riguardo (comma 6). La **richiesta di rinnovo dell'autorizzazione allo scarico** deve essere fatta **un anno prima** della scadenza del titolo, allegando un modulo di autocertificazione secondo le disposizioni riportate sempre nell'allegato M (art. 27, comma 1).

Per quanto riguarda gli scarichi dei caseifici non allacciati alla pubblica fognatura, ove non assimilabili alle acque reflue domestiche, sono regolamentati dal punto 1.2 dell'Allegato 5 alla Parte terza del D.Lgs. n. 152/2006 (*scarico delle acque reflue industriali in corpo idrico superficiale*) e dal punto 2 dello stesso allegato (*scarico delle acque reflue industriali sul suolo*) i quali dispongono l'obbligo del rispetto dei limiti di emissione previsti rispettivamente dalle tabelle di riferimento eventualmente modificati dalle Regioni.

4.3 Campi di applicazione

Il campo d'impiego dei sistemi di fitodepurazione riguarda tendenzialmente il trattamento secondario di reflui già parzialmente depurati e/o l'affinamento finale delle acque per migliorare la qualità dell'effluente, e secondariamente il trattamento di acque provenienti dal dilavamento.

Da esperienze ormai consolidate presenti in ambito internazionale, il più largo impiego dei sistemi di fitodepurazione avviene ad esempio nelle seguenti tipologie di scarichi:

- **Reflui di origine civile:** rappresenta il trattamento ideale per piccole comunità aventi potenzialità inferiore a 2000 Abitanti Equivalenti e con carichi fluttuanti stagionalmente;
- **Aziende zootecniche:** trattamento adatto per i reflui di lettiera e sala mungitura;
- **Utenze con reflui assimilabili ai civili** (di natura organica) ubicate in aree non servite da pubblica fognatura: bar, ristoranti, agriturismo, campeggi, sale da ballo.

Tali sistemi possono essere localizzati a valle degli scarichi di depuratori esistenti e trattare/affinare le acque depurate che presentano ancora un residuo di carico inquinante. Altresì, essi possono rappresentare dei sistemi di depurazione veri e propri, nei quali i reflui vengono immessi e depurati, successivamente ad una prima fase di decantazione che permette una separazione della componente più grossolana (sedimentabile) e degli oli.



Per tali finalità di trattamento e/o affinamento gli impianti di fitodepurazione offrono un certo grado di controllo, permettendo di giungere ad una precisa valutazione dei rendimenti depurativi che svolgono, grazie a numerose attività di ricerca ed esperienze ormai ampiamente comprovate degli ultimi decenni, da parte di università, enti europei e statunitensi e degli esempi presenti in varie realtà.

La definizione di criteri di progettazione, empirici e non, si avvale di conoscenze della natura dei substrati (medium) impiegati, delle specie vegetali maggiormente adatte e delle loro efficienze depurative, nonché dell'analisi dei flussi idraulici, questi ultimi opportunamente controllati e distribuiti nei sistemi nelle modalità e nei tempi stabiliti per consentire lo svolgimento ottimale delle attività di depurazione.

4.4 I meccanismi di rimozione degli inquinanti

I processi depurativi attivi nei trattamenti di fitodepurazione nei confronti delle diverse forme di inquinamento sono spesso complessi e variegati.

Essi avvengono attraverso una varietà di processi biologici, chimici e fisici che concorrono in diversa misura sul destino di ogni inquinante. Ogni processo, non solo costituisce il principale metodo di depurazione di un particolare inquinante, ma può svolgere un effetto secondario o incrementale su altri. Un esempio è la sedimentazione che ha un effetto primario sui solidi sedimentabili, uno secondario sui solidi sospesi ed uno incrementale sul BOD, sull'azoto, sul fosforo, sui metalli pesanti, sulle sostanze organiche refrattarie, sui batteri e virus.

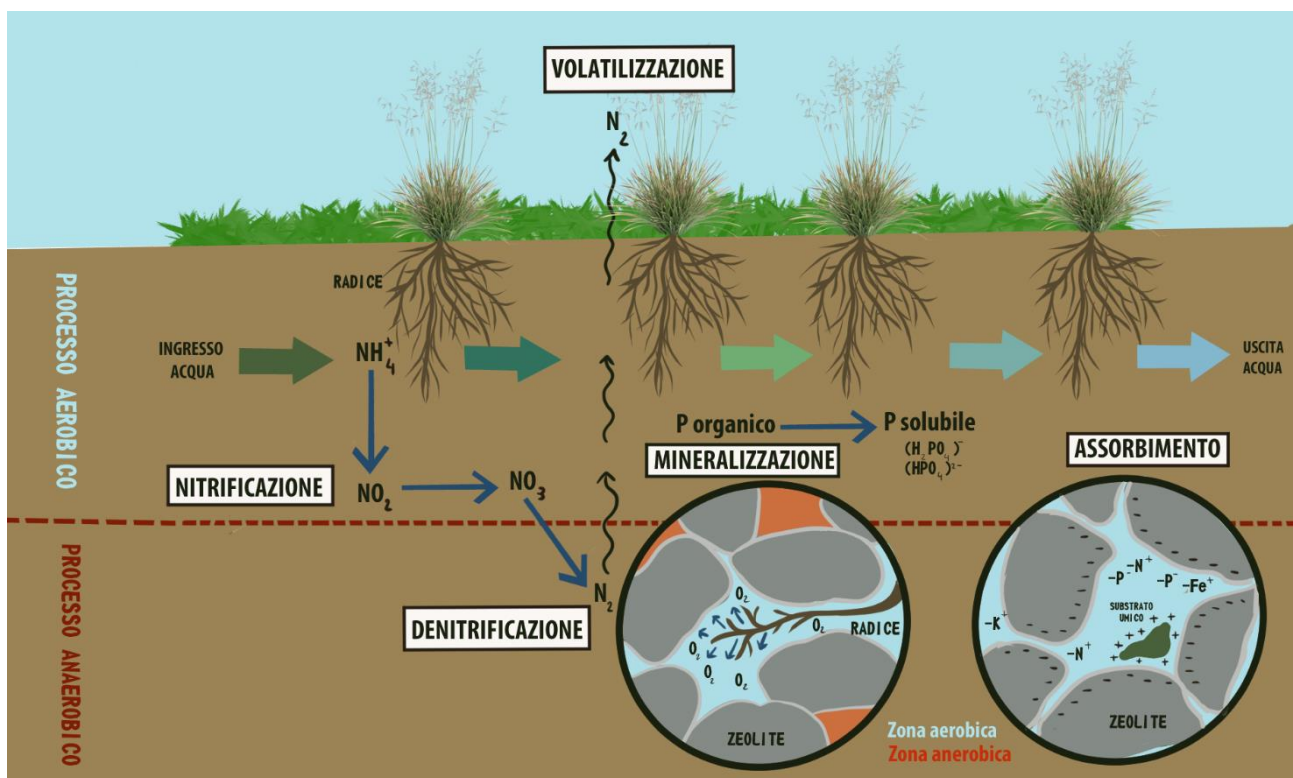


Figura 8. Schema rappresentativo dei processi chimico-fisici coinvolti nella fitodepurazione

Tabella 8. Meccanismi di rimozione degli inquinanti delle acque reflue

Meccanismi di rimozione	Solidi sedimentabili	Solidi sospesi	BOD	Azoto	Fosforo	Metalli pesanti	Organiche refrattarie	Batteri e virus	Descrizione
FISICI									
Sedimentazione	P	S	I	I	I	I	I	I	Sedimentazione gravitazionale di solidi in stagni/paludi di sedimentazione
Filtrazione	S	S							Particolato rimosso meccanicamente dal passaggio dell'acqua attraverso il substrato, gli apparati radicali o i pesci (solo nel caso di ecosistemi filtro)
Assorbimento		S							Forze d'attrazione interparticellare (forze di Van der Waals)
CHIMICI									
Precipitazione				P	P				Formazione di composti insolubili o co-precipitazione
Adsorbimento				P	P	S			Assorbimento su substrato e sulla superficie radicale
Decomposizione						P		P	Decomposizione o alterazione dei composti più stabili per ossidazione e riduzione
BIOLOGICI									
Metabolismo batterico		P	P	P			P		Rimozione di solidi colloidali e organici solubili da parte di batteri sospesi, bentonici e aggregati alle piante. Nitrificazione e denitrificazione batterica
Metabolismo delle piante							S	S	Assunzione e metabolizzazione di composti organici da parte delle piante. La secrezione delle radici può essere tossica per microrganismi di derivazione enterica
Assorbimento della pianta				S	S	S	S		In particolari condizioni, significative quantità di questi contaminanti saranno rimosse dalle piante
Decadimento naturale								P	Decadimento naturale di organismi in condizioni ambientali sfavorevoli

Legenda tabella

P = effetto primario

S = effetto secondario

I = effetto incrementale causato dalla rimozione di un altro inquinante



4.4.1 Solidi sospesi

I solidi sospesi si distinguono in solidi sospesi sedimentabili e di natura colloidale. I primi vengono rimossi sostanzialmente mediante sedimentazione o per filtrazione, quindi mediante meccanismi di tipo fisico, mentre quelli colloidali sono soggetti a degradazione biologica (idrolisi) o rimossi per assorbimento su altri solidi.

La sedimentazione dipende prevalentemente dalla gravità ma anche dalla viscosità nel fluido che li trasporta; essa è favorita da lunghi tempi di ritenzione idraulica, da bassi carichi idraulici, dalla riduzione degli effetti del vento sull'acqua e sui solidi accumulati sul fondo del bacino.

La filtrazione avviene grazie al passaggio del liquame tra il substrato (medium) e gli apparati radicali delle idrofite galleggianti o emergenti. Onde evitare un precoce intasamento del medium è importante verificare che il carico organico non sia eccessivamente elevato.

La degradazione biologica di tipo idrolitico comporta la rottura enzimatica delle macromolecole organiche necessaria poi ai microrganismi (batteri) che provvedono alla demolizione della struttura molecolare delle sostanze con formazione di sostanze minerali semplici.

L'adsorbimento riguarda l'azione chimico-fisica esercitata dalle piante e dal substrato sui solidi colloidali (adsorbimento di tipo fisico) e sui solidi disciolti (adsorbimento chimico).

4.4.2 BOD e COD

La modalità di rimozione della sostanza organica è misurata attraverso il consumo di ossigeno (BOD e COD). I meccanismi di rimozione si distinguono a seconda che si tratti della frazione disciolta, sospesa non sedimentabile e sospesa sedimentabile. La componente sospesa, associata ai solidi sospesi, viene rimossa secondo i meccanismi descritti in precedenza. La frazione disciolta è soggetta a degradazione biologica che, a seconda della presenza o meno di ossigeno, si distingue in:

- Aerobica: avviene nella porzione ossigenata della colonna d'acqua e della rizosfera.
- Anossica: si verifica nelle zone prossime a quelle ossigenate dove all'assenza di ossigeno molecolare è associata la presenza di una fonte di ossigeno combinato.
- Anaerobica: si ha nelle zone prive di ossigeno libero e combinato ed in particolare nei sedimenti.

La rimozione di materia organica presente nel bacino di fitodepurazione non solo dipende dalla quantità in ingresso ma è influenzata anche dalla perdita di materiale organico da parte delle idrofite presenti all'interno del sistema, determinando la presenza di un carico residuo comunque sempre presente nell'effluente.

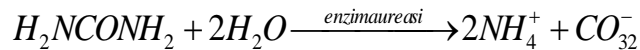
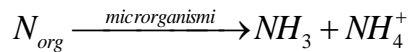
4.4.3 Azoto

La rimozione dell'azoto prevede una serie di processi che hanno inizio dall'ammonificazione biologica, seguita da nitrificazione e denitrificazione. I composti finali di questi processi possono avere due destini diversi: essere assunti dalle piante (in minima parte), oppure essere dispersi nell'ambiente tramite volatilizzazione dell'ammoniaca.

L'ammonificazione, che avviene prevalentemente in condizioni aerobiche e più difficilmente in quelle anaerobiche, dipende dal PH e dalla temperatura. Questa reazione si verifica in parte all'esterno del sistema depurativo e in parte nel bacino di fitodepurazione.

Durante questo processo l'azoto organico è trasformato in azoto ammoniacale durante la degradazione della materia organica catalizzata dai microrganismi.

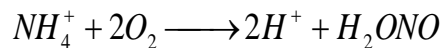




La nitrificazione riguarda l'ossidazione biologica dei composti inorganici dell'azoto allo stato ridotto, svolta da batteri autotrofi, in grado cioè di utilizzare per la sintesi cellulare carbonio inorganico (CO₂) e di trarre l'energia necessaria alla crescita e al metabolismo dall'ossidazione dell'ammoniaca e poi dei nitriti.

Nel trattamento delle acque i batteri attivi in tale processo appartengono al genere *Nitrosomonas*, per l'ossidazione dell'ammoniaca NH₃ a nitriti NO₂⁻, e al genere *Nitrobacter* per l'ossidazione dei nitriti NO₂⁻ a nitrati NO₃⁻.

Il processo di nitrificazione avviene contestualmente al processo di ossidazione dei composti organici, quindi con rimozione di BOD da parte dei batteri eterotrofi.



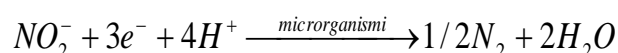
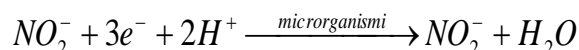
Dato che parte dell'azoto è anche richiesto per la sintesi batterica allora la reazione sarà la seguente:



Il processo di denitrificazione permette la rimozione dei composti dell'azoto presenti in soluzione sottoforma di NO₃⁻ (e in parte di NO₂⁻) ad opera di batteri eterotrofi facoltativi che, se posti in condizioni di anossia (cioè in assenza di ossigeno disciolto), sono in grado di ossidare il substrato carbonioso organico, che funziona da donatore di elettroni (generalmente sottoforma di detrito vegetale prodotto durante la degradazione dalle piante del bacino), utilizzando l'ossigeno legato ai nitrati NO₃⁻ invece dell'ossigeno libero O₂, e liberando azoto gassoso come catabolita.

Il processo di denitrificazione si deve svolgere in condizioni rigorosamente anossiche, almeno nel microambiente circostante i batteri.

A differenza dei batteri nitrificanti che sono rappresentati principalmente da due soli ceppi batterici, i denitrificanti sono di diversi tipi: *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Archromobacter*, *Bacillus*, *Alcaligenes*; questi tipi di batteri sono in grado di attuare una conversione completa di NO₃⁻ a N₂ (intermedi di reazione sono i nitriti NO₂⁻). Durante la reazione, i nitrati e i nitriti liberi nella colonna d'acqua o nel sedimento sono trasformati in N₂ e N₂O i quali, essendo gassosi, subiscono il fenomeno della volatilizzazione e lasciano così il bacino di fitodepurazione.



4.4.4 Fosforo

I meccanismi principali di rimozione del fosforo sono l'assunzione diretta da parte delle piante (che vengono poi raccolte) e lo stoccaggio biologico e chimico nei sedimenti. Come per l'azoto, anche nel caso del fosforo,



la rimozione per assunzione diretta da parte delle piante risulta di minima entità. Il meccanismo principale di rimozione è dunque lo stoccaggio biologico e chimico nei sedimenti.

Il fosfato organico si accumula nel bacino a causa di processi biologici o del tipo di scarico che spesso presenta residui di cibo. Il fosfato organico disciolto e quello insolubile di solito non sono disponibili alle piante finché non sono trasformati in forma inorganica. Questa trasformazione può avvenire nella colonna d'acqua.



Il fosforo inorganico può derivare da acque di scarico che spesso presentano varie forme colloidali di soluzioni. Il fosforo inorganico reagisce con gli idrossidi di ferro e alluminio originando fosfati insolubili di ferro trivalente e di alluminio con una successiva produzione di torba sul fondo del bacino.

Il fosforo può essere rimosso dalla colonna d'acqua mediante precipitazione oppure per assorbimento diretto da parte dei rizomi delle idrofite. Il processo di assorbimento del fosforo avviene durante la fase di crescita della pianta mentre il suo rilascio durante la senescenza, la morte e la decomposizione. Si tratta di meccanismi lenti che, con il passare del tempo, portano all'accrezione del substrato e quindi al suo innalzamento.

Quando il fosforo aumenta notevolmente sottoforma di sedimento, una parte di esso può addirittura essere rilasciata nel flusso in uscita del bacino di fitodepurazione. Esso può anche essere rimosso per via chimica in ambienti dove sono presenti substrati acidi.

4.4.5 Metalli pesanti

Se da un lato i metalli sono richiesti in quantità di traccia da animali e piante per il loro accrescimento (esempio: bario, berillio, boro, cromo, cobalto rame, iodio, ferro, magnesio, manganese, molibdeno, nichel, selenio, zolfo e zinco), dall'altro, gli stessi possono essere tossici ad alte concentrazioni. Altri metalli dei quali non è conosciuto alcun ruolo biologico sono letali anche a basse concentrazioni (esempio: arsenico, cadmio, mercurio e argento). Le acque in ingresso in un sistema di fitodepurazione possono portare all'accumulo di diverse specie di metalli solubili e insolubili.

I metalli entrano nel bacino come solidi sospesi insolubili e mediante la precipitazione e l'adsorbimento si separano dall'acqua. Essi sono assimilati direttamente dalle piante e rilasciati nel sedimento in seguito alla morte e alla lenta decomposizione delle idrofite (stoccaggio biologico) e ai processi di adsorbimento, precipitazione a scambio ionico nei sedimenti (stoccaggio chimico). Il processo dipende dal PH e dal potenziale redox, infatti queste specie di metalli possono risolubilizzarsi e ritornare alla fase liquida. Importanti processi per la rimozione dei metalli includono lo scambio cationico e la chelazione con i sedimenti del bacino, il legame con l'humus, la precipitazione sottoforma di sali sulfidrici, carbonati, idrossidi e l'assimilazione da parte delle piante, delle alghe e dei batteri.

L'efficacia di rimozione è generalmente migliore nei bacini di fitodepurazione a flusso subsuperficiale rispetto quelli a flusso superficiale poiché le opportunità di contatto tra il liquame e il sedimento sono più frequenti nel primo caso. Inoltre, i cationi bivalenti si legano in modo molto stabile ai composti umici che costituiscono i sedimenti.





4.4.6 Sostanze organiche refrattarie

Alcuni composti organici sono caratterizzati da una molecola molto complessa e ramificata che è difficilmente biodegradabile in tempi brevi.

Questo tipo di molecole non sono trasformate in composti inorganici facilmente, ma necessitano di popolazioni di microrganismi che, funzionando da catalizzatori specifici, velocizzano la reazione di mineralizzazione. A loro volta i microrganismi sfruttano la sostanza organica come fonte di energia per svolgere le loro funzioni vitali e la riproduzione. Le reazioni tipiche mediante le quali essi operano questa trasformazione sono i processi di ossidazione e riduzione, l'idrolisi e la fotolisi.

Durante il metabolismo aerobico, la trasformazione della sostanza organica in inorganica richiede ossigeno disciolto e porta alla formazione di prodotti mineralizzati, gas e biomassa. La reazione richiede, invece, i nitrati, i carbonati o i solfati come accettori terminali di elettroni i quali sono poi ridotti a ossidi di azoto, azoto libero, solfuri, tiosolfuri ecc. Nel caso in cui si ha un metabolismo di tipo anaerobico, la materia organica funziona sia come accettore sia da donatore terminale di elettroni.

Un secondo meccanismo di rimozione delle sostanze organiche refrattarie consiste nell'adsorbimento degli inquinanti stessi da parte delle particelle argillose. Questo processo è successivamente seguito dalla precipitazione dei prodotti originatisi.

4.4.7 Batteri e virus

I batteri patogeni ed i virus sono rimossi attraverso meccanismi aspecifici (come la sedimentazione, filtrazione ed adsorbimento) oppure per morte naturale dovuta alla prolungata esposizione a fattori fisici, chimici e biologici ostili, meccanismi quindi per nulla diversi da quelli tipici degli stagni biologici.

La radiazione ultravioletta ha un effetto significativo nei sistemi a flusso superficie. Un altro effetto significativo è il rilascio da parte degli apparati radicali delle piante di metabolici (biocidi) che esercitano un effetto antibiotico sui batteri.

4.5 La flora

Sono numerose le specie vegetali che possono essere utilizzate nell'ambito dei sistemi di fitodepurazione, i quali di norma sono caratterizzati da terreni umidi, ricchi di nutrienti. Considerando la realizzazione di impianti di fitodepurazione in ambiti montani è necessario prevedere specie di facile adattamento o capaci di radicare anche in assenza di ambienti tipicamente lenticici.

In generale è comunque utile riportare le tipologie di piante che in genere vengono utilizzate negli impianti di fitodepurazione. Una macro distinzione, in base alla disponibilità idrica nel terreno, individua specie tipicamente idrofile, che raggruppa le specie tipicamente acquatiche, specie igrofile, piante terrestri che vegetano bene in ambienti permanentemente umidi, fino a specie mesofile (erbacee, arbustive e arboree) che normalmente rivestono le fasce riparie e che in genere presentano terreni freschi ben approvvigionati d'acqua (ma non saturi), grazie alla prossimità all'ambiente acquatico.

A selezionare i gruppi di vegetazione, influiscono anche altri parametri ecologici, quali la permanenza e la velocità della corrente; la temperatura, ad esempio, è un altro parametro importante, dato che poche piante riescono a tollerare prolungate coperture di neve e ghiaccio mentre poche altre sono in grado di reggere un elevato riscaldamento dell'acqua. Altra selezione dipende dalla chimica delle acque, dunque dal pH e dal livello trofico.



In questa sede, date le caratteristiche degli ambienti montani, particolare attenzione è rivolta alle specie terrestri e a quelle che ben si adattano ai terreni umidi.

4.5.1 Idrofite emergenti

Le idrofite emergenti sono piante radicate al substrato e sono costituite da gambi, foglie e apparati riproduttivi aerei. Esse sono in genere perenni e dotate di un'estesa rete di radici di tipo rizomatoso (rizofite).

Le idrofite emergenti sono piante originariamente terrestri che hanno sviluppato buone capacità di sopravvivenza in ambienti acquatici o comunque su substrati saturi d'acqua. Pertanto, come le piante di habitat terrestri, sintetizzano in composti organici il carbonio atmosferico e i nutrienti assunti attraverso il proprio apparato radicale. A differenza delle specie terrestri, le specie acquatiche possiedono un sistema di vuoti di volume pari al 50-70% dell'intera pianta (detto *aerenchima*) attraverso il quale provvedono al trasporto dell'ossigeno atmosferico fino al livello delle radici e dei rizomi: si creano così le condizioni aerobiche nella rizosfera in cui avvengono i processi ossidativi ad opera dei batteri aerobi adesi agli apparati radicali. Al di fuori di tale zona ossidata, l'ambiente di fondale tende ad essere anossico, favorendo l'attività di popolazioni batteriche facoltative e/o anaerobiche.

Tra i più comuni generi si ricordano ad esempio *Eleocharis*, *Scirpus* e *Schoenoplectus* (fam. Cyperaceae), *Glyceria*, *Phragmites* e *Zizania* (fam. Graminaceae) e *Typha* (fam. Typhaceae).

Le idrofite emergenti particolarmente efficienti nei processi di depurazione appartengono ai generi *Phragmites*, *Scirpus* e *Typha*. Oltre a queste ci sono anche altre macrofite di particolare bellezza per le vistose fioriture che tingono le rive degli specchi d'acqua nel periodo primaverile ed estivo; tra di esse, il Giaggiolo (*Iris pseudoacorus*) e la Salcerella (*Lytrum salicaria*), specie che si osservano comunemente tra i canneti.



Phragmites australis



Typha latifolia



Iris pseudoacorus

Figura 9. Idrofite emergenti utilizzabili nell'ambito di ecosistemi filtro e impianti di fitodepurazione

4.5.2 Specie erbacee

Le specie erbacee sono piante basse che, nella parte aerea, abbiano consistenza molle e non abbiano fusto legnoso. Le piante erbacee sono per lo più annuali, ma possono essere anche biennali o perenni, se la parte sotterranea è persistente e si sviluppano ogni anno i germogli aerei erbacei; presentano, inoltre, un



insediamento molto rapido e sono, quindi, in grado di ricoprire il suolo in un lasso di tempo molto breve senza richiesta di irrigazione di soccorso e di gestione. Alcune specie, infine, si prestano alla coltivazione su suoli di scarsa qualità e anche in condizioni di bassa manutenzione e assenza di apporti nutritivi e/o idrici. Ciò comporta, di conseguenza, una diminuzione dei costi di gestione e il raggiungimento di una manutenzione sostenibile e autonoma.

Tra i più comuni generi di montagna si ricordano ad esempio il tarassaco o soffione (*Taraxacum*), arnica (*Arnica montana*) e achillea (*Achillea millefolium*).

Tra le piante erbacee spontanee di alta quota, quelle risultate maggiormente efficaci nella fitopedodepurazione sono il *Trichophorum cespitosum* e la *Deschampsia caespitosa*, quest'ultima si è dimostrata la più promettente nell'impianto pilota in termini di efficacia e di naturale diffusione e autogestione.



