

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO

Facoltà di scienze agrarie e alimentari



Corso di laurea in Valorizzazione e Tutela dell'Ambiente e del
Territorio Montano

Elaborato finale di laurea

FITODEPURAZIONE: OPPORTUNITA' AMBIENTALE PER I
RIFUGI ALPINI

Relatore:

Prof. Gian Battista Bischetti

Studente:

Casalini Matteo

Matr. N°741784

Anno accademico 2014/2015

INDICE DELLE FIGURE	3
INDICE DELLE TABELLE	6
1. INTRODUZIONE	7
2. IL QUADRO NORMATIVO	9
3. LA SITUAZIONE RIFUGISTICA ITALIANA	12
3.1 IL C.A.I.	12
3.2 I RIFUGI DEL C.A.I.	14
3.3 IDENTIFICAZIONE DELLE STRUTTURE	17
3.4 CLASSIFICAZIONE DELLE STRUTTURE	20
4. GLI IMPIANTI DI FITODEPURAZIONE	21
4.1 CARATTERISTICHE DELL'UTENZA MEDIA.....	21
4.2 TIPOLOGIA DI IMPIANTO.....	24
4.2.1 SISTEMI A FLUSSO SOMMERSO ORIZZONTALE (HORIZONTAL FLOW – HF).....	25
4.2.2 SISTEMI A FLUSSO SOMMERSO VERTICALE (VERTICAL FLOW – VF).....	27
4.2.3 SISTEMI A FLUSSO SOMMERSO VERTICALE PER REFLUI GREZZI (FRB).....	29
4.2.4 SISTEMI A FLUSSO LIBERO (FREE WATER SYSTEM – FWS).....	30
4.2.5 SISTEMI DI FITODEPURAZIONE AERATE (AEW O FBA).....	32
4.2.6 SISTEMI DI FITODEPURAZIONE IBRIDI	33
4.3 LE SPECIE VEGETALI	34
4.3.1 RUOLO ED IMPORTANZA.....	34
4.3.2 LA SCELTA DELLA VEGETAZIONE	36
4.3.3 FASE FINALE: PROPAGAZIONE E MESSA A DIMORA.....	40
4.3.4 SPECIE ADATTE ALLA FITODEPURAZIONE D'ALTA QUOTA.....	41
4.4 SCHEMI DI IMPIANTO APPLICATIVI	43
4.4.1 SCHEMA GENERALE	43
4.4.2 PRETRATTAMENTI	44
4.4.2.1 GRIGLIATURA.....	44
4.4.2.2 DISSABBIATURA	46
4.4.2.3 LA DISOLEAZIONE.....	48
4.4.3 SEDIMENTAZIONE PRIMARIA	50
4.4.3.1 VASCA IMHOFF	50
4.4.3.2 VASCA TRICAMERALE	51
4.5 LAY-OUT IMPIANTISTICO	52
4.5.1 FOSSA BIOLOGICA TRICAMERALE + HF	52
4.5.2 FOSSA BIOLOGICA TRICAMERALE +VF	53
4.5.3 FOSSA BIOLOGICA TRICAMERALE + HF+VF	55
4.5.4 FOSSA BIOLOGICA TRICAMERALE + VF+HF	56
4.5.4 FOSSA BIOLOGICA TRICAMERALE + FITODEPURAZIONE AERATA.....	56
4.5.5 FRB+HF.....	57
4.6 LA SCELTA DELL'IMPIANTO	59
4.6.1 CRITERI GENERALI DI SCELTA.	59
4.6.2 ANALISI FUNZIONALE DEI DIVERSI SISTEMI FITODEPURATIVI.....	60
4.6.3 I SISTEMI IBRIDI	61
4.6.4 CRITICITÀ DI SCELTA IN AMBIENTE MONTANO	64
4.7 MANUTENZIONE DELL'IMPIANTO	67
4.7.1 INTERVENTI ORDINARI.....	68
4.7.2 MANUTENZIONE ORDINARIA DEI SISTEMI PRIMARI	68

4.7.3	MANUTENZIONE ORDINARIA NEI SISTEMI A FLUSSO SOMMERSO ORIZZONTALE (HF).....	69
4.7.4	MANUTENZIONE ORDINARIA NEI SISTEMI A FLUSSO SOMMERSO VERTICALE (VF).....	70
4.7.5	MANUTENZIONE STRAORDINARIA	71
4.7.5	CASO PARTICOLARE: IL CLOGGING CONTROLLATO	72
4.7.6	LA MANUTENZIONE: ASPETTI E PROBLEMATICHE D’ALTA QUOTA	72
5	CASI DI STUDIO	74
5.1	L’IMPIANTO DI FITODEPURAZIONE DEL RIFUGIO TONOLINI.....	74
5.1.1	CONSIDERAZIONI PRELIMINARI E GIUSTIFICAZIONE DELL’INTERVENTO	74
5.1.2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL’AREA D’INTERVENTO	77
5.1.3	INQUADRAMENTO AMBIENTALE, ECOLOGICO E FITOCLIMATICO	81
5.1.4	DIMENSIONAMENTO DELL’IMPIANTO.....	82
5.1.5	PRETRATTAMENTO E SEDIMENTAZIONE PRIMARIA	83
5.1.6	IL LETTO FITODEPURANTE	84
5.1.7	MANUTENZIONE PROGRAMMATA	85
5.1.8	ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE E LOGISTICA	86
5.1.9	MONITORAGGIO DELL’OPERA E PRIMI RISULTATI DEPURATIVI.....	87
5.2	L’IMPIANTO DI FITODEPURAZIONE DEL RIFUGIO AVIOLO.....	90
5.2.2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL’AREA D’INTERVENTO	91
5.2.3	STATO DI FATTO.....	94
5.2.4	DIMENSIONAMENTO DELL’IMPIANTO.....	95
5.2.5	L’IMPIANTO IN PROGETTO.....	95
5.2.6	ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE E LOGISTICA	100
5.2.7	MANUTENZIONE PROGRAMMATA	100
6	CONCLUSIONI	102
7	BIBLIOGRAFIA	103
8	SITOGRAFIA	104
9	RINGRAZIAMENTI	104