Trichophorum cespitosum



Deschampsia caespitosa

Figura 10. Specie erbacee caratteristiche di ambienti di alta quota e utilizzabili nell'ambito di impianti di pedo-fitodepurazione





Zigoli o Tricoforo cespuglioso (*Trichophorum cespitosum*)

Sinonimi: *Scirpus cespitosus* L. subsp. *Cespitosus*

Caratteristiche ecologiche e fisiologiche

Pianta erbacea emicriptofita cespitosa, perennante per mezzo di gemme poste a livello del terreno e con aspetto di ciuffi serrati, vascolare con fiori (senza perianzio) e semi (angiosperme), circumboreale, indigena, non protetta, generalmente presente in fascia collinare-alpina (200-1800 m). Diffusa principalmente nel nord d'Italia.

Caratteristiche morfologiche

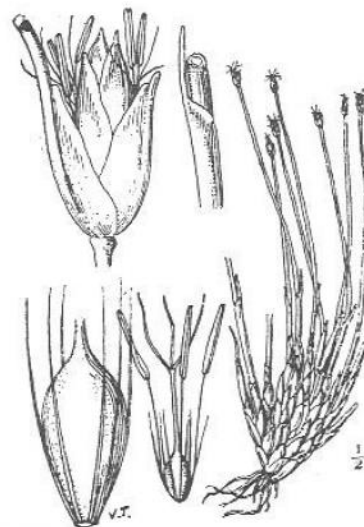
Cespugli densissimi, con fiori molto numerosi, alla base avvolti lassamente dalle guaine (diametro 2 mm), fiori bicompressi, ma ottuso-arrotondati sugli angoli, in alto spesso un po' incurvati.

Foglie ridotte alle sole guaine, avvolgenti il fiore inferiormente su pochi cm; foglia più elevata con una lamina canalicolata di 1x4-8 mm.

Spiga ovale-lanceolata di 4-6 mm, giallo-paglierina; brattea inferiore lunga quanto la spiga, con una punta fogliacea; acheni clavato-fusiforimi 1.5-2 mm.

Semi ed altre unità primarie di dispersione

Acheni da obovati a ovati, trigoni, di 1,5-2 mm, lisci, brunastri, più o meno brillanti, con (4)5(6) sete perigoniali scabre, lisce, brunastre generalmente più corte delle glume. Fioritura: maggio-agosto.



T. caespitosum





Migliarino maggiore (*Deschampsia caespitosa*)

Sinonimi: *Aira caespitosa* L.

Caratteristiche ecologiche e fisiologiche

Pianta erbacea emicriptofita cespitosa, perennante per mezzo di gemme poste a livello del terreno e con aspetto di ciuffi serrati, vascolare con fiori (senza perianzio) e semi (angiosperme), subcosmopolita, indigena, non protetta, generalmente presente fino alla fascia alpina (1800 m). Diffusa in tutta Italia, tranne in Sardegna e Puglia.

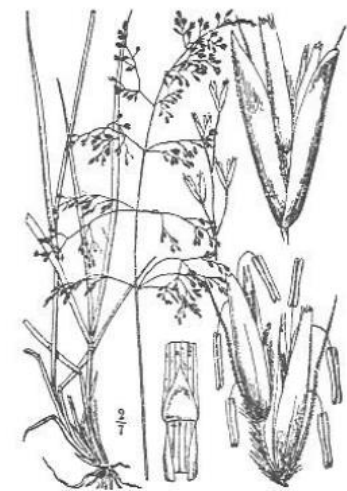
Caratteristiche morfologiche

Cespugli densissimi con numerosi culmi eretti, robusti, lisci ed innovazioni con foglie abbondanti, lunghe fino a 1-2 dm. Foglie cauline glabre, con lamina piana larga 2-5 mm e guaina striata; ligula 5-8 mm. Pannocchia ampia, multiflora con rami in semiverticilli, gli inferiori riuniti a 4-10; spighe generalmente 2flore, lucide; lemma 2.5-3 mm, con resta basale di 2 mm, non o appena ridotta.

Notevolmente polimorfa: le spighe sono di regola screziate di violaceo, però frequentemente in intere popolazioni si presentano di un bel colore aureo, senza tuttavia si possano notare altre differenze di tipo ecologico o distributivo (verosimilmente si tratta dunque di variazione casuale); nei boschi di latifoglie si possono incontrare individui di dimensioni massime, in alta montagna piante ridotte (2-3 dm) e più intensamente colorate, però queste sono probabilmente morfosi indotte dall'ambiente.

Semi ed altre unità primarie di dispersione

Antecario con cariossidi. Spighe 2flore, lucide verdi-argentate o violacee, lunghe 4-6 mm, che si disarticolano sotto ogni fiore fertile; glume subeguali carenate (2-4 mm) ovato-lanceolate; lemma di 2,5-3 mm, con resta basale, appena sporgente dall'apice tronco, dentato (4 denti), peli basali brevi o subnulli. Fioritura: maggio-agosto.



D. caespitosa





4.6 Tipologie impiantistiche

In base alla modalità ed alla direzione di scorrimento dell'acqua, esistono quattro tipologie di impianti:

- Sistemi a flusso superficiale (SF, *Surface Flow*);
- Sistemi a flusso sub-superficiale orizzontale (H-SSF, *Horizontal Sub-Surface Flow*);
- Sistemi a flusso sub-superficiale verticali (V-SSF, *Vertical Sub-Surface Flow*);
- Sistemi combinati.

Tra i sistemi elencati, quelli maggiormente impiegati sono i sistemi a flusso superficiale e, ancor di più, i sistemi a flusso sub-superficiale. Questi ultimi vengono largamente impiegati per i trattamenti secondari e, rispetto ai primi, occupano uno spazio più limitato e realizzano un'efficienza depurativa nettamente superiore. Nel substrato vengono coltivate le **essenze vegetali**. La messa a dimora delle piante viene, solitamente, effettuata tramite segmenti di rizomi, piantine in zolla o cespi di piante mature. Tali specie svolgono la fondamentale funzione di trasferimento dell'ossigeno atmosferico attraverso le foglie e gli steli, fino alle radici, creando delle zone aerobiche necessarie ai batteri durante i processi ossidativi.

4.6.1 Sistemi a flusso superficiale

I sistemi a flusso superficiale sono costituiti da un sistema di lagune (bacini e canali a bassa profondità) ad estensione variabile in cui vengono messe a dimora le idrofite emergenti e/o le specie erbacee. I bacini vengono colonizzati da una grande varietà di organismi, originando un sistema di comunità con un discreto grado di efficienza autodepurativa. Tali sistemi vengono impiegati, sia come trattamento secondario, che come sistema di affinamento/stoccaggio di impianti convenzionali.



Figura 11. Sistema a flusso superficiale dell'impianto di Vizzola Ticino (VA)

4.6.2 Sistemi a flusso sub-superficiale

I sistemi a flusso sub-superficiale occupano uno spazio più limitato e realizzano un'efficienza depurativa nettamente superiore della precedente tipologia. Consistono in bacini opportunamente impermeabilizzati, dove il pelo libero dell'acqua è mantenuto sempre al di sotto della superficie del terreno in modo che il *medium*, materiale inerte a diversa granulometria (pietrisco, ghiaia, sabbia), sia saturo d'acqua. Mantenendo l'acqua sotto il livello del letto si riducono notevolmente i cattivi odori, i rischi igienici e lo sviluppo di colonie di insetti. Sono, inoltre, maggiormente impiegati per i trattamenti secondari.





4.6.2.1 Sistemi a flusso sub-superficiale orizzontale

Nei trattamenti a flusso sub-superficiale orizzontale il refluo scorre costantemente nel medium. Diversamente dai sistemi a flusso superficiale, le acque reflue vengono mantenute all'interno del substrato. Affinché tale flusso sia uniforme è necessario che l'influente venga distribuito su tutta la larghezza del letto, al fine di utilizzare pienamente l'intero sistema depurativo, con l'accortezza di non originare uno scorrimento superficiale. L'influente percorre tutta l'altezza del letto, scorrendo in senso orizzontale attraverso il substrato. L'evacuazione del refluo depurato avviene tramite una tubazione drenante posta sul fondo, all'estremità opposta del letto.



Figura 12. Esempio realizzativo di impianto di fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale con indicata la direzione del refluo



Figura 13. Sistema a flusso sub-superficiale orizzontale dell'impianto di Vizzola Ticino (VA) nelle diverse stagioni: in estate (a sinistra) e in inverno (a destra)

4.6.2.2 Sistemi a flusso sub-superficiale verticale

I sistemi a flusso sub-superficiale verticale sono caratterizzati da un flusso intermittente, si alternano, infatti, nel letto periodi di saturazione con periodi di esposizione all'atmosfera che favoriscono l'aerazione del





medium. Il refluo, distribuito sull'intera superficie del letto impiegando una rete di tubazioni disperdenti, filtra gradatamente lungo il substrato verso il fondo, dove viene raccolto da un sistema di tubi drenanti che poi ne operano l'evacuazione. La periodica aerazione del substrato consente un'elevata ossidazione e degradazione della sostanza organica anche durante il periodo di riposo vegetativo e soprattutto incrementa notevolmente la capacità nitrificante. L'abbattimento e la rimozione degli inquinanti sono elevati. Questi sistemi sono particolarmente utilizzati per l'ottima efficienza nella rimozione dell'azoto ammoniacale.



Figura 14. Sistema a flusso sub-superficiale verticale a Vizzola Ticino (VA) nelle diverse stagioni: in estate (a sinistra) e in inverno (a destra)

4.7 Criteri di progettazione di un sistema integrato

I criteri di progettazione di seguito esposti, riguardano un sistema integrato di fitodepurazione per il trattamento di reflui urbani, in cui sono presenti, i pretrattamenti, seguiti da un sistema combinato di tipologie di sistemi di fitodepurazione.

La quantificazione della produzione di acque reflue è espressa in Abitanti Equivalenti. Nel caso di un uso domestico, di tipo residenziale, è stimata una produzione giornaliera per ogni A.E. di BOD₅ di 60 g/d, che corrisponde alla produzione media giornaliera di un adulto, e una portata unitaria di circa 250 l/(ab · d).

A livello progettuale occorre tener conto dei seguenti aspetti:

- carico idraulico in ingresso e sue fluttuazioni;
- caratteristiche del refluo (concentrazione inquinanti e temperatura del refluo);
- superfici disponibili;
- condizioni climatiche.

Le acque nere o miste provenienti dall'abitato vengono convogliate, attraverso le condotte di recapito, alla zona in cui avvengono i trattamenti primari. Qui vengono sottoposti ad una **grigliatura fine** (spaziatura in genere di 1-2 cm) che permette di separare la componente più grossolana. Successivamente a tale processo il refluo viene immesso all'interno delle vasche "Imhoff". La **vasca Imhoff** costituisce un sistema fondamentale di trattamento primario dei reflui, impiegato principalmente per evitare fenomeni indesiderati di intasamento precoce dei letti fitoassorbenti. In essa avvengono contemporaneamente il processo di sedimentazione del liquame, che quello di digestione anaerobica fredda dei fanghi. Dal punto di vista costruttivo, esse sono composte da due comparti sovrapposti, connessi idraulicamente; il comparto





superiore è destinato alla decantazione dei solidi sospesi, quello inferiore opera la digestione del fango costituito dalle particelle provenienti dalla parte superiore.

Il **sistema combinato di fitodepurazione**, prevede la presenza di stadi in serie. Gli impianti che danno i migliori risultati di abbattimento del carico di inquinanti sono composti da una successione a partire da:

- un primo stadio costituito da un letto di fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale, che riceve, a gravità, le acque dalla fossa Imhoff;
- un secondo stadio costituito da un letto a flusso sub-superficiale verticale, funzionante mediante un sistema automatizzato che prevede il pompaggio del refluo (con cicli intermittenti), uscente dal letto a flusso orizzontale;
- un terzo stadio (che può risultare di affinamento di acque ormai depurate) costituito da un bacino a flusso superficiale che, può essere realizzato in continuità con bacino finale di affinamento, dando vita anche ad un ambiente acquatico naturaliforme.

Le acque depurate, in uscita dall'impianto, vengono poi recapitate mediante tubazioni, a un corpo idrico recettore o direttamente al suolo, secondo quanto previsto dalla normativa vigente. In alternativa, esse possono essere stoccate e reimpiegate successivamente a scopo irriguo.

Le superfici da adibire ai diversi stadi, oltre a dipendere ovviamente dal numero di utenti serviti (abitanti equivalenti), dipendono dalle concentrazioni degli inquinanti in ingresso e dai valori limite degli stessi in uscita.

La superficie specifica da adottare in climi temperati è di 4-5 m²/A.E., ripartibili nel caso di adozione di un sistema integrato in: 1,5-2,5 m²/A.E. a flusso sub-superficiale orizzontale, 1-2 m²/A.E. a flusso sub-superficiale verticale, 1 m²/A.E. a flusso superficiale orizzontale. Per servire un nucleo abitativo di 400 residenti (corrispondenti a 400 A.E.) serve dunque una superficie utile di circa 2.000 m², cui vanno sommate le superfici da adibire ai trattamenti primari e alle aree perimetrali ai bacini (rilevati, percorsi di servizio, ecc.) che portano ad un incremento di almeno il 50% dell'area necessaria.

4.8 Costi di realizzazione

La definizione dei costi di realizzazione dei sistemi di trattamento naturali è determinata da una serie di fattori che, solo in parte, sono in funzione delle caratteristiche stagionali dell'area di ubicazione. Escludendo costi relativi all'acquisizione di terreni, che possono variare anche notevolmente in funzione dell'uso del fondo e i costi del collettamento dalla rete fognaria all'impianto (che dipendono dalla distanza e dall'eventuale necessità di impiego di stazioni di sollevamento), le principali voci di costo sono ascrivibili a:

- operazioni di scavo e modellazione dei bacini,
- impermeabilizzazione con manti sintetici (HDPE, teli anti punzonanti, ecc.),
- riempimento con idonei substrati;
- impianto di idrofite;
- trattamenti primari (griglia, vasche Imhoff) e le varie tubazioni di recapito all'impianto, di collegamento tra i letti e le tubazioni di scarico al corpo idrico recettore.

Entrando maggiormente nel dettaglio, la realizzazione di letti a flusso sub-superficiale prevede:





- operazioni di scavo e di riporto con modellazione delle scarpate;
- eventuale posa di teli antipunzonanti a salvaguardia del manto impermeabile che vi viene posato sopra (HDPE, PVC con spessore di 2 mm);
- nello specifico, nei letti a flussi sub-superficiale orizzontale, posa di substrato di sabbia grossolana o ghiaia lavata (con matrice tra i 4 e i 7 mm di diametro), sistema di distribuzione del refluo lungo tutta la larghezza del letto con tubazioni disperdenti in PVC, tubazione drenante di raccolta del refluo lungo il lato opposto all'immissione, condotta di recapito al pozzetto di raccolta con sistema di pompaggio che immette il refluo (a pressione) al secondo stadio in modo intermittente e impianto dell'intera superficie del letto con piantine di Cannuccia di palude (*Phragmites australis*);
- nello specifico, nei letti a flussi sub-superficiale verticale, materiale di riempimento del letto costituito da uno strato medio di ghiaia a granulometria tra 3-10 mm e uno strato di fondo drenante a granulometria di 16-30 mm, sistema di distribuzione in pressione del refluo tramite una rete di tubi in PEAD posti su tutta la superficie del letto, sistema di raccolta dell'effluente costituito da tubazioni drenanti poste in uno strato di ghiaia grossolana su tutta la superficie del fondo del letto, condotta di recapito acque al pozzetto del terzo stadio, impianto dell'intera superficie del letto con piantine di Cannuccia di palude (*Phragmites australis*);
- nello specifico, nei letti a flussi superficiale, materiale di riempimento del letto (ghiaioso con matrice tra i 16 e i 30 mm di diametro), sistema di distribuzione del refluo lungo tutta la larghezza del letto, piantumazione di macrofite acquatiche.

Per impianti semplici, a servizio di un numero limitato di utenze, che sono composti da fossa Imhoff, un letto di fitodepurazione (in genere a flusso sub-superficiale orizzontale) e sistema di dispersione nel suolo, i costi di riferimento per la realizzazione sono indicativamente:

- per utenze fino a 10 A.E., un costo medio di circa € 1.200 per A.E.;
- per utenze fino a 25 A.E., un costo medio di circa € 900 per A.E.;
- per utenze fino a 50 A.E., un costo medio di circa € 750 per A.E.;

Esiste dunque un fattore di scala, per cui, per impianti di medie dimensioni, con utenze fino a 800/1.000 A.E., che sono costituiti da un sistema multistadio (con letti a flusso sub-superficiale orizzontale e verticale, letti a flusso superficiale), si può stimare un costo compreso tra € 400-500 per A.E.

A tali importi vanno poi aggiunti, oltre ai costi relativi all'acquisizione delle aree, i costi relativi alle spese tecniche per indagini di dettaglio (rilievi topografici, indagini geologiche) e per la progettazione e la direzione lavori.

4.9 Gestione degli impianti

La manutenzione di un impianto di fitodepurazione, pur non essendo di grande complessità, necessita di interventi frequenti e regolari al fine di mantenersi in funzione nel modo più corretto ed efficiente. Si tratta di un'opera antropica e per questo, necessita di quanto segue:

- Gestione dei manti erbosi, essenze arboree e sistemazione generale del verde nelle **aree esterne all'impianto**;
- Controllo e pulizia della griglia e delle vasche Imhoff (**trattamenti primari**);
- Controllo delle specie avventizie che potrebbero entrare in competizione col canneto e la gestione dello stesso nei **letti di fitodepurazione sub-superficiale orizzontale**;



- Gestione della vegetazione, controllo del sistema di pompaggio e del sistema di distribuzione del refluo nei **letti di fitodepurazione a flusso sub-superficiale verticale**;
- Contenimento delle specie avventizie lungo le sponde e nel **letto di fitodepurazione a flusso superficiale** e gestione del canneto;
- Contenimento delle specie avventizie ed eventuale contenimento delle piante acquatiche nel **bacino finale di affinamento**.

Di seguito viene riportato uno schema tabellare alcune delle operazioni classiche di manutenzione degli impianti di fitodepurazione.

Tabella 9. Operazioni di manutenzione degli impianti di fitodepurazione

<i>Aree</i>	<i>Interventi</i>	<i>Frequenza</i>	<i>Osservazioni</i>
ESTERNE AGLI IMPIANTI	Taglio del cotico erboso	4 tagli all'anno	È un'operazione di normale gestione di tappeti erbosi che inoltre può contenere la diffusione di sementi di erbacee all'interno dei letti.
	Decespugliamento delle scarpate dei letti e dei bacini	4 tagli all'anno	Intervento da eseguire lungo le scarpate invase da rovi, arbusti e erbe infestanti eseguito con mezzi meccanici semoventi compreso l'onere per il trasporto a rifiuto e/o smaltimento del materiale di risulta in discariche idonee poste in un raggio di 10 km dal cantiere.
TRATTAMENTI PRIMARI	Controllo a vista dei pozzetti e delle tubazioni di distribuzione del refluo nel primo letto	4 interventi all'anno	Al fine di evitare l'accumulo di sedimenti sul fondo del pozzetto è necessario provvedere alla periodica rimozione dei fanghi di deposito e lavaggio con acqua a pressione. Tale operazione può interessare anche il tubo di distribuzione nel primo letto.
	Ispezioni da parte degli addetti alla manutenzione comprensiva di pulizia della grigliatura manuale	Almeno ogni 7 giorni	Durante i sopralluoghi verrà rimosso, raccolto e smaltito il materiale trattenuto dalla griglia a pulizia meccanica come previsto dalla normativa vigente.
	Interventi di ispezione e spurgo della vasca Imhoff per ripristinare la corretta capacità depurativa.	Ogni 6 mesi	Tale operazione prevede la raccolta e lo smaltimento finale dei fanghi depositati nella fossa come previsto dalla normativa. Questa operazione periodica è di fondamentale importanza per evitare il trasporto di materiale sedimentabile nei letti di fitodepurazione ed il loro intasamento precoce.




Aree	Interventi	Frequenza	Osservazioni
SISTEMA A FLUSSO SUB-SUPERFICIALE ORIZZONTALE	Eliminazione della vegetazione avventizia	6 interventi/anno nei primi 3 anni; 3 interventi/anno dal quarto anno in poi	Tale operazione da svolgersi manualmente sulla superficie e lungo le sponde del letto, è necessaria soprattutto fino ai 3 anni dall'impianto, per eliminare la competizione di specie avventizie che ostacolerebbero la colonizzazione del canneto. Dal terzo anno, avvenuta l'affermazione e la diffusione del canneto, si potrà ridurre la frequenza degli interventi.
	Gestione del canneto	Dal terzo anno in poi ogni 3 anni	La gestione del canneto comporta due operazioni da effettuare al termine della stagione vegetativa: <ul style="list-style-type: none"> - la periodica raccolta dei culmi secchi, dato l'accumulo annuale dei culmi della graminacea, eliminando la biomassa che annualmente si deposita sulla superficie del letto; - diradare il canneto per mantenere una regolare copertura del canneto all'interno dell'intera superficie del letto (il canneto risulterà particolarmente denso in testata al letto per il maggior carico organico del refluo all'ingresso).
SISTEMA A FLUSSO SUB-SUPERFICIALE VERTICALE	Eliminazione della vegetazione avventizia	6 interventi/anno nei primi 3 anni; 3 interventi/anno dal quarto anno in poi	Tale operazione, da svolgersi manualmente sulla superficie e lungo le sponde del letto, è necessaria soprattutto fino ai 3 anni dall'impianto, per eliminare la competizione di specie avventizie che ostacolerebbero la colonizzazione del canneto. Dal terzo anno, avvenuta l'affermazione e la diffusione del canneto, si potrà ridurre la frequenza degli interventi
	Gestione del canneto	Dal terzo anno in poi ogni 3 anni	La gestione del canneto comporta due operazioni da effettuare al termine della stagione vegetativa: <ul style="list-style-type: none"> - la periodica raccolta dei culmi secchi, dato l'accumulo annuale, eliminando la biomassa che annualmente si deposita sulla superficie del letto; - diradare il canneto per mantenerne una regolare copertura sull'intera superficie del letto (il canneto risulterà particolarmente denso in testata al letto per il maggior carico organico del refluo all'ingresso).





<i>Aree</i>	<i>Interventi</i>	<i>Frequenza</i>	<i>Osservazioni</i>
	Controllo del sistema di pompaggio	Settimanalmente	Tale operazione consiste nel verificare il funzionamento delle pompe ed eventualmente controllare il pozzetto di alloggiamento delle stesse verificandone il corretto funzionamento
	Gestione del sistema di distribuzione del refluo	Controllo mensile Trattamento in funzione dell'intasamento	Le tubazioni che distribuiscono il refluo possono essere oggetto di parziale intasamento soprattutto nei primi anni rendendo necessario la verifica periodica del corretto funzionamento del sistema di dispersione. Nel caso si evidenzi l'intasamento anche parziale dello stesso potrà essere effettuato un trattamento di pulizia delle tubazioni di distribuzione. Nel periodo invernale (dicembre-gennaio), quando le temperature scendono ampiamente sotto lo zero, è possibile escludere il sistema di irrigazione soggetto a gelate, al fine di evitare problemi alle pompe. Il refluo viene comunque inviato al secondo stadio che sarà predisposto per funzionare come il letto a flusso sub-superficiale orizzontale, in modo analogo al primo.
LAGHETTO FINALE DI AFFINAMENTO	Gestione delle piante acquatiche	Ogni anno	La vegetazione acquatica fitodepurante (ad es. lemnacee) deve essere periodicamente sfoltita per prevenire l'eccessivo rilascio di sostanza organica e di nutrienti derivante dall'accumulo di biomassa sul fondale.





5 Stato dell'arte della gestione dei reflui in ambito montano e vantaggi legati alla realizzazione di un sistema di pedo-fitodepurazione in alta quota

Per quanto riguarda la gestione della malga, dove a scapito di un netto calo produttivo si evince spesso un sensibile miglioramento della qualità del latte, bisogna porre particolare attenzione, come già detto in precedenza, alla gestione dei prodotti secondari e dei sottoprodotti della lavorazione del Silter (panna, burro, ricotta, latticello, siero, ecc.) che in parte concorrono all'economia aziendale, potendo integrare le quote di prodotto vendibile o l'alimentazione del bestiame, e dall'altra rappresentano un flusso di materia consistente di difficile gestione in uscita dalle fasi di lavorazione.

A questo proposito si vuole citare che la sola produzione di burro da latte crudo entro i territori delle Comunità Montane della Val Camonica a partire dalla scrematura del latte, ammonta annualmente a circa 180 t per una produzione lorda vendibile di 1.4 milioni di euro e concorre non poco alla sopravvivenza delle aziende agricole. È altresì che la quota di siero o scotta prodotta a livello aziendale è stimata intorno a 1000 – 1200 kg giornalieri, per un totale di 50 m³ al giorno nei 66 caseifici di malga o circa 5000 m³ all'anno, dati impressionanti e molto lontani dall'idea di allevamento tradizionale. Ciò, senza contare i flussi in uscita delle acque di lavaggio degli impianti di mungitura e dei caseifici che si attestano in un range da 0.5 a 5 m³ al giorno per azienda, per un totale di circa 170 m³ giornalieri ovvero 15000 m³ all'anno per l'insieme dei 66 caseifici di malga del territorio camuno. Non si può pertanto esimersi dalla gestione oculata degli effluenti, ovviamente rispettando la normativa vigente.

La fragilità dell'ambiente alpino, la difficoltà di gestione dell'allevamento in malga e la presenza sul territorio di aree Natura 2000 (ben 16 solo nel Parco Regionale e Naturale dell'Adamello, D.g.r. n. 8/3798 e D.g.r. n. 8/5119) e habitat molto importanti e ben definiti, pone l'applicazione di una ponderata gestione dei flussi di materia nel modo migliore possibile, ma al contempo garantendo la sopravvivenza economica delle aziende agricole.

Per quanto riguarda la gestione nello specifico delle acque di lavaggio, alcune malghe defluiscono le stesse direttamente nel pascolo, mentre in altri casi, assieme a quelle del caseificio, vengono avviate in scarichi preposti (fosse Imhoff). Circa quest'ultime spesso se ne riscontrano uno o due in tutti gli edifici della malga, ma spesso le aziende non ne conoscono dimensionamento o disegno dell'impianto vero e proprio. Nel caso di due fosse Imhoff solitamente una è deputata all'elaborazione degli effluenti civili (alloggio per il conduttore e gli altri addetti, durante i mesi estivi), l'altro all'elaborazione delle acque del caseificio.

Nel caso di mancanza di un impianto di questo tipo, la libera dispersione dei reflui può portare all'eutrofizzazione di eventuali elementi idrici, presenti lungo le malghe, e/o dei pascoli nei dintorni a opera di azoto e fosforo, presenti in grande quantità nelle diete bovine soprattutto qualora mangimi, nuclei e concentrati rappresentino una parte consistente della dieta. L'apporto massiccio di tali nutrienti al suolo alpino comporta una diminuzione drastica della biodiversità vegetale dei cotici, oltre ad un cambiamento della composizione specifica con la perdita di specie ad alto valore pabulare a favore di specie nitrofile spesso di dubbio o nullo valore foraggero e addirittura rifiutate dal bestiame allevato. Non solo questo fenomeno è diffuso in tutto il territorio alpino, ma vi è un problema ancora più grave e recente, ovvero il sovrapascolamento puntuale all'interno di aree a sottopascalamento diffuso. È comune, infatti, trovare all'interno delle aree malghive, superfici sovrapascolate, reputate comode o inizialmente di ottima capacità foraggera, oramai recanti i sintomi dell'eutrofizzazione, all'interno di vaste aree magari più scomode o



distanti dagli edifici di malga, o ancora più in pendenza, che vengono sfruttate in modo blando e si impoveriscono di nutrienti perdendo valore agronomico. Ancora, in tutti i territori di malga sono presenti zone puntuali eutrofiche, tipicamente i pascoli dei riposi, oppure zone adiacenti agli spazi adibiti alla mungitura o al lavaggio degli impianti o ai caseifici, che rappresentano una problematica gestionale non indifferente. Da qui, l'importanza della corretta gestione del pascolo e dei processi produttivi, in particolare i flussi di materia in uscita dalle aziende.



Figura 15. Esempio di sviluppo di specie nitrofile localizzato a seguito di scarico di reflui caseari diretti su suolo



Negli ultimi decenni, inoltre, i pascoli lombardi hanno visto una contrazione generale dell'attività pascoliva, la quale ha determinato un'evoluzione della vegetazione verso associazioni finali di tipo arbustivo o boschivo. Al tempo stesso si registrano situazioni di carico eccessivo puntuale che causano degrado dei cotici verso associazioni di tipo nitrofilo. Si possono così trovare nella stessa malga diverse ecofacies, risultato e risposta diretta alla gestione agronomica. Nelle superfici collocate vicino alle strutture di servizio, con buona orografia e dotazione idrica, con facili accessi possono essere presenti formazioni pingui a *Poa alpina* e *Phleum alpinum*, capaci di sfruttare le equilibrate restituzioni organiche degli animali, mentre spostandosi verso aree più periferiche si può assistere a un peggioramento della qualità dovuto alla presenza di specie più frugali e aggressive. Nelle zone di estrema periferia tendono a comparire o a prevalere specie erbacee di basso valore pastorale (nardeto) alle quali si aggiungono le specie arbustive e cespugliose del rododendro, mirtillo, calluna e ontano verde. Al contrario, nelle zone di maggiore stazionamento della mandria e nelle vicinanze dei caseifici si possono manifestare situazioni di degrado, dovute ad un eccesso di restituzioni azotate, che causano la selezione di specie nitrofile con fenomeni di eutrofizzazione.



Figura 16. Vacca da latte al pascolo

Allo stesso tempo l'economia zootecnica della vacca da latte risulta fondamentale per la conservazione e il mantenimento di prati e pascoli, ossia degli habitat seminaturali in cui questa attività si realizza. Molto spesso l'abbandono, per differenti motivi, di queste zone porta ad un avanzamento del profilo boschivo e chiudendo aree aperte appetibili per molte specie protette.



Il problema della sostenibilità ambientale della produzione casearia è particolarmente sentito dai comuni che posseggono o gestiscono queste aree. Come dimostra *l'appoggio al progetto Mifisso*, che verrà trattato nei capitoli successivi, relativamente alla parte progettuale riguardante la fitodepurazione.

Per i produttori di formaggi a breve stagionatura e burro prodotti da latte e crema crudi, un comparto che si stima nel territorio camuno-sebino costituito da più di 300 allevamenti da latte e che rappresenta un volume di risorse interessante, emergono quindi due necessità: la sicurezza alimentare, per una maggior valorizzazione economica di questi prodotti nei caseifici di fondovalle e di malga, e la gestione dei secondi prodotti e/o effluenti negli alpeggi anche attraverso mix gestionali che implementino usi tradizionali e innovativi. Dunque, sostenibilità ambientale e tradizione casearia devono necessariamente incontrarsi nell'ottica di garantire la permanenza di questa attività antropica tradizionale e la conservazione dell'ambiente e del paesaggio culturale in cui si realizza.





6 Protocollo sulla gestione degli impianti

Di seguito si propone uno schema indicativo per la valutazione di fattibilità di un ipotetico impianto di fitodepurazione a servizio di una malga. Tale protocollo partirà da un'analisi dello stato di fatto fino ad arrivare alla realizzazione dell'impianto, senza tralasciare il successivo monitoraggio sull'efficacia dell'abbattimento dei nutrienti.

Nella prima fase viene realizzata una scheda descrittiva d'alpeggio per la malga, oggetto di studio, riportante un'analisi dei punti di forza e debolezza della gestione zootecnica in atto, con riguardo ai risvolti di compatibilità ambientale. A titolo esemplificativo:

- habitat e specie di interesse comunitario e conservazionistico presenti in alpe;
- fabbricati disponibili e loro consistenza;
- viabilità d'accesso e di servizio;
- disponibilità e distribuzione idrica in alpe;
- periodo di monticazione;
- modalità di governo del pascolo;
- carico zootecnico attuale e massimo teorico;
- analisi e descrizione sintetica della componente erbacea della vegetazione e dei processi di degrado (fenomeni erosivi, idrogeologici, sentieramenti, inarbustimenti, vegetazione nitrofila);
- descrizione delle attività casearie in atto, quantità stagionale e andamento, produzioni;
- analisi dei processi di gestione dei reflui caseari in atto.

Si effettua, poi, uno studio delle caratteristiche quali-quantitative dei secondi prodotti e reflui del caseificio, seguito da una valutazione dell'efficienza dei sistemi di gestione degli stessi.

Successivamente si predispongono una relazione tecnica relativa allo studio di fattibilità tecnica dell'impianto di fitodepurazione che, sulla base del quadro specifico della malga, delinea possibili soluzioni progettuali, individuando le caratteristiche dimensionali, tipologiche, funzionali e le relative stime di massima economiche.

Si passa poi alla progettazione definitiva/esecutiva e Direzione Lavori dell'impianto di fitodepurazione progettato nella precedente fase.

Una volta realizzato l'impianto dev'essere testata l'efficacia dello stesso mediante un'attività specifica di monitoraggio, la quale prenderà in considerazione i, ripetuto per almeno tre volte nel corso della stagione (inizio monticazione, metà monticazione, fine monticazione) e comprensivo di accertamenti analitici per i parametri di compatibilità con la normativa vigente.

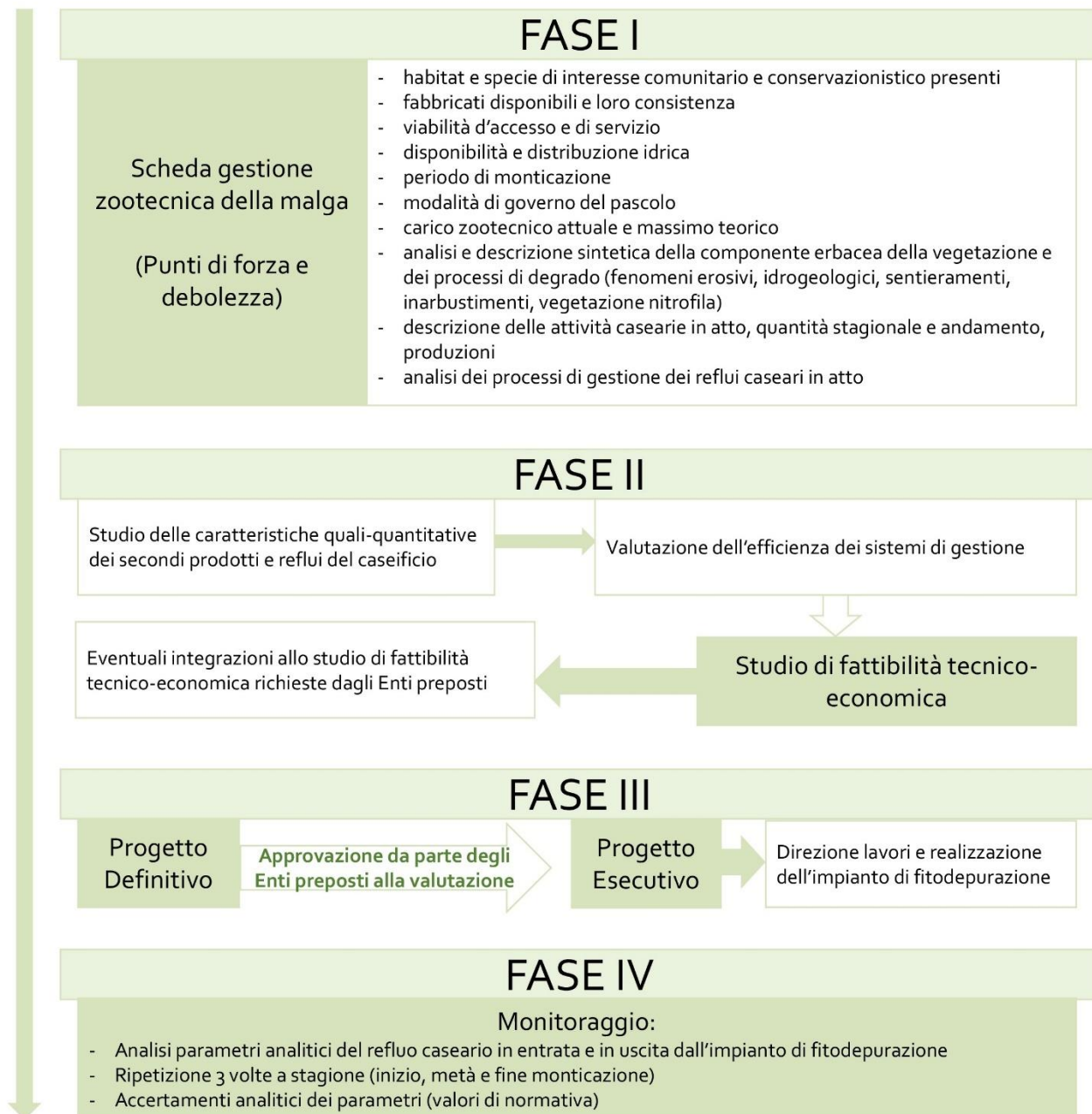


Figura 17. Schema del protocollo di gestione degli impianti di fitodepurazione





7 Monitoraggio dell'efficacia di funzionamento

Per la valutazione dell'efficacia della capacità di depurazione del sistema di pedo-fitodepurazione devono essere eseguite delle analisi chimiche pre-intervento (ad esempio sul siero in caso di malga) e delle analisi post-intervento circa il refluo depurato. Questo è essenziale per constatare oltre il funzionamento corretto dell'impianto anche l'effettiva capacità depurativa delle essenze vegetali scelte nelle fasi precedenti la progettazione.

I parametri, consigliati per l'analisi dei campioni, sono i seguenti:

- Solidi sospesi (SST);
- BOD a 5 giorni;
- COD;
- Azoto ammoniacale e totale;
- Cloruri;
- Fosforo totale.

Per le analisi preliminari possono essere utili anche:

- Umidità;
- Sostanza secca.

Il periodico controllo, tramite prelievo e analisi di campioni, può essere un ottimo modo per valutare la longevità e la capacità di depurazione dell'impianto nel tempo e fornire i parametri necessari per avviare fasi di manutenzione straordinari e/o fornire dati per future progettazioni.

8 Manutenzione degli impianti di pedo-fitodepurazione in ambito montano

La manutenzione ha lo scopo principale di verificare il corretto attecchimento delle specie vegetali piantumate e la loro affermazione nel sistema di pedo-fitodepurazione nonché l'efficacia dello stesso.

La manutenzione di un impianto di pedo-fitodepurazione, pur non essendo particolarmente complessa e considerando inoltre che la struttura delle malghe che vengono usate stagionalmente, necessita di interventi di controllo che riguardano essenzialmente le seguenti componenti.

Tabella 10. Operazioni di manutenzione degli impianti di pedo-fitodepurazione in ambito montano

<i>Interventi</i>	<i>Frequenza</i>	<i>Osservazioni</i>
Ispezione dei pozzetti di controllo	All'inizio e alla fine della stagione di attività della malga	Tale operazione prevede il controllo del corretto funzionamento dell'intero sistema depurante
Controllo del letto vegetato	Annuale	Tale operazione prevede la verifica della corretta colonizzazione delle essenze vegetali
Interventi di ispezione e spurgo della vasca Imhoff	Quando necessario	Tale operazione prevede lo spurgo e lo smaltimento del sedimento depositato nella vasca
Sfalcio della vegetazione (es. <i>Phragmites australis</i>)	Ogni 3-4 anni	Tale operazione prevede lo sfalcio di canneto e di smaltimento dello stesso. Per le specie erbacee non si reputa necessario alcun intervento di manutenzione, in quanto specie capaci di autogestirsi e regolarsi.

9 Impianto pilota di pedo-fitodepurazione Malga Blumone

Nell'ambito del progetto MIFISSO per la realizzazione dell'impianto pilota è stata individuata la Malga Blumone di Sotto.

Si tratta di una malga di proprietà del Comune di Breno, sita nel Parco dell'Adamello e più precisamente nella piana del Gaver. Gestita dall'azienda agricola Ducoli Giovanni, essa ricade all'interno del sito di importanza comunitaria ZSC IT2070006 "Pascoli di Croce Domini – Alta Val Caffaro" e durante il periodo estivo richiama un forte afflusso turistico.

La Malga Blumone di Sotto, come avviene per molte malghe in Valle Camonica, produce latticini e formaggi ad alta quota, tra cui il rinomato formaggio "Silter".

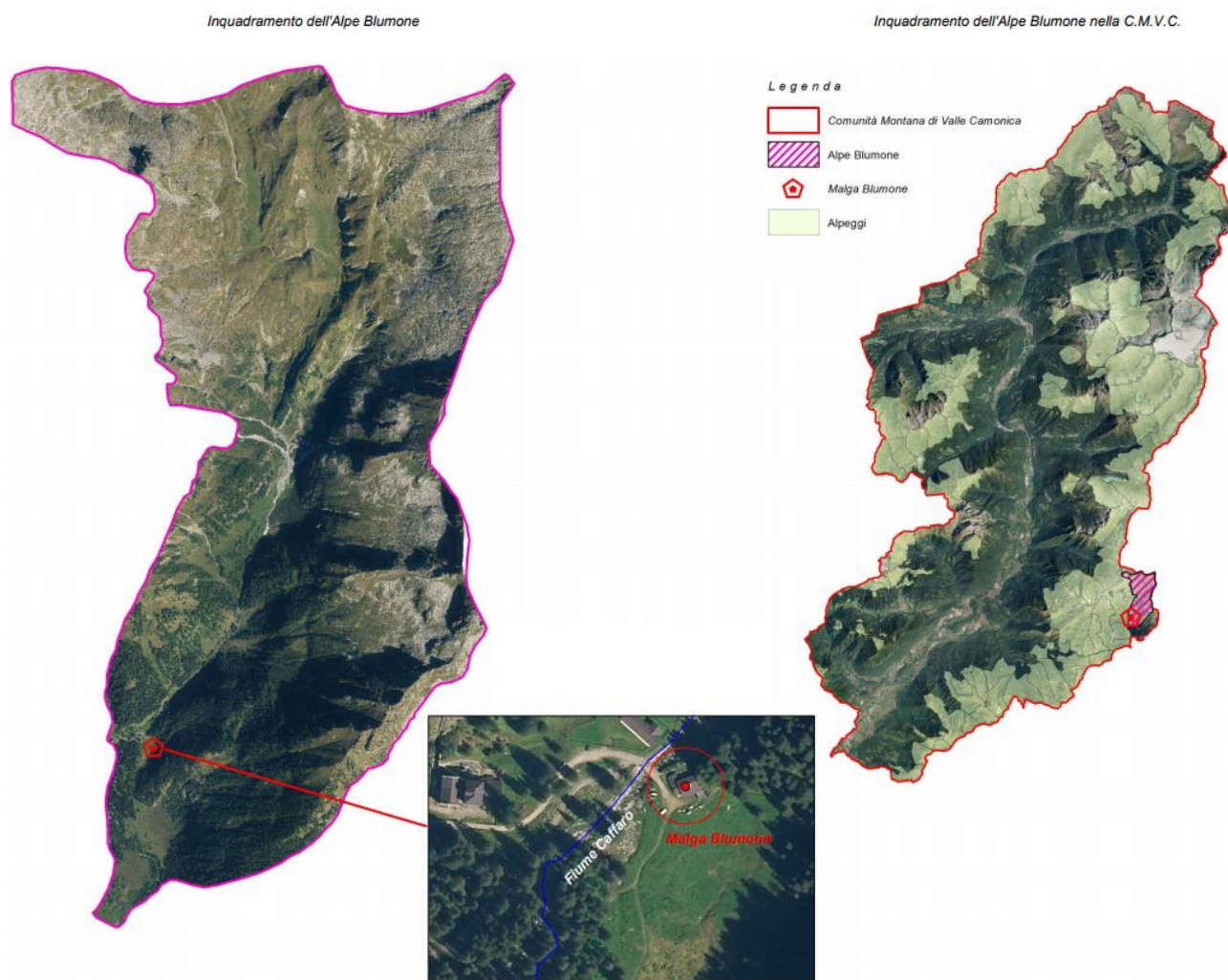


Figura 18. Localizzazione del sito di intervento



Figura 19. Ingresso alla Malga Blumone



Figura 20. Vista dell'area di intervento (situazione ante operam)

La superficie totale della malga Blumone è vasta, ma quella pascolabile è di poco inferiore a 100 ha. Le vacche da latte in lattazione sono gestite esclusivamente presso la stazione malga Blumone di Sotto (1500 m s.l.m.) in versante sinistro del torrente Caffaro nella piana del Gaver.



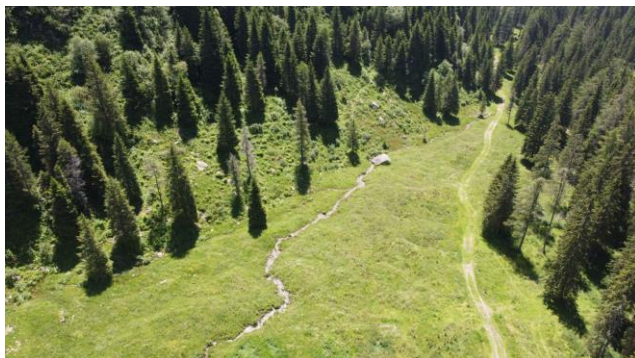
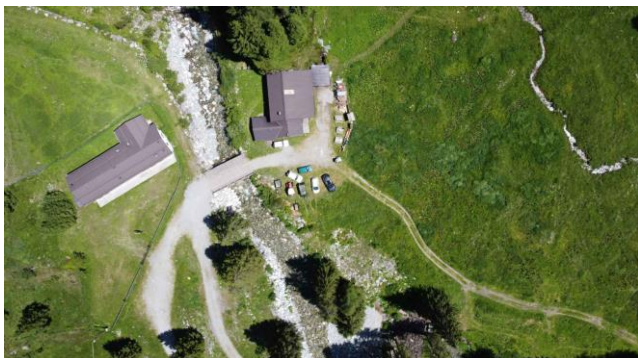


Figura 21. Foto aeree della Malga Blumone

La malga è stata caricata in passato con un numero di UBA (Unità Bovino Adulto) intorno a 70 (quantità ottimale come da indicazioni del Piano di Assestamento della proprietà Silvo-Pastorale), salvo scendere a 55-60 nelle ultime stagioni. Negli anni passati è stato incrementato il numero delle lattifere in produzione, che è salito in certe stagioni anche a 40-50, con una produzione totale giornaliera media di oltre 400 kg di latte.

La struttura di malga, per quanto recentemente ristrutturata, non dispone di una porcilaia fissa e la presenza di maiali in malga in passato ha dato luogo ad alcune criticità, legate alla presenza nelle vicinanze di zone umide di elevato valore naturalistico.



Figura 22. Area di gestione dei suini (situazione ante operam)



Tabella 11. Caratteristiche dell'azienda agricola Ducoli Giovanni

Azienda agricola Caseificio	Vacche da latte nelle aziende di fondovalle	Sede del caseificio o con bollo CE	Prodotti a latte crudo del caseificio aziendale (denominazione e PAT della R.L.)	Malga (altitudine, m s.l.m.)	Sede del caseificio di malga con bollo CE	Vacche da latte nelle malghe	Prodotti a latte crudo del caseificio di malga (denominazione e PAT della R.L.)
Ducoli Giovanni	25	Produce solo in malga. Al di fuori del periodo di alpeggio conferisce il latte alla coop. Val Palot per la produzione del Silter		Blumone di Sotto (1500)	Blumone di Sotto (comune di Breno)	40-50	Burro di montagna; Formaggella della Valle Camonica; Silter DOP

La realizzazione di un impianto pilota di pedo-fitodepurazione a servizio della Malga Blumone di Sotto in Comune di Breno (BS) rientra nel progetto "MiFisso – *Microrganismi autoctoni e fitodepurazione per la sicurezza e la sostenibilità del burro e dei formaggi a latte crudo prodotti in Valle Camonica e nel Sebino Bresciano*". Tale intervento è stato finanziato nell'ambito del progetto FEARS (Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale) – Operazione 16.1.01 – "Gruppi Operativi PEI", a favore della Comunità Montana - ente Parco dell'Adamello.

Uno degli obiettivi del progetto MIFISSO riguardava l'analisi della compatibilità ambientale del processo di utilizzazione dei secondi prodotti e reflui (generati dalla produzione di formaggi e burro in malga) e **l'introduzione di un processo di fitodepurazione annesso alle malghe con caseificio**, finalizzato al miglioramento della compatibilità ambientale di processo e al mantenimento della sostenibilità economica dell'attività.

Per la concretizzazione di questo obiettivo è stato progettato e realizzato un impianto pilota di pedo-fitodepurazione annesso ad un'attività casearia di malga, finalizzato a testare la fattibilità di un modulo tipo di impianto di fitodepurazione per reflui caseari in quota, dove la stagionalità della lavorazione, le temperature basse e la ridotta stagione di vegetazione possono limitarne la funzionalità operativa e dove anche ostacoli di altra natura (es. fisici di localizzazione esecutiva, ambientali legati alla scelta delle specie) ne possono condizionare l'operatività effettiva.

9.1 Perché pedo-fitodepurazione e non solo fitodepurazione

Nel caso in esame si è ricorso alla progettazione di un impianto di pedo-fitodepurazione date le modeste aree disponibili: in questo modo i vantaggi dell'abbattimento degli inquinanti da parte della vegetazione delle zone umide si combina con quello dei substrati inerti.

Il bio-pedo-trattamento si propone, quindi, come valida alternativa tecnologica alla fitodepurazione convenzionale che necessita di estese superfici (anche superiore ai 5 m²/A.E.), puntando ad un aumento dell'efficienza depurativa del sistema e, dunque, ad una minimizzazione degli spazi necessari a parità di resa depurativa.

Questa tecnologia si fonda sull'approfondimento del ruolo che i singoli fattori - parametri costruttivi, substrati, essenze vegetali, attività microbica - svolgono nel bilancio dell'intero processo depurativo. Attraverso l'impiego di scambiatori ionici (es. zeoliti) e fasi minerali adsorbenti (ad esempio residui dell'attività mineraria) atti a integrare l'azione dei processi biologici, viene notevolmente incrementata





l'efficienza nella rimozione degli inquinanti, **riducendo la necessità di spazio** presente nella versione tradizionale. Questa razionalizzazione permette di adattare il sistema al trattamento di acque reflue anche in condizioni di scarsa disponibilità di aree deputate ad ospitare tali sistemi di depurazione.