Indice delle figure

Figura 1:	Suddivisione del territorio nazionale per aree geografiche (<i>fonte: rifugi e bivacchi.com</i>)	14
Figura 2:	Suddivisione del territorio nazionale per sottozona geografiche: sottozona Prealpi Lombarde, Adamello, Presanella (<i>fonte: rifugi e bivacchi.com</i>)	15
Figura 3:	Esempio di sottozona: Adamello-Presanella con le strutture presenti e le sottozone confinanti. (<i>fonte: rifugi e bivacchi.com</i>)	16
Figura 4:	Esempio di struttura classificata come rifugio: Rifugio Bozzi, alta Val di Viso (Bs). (<i>fonte: cai.bs.it</i>)	17
Figura 5:	Esempio di struttura classificata come punto d’appoggio: Bivacco Campoluzzo, Comune di Enego (Vi): struttura utilizzabile dai soci dell’altopiano previa richiesta. (<i>fonte: caiasiago.it</i>)	18
Figura 6:	Esempio di struttura classificata come bivacco: Bivacco Festa, alta val Galinera (<i>fonte: cai.bs.it</i>)	19
Figura 7:	Andamento estivo relativo alle presenze nelle strutture alberghiere ed extra alberghiere in Trentino nell’ anno 2014 (<i>fonte: servizio statistico della Provincia Autonoma di Trento</i>)	21

Figura 8: Andamento estivo relativo alle presenze nelle strutture alberghiere ed extra alberghiere in Trentino nel periodo 2006/2014; i numeri rappresentano le variazioni percentuali sull'anno precedente. (fonte: servizio statistico della Provincia Autonoma di Trento)	22
Figura 9: Rappresentazione schematica di un sistema a flusso sommerso orizzontare (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012).....	26
Figura 10: Rappresentazione schematica di un sistema a flusso sommerso verticale (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012).....	28
Figura 11: Rappresentazione schematica di un sistema a flusso sommerso verticale FRB. (fonte: linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013).....	29
Figura 12: Rappresentazione schematica di un sistema a flusso libero FWS. (fonte: U.S. EPA 2000).....	30
Figura 13: Lemnasp. tipica di un sistema a flusso libero FWS. (fonte: snipview.com).....	31
Figura 14: Rappresentazione schematica di un sistema di fitodepurazione areata AEW o FBA e particolare tubi di aereazione. (fonte: linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013).....	32
Figura 15: Rappresentazione schematica di un sistema di fitodepurazione ibrido VF+HF (fonte: IRIDRA S.R.L.).....	33
Figura 16: Meccanismo di distribuzione dell'ossigeno a livello radicale in alcune piante elofite. (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012).....	35
Figura 17: Messa a dimora delle macrofite in un impianto sub-superficiale verticale. (fonte: Cooper et al., 1996).....	40
Figura 18: Elenco specie da impiegare nella fitodepurazione in ambiente alpino. (fonte: linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013)	42
Figura 19: Schema generale di un impianto di fitodepurazione (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012).....	43
Figura 20: schema di funzionamento griglia ad arco. (fonte: L.Masotti, Depurazione delle acque, p.58)	45
Figura 21: schema di funzionamento griglia verticale. (fonte: L.Masotti, Depurazione delle acque, p.59) ...	45
Figura 22: Schema del principio di funzionamento dissabbiatore a canale (fonte: Schema del principio di funzionamento dissabbiatore aerato. (fonte: L.Masotti, Depurazione delle acque, p.80)	46
Figura 23: Schema del principio di funzionamento dissabbiatore aerato. (fonte: L.Masotti, Depurazione delle acque, p.80)	47
Figura 24: Schema del principio di funzionamento dissabbiatore ad immissione tangenziale. (fonte: L.Masotti, Depurazione delle acque, p.71)	47
Figura 25: Schema del principio di funzionamento di pozzetto disoleatore. (fonte: L.Masotti, Depurazione delle acque, p.87)	48
Figura 26: Schema del principio di funzionamento di disoleatore statico. (fonte: www.Dicamilloserbatoi.it).....	49
Figura 27: Schema del principio di funzionamento di disoleatore a pacco lamellare. (fonte: L.Masotti, Depurazione delle acque, p.89)	49
Figura 28: Schema del principio di funzionamento di una vasca Imhoff. (fonte: www.acquereflue.it)	50
Figura 29: Schema inquadramento del posizionamento della vasca Imhoff all'interno di un impianto di fitodepurazione. (fonte: www.fitodepurazione.it)	50
Figura 30: Esempi di vasca tricamerale. (fonte: www.tubiadige.it).....	51