Le **zeoliti** sono i minerali più abbondanti della crosta terrestre. Esse si ritrovano nelle rocce sedimentarie, nei depositi lasciati dai laghi di origine salina (phillipsite, clinoptilolite, analcime, erionite, chabasite, mordenite), in depositi marini (phillipsite, clinoptilolite, analcime, erionite, mordenite), e nelle rocce vulcaniche (phillipsite, chabasite). Depositi di diversa composizione sono presenti in USA, Giappone, Russia, ex-Cecoslovacchia, Ungheria, Bulgaria, ex-Jugoslavia, Messico, Corea, Sudafrica, Italia (tufi campani, le lave leucitiche del vulcano laziale e del Monte Somma, che abbondano di phillipsite, in Sardegna con abbondanza di chabasite). In alcuni casi i depositi contengono quantità di milioni di tonnellate, con livelli di purezza anche >90%. In altri casi la purezza scende al 60%, essendo il materiale zeolitico miscelato con argille e feldspati.

Il nome "zeolite" (dal greco: pietra che bolle) è stato introdotto da un mineralogista svedese (A.F. Cronstedt), perché sono minerali che se riscaldati sprigionano vapore acqueo. Le zeoliti, grazie alla loro struttura cristallina costruite da tetraedri di SiO_4 e AlO_4 disposti tridimensionalmente e legati l'uno con l'altro tramite la condivisione di tutti gli atomi di ossigeno, presentano particolari proprietà chimico-fisiche:

1. elevata e selettiva Capacità di Scambio Cationico (CSC);
2. disidratazione reversibile;
3. adsorbimento molecolare.

A queste si aggiungono altre proprietà (ritenzione idrica, resistenza meccanica, permeabilità, bassa densità) dovute alla natura della roccia.

9.2 Problematiche connesse alla realizzazione

A livello progettuale occorre tener conto dei seguenti aspetti:

- carico idraulico in ingresso;
- caratteristiche del refluo (concentrazione inquinanti e temperatura del refluo);
- superfici disponibili;
- condizioni climatiche;
- scelta delle specie vegetali.

Le principali problematiche sono legate a diversi aspetti quali morfologia, spazi, altitudine, clima e logistica. In ambiente montano la disponibilità di suolo è limitata, soprattutto in termini di profondità; devono perciò essere escluse tutte quelle superfici troppo pendenti, instabili e altamente boscate: l'impianto di fitodepurazione deve possedere delle caratteristiche di profondità e pendenza particolari tali da dover essere, molto spesso, ricreate artificialmente. Questo step pratico può diventare fondamentale dal punto di vista della scelta dell'impianto e della sostenibilità economica in quanto realizzare una vasca andando ad esportare con mezzi meccanici la roccia compatta è spesso insostenibile. Fondamentale è quindi un'attenta analisi geologica per valutare la presenza di roccia, valutando soluzioni atte a minimizzare gli scavi come lo sfruttamento di piccole depressioni naturali oppure realizzando dei terrapieni con opere di ingegneria naturalistica o muretti a secco, in modo di mitigare l'impatto ambientale dell'opera stessa.

Un'altra problematica è senza dubbio legata alle difficoltà di accesso: non sempre infatti i rifugi e le malghe sono collegati ad una rete viaria che permetta di raggiungerli con mezzi motorizzati; questo avviene solo in



sporadici casi, per esempio quei rifugi siti in aree con importanza storica militare oppure rifugi localizzati nelle vicinanze di dighe con annessi sistemi di trasporto a fune.

Altro aspetto legato all'isolamento dell'impianto è il costo e l'organizzazione della manutenzione: gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria di cui necessitano gli impianti possono essere molto variabili a seconda della tipologia d'impianto stesso; in questo caso sono stati privilegiati impianti che richiedano minima manutenzione, effettuabile direttamente dal proprietario/utente e soprattutto che limitino l'accumulo di fanghi che andrebbero successivamente trasportati a valle con costi elevati. Anche per quanto riguarda l'approvvigionamento energetico, soprattutto di tipo elettrico, solitamente può essere soddisfatta in questi ambienti dalla presenza di impianti idroelettrici nei pressi dei rifugi; negli altri casi nonostante i grandi passi compiuti dal fotovoltaico negli ultimi decenni, la disponibilità di corrente elettrica può essere scarsa e limitata. Impianti ad alto consumo energetico per sé stessi o per sistemi complementari, sono dunque da escludere privilegiando impianti il più possibile autonomi. Per esempio tipologie con pretrattamenti o sistemi di sedimentazione primaria troppo elaborati sono da evitare, così come sistemi areati che necessitano di pompe supplementari.

Anche il clima influisce in maniera notevole sulle scelte del progettista, con problematiche legate sia al gelo che alla prolungata copertura nevosa: l'accortezza più semplice è quella di considerare soluzioni che assicurino l'integrità dell'impianto nei confronti del gelo, partendo dallo svuotamento dell'impianto nel caso di prolungata pausa invernale o della coibentazione dello stesso. Per quanto riguarda la progettazione vera e propria, una corretta conoscenza del territorio consente di evitare che la costruzione dell'impianto avvenga in zone in cui potrebbe rallentare lo scorrimento a valle del manto nevoso, oppure le zone esposte a Nord naturalmente più fredde e con copertura nevosa prolungata.

Altro aspetto di rilievo è la scelta della vegetazione da impiegare. Per quanto riguarda tutti gli studi e le prove, nel corso degli anni ci si è concentrati sugli orizzonti basali, collinari e al massimo montani fino ai 1500 m di quota; al di sopra di questo limite le specie potenzialmente fitodepuranti vanno ricercate all'interno della vegetazione tipica dell'orizzonte alpino e sub-alpino. L'utilizzo di flora autoctona è fondamentale sia per non alterare gli equilibri ecologici presenti o circostanti al sito (spesso d'alto valore ecologico ed ambientale), sia per impiegare del materiale vegetale di certo attecchimento, in grado di adattarsi al meglio alle condizioni stazionali estreme e reperibile facilmente in loco con un buon numero di esemplari, così da svolgere anche un ruolo di riserva di germoplasma di specie spesso endemiche.



Figura 23. Cotico erboso autoctono



In termini botanici le specie selezionabili ricadono all'interno delle elofite o delle nitrofile in grado di adattarsi al meglio ad alte concentrazioni di azoto; tra i principali parametri da rispettare per la fitodepurazione avremo quindi:

- autoctonia e localizzazione comune negli habitat delle zone umide;
- facilità di riproduzione e trapianto;
- specie adatte a suoli umidi e freschi;
- resistenza al clima rigido d'alta quota;
- specie nitrofile;
- apparati radicali profondi e ben sviluppati;
- taglia elevata;
- specie non urticanti, tossiche o spinose;
- rapida crescita;
- piante in grado di competere attivamente contro le infestanti.

9.3 Il sistema di pedo-fitodepurazione realizzato

La scelta realizzativa è stata effettuata in base all'esperienza acquisita nell'ambito della progettazione e realizzazione di interventi di fitodepurazione nella Comunità Montana della Valle Camonica.

Allo stato iniziale, la malga era dotata di due fosse Imhoff, una in corrispondenza del margine ovest dello stabile, che raccoglie le acque reflue della cucina e del wc, una poco a valle della zona caseificio, che invece raccoglie le acque di lavaggio.

Al fine di testare differenti soluzioni di trattamento con specie vegetali diverse, il sistema è stato sdoppiato in due linee. È stato realizzato un impianto di pedo-fitodepurazione del tipo a **sistema a flusso sub-superficiale orizzontale con vasche in parallelo** al fine di intercettare le acque reflue domestiche (provenienti dagli alloggi) e le acque assimilabili alle domestiche (provenienti dall'attività casearia) per poi convogliarle in una fossa Imhoff comune.

Nello specifico, a monte delle due Imhoff presenti sono stati installati due pozzetti con saracinesca in modo che i reflui potevano essere gestiti in autonomia e da qui sono state sviluppate due tubazioni in grado di convogliare in un pozzetto di ispezione a valle delle due Imhoff tutte le acque. In corrispondenza del pozzetto di ispezione appena citato, è stata realizzata una nuova tubazione in grado di scaricare i reflui in una nuova fossa Imhoff da 16 A.E. con diametro pari a 150 cm in cui avviene una prima miscelazione delle acque reflue; dalla nuova fossa Imhoff è stata prevista una ulteriore tubazione che, dopo aver scaricato in un pozzetto di ripartizione, terminava il suo percorso all'interno di due letti di fitodepurazione diversificati e indipendenti tra loro.

L'ubicazione dell'impianto è stata prevista in corrispondenza di una zona pianeggiante a valle della malga, a margine della prateria ed in zona già caratterizzata dalla presenza di vegetazione nitrofila di scarso valore ecologico.

Pur essendo un impianto sperimentale, si è optato per l'utilizzo di specie differenti nei due letti: sebbene entrambi siano costituiti da una prima parte riempita in ghiaietto (diam. max 15 mm – sp. 60 cm) e una seconda parte in zeolite (sp. 60 cm), posizionate al di sopra di un opportuno telo anti - punzonamento e di un telo in HDPE, nel primo letto (A) è stata piantumata *Phragmites australis*, mentre nella seconda vasca (letto B) zolle con vegetazione nitrofila reperite in loco (*Deschampsia caespitosa*). La scelta di diversificare i



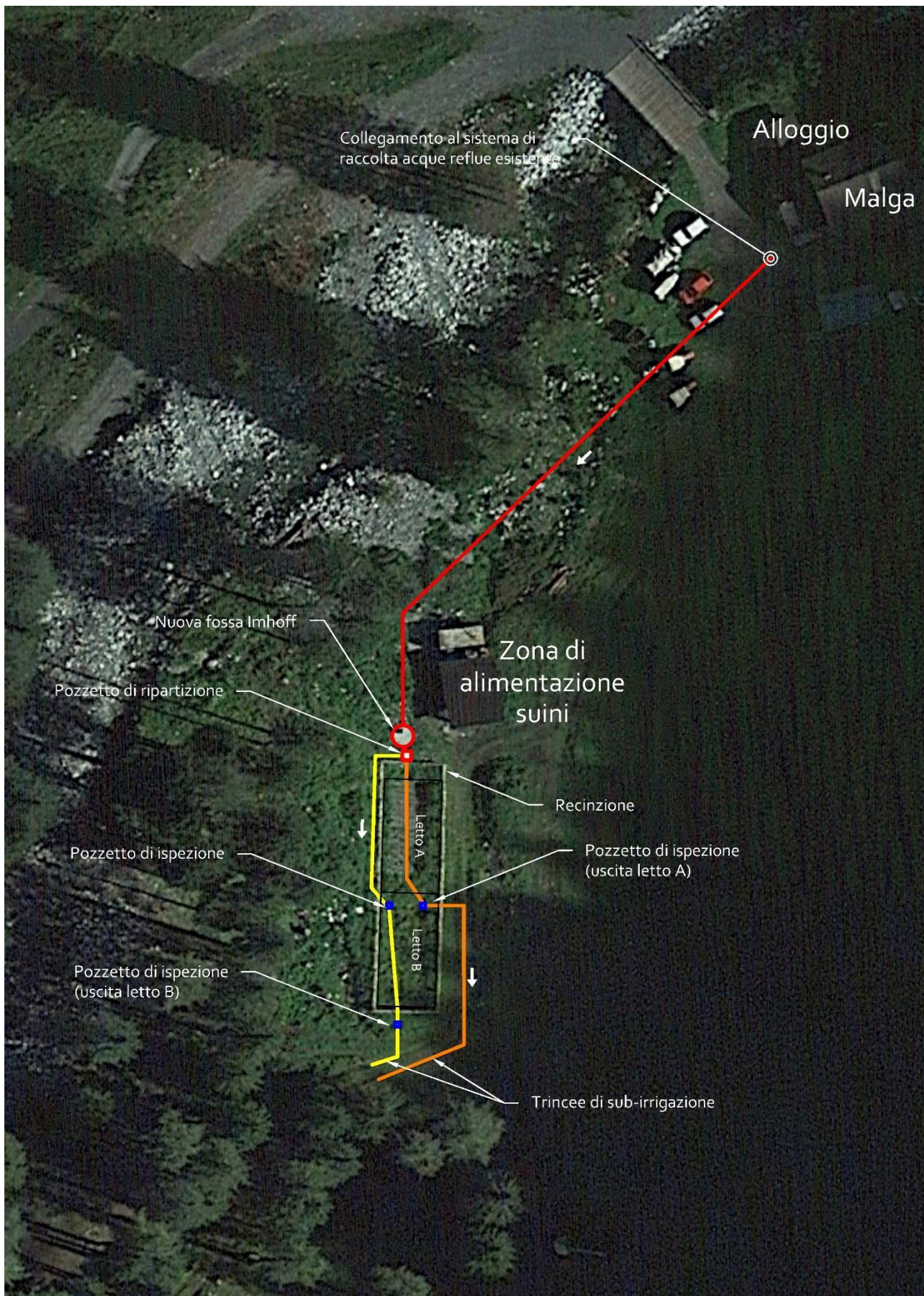
due letti deriva dalla necessità di poter studiare la differente capacità di abbattimento delle sostanze ammoniacali da parte delle essenze utilizzate.

I reflui, all'uscita dalle vasche di fitodepurazione, campionabili in pozzetti appositamente installati, concludono il loro percorso in trincee di sub-irrigazione separati da gabbioni. I due letti di fitodepurazione, ciascuno di 44 m², sono stati cintati mediante una staccionata in legno per evitare che gli animali al pascolo possano entrarvi.

Tabella 12. Dimensionamento dell'impianto pilota

PARAMETRI DI DIMENSIONAMENTO	U.M.	Valore
Addetti malga/caseificio	A.E.	3
A.E. da suini (apporto da lettiera 30%). (abitanti equivalenti derivanti da suini. 1,95 AbEq/capo)	A.E.	12
A.E. da siero con ipotesi di 100 l/d	A.E.	12
Totale Abitanti Equivalenti	A.E.	27
Portata da addetti	l/d	600
Portata lavaggio caseificio	l/d	2000
Portata lavaggio lettiera suini	l/d	2000
Portata siero	l/d	100
Carico equivalente di BOD ₅	gBOD ₅ /(A.E.*d)	60
Carico equivalente di Azoto totale	gN/(A.E.*d)	12
Carico equivalente di Fosforo totale	gP/(A.E.*d)	2
Portata media giornaliera prodotta	m ³ /d	4,7
Portata media giornaliera prodotta	l/s	0,05
Coefficiente di apporto in fognatura (portata)	AD	1,00
Portata media giornaliera di ingresso impianto	m ³ /d	5
Portata media giornaliera prodotta	l/s	0,05
CONCENTRAZIONI INQUINANTI INPUT		
Concentrazione ingresso BOD ₅	mg/l	
BOD ₅	kg/d	
VASCA TIPO IMHOFF		
Volume specifico comparto di sedimentazione	l/A.E.	35
Volume specifico comparto di digestione	l/A.E.	150
Volume comparto di sedimentazione	l	951

Volume comparto di digestione	l	4078
Volume complessivo	l	5029
Modello Rotondi		
Rendimento abbattimento BOD ₅	%	30
Concentrazione di BOD ₅ uscita Imhoff	mg/l	243
LETTO A FLUSSO SUB-SUPERFICIALE ORIZZONTALE		
Scelta medium	mm	8
Larghezza minima complessiva	m	9
Sommergenza media nel medium	m	0,6
Conducibilità idraulica Ks	m/d	500
Area trasversale Ac	m ²	5,4
Gradiente (< di 8,6/Ks)	%	0,17
Concentrazione di BOD in uscita - IMPOSTO	mg/l	60
Temperatura refluo	°C	12
Porosità n		0,35
Permeabilità Kf	m ³ /(m ² *d)	500
Costante k ₂₀	1/d	0,86
Fattore di incremento k ₂₀ x zeolite	%	20
Costante k ₂₀ -mod	1/d	1,032
Fattore di conversione costante cinetica (Φ)		1,13
Costante kt	1/d	0,39
Percentuale di abbattimento complessiva	%	0,83
Area superficiale As	m ²	84,9
Lunghezza letto	m	9,4
Larghezza letto (ripartita su due letti)	m	9
Area specifica	m ² /AE	3,1
Tempo di residenza reflui	giorni	3,8
Rapporto L/B		1
Rapporto H/L		0,1



Schema planimetrico dell'intervento presso la Malga Blumone di Sotto



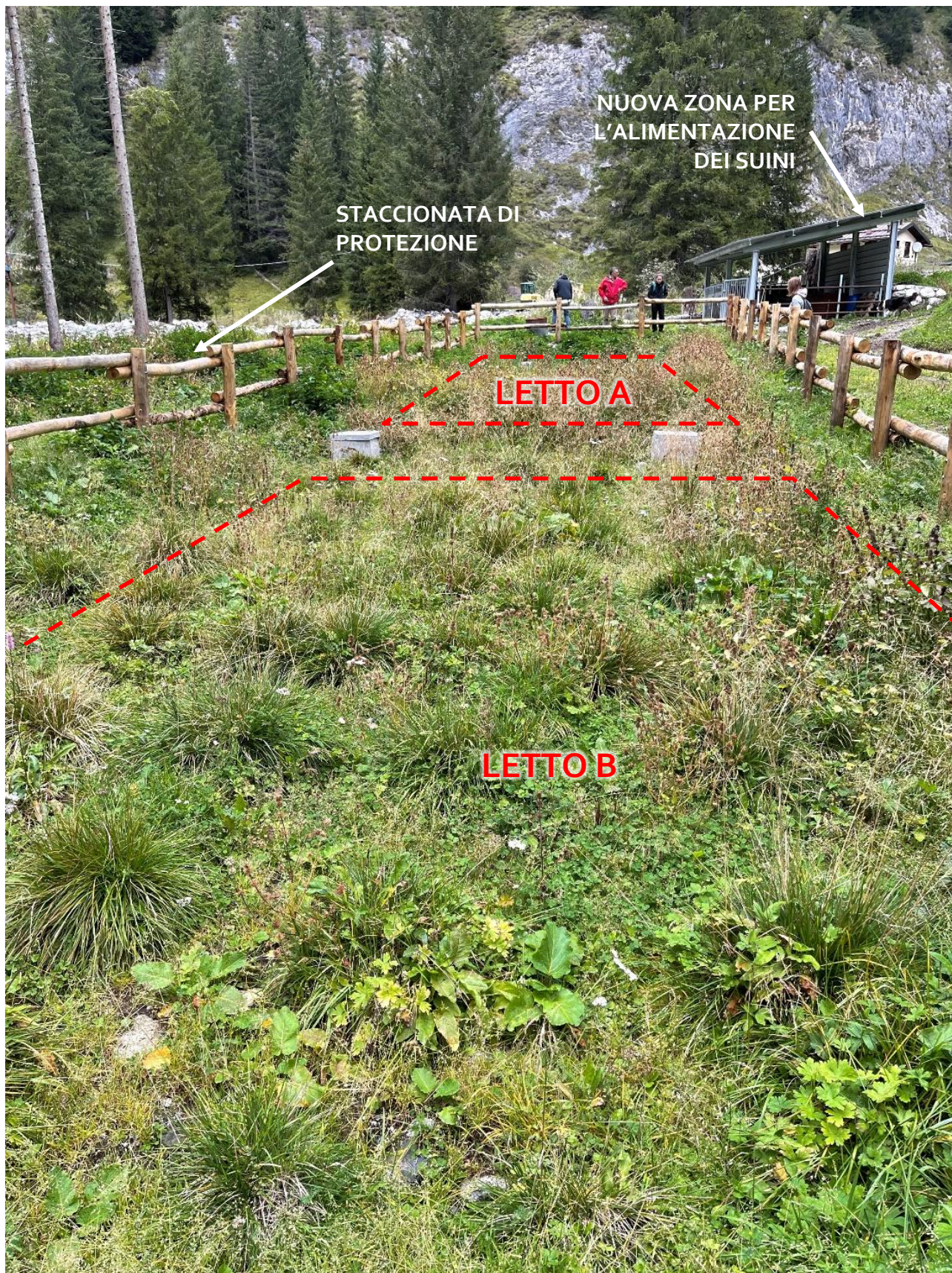
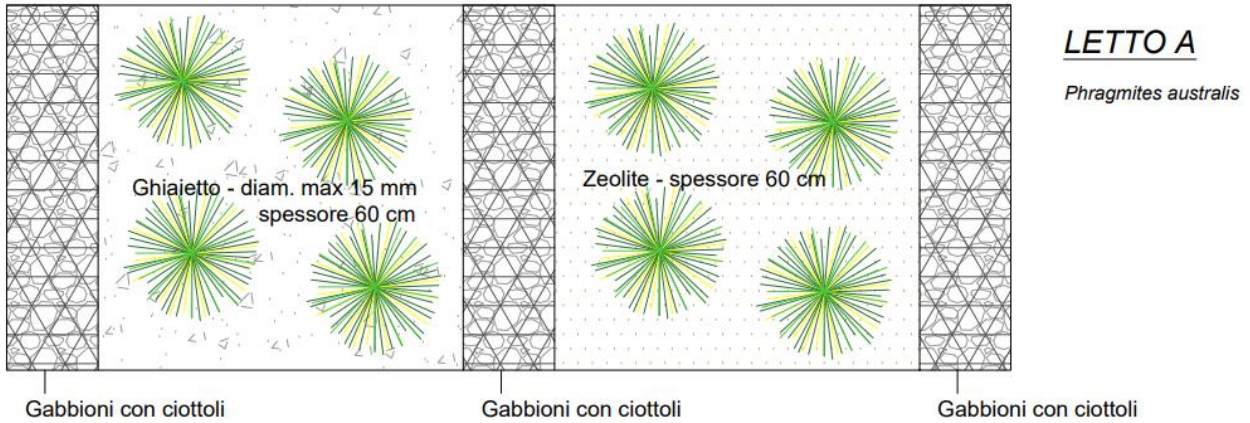


Figura 24. Vista dei due letti di pedo-fitodepurazione sperimentali realizzati



SUPERFICIE DI FITODEPURAZIONE = 44 mq



SUPERFICIE DI FITODEPURAZIONE = 44 mq

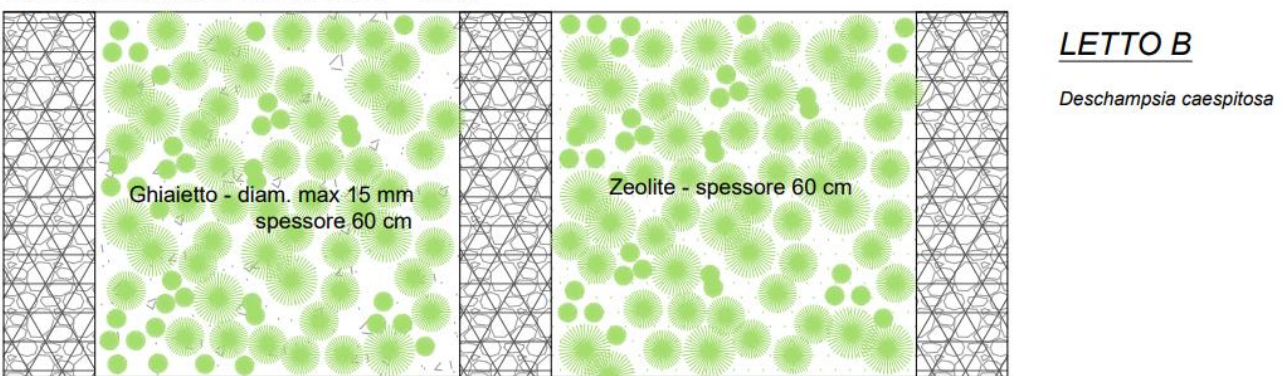


Figura 25. Composizione dei letti di pedo-fitodepurazione sperimentali

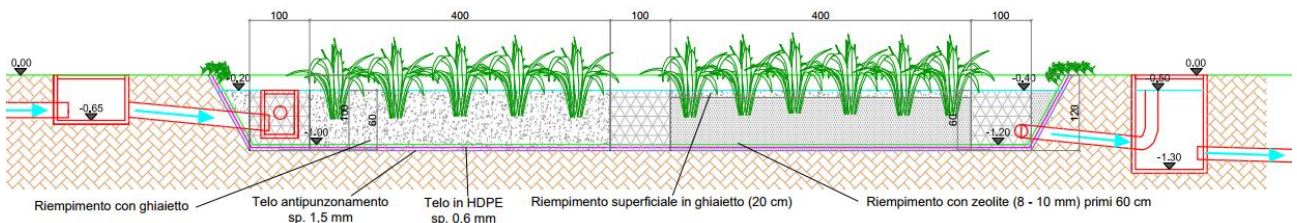


Figura 26. Sezione dei letti di pedo-fitodepurazione sperimentali

Per realizzare i letti di pedo-fitodepurazione si è proceduto inizialmente con l'esportazione e lo stoccaggio del cotico erboso superficiale (circa 20 cm di profondità) e l'escavazione dei letti secondo i dimensionamenti di progetto. Si è proceduto, poi, alla regolarizzazione del fondo, spianando il materiale presente e costipandolo. Una volta ultimata la preparazione del piano di posa si è proseguito con il posizionamento del telo antipunzonante in tessuto-non tessuto con massa unitaria di almeno 800 g/mq e successivamente del manto impermeabile in HDPE/LDPE dello spessore di 0,8 mm, con resistenza a trazione e al punzonamento non inferiori rispettivamente a 24 kN/m e a 4 kN. Per il riempimento delle vasche sono stati utilizzati zeolite e ghiaietto come illustrato negli schemi riportati precedentemente. Infine, è stato posto un telo di juta o cocco, su cui sono state messe a dimora le piantine di *Phragmites australis* (letto A) e le zolle asportate precedentemente di *Deschampsia caespitosa* (letto B).





Di seguito si riportano le foto delle principali fasi realizzative.



Figura 27. Posa del telo antipunzonante



Figura 28. Posa del manto impermeabile in HDPE/LDPE



Figura 29. Posa dei gabbioni nel letto A



Figura 30. Posa dei gabbioni nel letto B





Figura 31. Posa delle zolle di *Deschampsia caespitosa* (in primo piano) e di *Phragmites australis* (sullo sfondo)



Figura 32. Particolare del letto B con *Deschampsia caespitosa* a sviluppo completo





Figura 33. Particolare del letto A con le piantine di *Phragmites australis* appena messe a dimora



Figura 34. Struttura in acciaio dedicata all'alimentazione dei suini





9.4 Costi

Il costo complessivo degli interventi previsti dal progetto ammonta a **21.582,57 euro** così suddivisi:

LAVORI	20.987,30 €
Interventi preparatori e sistemazioni finali	1.048,77 €
Predisposizione fossa Imhoff e interventi accessori	4.092,57 €
Predisposizione dei letti di fitodepurazione e interventi accessori	14.121,00 €
Realizzazione laghetto di raccolta acque in uscita dai letti di fitodepurazione e opere accessorie	1.724,96 €
ONERI DELLA SICUREZZA	595,27 €

9.5 Valutazione dell'efficacia di depurazione

Per la valutazione dell'efficacia della capacità di depurazione del sistema di pedo-fitodepurazione sono state eseguite sia le analisi chimiche pre-intervento sul siero, sia le analisi post-intervento sul refluo depurato.

9.5.1 Analisi pre-intervento

Le analisi riportate sono state applicate ad un campione di siero di latte grasso e a un altro si siero di latte magro, prelevati lo stesso giorno e processati a partire dal giorno successivo al prelievo.

Tabella 13. Analisi sul siero di latte grasso

<i>Data di campionamento: 05/08/2020</i>	<i>Risultato espresso su</i>			
PARAMETRI	Sostanza secca	Tal Quale	U.M.	Limite di Quantificazione
Umidità		92,97	g/100 g	
Sostanza secca		7,03	g/100 g	
Azoto totale	1,80	0,13	g/100 g	0,02
Cloro dei cloruri		0,19	% p/p (come NaCl)	0,1
BOD 5 gg		44,600	mgO ₂ /l	1
COD		93200 ±24,00	mgO ₂ /l	5
Solidi sospesi totali a 105°C		66214	mg/l	100
Fosforo	5305,83	373,00	g/100 g	
Azoto ammoniacale		0,02	g/100 g	0,012

Tabella 14. Analisi sul siero di latte magro

Data di campionamento: 05/08/2020		Risultato espresso su		
PARAMETRI	Sostanza secca	Tal Quale	U.M.	Limite di Quantificazione
Umidità		94,76	g/100 g	
Sostanza secca		5,24	g/100 g	
Azoto totale	1,42	0,07	g/100 g	0,02
Cloro dei cloruri		0,19	% p/p (come NaCl)	0,1
BOD 5 gg		23900	mgO ₂ /l	1
COD		49900 ±1300	mgO ₂ /l	5
Solidi sospesi totali a 105°C		41518	mg/l	100
Fosforo	6431,30	337,00	g/100 g	
Azoto ammoniacale		0,02	g/100 g	0,012

9.5.2 Analisi post-intervento

Sono stati analizzati i parametri di quattro campioni, sempre tutti prelevati lo stesso giorno:

1. uno a monte della vasca Imhoff;
2. uno a valle della vasca Imhoff;
3. uno in uscita dalla vasca di pedo-fitodepurazione letto A;
4. uno in uscita della vasca di pedo-fitodepurazione letto B.

Come si può notare dalle tabelle successive, vi è un significativo abbattimento delle sostanze chimiche in uscita dalle vasche rispetto alle concentrazioni delle stesse in entrata.

Tabella 15. Analisi sulle acque di scarico a monte della Imhoff

Data di campionamento: 09/09/2022			
Aspetto: Limpido con poco sedimento, incolore, odore materiale in fermentazione	U.M.	Risultato	Incertezza
PARAMETRI			
Solidi sospesi totali (SST)	mg/l	20	±5
BOD 5 gg	mg/l	73	±16
COD	mg/l	150	±21
Azoto ammoniacale	mg/l	7,2	±0,5
Azoto totale	mg/l	8,1	±1,0
Cloruri	mg/l	18	±10
Fosforo totale	mg/l	1,6	±0,2

Tabella 16. Analisi sulle acque di scarico a valle della Imhoff

<i>Data di campionamento: 09/09/2022</i>			
Aspetto: Limpido con poco sedimento, incolore, odore materiale in fermentazione	<i>U.M.</i>	<i>Risultato</i>	<i>Incertezza</i>
PARAMETRI			
Solidi sospesi totali (SST)	mg/l	48	±11
BOD 5 gg	mg/l	170	±35
COD	mg/l	323	±42
Azoto ammoniacale	mg/l	5,0	±0,5
Azoto totale	mg/l	13,8	±1,0
Cloruri	mg/l	32	±10
Fosforo totale	mg/l	3,7	±0,2

Tabella 17. Analisi sulle acque di scarico in uscita dal letto A

<i>Data di campionamento: 09/09/2022</i>			
Aspetto: Limpido con poco sedimento, incolore, odore materiale in fermentazione	<i>U.M.</i>	<i>Risultato</i>	<i>Incertezza</i>
PARAMETRI			
Solidi sospesi totali (SST)	mg/l	9	±5
BOD 5 gg	mg/l	95	±20
COD	mg/l	197	±27
Azoto ammoniacale	mg/l	3,0	±0,5
Azoto totale	mg/l	3,7	±1,0
Cloruri	mg/l	30	±10
Fosforo totale	mg/l	1,8	±0,2

Tabella 18. Analisi sulle acque di scarico in uscita dal letto B

<i>Data di campionamento: 09/09/2022</i>			
Aspetto: Limpido con poco sedimento, incolore, odore materiale in fermentazione	<i>U.M.</i>	<i>Risultato</i>	<i>Incertezza</i>
PARAMETRI			
Solidi sospesi totali (SST)	mg/l	46	±11
BOD 5 gg	mg/l	80	±17
COD	mg/l	163	±23
Azoto ammoniacale	mg/l	5,5	±0,5
Azoto totale	mg/l	11,4	±1,0
Cloruri	mg/l	32	±10
Fosforo totale	mg/l	3,0	±0,2

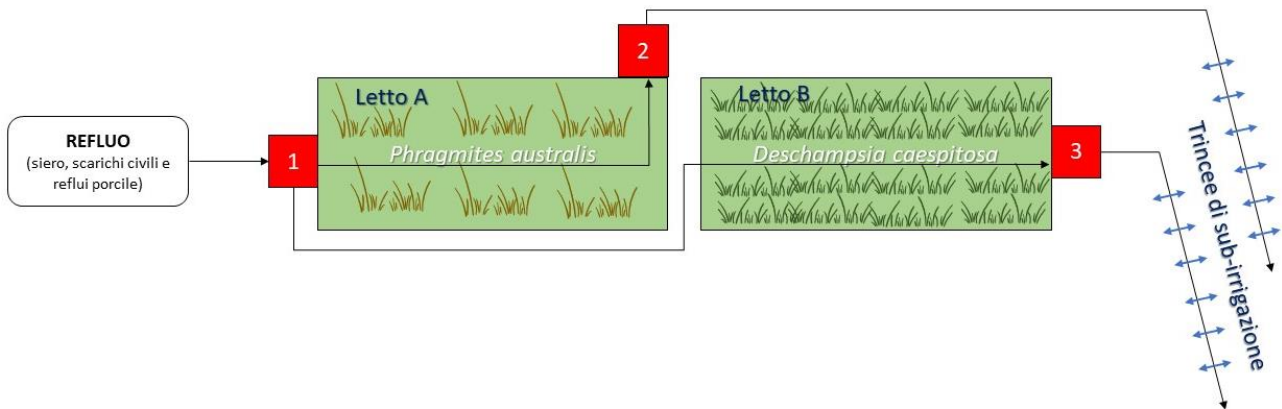


Figura 35. Schema semplificato dell'impianto di pedo-fitodepurazione realizzato e posizione dei pozzetti di campionamento

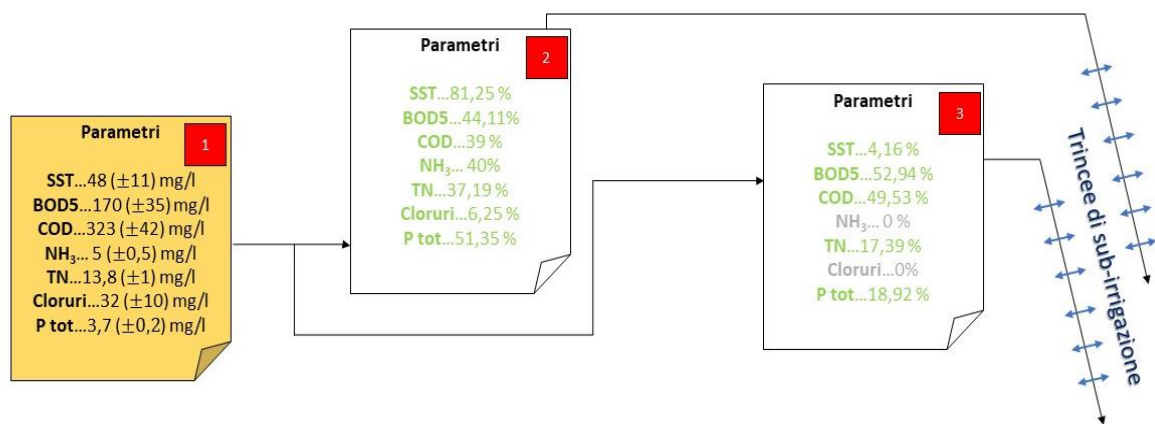


Figura 36. Confronto delle analisi in uscita dai due letti rispetto al refluo in entrata (percentuali di abbattimento)

Dalle prime analisi si evince una maggiore capacità di abbattimento da parte del letto a *Phragmites australis* (letto A) rispetto quello a *Deschampsia caespitosa* (letto B): ciò è facilmente spiegabile in quanto quest'ultima specie è caratterizzata da una maggiore lentezza nella crescita dell'apparato radicale; questo incide temporaneamente sulla minore capacità di abbattimento del giovane sistema a *Deschampsia caespitosa*. Con il raggiungimento della maturità del sistema, si otterrà un aumento delle capacità di assorbimento da parte della specie.



10 Conclusioni

La stesura di questo manuale è stata realizzata nell'ambito del **progetto MIFISSO (Microrganismi autoctoni e fitodepurazione per la sicurezza e la sostenibilità del burro e dei formaggi a latte crudo prodotti in Valle Camonica e nel Sebino Bresciano)** ed ha illustrato le problematiche e le criticità relative all'attività casearia in ambito montano. Le situazioni di degrado localizzato e i fenomeni di eutrofizzazione, causati dalla difficile gestione dei reflui restituiti in ambiente dalle attività delle malghe portano alla selezione di specie nitrofile non appetibili per gli animali (vacche da latte e suini) portati al pascolo in situ.

L'irrinunciabile qualità dei prodotti caseari realizzati in alta quota, le difficoltà esplicate nella gestione del refluo e la fragilità dell'ambito alpino, nonché la presenza di aree a forte tutela (Rete Natura 2000) ed interesse naturalistico, ambientale e turistico, porta alla necessaria elaborazione di nuove strategie di gestione delle malghe al fine di **ridurre al minimo l'impatto ambientale** generato dai reflui di caseificazione e burrificazione.

Oggi alcune malghe e alpeggi defluiscono i reflui direttamente nel pascolo o sono dotati di scarichi preposti (vasche Imhoff), non serviti da rete fognaria, di cui spesso non si conoscono dimensioni o disegno dell'impianto vero e proprio.

È perciò insindacabile la necessità di un **Protocollo di gestione**, che questo manuale ha prodotto, e l'applicazione, in questi luoghi di elevata sensibilità naturalistica e difficoltà operativa, di **sistemi di fitodepurazione**.

I sistemi di fitodepurazione sfruttano il naturale processo di depurazione che avviene nelle aree umide naturali dove, ad opera di organismi animali e/o vegetali presenti nel suolo e nelle acque, si attuano processi fisici, chimici e biologici (filtrazione, assorbimento, assimilazione da parte degli organismi vegetali e degradazione batterica) in grado di abbattere il carico di inquinamento organico di un refluo. Si viene, quindi, a sfruttare le capacità intrinseche di assorbimento di tali impianti.

Tra le problematiche in merito all'inserimento di un sistema di fitodepurazione in un ambito montano, la più preponderante risulta essere la mancanza di idonee superfici piane e il ridotto spessore dei suoli presenti a queste quote, nonché la presenza di rocce nel sottosuolo. La problematica è risolvibile adoperando un **sistema di pedo-fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale**.

La particolarità di questo impianto risiede nell'utilizzo di scambiatori ionici (es. zeoliti) e/o fasi minerali adsorbenti (ad esempio residui dell'attività mineraria) atti a integrare l'azione dei processi biologici, **riducendo la necessità di spazio** rispetto alla versione tradizionale (con l'utilizzo delle sole elofite come *Phragmites australis* e *Typha latifolia*). Questa razionalizzazione permette di adattare il sistema al trattamento di acque reflue anche in condizioni di scarsa disponibilità di aree deputate ad ospitare tali sistemi di depurazione.

Nel corso di questo manuale è stato riportato l'**esempio operativo-sperimentale dell'impianto della malga Blumone** per il quale è stato realizzato un **sistema di pedo-fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale a due vasche in parallelo**, una a *Phragmites australis* e l'altra a *Deschampia caespitosa*. La diversificazione delle due vasche caratterizzata da due specie vegetali differenti (un'idrofita emergente e una erbacea), di cui una tipica e abbondante in questi luoghi montani (*Deschampia caespitosa*), era servita per valutare la capacità di abbattimento dei nutrienti contenuti nel refluo di fine produzione casearia. Dai risultati si evince che *Phragmites australis* è la specie più performante; *Deschampia caespitosa* ha ottenuto



un'ottima resa in termini di percentuale di abbattimento, ma inferiore all'idrofita a causa *in primis* del lento accrescimento dell'apparato radicale della stessa e *in secundis* dalla scarsa maturità del sistema a *Deschampia caespitosa*.

L'utilizzo di *Deschampia caespitosa* risulta, pertanto, auspicabile e consigliabile soprattutto in situazioni di quote superiori ai circa 1800 m s.l.m., cioè altitudini proibitive per *Phragmites australis*.

In situazioni di possibile sopravvivenza di *Phragmites australis* viene consigliato l'utilizzo di entrambe le specie e la realizzazione di un impianto di **pedo-fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale a due vasche in successione**.

Da un punto di vista più generale, l'impianto di malga Blumone non è concepito però per quale risolutore al 100% della problematica legata ai reflui caseari di malga. In questo caso specifico si è cercato un punto di equilibrio tra il reimpiego del siero nell'alimentazione dei suini, la gestione dei suini ed i reflui civili ed assimilabili provenienti dalla malga.

Da questo punto di vista, quindi, questi impianti sono un supporto ad una migliore gestione ambientale che, tuttavia, non può prescindere dalla ricerca di un equilibrio nella gestione delle risorse già a monte e questo in ragione della delicatezza dei siti dove la gestione si svolge.



11 Altri esempi realizzati

Di seguito vengono riportati ulteriori esempi di impianti di fitodepurazione realizzati in ambiti di alta quota.

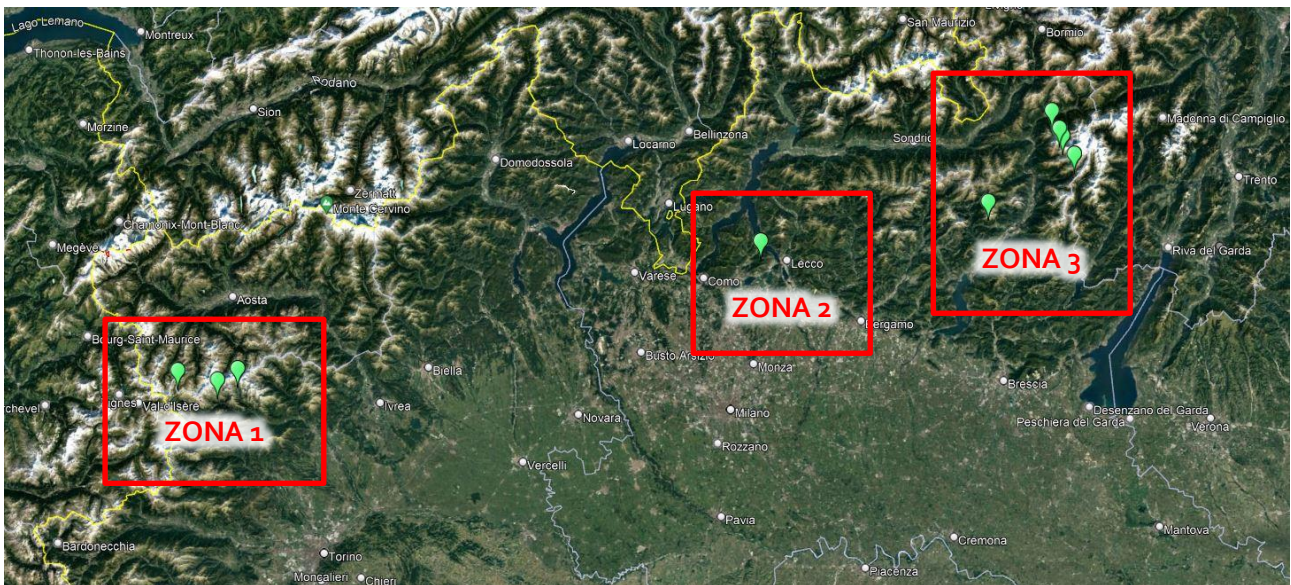


Figura 37. Localizzazione d'insieme degli impianti d'alta quota realizzati



Figura 38. Ingrandimento della zona 1

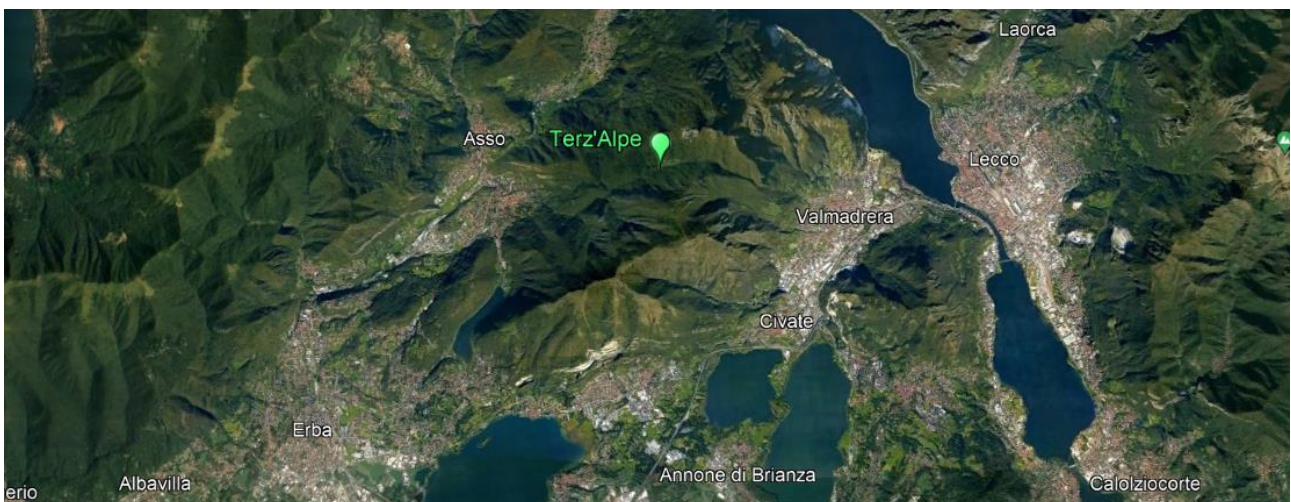


Figura 39. Ingrandimento della zona 2

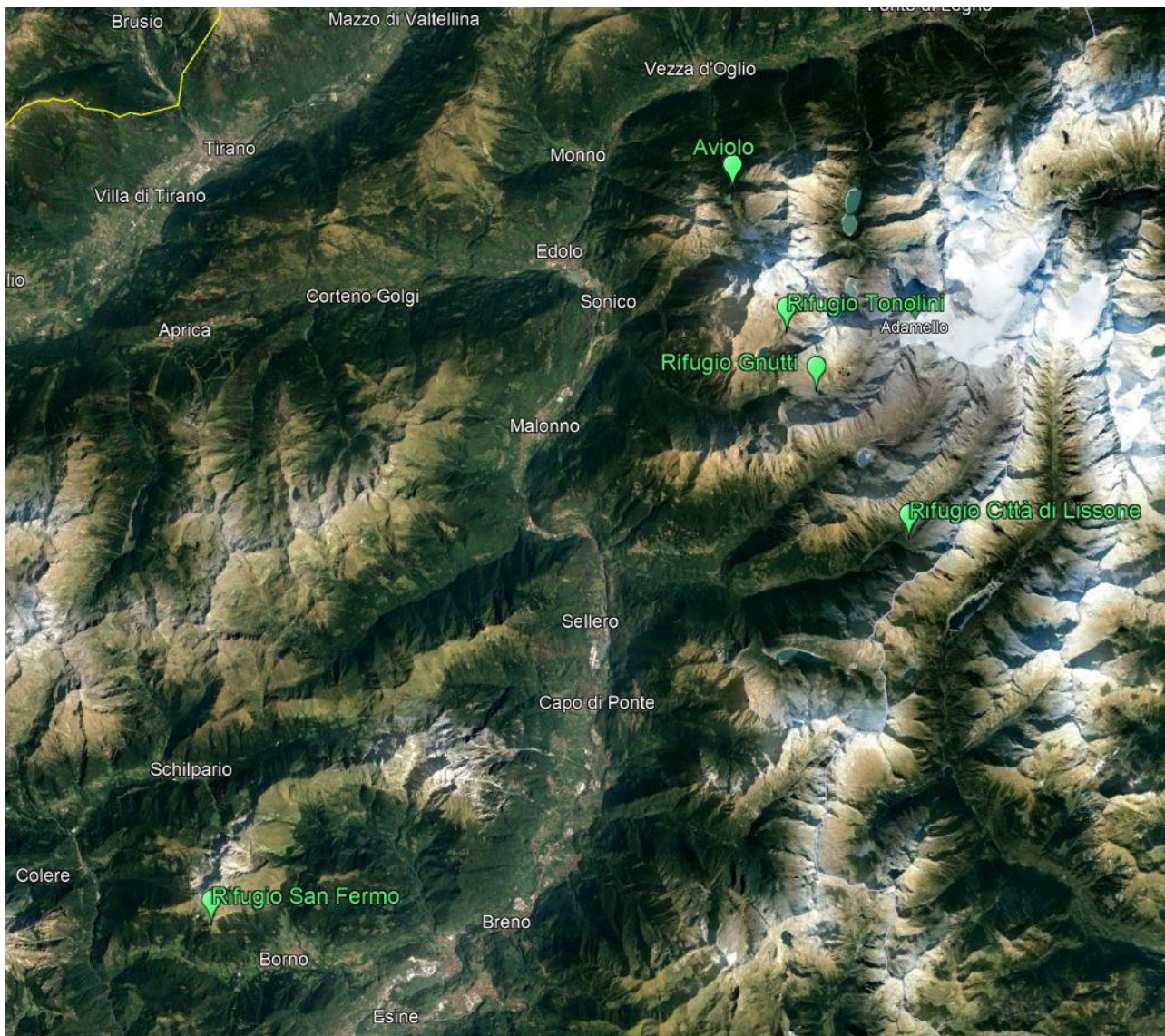


Figura 40. Ingrandimento della zona 3



11.1 Adeguamento del sistema di scarico e depurazione dei reflui dell'agriturismo Terz'Alpe mediante fitodepurazione - Comune di Canzo (CO)

COMMITTENTE	ERSAF – Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste
Periodo	Giugno 2012 – Febbraio 2014
Importo dell'opera	39.475,21 €
Categoria lavori	Cat. I.A.01 (rif. D.M. 143/2013)

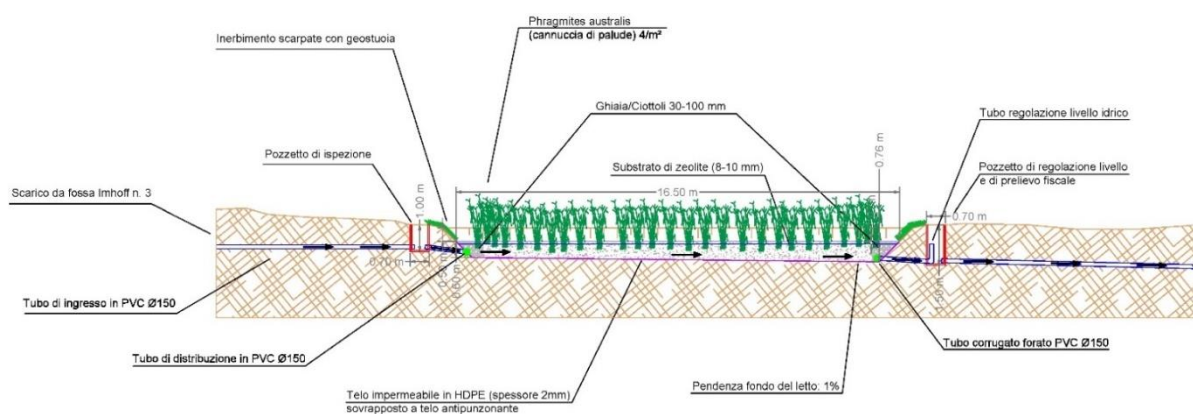
DESCRIZIONE DELL'INCARICO

L'intervento riguarda l'adeguamento del sistema di scarico e depurazione dei reflui dell'agriturismo "La Rondine" in località Terz'Alpe situato a quota 800 m slm mediante la realizzazione di un impianto di fitodepurazione.

L'azienda agricola svolge attività di allevamento, caseificazione, ristorazione e alloggio e sono presenti dei servizi pubblici rivolti agli escursionisti. In particolare il carico è caratterizzato da elevati picchi stagionali (primavera-estate) e settimanale (sabato e domenica) o feriali in concomitanza con la presenza di gruppi numerosi (scuole, oratori, ecc.).

La possibilità di adottare tipologie proprie dei sistemi di fitodepurazione, oltre ad essere una scelta consigliata a livello normativo per realtà simili a quelle di progetto, consente inoltre di attuare degli interventi secondo metodologie che ben s'inseriscono nel contesto territoriale presente, sia da un punto di vista ambientale che paesaggistico, un aspetto importante dato che l'ambito d'intervento ricade all'interno sia della Zona di Protezione Speciale "Triangolo Lariano" (IT2020301) che nella FDL Corni di Canzo.

Il completamento delle opere igienico-sanitarie rappresenta infine un elemento fondamentale per la salvaguardia delle acque superficiali con particolare riferimento alla tutela del Torrente Ravella.



Schema sistema a flusso sub-superficiale orizzontale – schema di funzionamento

L'impianto in progetto ha adottato le zeoliti come substrato di riempimento del letto che, noto il ruolo attivo nei processi depurativi, hanno consentito di ottimizzare al meglio le superfici (riduzione dal 30 al 40% di superficie utile rispetto all'utilizzo della ghiaia), grazie ad un aumento dell'efficienza depurativa.



In questo caso specifico la fitodepurazione è destinata alla depurazione sia di reflui assimilabili ai civili (di natura organica) ubicate in aree non servite da pubblica fognatura (bar, ristoranti, agriturismi, ecc.) sia di reflui provenienti da aziende zootecniche (lettiera, sala mungitura, caseifici, ecc.).

Tra le macrofite acquatiche particolarmente efficaci nei processi di fitodepurazione quella individuata più appropriata per le condizioni stagionali delle aree oggetto di intervento è risultata la Cannuccia di palude (*Phragmites australis*).

Caratteristiche ecologiche e fisiologiche di *Phragmites australis*

Graminacea acquatica annuale che vive a diverse altitudini, è comune lungo la riva di bacini idrici, in presenza di battenti idrici massimi di 1,50 m. anche se perde competitività in acque poco profonde dove prevalgono altre specie acquatiche. Costituisce popolamenti più o meno estesi e rigogliosi, raggiungendo una crescita ottimale con temperature comprese tra 12 e 23°C. Riguardo i popolamenti impiegati in impianti di fitodepurazione sono riportati i seguenti dati: densità superficiali di 600-3500 gSS m⁻², produttività annue di 10-60 tSS ha⁻¹ anno⁻¹ e contenuti di azoto e fosforo rispettivamente pari a 18-21 gN (kgSS)⁻¹ e 2-3 gP (kgSS)⁻¹.



FASI REALIZZATIVE

La principale fonte di apporti inquinanti era rappresentata dalle strutture collegate al primo sistema di depurazione, ossia i locali dell'agriturismo (cucina, bagni delle camere, ristorante) e l'alloggio dei gestori.

Gli interventi realizzati sono i seguenti:

- 1) Convogliare in un'unica linea i reflui derivanti dalle due fosse Imhoff esistenti realizzando un'ulteriore fossa Imhoff che va a compensare il sottodimensionamento della vasca 1 (primo sistema di depurazione). La terza fossa Imhoff è dimensionata per gestire 25 A.E.
- 2) Realizzazione di un degrassatore a servizio esclusivo del caseificio (identico a quello già presente a servizio dell'agriturismo). In precedenza la struttura scaricava direttamente nella vasca Imhoff esistente. Quest'ultima riceveva inoltre anche le acque di lavaggio della stalla. La sistemazione di un degrassatore ha permesso di separare oli e grassi dal rimanente refluo, che viene poi convogliato al trattamento in fossa Imhoff prima e in impianto di fitodepurazione poi.
- 3) Realizzazione di un impianto di fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale. Gli attuali sistemi di trattamento sono fatti convogliare in un'unica linea che confluisce nella vasca di fitodepurazione di nuova realizzazione.



Immagine da Google Earth 2017 con evidenziato impianto di fitodepurazione ca dopo 3 anni di realizzazione





11.2 Progettazione preliminare, definitivo-esecutiva e Direzione Lavori dell'impianto di fitodepurazione a servizio del Rifugio Tonolini (BS)

COMMITTENTE	Comunità Montana di Valle Camonica
Periodo	2013 – 2014
Importo dell'opera	28.500,00 €
Categoria lavori	Cat. IIIa

DESCRIZIONE DELL'INCARICO

Il trattamento delle acque reflue prodotte nei rifugi alpini rappresenta una problematica complessa, vista l'impossibilità di collegare gli scarichi dei rifugi a reti fognarie, o gestire le acque reflue mediante impianti di trattamento convenzionali. L'entità di questo problema è poi aggravata dalle condizioni limitanti dell'ambiente alpino e alla fragilità e pregio degli elementi di naturalità che costituiscono tali luoghi. In queste condizioni risulta fondamentale poter gestire le acque reflue in modo sostenibile e dunque riducendo l'impatto dell'attività antropica, al fine della tutela dei delicati equilibri legati agli ambienti di alta quota, in particolare a quelli acquatici.

L'intervento ricade in prossimità del Rifugio Tonolini di proprietà del CAI di Brescia, situato in Comune di Sonico, in località Lago Rotondo – Conca del Baitone ad una quota altimetrica di 2.450 m s.l.m.



Localizzazione dell'intervento di progetto

Per adeguarsi agli standard della normativa vigente i rifugi sono di norma dotati di una fossa Imhoff, con dispersione nel terreno per subirrigazione o semplicemente di un pozzo perdente.

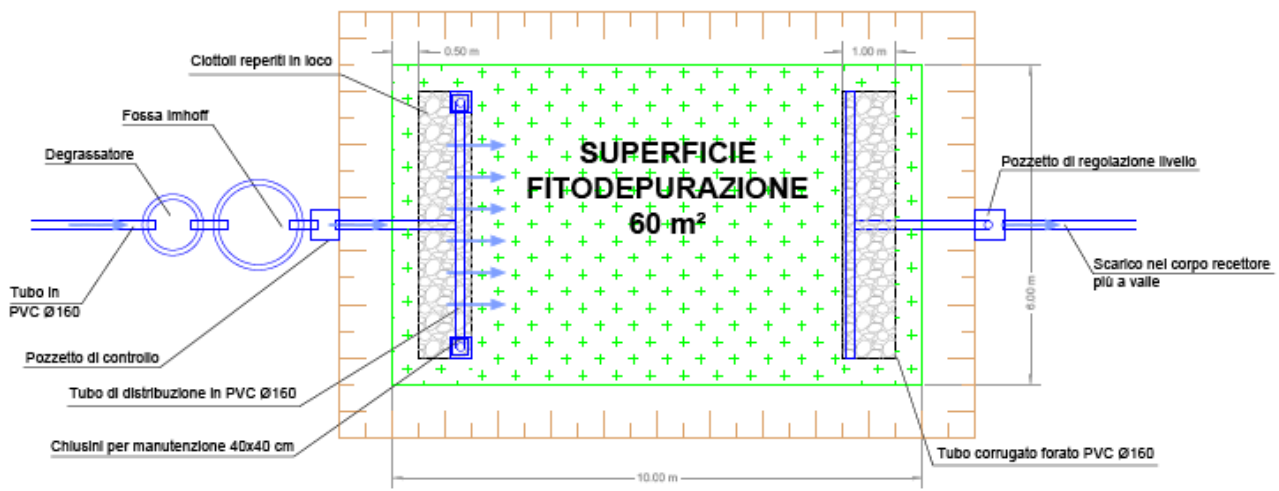
La sezione CAI di Brescia, proprietaria dell'immobile, è stata interessata da lavori di ristrutturazione secondo il Regolamento Regionale della Lombardia n. 5 del 15-02-2010 relativamente ai rifugi alpinistici, mediante l'adeguamento del locale per l'impianto elettrico e il miglioramento dei locali per elevare l'accoglienza e la capacità ricettiva, da 25 a 55 persone ospitabili. In tale contesto il Comune di Sonico, proprietario dei terreni,



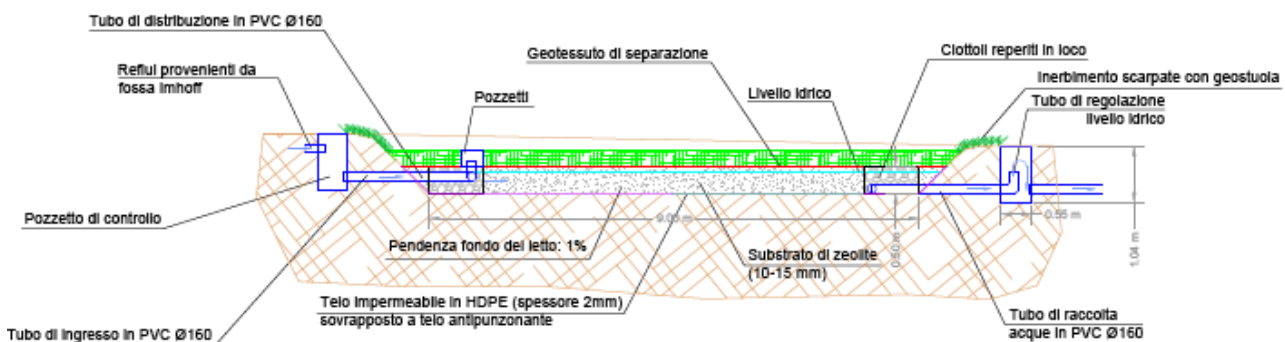
e il Parco Adamello, al fine di tutelare l'ambiente naturale presente ha proposto la realizzazione di un impianto di fitodepurazione.

La struttura ricettiva è formata da una zona ristoro, la cucina, la sala da pranzo, 2 bagni e un dormitorio (34 posti letto). Considerando che la frequentazione del rifugio è stagionale (da giugno a settembre), concentrata tra la metà di luglio e la metà di agosto, è stato valutato come parametro di dimensionamento un numero di Abitanti Equivalenti pari a 20.

La tipologia dell'intervento realizzato riguarda un impianto di pedo-fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale. L'impianto prevede l'impiego di zeoliti come substrato di riempimento dei letti. La zeolite è una roccia piroclastica di origine vulcanica che contiene mediamente dal 20 al 90% di minerali zeolitici; le sue caratteristiche strutturali e fisiche le conferiscono un'ottima capacità di scambio ionico, e possiede proprietà uniche come materiale assorbente e setaccio molecolare. Per tali motivi le zeoliti hanno un ruolo attivo nei processi depurativi, consentendo di ottimizzare al meglio le superfici (riduzione dal 30 al 40% di superficie utile rispetto all'utilizzo della ghiaia) grazie ad un aumento dell'efficienza depurativa rivalutando il ruolo del suolo nei processi depurativi.



Estratto della planimetria di progetto



Estratto di una sezione di progetto

DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

Il sistema depurativo ha il seguente percorso:

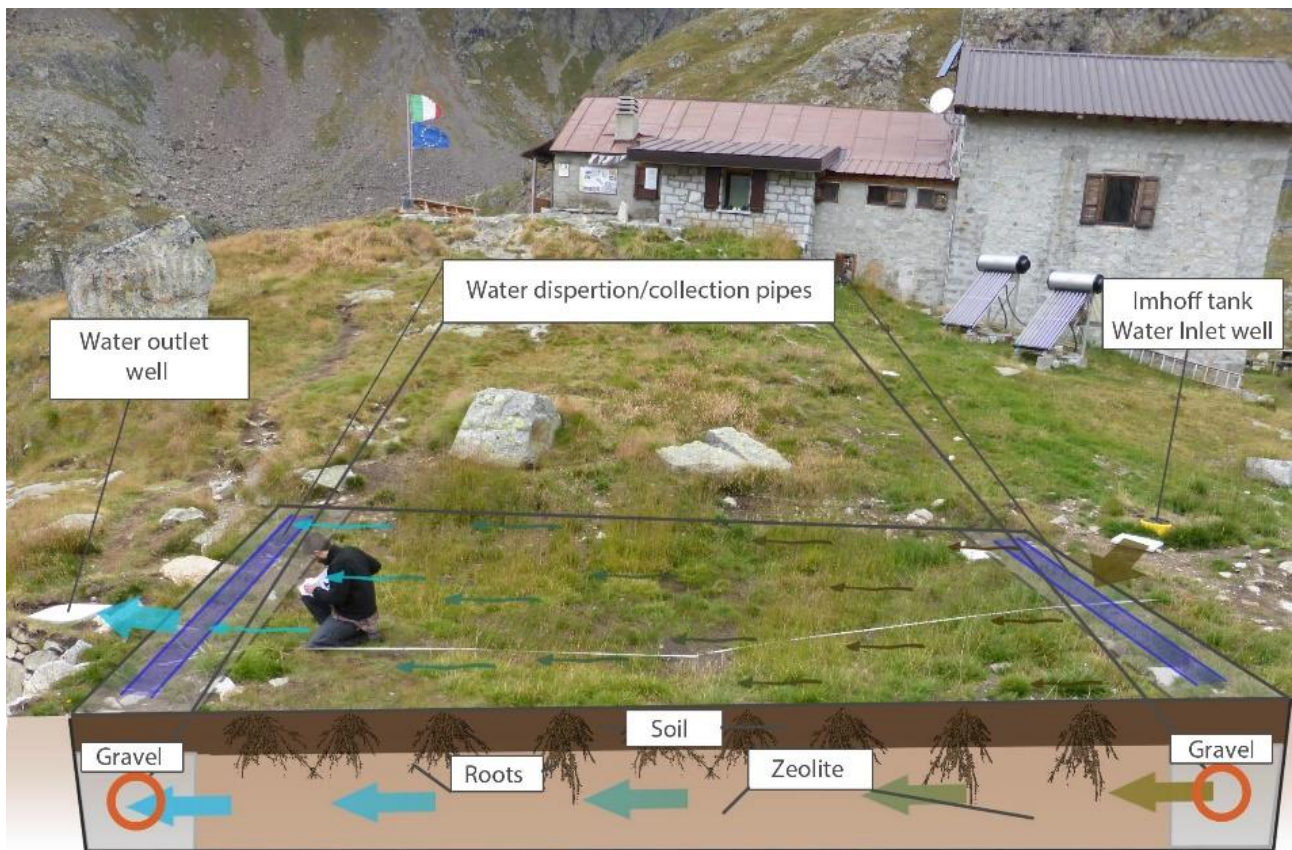
- le acque reflue provenienti dai servizi del rifugio sono sottoposte ad un trattamento preliminare, convogliate, mediante condotta in PVC, all'interno di una vasca Imhoff (in cui avvengono i processi



di sedimentazione e digestione anaerobica fredda dei fanghi) preceduta da un degrassatore/disoleatore (in cui vengono recapitate le acque della cucina per separare i grassi dalle acque). Dal punto di vista costruttivo la vasca Imhoff da realizzare sarà in polietilene a pianta circolare, composta da due comparti sovrapposti, connessi idraulicamente; il comparto superiore è destinato alla decantazione dei solidi sospesi, quello inferiore opera la digestione del fango costituito dalle particelle provenienti dalla parte superiore.

- In uscita dal trattamento primario, le acque reflue (a cui è stata rimossa la frazione solida) sono sottoposte ad un trattamento secondario all'interno del letto di pedo-fitodepurazione, nella tipologia di un flusso sub-superficiale orizzontale, composto da un bacino opportunamente impermeabilizzato, avente le seguenti caratteristiche:
 - larghezza del letto di 6 m; lunghezza del letto di 10 m; Area superficiale di 60 mq;
 - un sistema di distribuzione del refluo lungo tutta la larghezza del letto con tubazione disperdente in PVC (diametro 160 mm);
 - un sistema di raccolta dell'effluente costituita da una tubazione drenante perforata lungo la larghezza del letto (sul lato opposto rispetto alla distribuzione) e immersa in una zona drenante di materiale grossolano (formata da materiale inerte di granulometria compresa tra i 50-100 mm di diametro);
 - impermeabilizzazione del fondo con manto in HDPE dello spessore di 2 mm per evitare la percolazione diretta nel suolo del refluo non ancora depurato; il manto è stato posato sopra un telo anti punzonante;
 - formazione di uno strato di separazione tra zeolite e terreno naturale grazie alla fornitura di biostuoia in fibra di cocco con grado di copertura 100 %;
 - materiale principale di riempimento mediante zeolite (substrato attivo che permette di ridurre la superficie utile per abitante equivalente da 6 m² a 3 m²);
 - copertura con materiale vegetale (le specie vegetali impiegate per la copertura finale del letto sono state reperite mediante il prelievo di zolle di specie autoctone prelevate, con il coordinamento dei tecnici del parco, in aree umide limitrofe, al fine di non alterare la naturalità caratteristica dei luoghi); il tempo di residenza dei reflui, calcolato in tempo secco, è pari a circa 2 giorni;
- dal pozzetto di raccolta finale, le acque vengono recapitate nel riale nei pressi dell'area di intervento tramite condotte in PVC.





Schema di funzionamento dell'impianto di pedo-fitodepurazione

Come descritto, l'impiego prevalente delle zeoliti permette di contenere le dimensioni dei bacini, elemento fondamentale per poter rendere fattibili gli interventi che in tutti i casi presentano situazioni limitanti nei confronti dello spazio disponibile.

L'applicazione della fitodepurazione in ambito montano rappresenta un'importante e nuova sfida per la risoluzione di problematiche legate all'alterazione degli ambienti naturali di alta quota per la presenza di scarichi di tipo puntuale. La riuscita dell'intervento assume un significato fortemente sperimentale e dimostrativo, soprattutto nell'ottica di una gestione efficiente delle acque reflue nelle aree montane, interessate dalla presenza di strutture di ricezione turistica.

Si sottolinea infine che, proprio per la natura di tali sistemi, un aspetto importante riguarda il loro inserimento paesistico, poiché essi danno vita ad ambienti "naturaliformi", perfettamente inseriti nel contesto ambientale presente caratterizzati inoltre da una ricca biodiversità, in parte costituita ex-novo, e nel tempo ulteriormente arricchita da una spontanea colonizzazione vegetale e animale.

Alla principale funzione depurativa, per la quale il sistema viene realizzato, è associata anche una funzione naturalistica, per la ricca biodiversità che ospitano e una funzione paesaggistica, nella trasformazione e caratterizzazione dell'ambito territoriale in cui l'impianto è inserito, aspetti che in tali ambiti possiedono una rilevanza notevole.

Di seguito sono riportate le immagini delle fasi di realizzazione dell'impianto del Rifugio Tonolini.



Realizzazione dei trattamenti preliminari



Scavo del bacino



Impermeabilizzazione del fondo bacino con telo in PVC



Riempimento del letto con zeolite



Posa di geotessuto di separazione dei substrati



Copertura con terreno vegetale e zolle di specie autoctone di ambienti umidi locali

L'opera, a lavori conclusi, è stata inoltre oggetto di specifico monitoraggio al fine di verificarne le efficienze depurative.

L'impianto si dimostra efficiente per l'abbattimento dei diversi inquinanti analizzati. L'efficienza è superiore, per quanto riguarda l'ammonio e il BOD, anche al 70% come illustrato nella tabella seguente.



Tonolini

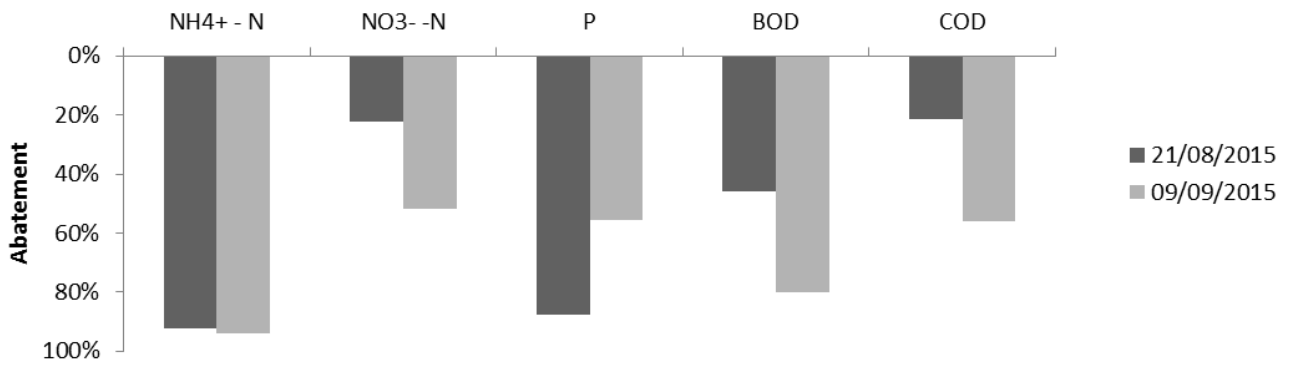


Grafico sull'efficienza depurativa dei nutrienti da parte dell'impianto di pedo-fitodepurazione

Average	NH ⁴⁺ - N (mg/l)	NO ³⁻ - N (mg/l)	PO ₄ ³⁻ - P (TP) (mg/l)	BOD (mg/l O ₂)	COD (mg/l O ₂)
Inlet	43,75	0,26	10,35	314,25	315,25
Outlet	2,82	0,15	3,50	89,06	196,50
Abatement	93,57%	39,77%	66,17%	71,66%	37,67%

Tabella sull'efficienza depurativa dei nutrienti da parte dell'impianto di pedo-fitodepurazione



11.3 Realizzazione di impianti di pedo-fitodepurazione nell'ambito del Progetto LIFE+ Bioaquae a servizio del Rifugio Pontese e del Rifugio Savoia

COMMITTENTE	Parco Nazionale del Gran Paradiso – Aosta (Italia)
Periodo	Luglio 2013 – Marzo 2015
Importo dell'opera	188.000,00 €
Categoria lavori	Cat. IIIA-IA.01 (rif. D.M. 143/2013)

DESCRIZIONE DELL'INCARICO

Gli impianti di pedo-fitodepurazione in progetto sono a servizio del Rifugio Pontese in Comune di Locana (nel Parco Nazionale del Gran Paradiso) e del Rifugio Savoia in Comune di Valsavaranche, come previsto nel progetto Life BIOAQUAE - Biodiversity Improvement of Aquatic Alpine Ecosystems.

Il Rifugio Pontese, localizzato a una quota di circa 2.200 m s.l.m., è posto all'inizio dell'ampio Pian delle Muande, sul ciglio del salto roccioso che domina a monte il Lago di Teleccio.

L'area interessata dall'intervento presso il Rifugio Savoia, si trova ad una quota compresa tra 2.520 m s.l.m. (Lago Nivolet Inferiore) e 2.620 m s.l.m. (malga), in prossimità dello spartiacque tra la Valsavarenche, bacino secondario della Dora Baltea e la Valle Orco.



Localizzazione dei due rifugi oggetto del progetto

Gli interventi hanno come scopo principale l'abbattimento del carico inquinante (nutrienti eutrofizzanti) determinato dagli apporti zootecnici (alpeggi con spandimento di deiezioni sul versante prossimo al lago) e dalla fruizione turistica dei rifugi, trattando le acque reflue con un sistema di pedo-fitodepurazione naturale



a beneficio delle comunità e della biodiversità degli ambienti acquatici, nonché a protezione delle acque del lago e dei corsi d'acqua posti a valle dello scarico.

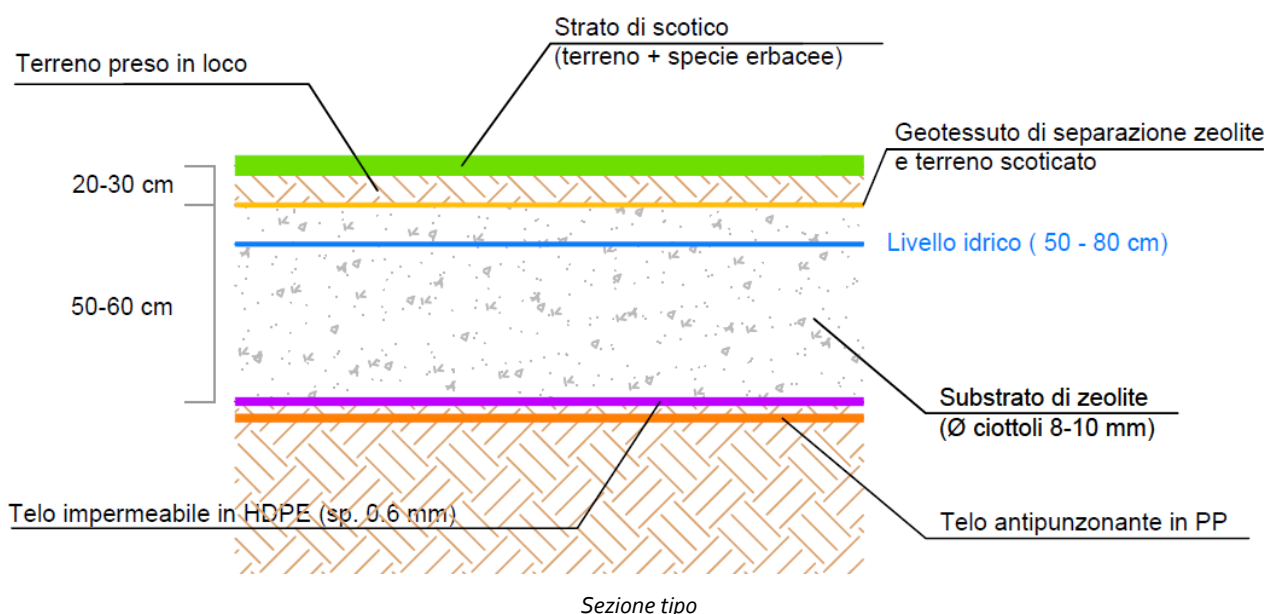
A tale altitudine la costruzione di un impianto di pedo-fitodepurazione assume un significato fortemente sperimentale e dimostrativo per le numerose situazioni analoghe di cui l'intero Arco Alpino è costellato. Infatti una gestione delle acque reflue efficiente e rispettosa della biodiversità deve essere un obiettivo prioritario nelle aree montane interessate dalla presenza di strutture di ricezione turistica.

I rifugi alpini, anche se dotati di sistemi di trattamento delle acque reflue (fossa Imhoff), producono un certo impatto ambientale sulla biodiversità dei corpi idrici recettori. Pertanto la necessità di realizzare un idoneo sistema di depurazione ha dunque una duplice azione: ridurre l'impatto prodotto del refluo e sperimentare una soluzione compatibile con la necessità di tutelare il paesaggio in cui si trova il rifugio stesso.

La possibilità di adottare tipologie come i sistemi di pedo-fitodepurazione, oltre ad essere una scelta consigliata a livello normativo per realtà simili a quelle di progetto, consente di attuare degli interventi secondo metodologie che ben s'inseriscono nel contesto territoriale presente, sia da un punto di vista ambientale che paesaggistico.

I sistemi di pedo-fitodepurazione permettono di trattare i reflui contenendo la superficie occupata dalle opere, grazie all'impiego di zeolite come substrato naturale di riempimento del bacino, che a differenza di altri inerti è in grado di collaborare nei processi di depurazione assieme agli organismi animali e vegetali. Il sistema proposto ha effetti positivi, sia diretti che indiretti, sul comparto ambientale, in quanto capace di abbattere efficacemente non solo la sostanza organica, ma anche i nutrienti che, in assenza del sistema di affinamento proposto, si riverserebbero nella rete idrica a valle dello scarico peggiorandone le caratteristiche trofiche.

Infine, la realizzazione di un impianto di pedo-fitodepurazione in alta quota a servizio di un rifugio alpino, rappresenta anche un "caso di studio" particolare viste le condizioni climatiche limitanti in cui si colloca.



INTERVENTO PRESSO IL RIFUGIO SAVOIA A SALVAGUARDIA DELLE ACQUE DEL LAGO NIVOLET

Gli interventi preliminari in questo ambito hanno previsto:





1. Realizzazione di una trincea filtrante a ridosso del manufatto esistente, con lo scopo di intercettare e raccogliere il refluo che attualmente fuoriesce dalla muratura in pietra e defluisce sul suolo.
2. Posa di una condotta (lunga circa 60 m) che porta i reflui di cui sopra nell'area antistante la vasca per lo stoccaggio del letame.
3. Rifacimento del pozzetto esistente, ubicato a valle del sentiero che raggiunge la malga e collegamento al nuovo pozzetto della condotta in uscita dalla vasca di stoccaggio dei liquami, dotato di pompa di rilancio.
4. Prolungamento del tubo in PVC, dalla cameretta di cui al punto precedente, seguendo il fossatello principale della fertirrigazione, al fine di evitare che le acque scaricate si riversino nel ruscello e quindi nel lago.
5. Sistemazione del sentiero - strada che conduce alla malga, in modo da renderla transitabile dai mezzi che saranno impiegati per lo svolgimento dei lavori ed eventualmente a piccoli mezzi che saranno impiegati in seguito per interventi di adeguamento igienico-sanitario della stessa malga.



Panoramica verso valle del sentiero che conduce alla malga

Tuttavia l'intervento principale ha riguardato la realizzazione di un letto di pedo-fitodepurazione in cui far convogliare le acque in uscita dal sistema di trattamento a servizio del Rifugio Savoia, nonché le acque drenate e trattate dall'ecosistema filtro presente a valle del pascolo. Il sistema è a flusso sub-superficiale orizzontale e prevede l'utilizzo di zeoliti come substrato di riempimento del letto che, noto il ruolo attivo nei processi depurativi, consentono di ottimizzare al meglio le superfici (riduzione dal 30 al 40% di superficie utile rispetto all'utilizzo della ghiaia) grazie ad un aumento dell'efficienza depurativa rivalutando il ruolo del suolo nei processi depurativi. Nello strato di terreno vegetale sovrastante la zeolite, sono state messe a dimora zolle vegetate, in parte tenute via durante i lavori di scotico superficiale ed in parte prelevate da aree circostanti i due laghi e dalle aree maggiormente interessate dal ruscellamento delle acque di fertirrigazione, dove prevalgono specie nitrofile.

Il letto è stato ricavato in un'area a pendenza ridotta, posizionata nei pressi della sezione terminale del Lago Nivolet Inferiore.



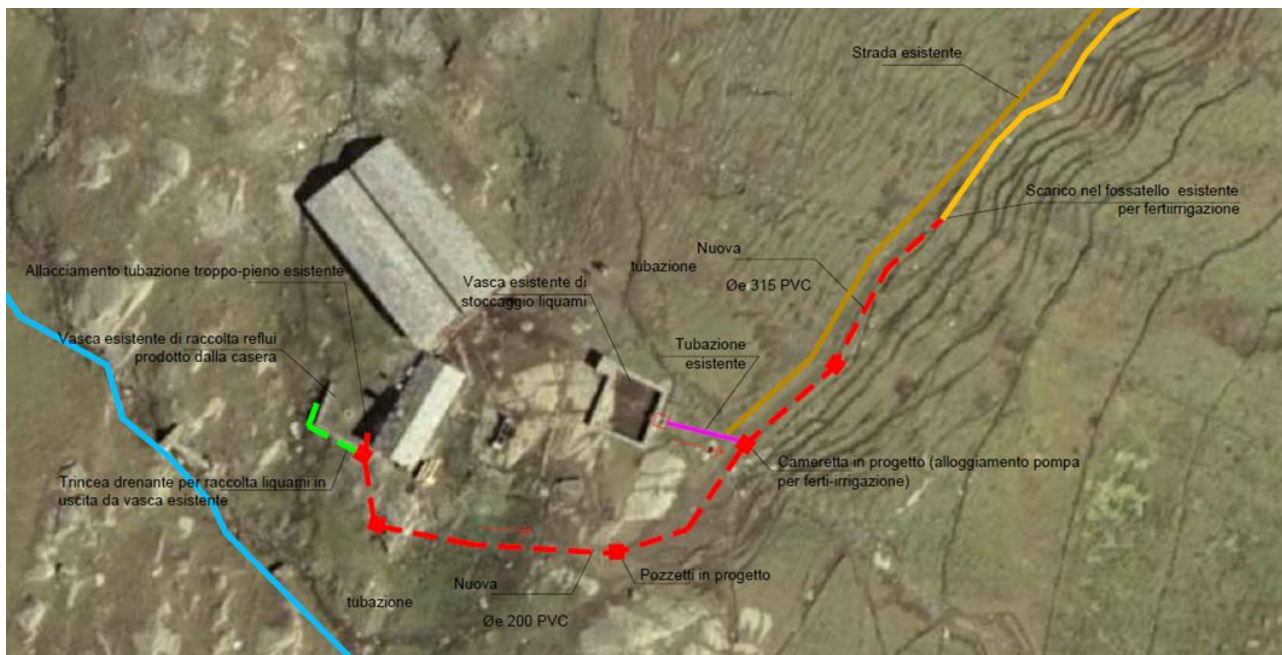


Fase realizzativa della trincea filtrante



Ultimazione del bacino di pedo-fitodepurazione

Il sistema così strutturato ha una superficie complessiva di 200 m² ed un tempo di residenza media del refluo poco superiore ai 10 giorni. La posizione planoaltimetrica del bacino è stata definita a seguito di rilievi topografici di dettagli, sulla base della morfologia dei luoghi, della quota del lago e della quota presunta della condotta in PVC proveniente dal Rifugio Savoia.



Planimetria di progetto

La maggior parte del materiale di scavo è stata utilizzata per la formazione del rilevato e per il ricoprimento superficiale (20 - 30 cm) del bacino di pedo-fitodepurazione; una parte modesta è stata invece utilizzata per la sistemazione della frana presente lungo il fossatello. Il materiale rimanente è stato sistemato nelle adiacenze del bacino pedo-fitodepurazione ed utilizzato per i ripristini finali.

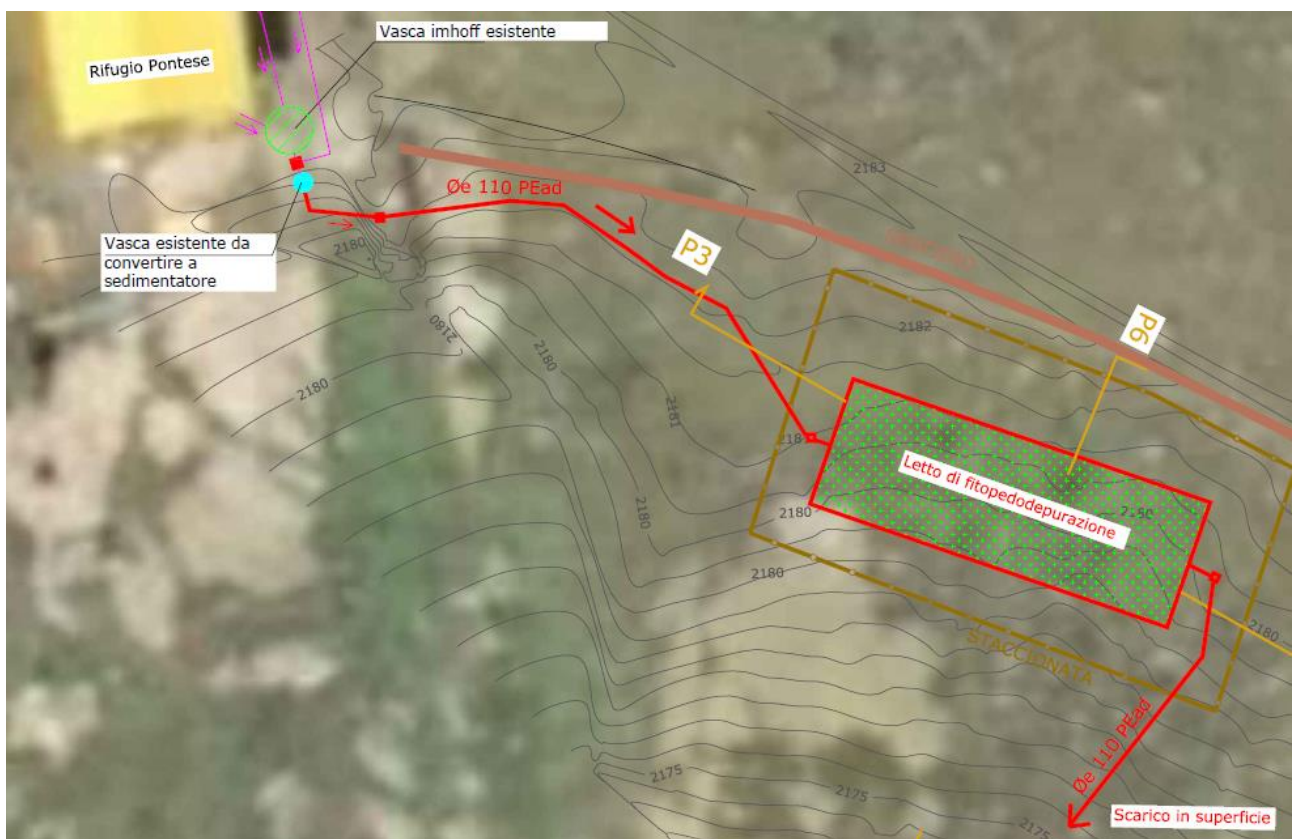
Oltre agli interventi relativi all'impianto di pedo-fitodepurazione, il progetto ha previsto la realizzazione di una staccionata in legno attorno al letto di pedo-fitodepurazione, costruita con materiali naturali, che delimita un'area complessiva di circa 400 mq.



INTERVENTO AL PIAN DELLE MUANDE PER IL TRATTAMENTO DEI REFLUI PRODOTTI DAL RIFUGIO PONTESE

L'area di intervento, ricadente all'interno del SIC/ZPS IT1201000 - Parco Nazionale Grande Paradiso, si inserisce in un contesto tipicamente alpino caratterizzato da piccole praterie e pascoli costituite da cenosi erbacee molto povere e da pendii in forte pendenza. Il rifugio è dotato di una fossa Imhoff che riceve le acque di scarico; è inoltre provvisto di una vasca posizionata a valle della stessa Imhoff che dovrebbe avere la funzione di degrassatore ma che in realtà non funziona in modo corretto.

L'intervento ha riguardato la realizzazione di un impianto di pedo-fitodepurazione a servizio del Rifugio Pontese: considerando che la frequentazione del rifugio è concentrata tra l'inizio di giugno e la metà di settembre, il sistema di trattamento è stato dimensionato per un carico inquinante medio corrispondente a 40 abitanti equivalenti.



Planimetria di progetto

Lo scopo del progetto è di intercettare i reflui in uscita dalla vasca esistente, che venivano scaricati nella valletta sottostante il rifugio, e di indirizzarli nell'area destinata al sistema di pedo-fitodepurazione, a flusso sub-superficiale orizzontale. Il sistema di progetto ha previsto l'utilizzo di zeoliti come substrato di riempimento del letto che consentono di ottimizzare al meglio le superfici. Il sistema ha una superficie complessiva di circa 150 m² ed un tempo di residenza media del refluo poco superiore ai 10 giorni.

L'impermeabilizzazione del fondo del bacino è stata effettuata utilizzando un manto in HDPE dello spessore di 0,6 mm, posato su un telo antipunzonante in tessuto-non tessuto. Nello strato di terreno vegetale, sovrastante la zeolite, sono state messe a dimora zolle vegetate in parte tenute via durante i lavori di scotico superficiale ed in parte prelevate da aree adiacenti il rifugio (e il Lago di Teleccio). Per la copertura del letto

sono state impiegate specie erbacee autoctone tra cui *Senecio cordatus*, *Leucanthemopsis alpina*, *Chenopodium bonus henricus*.

Di seguito vengono riportate alcune immagini delle lavorazioni e dello stato finale dell'opera realizzata.



Preparazione del letto di pedo-fitodepurazione



Base del letto di pedo-fitodepurazione



Manto impermeabilizzante



Fase di distribuzione della zeolite nel letto



Copertura dello strato di zeolite con terreno vegetale



L'impianto di pedo-fitodepurazione a lavori ultimati

Oltre all'impianto di fito-pedodepurazione, il progetto ha previsto la realizzazione di altri interventi, alcuni direttamente collegati al sistema di trattamento e necessari per il suo funzionamento, altri si presentano invece come interventi accessori, finalizzati a migliorare il sistema di trattamento nel suo complesso, tra cui:

1. realizzazione di una staccionata in legno attorno al letto di pedo-fitodepurazione, realizzata con materiali naturali, di lunghezza pari a circa 80 ml che va a delimitare un'area complessiva di circa 400 mq;
2. fornitura e installazione di un degrassatore sottolavello a servizio della cucina del rifugio, finalizzato a ridurre in modo significativo l'apporto di oli e grassi galleggianti alla fossa Imhoff e al letto di pedo-fitodepurazione.

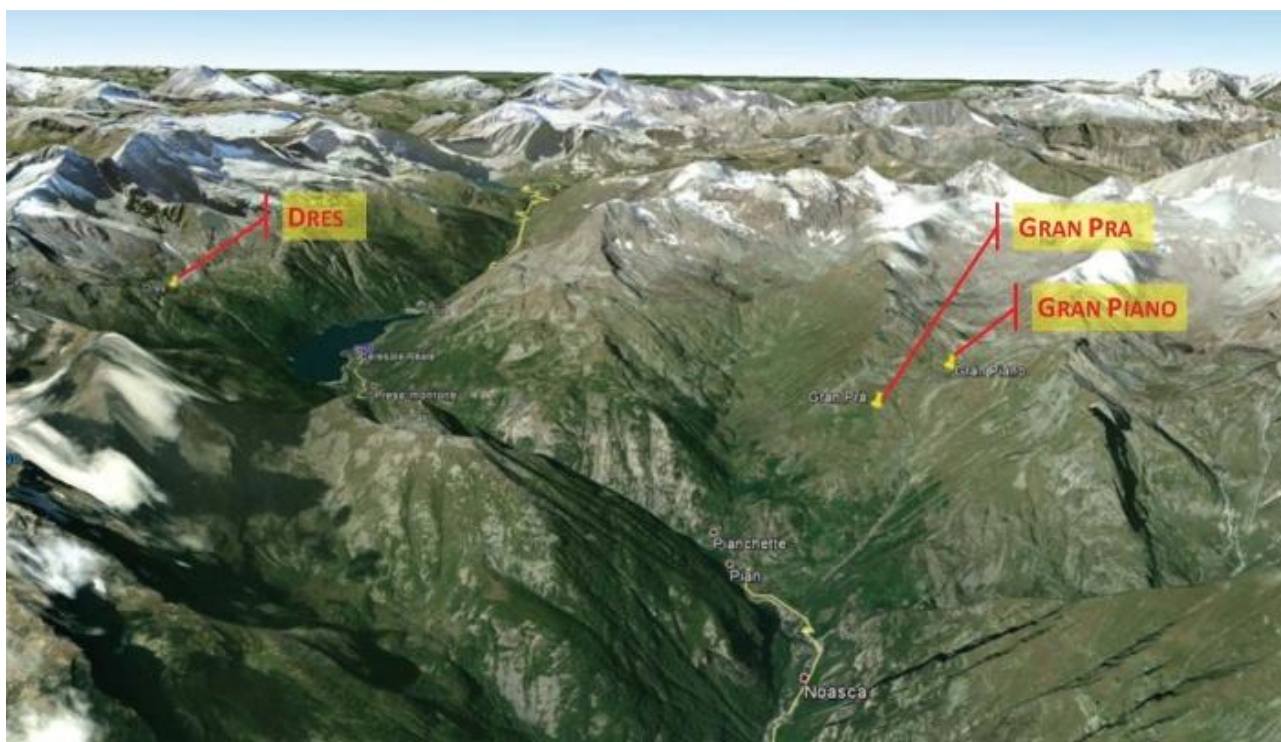
3.

11.4 Progetto BIOpass – Ripristino aree umide e impianto di pedo-fitodepurazione Alpe Foppa, Gran Prà e Gran Piano (PSR 2007-2013 Misura 323 Azione 1 Tipologia b)

COMMITTENTE	Parco Nazionale del Gran Paradiso - Aosta
Periodo	Agosto 2013 – Novembre 2014
Importo dell'opera	66.116,00 €
Categoria lavori	Cat. IIIA - IA.01 (rif. D.M. 143/2013)

DESCRIZIONE DELL'INCARICO

Le opere riguardano tre diverse aree di intervento contemplate dal progetto BioPass, aree interamente comprese nella Valle Orco.



Localizzazione interventi

I principali obiettivi degli interventi sono:

- Effettuare una gestione sostenibile delle aree di pascolo, per mezzo di una serie di azioni incentrate sulla formazione, sul monitoraggio e sul supporto tecnico agli allevatori, attività che esulano dal presente progetto e attraverso una corretta gestione dei reflui zootecnici prodotti nelle malghe, mediante la separazione ed il trattamento della componente liquida dei suddetti reflui in un sistema di pedo-fitodepurazione. Questo intervento è stato realizzato presso la malga del Gran Prà - Alpe Fortuna (Comune Noasca).



- Il ripristino e la tutela di aree umide d'alta quota (torbiere), caratterizzate dalla presenza di specie vegetali rare e vulnerabili che il parco intende tutelare. Tale obiettivo viene raggiunto attraverso la realizzazione di strutture poco invasive che permettono di agire sul regime idraulico delle torbiere e attraverso la creazione di aree umide laterali nei corsi d'acqua che drenano le acque delle suddette torbiere. Questo intervento è stato realizzato presso l'area umida del Gran Piano (Comune Noasca) e presso l'area umida del Dres (Comune di Ceresole Reale).

REGIMAZIONE IDRAULICA DEI FOSSI DRENANTI ALL'ALPE FOPPA.

L'area umida (circa 5 ha) è in prossimità dell'Alpe Foppa, più precisamente in località detta "Arpiat".

Storicamente è stata utilizzata per il pascolo di bovini prima e di ovini negli ultimi anni. Specialmente la pressione sul pascolo esercitata dalla presenza delle pecore negli ultimi anni ha costituito una seria minaccia per la biodiversità della torbiera. All'interno della stessa torbiera è stata individuata la presenza di diverse specie floristiche rare e vulnerabili. Le opere di regimazione idraulica, costituite da soglie di ritenuta regolabili e modulabili, consentono di sperimentare diversi possibili modi di gestire il regime idraulico della torbiera. È inoltre stata realizzata una recinzione permanente delle aree sensibili, la messa in opera di una passerella in legno e di due bacheche illustrative.



Interventi realizzati presso l'Alpe Foppa

MIGLIORAMENTO DELLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DEL PASCOLO DEL GRAN PRÀ





L'alpeggio dell'Alpe Fortuna è uno dei luoghi della Valle Orco che meglio conserva le tradizioni delle malghe alpine. È raggiungibile solo con i muli o a piedi, non c'è corrente elettrica e l'acqua è disponibile grazie ad una derivazione provvisoria nel Torrente Ciamousseretto. È sottoposto alla frequentazione stagionale di vacche da latte, la cui presenza costituisce un potenziale fattore di stress per il pascolo. In particolare la maggiore criticità rilevata è rappresentata dalla fuoriuscita della componente liquida dalla vasca di raccolta dei liquami. Si tratta di un refluo ricco di sostanza organica e di ammoniaca non ancora ossidata che fuoriesce dalla vasca in un punto a pendenza elevata e che ruscella verso valle.

La presenza di questo refluo (colaticcio) ha un duplice effetto negativo: biochimico: l'alto contenuto di ammoniaca nel refluo tende a bruciare il pascolo lungo il percorso seguito dal refluo; l'elevata pendenza, inoltre, non favorisce lo spandimento, la diluizione e l'infiltrazione del refluo; fisico: il percorso seguito dal refluo coincide con quello preferito dalle vacche per recarsi dal pascolo alla malga e la presenza quasi permanente dell'effluente liquido favorisce i processi erosivi del suolo. Il risultato di quanto appena descritto è la presenza di un'ampia fascia in cui non cresceva di fatto alcun tipo di vegetazione con conseguente forte compromissione del pascolo.

L'intervento realizzato ha consentito di raccogliere il refluo, trattarlo con un impianto di pedo-fitodepurazione in modo da ridurre il carico organico ed evitare quindi il danneggiamento del pascolo.



Immagini relative all'esecuzione dei lavori

Il bacino di pedo-fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale è stato realizzato in un'area a pendenza ridotta, impermeabilizzato e riempito da zeolite, in modo da rendere maggiormente efficiente i processi di pedodepurazione. La diffusione del refluo all'interno del letto avviene per mezzo di un sistema di distribuzione del refluo lungo tutta la larghezza del letto stesso, realizzato con una tubazione forata disperdente, collegata al pozzetto di ispezione posto in testa al letto. Il tubo di distribuzione è immerso in una zona drenante di materiale grossolano (formata da materiale inerte di granulometria compresa tra i 50-100 mm di diametro), contenuta da gabbioni metallici.





Il sistema di raccolta dell'effluente è costituito da una doppia tubazione drenante realizzata con tubo corrugato in PEAD fessurato e rivestito da una camicia in tessuto, che afferisce ad una tubazione rigida in PVC collegata poi al pozzetto di regolazione dei livelli. Anche le tubazioni destinate alla raccolta del refluo trattato sono immerse in una zona drenante di materiale grossolano contenuta da gabbioni metallici.

RIPRISTINO DI AREE UMIDE PRESSO LA TORBIERA DEL GRAN PIANO

Scopo degli interventi è stato quello di aumentare la diversità degli ambienti laterali del corso d'acqua che percorre e drena la torbiera del Gran Piano mediante la formazione di soglie di ritenuta regolabili e modulabili e la creazione di ambienti laterali al corso d'acqua sfruttando l'invaso generato dalle soglie. Anche qui sono state installate bacheche in legno con pannelli informativi relativi al progetto BIOPass, con particolare riferimento all'ambiente della torbiera.



Interventi realizzati presso l'Alpe Foppa



11.5 Impianto di fitodepurazione a servizio del Rifugio Occhi Sandro all'Aviolo - Comune di Edolo (BS)

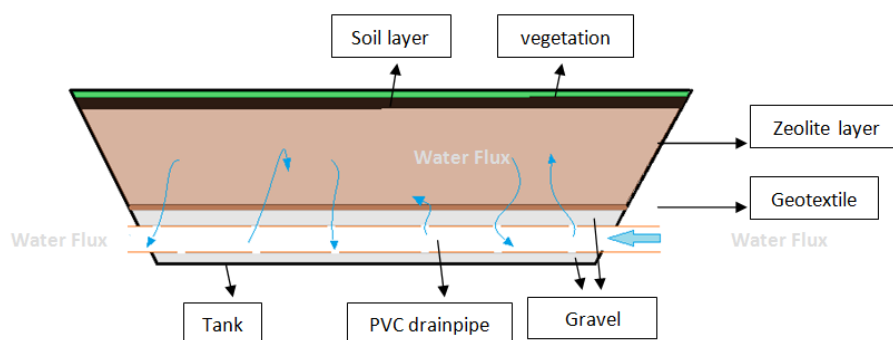
COMMITTENTE	Comunità Montana di Valle Camonica – Parco dell'Adamello
Periodo	Ottobre 2014 – Agosto 2015
Importo dell'opera	38.767,55 €
Categoria lavori	Cat. IIIA-I.A.01 (rif. D.M. 143/2013)

DESCRIZIONE DELL'INCARICO

L'intervento riguarda la realizzazione di un impianto di pedo-fitodepurazione a servizio delle strutture del Rifugio Occhi Sandro all'Aviolo in Comune di Edolo (BS) localizzato alla quota di 1.930 m s.l.m.

Le tipologie dei sistemi di fitodepurazione, oltre ad essere una scelta consigliata a livello normativo per realtà simili a quelle di progetto, hanno consentito, inoltre, di attuare degli interventi secondo metodologie che ben si sono inserite nel contesto territoriale presente, sia da un punto di vista rurale, che ambientale, che paesaggistico: un aspetto importante dato che l'ambito d'intervento è all'interno del Parco dell'Adamello.

Il sistema proposto ha avuto degli effetti positivi, sia diretti che indiretti, sul comparto ambientale in quanto capace di abbattere efficacemente non solo la sostanza organica ma anche i nutrienti, che andavano a confluire nella rete idrografica locale e successivamente nel bacino dell'Oglio e quindi nel Lago d'Iseo. L'impianto realizzato è costituito da un letto a flusso sub-superficiale orizzontale.



Schema di funzionamento del letto a flusso sub-superficiale orizzontale realizzato

Di consueto la scelta della specie vegetale da impiegarsi nei sistemi di fitodepurazione ricade sulla macrofita acquatica particolarmente efficace come la Cannaia di palude (*Phragmites australis*) che però cresce fino ad una quota massima di 1.500 - 1.600 m s.l.m. Nel caso specifico, trovandosi l'impianto alla quota di 1.950 m s.l.m., è stato deciso di impiegare tipologie vegetali differenti, ossia specie erbacee autoctone che sono state in parte preservate durante le operazioni di scavo e quindi piantate nelle vasche ed in parte prelevate in aree adiacenti.

Tra le specie erbacee utilizzate ci sono: *Senecio cordatus*, *Leucanthemopsis alpina*, *Chenopodium bonus henricus* e *Eriophorum angustifolium*. Tra le specie arbustive ci sono invece: *Pteridium aquilinum* e *Rhododendron ferrugineum*.



Vegetazione presente nell'area di intervento

I sistemi in progetto hanno adottato in prevalenza le zeoliti come substrato di riempimento dei letti che, noto il ruolo attivo nei processi depurativi, hanno consentito di ottimizzare al meglio le superfici (riduzione dal 30 al 40% di superficie utile rispetto all'utilizzo della ghiaia), grazie ad un aumento dell'efficienza depurativa.

Inoltre l'utilizzo di zeoliti ha portato ad altri due significativi vantaggi: la loro maggiore estensione ha permesso di disporre di una notevole superficie attiva, mentre la loro struttura e composizione ha reso più agevole lo sviluppo dei rizomi dei vegetali. L'impiego della zeolite ha permesso di ridurre infine i costi di trasporto (effettuati con elicottero) avendo un peso specifico inferiore a 1000 kg/mc (ghiaia 2400 kg/mc).

FASI REALIZZATIVE

Nell'ambito di questo progetto sono eseguite le seguenti lavorazioni:

- formazione dei piani di posa delle vasche, su due livelli (vista la conformazione dei luoghi);
- sostituzione della vasca Imhoff esistente con una nuova in cemento (dimensionata per 20 abitanti equivalenti);
- posa delle vasche in PE riciclabile (da 5 mq.) complete di tubazioni in ingresso e uscita e di tubazioni passanti in PVC forate per la distribuzione uniforme del refluo;
- posa di un pozzetto ripartitore all'uscita della vasca Imhoff per alimentare le due linee di vasche;
- riempimento delle vasche con zeolite;
- ricoprimento della zeolite con terra;
- realizzazione dello scarico finale a valle del sistema di fitodepurazione;
- sistemazione finale dell'area mediante la rimodellazione del terreno intorno alle vasche in modo tale da mascherare le stesse.





Immagini relative all'esecuzione dei lavori



11.6 Impianto di fitodepurazione a servizio del Rifugio Gnutti, Comune di Sonico (BS)

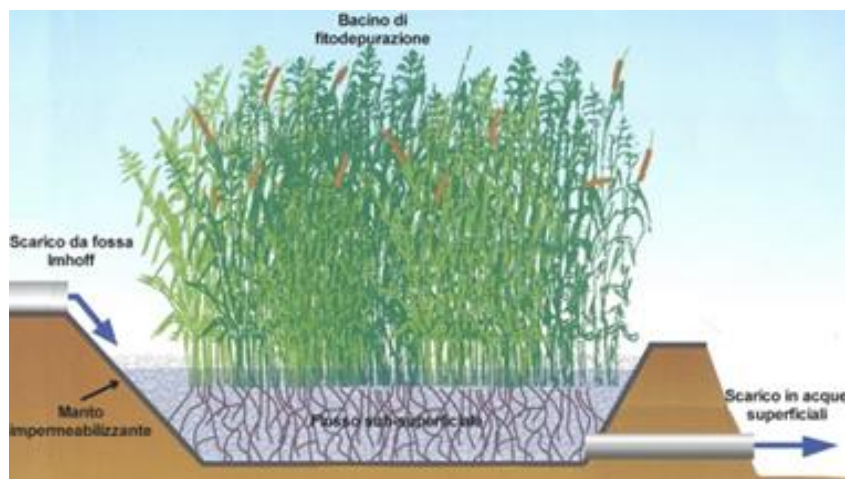
COMMITTENTE	Comunità Montana di Valle Camonica – Parco dell'Adamello
Periodo	Luglio 2019 – Settembre 2019
Importo dell'opera	38.262,69 €
Categoria lavori	Cat. I.A.01 (rif. D.M. 143/2013)

DESCRIZIONE DELL'INCARICO

L'intervento riguarda la realizzazione di un impianto di fitodepurazione a servizio del Rifugio Serafino Gnutti in Val Miller in Comune di Sonico (BS) localizzato alla quota di 2.166 m s.l.m.

Le tipologie dei sistemi di fitodepurazione, oltre ad essere una scelta consigliata a livello normativo per realtà simili a quelle di progetto, hanno consentito inoltre di attuare degli interventi secondo metodologie che ben si sono inserite nel contesto territoriale presente, sia da un punto di vista rurale, che ambientale, che paesaggistico: un aspetto importante dato che l'ambito d'intervento è all'interno del Parco dell'Adamello.

Il sistema proposto ha avuto degli effetti positivi, sia diretti che indiretti, sul comparto ambientale in quanto capace di abbattere efficacemente non solo la sostanza organica ma anche i nutrienti, che andavano a confluire nella rete idrografica. L'impianto realizzato è costituito da un letto a flusso sub-superficiale orizzontale.



Sistema a flusso sub-superficiale orizzontale -schema di funzionamento

Di consueto la scelta della specie vegetale da impiegarsi nei sistemi di fitodepurazione ricade sulla macrofita acquatica particolarmente efficace Cannuccia di palude (*Phragmites australis*), che cresce fino ad una quota massima di 2.000 m slm. Nel caso specifico, trovandosi l'impianto alla quota di 2.166 m slm, si impiegheranno tipologie vegetali differenti, infatti le condizioni climatiche risultano limitanti per la crescita della flora.

In particolare si prevede di impiegare specie erbacee autoctone che colonizzano naturalmente i prati alpini dell'area di intervento, tra cui *Senecio cordatus*, *Leucanthemopsis alpina*, *Chenopodium bonus henricus*.



L'intervento prevede la posa di cotico erboso prelevato da aree limitrofe e l'eventuale semina delle suddette specie.

L'impianto in progetto ha adottato le zeoliti come substrato di riempimento del letto che, noto il ruolo attivo nei processi depurativi, hanno consentito di ottimizzare al meglio le superfici (riduzione dal 30 al 40% di superficie utile rispetto all'utilizzo della ghiaia), grazie ad un aumento dell'efficienza depurativa.

Inoltre l'utilizzo di zeoliti ha portato ad altri due significativi vantaggi: la loro maggiore estensione ha permesso di disporre di una notevole superficie attiva, mentre la loro struttura e composizione ha reso più agevole lo sviluppo dei rizomi dei vegetali. L'impiego della zeolite ha permesso di ridurre infine i costi di trasporto (effettuati con elicottero) avendo un peso specifico inferiore a 1000 kg/mc (ghiaia 2400 kg/mc).

FASI REALIZZATIVE

Il trattamento secondario delle acque reflue avviene mediante un sistema di fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale. Il letto è stato ricavato in un'area pratora a pendenza ridotta collocata a valle del rifugio.

Nell'ambito di questo progetto si sono eseguite le seguenti lavorazioni.

- Riprofilatura del versante per la formazione del piano di posa del letto, scavando e riportando il materiale (prevalentemente soprasuolo terroso) per la creazione dell'argine a valle.
- Formazione del bacino impermeabilizzato.
- Le acque reflue provenienti dai servizi del rifugio sono state convogliate, mediante condotta in pvc, all'interno di una vasca Imhoff preceduta da degrassatore/disoleatore, in cui avvengono i processi di sedimentazione e digestione anaerobica fredda dei fanghi.
- In uscita dal trattamento primario, le acque reflue (a cui è stata rimossa la frazione solida) sono recapitate al letto di fito-pedo-depurazione a flusso sub-superficiale orizzontale, composto da uno strato base di 50 cm di zeolite e uno strato superficiale di 30 cm formato da cotico erboso.
- Le acque depurate, raccolte nel pozzetto di regolazione dei livelli in uscita dal letto, vengono infine recapitate nel valleggio adiacente, dove attualmente confluiscono i reflui.
- Sistemazione finale dell'area mediante la rimodellazione del terreno intorno al letto.



Fasi realizzative





Panoramica dell'area di intervento durante la realizzazione dell'opera



Letto di pedo-fitodepurazione durante la fase realizzativa

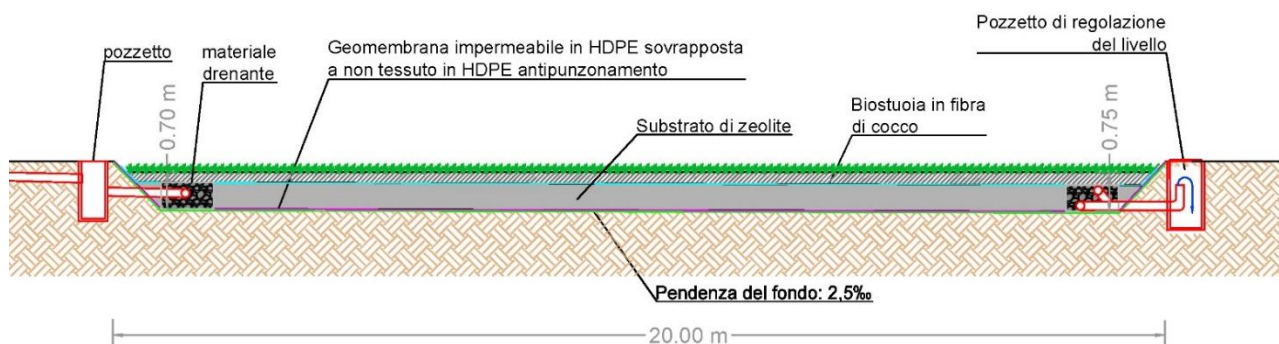


11.7 Impianto di pedo-fitodepurazione a servizio del Rifugio Lissone - Comune di Savio dell'Adamello (BS)

COMMITTENTE	Club Alpino Italiano – Sezione Di Lissone
Periodo	Febbraio 2021 – Ottobre 2022
Importo dell'opera	73.700,00 €
Categoria lavori	Cat. I.A.01 (rif. D.M. 143/2013)

DESCRIZIONE DELL'INCARICO

L'intervento riguarda la realizzazione di un impianto di pedo-fitodepurazione a servizio delle strutture del Rifugio Lissone in Comune di Savio dell'Adamello (BS) localizzato alla quota di 2.020 m s.l.m. Le tipologie dei sistemi di fitodepurazione, oltre ad essere una scelta consigliata a livello normativo per realtà simili a quelle di progetto, ha consentito inoltre di attuare degli interventi secondo metodologie che ben si sono inserite nel contesto territoriale presente, sia da un punto di vista rurale, che ambientale, che paesaggistico: un aspetto importante dato che l'ambito d'intervento è all'interno del Parco dell'Adamello. Il sistema proposto ha avuto degli effetti positivi, sia diretti che indiretti, sul comparto ambientale in quanto capace di abbattere efficacemente non solo la sostanza organica ma anche i nutrienti, che andavano a confluire nella rete idrografica. L'impianto realizzato è costituito da un letto a flusso sub-superficiale orizzontale. Di consueto la scelta della specie vegetale da impiegarsi nei sistemi di fitodepurazione ricade sulla macrofita acquatica particolarmente efficace Cannuccia di palude (*Phragmites australis*), che cresce normalmente fino a quote massime di 1.400 ÷ 1.500 m s.l.m. Le specie di macrofite in grado di sopravvivere e svilupparsi a quote superiori a 2.000 m s.l.m., nell'area della Val Camonica sono meno di 15, di cui solo 2 (*Deschampsia caespitosa* e *Rumex alpinus*) resistono anche a quote superiori a 2.200 m s.l.m. Tra le 15 specie disponibili, quella più performante in termini di capacità di trasferimento dell'ossigeno dall'atmosfera al sottosuolo è la *Deschampsia caespitosa*, che ha dato ottimi risultati in termini di sviluppo e di capacità depurativa presso gli altri impianti di pedo-fitodepurazione realizzati nel territorio del parco. La *Deschampsia caespitosa* è stata prelevata in altri siti nel territorio del parco e è stata utilizzata per integrare le zolle erbacee prelevate nel sito di intervento e accantonate durante i lavori.



Schema impianto di pedo-fitodepurazione del letto a flusso sub-superficiale orizzontale realizzato

L'impianto in progetto ha adottato le zeoliti come substrato di riempimento del letto che, noto il ruolo attivo nei processi depurativi, hanno consentito di ottimizzare al meglio le superfici (riduzione dal 30 al 40% di superficie utile rispetto all'utilizzo della ghiaia), grazie ad un aumento dell'efficienza depurativa.



Inoltre l'utilizzo di zeoliti ha portato ad altri due significativi vantaggi: la loro maggiore estensione ha permesso di disporre di una notevole superficie attiva, mentre la loro struttura e composizione ha reso più agevole lo sviluppo dei rizomi dei vegetali. L'impiego della zeolite ha permesso di ridurre infine i costi di trasporto (effettuati con elicottero) avendo un peso specifico inferiore a 1000 kg/mc (ghiaia 2400 kg/mc).

FASI REALIZZATIVE

Nell'ambito di questo progetto si sono eseguite le seguenti lavorazioni.

- Riprofilatura del versante per la formazione del piano di posa del letto, sostenuto a valle da una massicciata realizzata con i massi presenti in loco;
- Rimozione della vasca imhoff esistente e posa di una nuova vasca (dimensionata per 60 abitanti equivalenti);
- Posa di un degrassatore a valle dello scarico proveniente dalla cucina e modifica della linea di scarico;
- Posa di una stazione di sollevamento con sistema di triturazione per il pretrattamento dei reflui;
- Realizzazione della nuova linea di scarico;
- Realizzazione del letto di pedo-fitodepurazione mediante la posa di un telo antipunzonante e successivamente del manto impermeabile;
- Riempimento del letto con zeolite e formazione del sistema di distribuzione in ingresso e in uscita;
- Posa di rete naturale in fibra di cocco sopra lo strato di zeolite e successiva posa sia delle zolle di terreno messe da parte durante lo scotico sia delle zolle di *Deschampsia caespitosa* reperite in altri siti all'interno del parco;
- Realizzazione dello scarico finale mediante un sistema di dispersione nel sottosuolo del refluo a valle del sistema di fitodepurazione;
- sistemazione finale dell'area mediante la rimodellazione del terreno intorno al letto.



Documentazione fotografica – Fasi realizzative





Documentazione fotografica – Fasi realizzative



Documentazione fotografica – Fasi realizzative



11.8 Impianto di pedo-fitodepurazione a servizio del Rifugio San Fermo - Comune di Borno (BS)

COMMITTENTE	Comunità Montana Di Valle Camonica – Parco Adamello
Periodo	Luglio 2021 – Novembre 2022
Importo dell'opera	59.000,00 €
Categoria lavori	Cat. I.A.01 (rif. D.M. 143/2013)

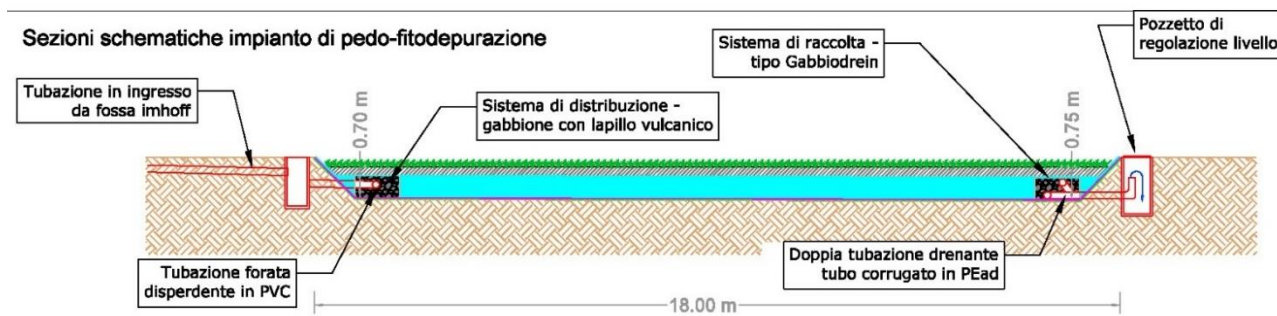
DESCRIZIONE DELL'INCARICO

L'intervento riguarda la realizzazione di un impianto di pedo-fitodepurazione a servizio del Rifugio San Fermo in Comune di Borno (BS) localizzato alla quota di 1.868 m s.l.m.

Le tipologie dei sistemi di fitodepurazione, oltre ad essere una scelta consigliata a livello normativo per realtà simili a quelle di progetto, ha consentito inoltre di attuare degli interventi secondo metodologie che ben si sono inserite nel contesto territoriale presente, sia da un punto di vista rurale, che ambientale, che paesaggistico: un aspetto importante dato che l'ambito d'intervento è all'interno del Parco dell'Adamello.

Il sistema proposto ha avuto degli effetti positivi, sia diretti che indiretti, sul comparto ambientale in quanto capace di abbattere efficacemente non solo la sostanza organica ma anche i nutrienti, che andavano a confluire nella rete idrografica. L'impianto realizzato è costituito da un letto a flusso sub-superficiale orizzontale.

Di consueto la scelta della specie vegetale da impiegarsi nei sistemi di fitodepurazione ricade sulla macrofita acquatica particolarmente efficace Cannuccia di palude (*Phragmites australis*), che cresce normalmente fino a quote massime di 1.400 ÷ 1.500 m s.l.m. Le specie di macrofite in grado di sopravvivere e svilupparsi a quote superiori a 2.000 m s.l.m., nell'area della Val Camonica sono meno di 15, di cui solo 2 (*Deschampsia caespitosa* e *Rumex alpinus*) resistono anche a quote superiori a 2.200 m s.l.m. Tra le 15 specie disponibili, quella più performante in termini di capacità di trasferimento dell'ossigeno dall'atmosfera al sottosuolo è la *Deschampsia caespitosa*, che ha dato ottimi risultati in termini di sviluppo e di capacità depurativa presso gli altri impianti di pedo-fitodepurazione realizzati nel territorio del parco.



Schema impianto di pedo-fitodepurazione del letto a flusso sub-superficiale orizzontale realizzato

L'impianto in progetto ha adottato le zeoliti come substrato di riempimento del letto che, noto il ruolo attivo nei processi depurativi, hanno consentito di ottimizzare al meglio le superfici (riduzione dal 30 al 40% di superficie utile rispetto all'utilizzo della ghiaia), grazie ad un aumento dell'efficienza depurativa.



Inoltre l'utilizzo di zeoliti ha portato ad altri due significativi vantaggi: la loro maggiore estensione ha permesso di disporre di una notevole superficie attiva, mentre la loro struttura e composizione ha reso più agevole lo sviluppo dei rizomi dei vegetali. L'impiego della zeolite ha permesso di ridurre infine i costi di trasporto (effettuati con elicottero) avendo un peso specifico inferiore a 1000 kg/mc (ghiaia 2400 kg/mc).

FASI REALIZZATIVE

Il trattamento secondario delle acque reflue avviene mediante un sistema di pedo-fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale. Il letto è stato ricavato in un'area pratora a pendenza ridotta collocata a nord est del rifugio, tra la strada bianca proveniente dalla Malga Moren e il sentiero in costa diretto alla Malga del Costone.

Nell'ambito di questo progetto si sono eseguite le seguenti lavorazioni.

- Riprofilatura del versante per la formazione del piano di posa del letto, scavando e riportando il materiale (prevalentemente soprasuolo terroso) per la creazione dell'argine a valle;
- Rimozione della vasca imhoff esistente e posa di una nuova vasca (dimensionata per 50 abitanti equivalenti);
- Posa di un degrassatore a valle dello scarico proveniente dalla cucina e modifica della linea di scarico;
- Realizzazione della nuova linea di scarico;
- Realizzazione del letto di pedo-fitodepurazione mediante la posa di un telo antipunzonante e successivamente del manto impermeabile;
- Riempimento del letto con zeolite e formazione del sistema di distribuzione in ingresso e in uscita;
- Posa di rete naturale in fibra di cocco sopra lo strato di zeolite e successiva posa sia delle zolle di terreno messe da parte durante lo scotico sia delle zolle di *Deschampsia caespitosa* reperite in altri siti all'interno del parco;
- Realizzazione dello scarico finale mediante un sistema di sub-irrigazione a valle del sistema di fitodepurazione;
- Sistemazione finale dell'area mediante la rimodellazione del terreno intorno al letto e la posa di una staccionata in legno naturale non tornito.



Documentazione fotografica – Fasi realizzative





Documentazione fotografica – Fasi realizzative



Documentazione fotografica – Fasi realizzative





12 Bibliografia

- Acta Plantarum, 2007 in avanti - "***Deschampsia cespitosa* (L.) P.Beauv.** - Scheda IPFI, **Acta Plantarum**". Disponibile online (data di consultazione: 15/02/2023)

https://www.actaplantarum.org/flora/flora_info.php?id=2621

- Acta Plantarum, 2007 in avanti - "***Trichophorum cespitosum* (L.) Hartm.** - Scheda IPFI, **Acta Plantarum**". Disponibile online (data di consultazione: 15/02/2023)

https://www.actaplantarum.org/flora/flora_info.php?id=7864

- Benvenuti Stefano (Università di Pisa, Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie), Bretzel Francesca (CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, sede di Pisa), Di Gregorio Rosa (Università di Catania, Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e alimentari), Piotta Beti (ISPRA, Dipartimento Difesa della Natura), Romano Daniela (Università di Catania, Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e alimentari) con il coordinamento di F. Bretzel e D. Romano. **Manuali e Linee Guida Ispra 86/2013, Specie erbacee spontanee mediterranee per la riqualificazione di ambienti antropici. Stato dell'arte, criticità e possibilità di impiego.**

- Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino. Partners di progetto: Comune di Vigevano, ASM Vigevano e Lomellina S.p.A., GRAIA srl, Associazione di Irrigazione EST-SESIA, CIRF – Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale. "***Gli ecosistemi filtro in aree protette: indirizzi progettuali***". Progetto finanziato dalla Fondazione Cariplo nell'ambito del Bando Cariplo 2006 "Gestione sostenibile delle acque: promuovere forme di gestione integrata e partecipata delle acque superficiali".

- Portale della Flora d'Italia

https://dryades.units.it/floritaly/index.php?procedure=taxon_page&tipo=all&id=7627

https://dryades.units.it/floritaly/index.php?procedure=taxon_page&tipo=all&id=8055

- Rossi Lorenzo Matteo Walter. Use of phytoremediation to purify wastewater in an Alpine extreme environment. A case of study on three different alpine shelters in the Adamello Park, Italy. Internship report in International Land and Water Management. February 2016.