Figura 31: Schema inquadramento del posizionamento della vasca tricamerale all'interno di un impianto di fitodepurazione. (fonte: <i>www.fitodepurazione.it</i>).....	51
Figura 32: Schema generale di un impianto di fitodepurazione HF in serie e parallelo. (fonte: <i>manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012</i>).....	53
Figura 33: Schema generale di un impianto di fitodepurazione VF semplice con relativo impianto di trattamento primario. (fonte: <i>linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013</i>).....	54
Figura 34: Schema generale di un impianto di fitodepurazione VF+VF in parallelo con relativo impianto di trattamento primario. (fonte: <i>linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013</i>).....	54
Figura 35: Schema generale di un impianto di fitodepurazione HF+VF in serie con relativo impianto di trattamento primario. (fonte: <i>manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012</i>).....	55
Figura 36: Schema generale di un impianto di fitodepurazione VF+HF in serie con relativo impianto di trattamento primario. (fonte: <i>manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012</i>).....	56
Figura 37: Schema generale di un impianto di fitodepurazione FRB+HF (fonte: <i>linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013</i>).....	57
Figura 38: Impianto di fitodepurazione a flusso sommerso realizzato in Canada, con una capacità di 1800 abitanti equivalenti (fonte: <i>abydoz.com</i>).....	60
Figura 39: Fase di elitrasporto dei materiali inerti. (fonte: <i>Consorzio Forestale Alta Valle Camonica di Edolo</i>).....	65
Figura 40: Inquadramento amministrativo dell'intervento.....	77
Figura 41: Inquadramento fotografico dell'intervento.....	77
Figura 42: Inquadramento su carta C.T.R. 1:10.000 dell'intervento.....	78
Figura 43: Rifugio Tonolini immerso nel contesto alpino adiacente.....	79
Figura 44: Area d'intervento presso il rifugio Tonolini (fonte: <i>Parco dell'Adamello</i>).....	80
Figura 45: Vista del lago Baitone con omonimo rifugio dal sentiero che conduce al Rifugio Tonolini.....	80
Figura 46: Leucanthemopsis alpina nei pressi del rifugio; (fonte: <i>rifugi lombardia</i>).....	82
Figura 47: Immagine dell'impianto al Rifugio Tonolini: nel riquadro rosso si notano i sistemi di sedimentazione primaria con a monte il degrassatore e più a valle la vasca imhoff; (fonte: <i>Parco dell'Adamello</i>).....	83
Figura 48: Planimetria del impianto al Rifugio Tonolini scala 1:100; (fonte: <i>Parco dell'Adamello</i>).....	84
Figura 49: Sezione del impianto al Rifugio Tonolini scala 1:100; (fonte: <i>Parco dell'Adamello</i>).....	85
Figura 50: Planimetria del impianto al Rifugio Tonolini scala 1:100 con in evidenza i punti di campionamento; (fonte: <i>Parco dell'Adamello</i>).....	88
Figura 51: Sezione del impianto al Rifugio Tonolini scala 1:100 con in evidenza i punti di campionamento; (fonte: <i>Parco dell'Adamello</i>).....	88
Figura 52: Confronto visivo dei campioni da sinistra a destra: O I W (fonte: <i>Parco dell'Adamello</i>).....	89
Figura 53: Il rifugio "Sandro Occhi" all'Aviolo. (fonte: <i>Regioni Italiane.com</i>).....	90
Figura 54: Inquadramento amministrativo dell'intervento.....	91
Figura 55: Inquadramento fotografico dell'intervento.....	91
Figura 56: Inquadramento su carta C.T.R. 1:10.000 dell'intervento.....	92
Figura 57: Lago d'Aviolo: si può notare la stratificazione vegetazionale del contesto.....	93
Figura 58: Area d'intervento su planimetria catastale scala 1:2000; (fonte: <i>Parco dell'Adamello</i>).....	93
Figura 59: Vasca imhoff prefabbricata attualmente in uso presso il rifugio Aviolo; (fonte: <i>Parco dell'Adamello</i>).....	94

Figura 60: Planimetria dell'impianto in scala 1:100; (fonte: Parco dell'Adamello)	96
Figura 61: Sezione A-A' 1:100; (fonte: Parco dell'Adamello)	96
Figura 62: Sezione B-B' 1:100; (fonte: Parco dell'Adamello)	97
Figura 63: Sezione C-C' 1:100; (fonte: Parco dell'Adamello)	97
Figura 64: Particolare dei fori da realizzare direttamente in cantiere: indicativamente saranno realizzati 50 fori/m del diametro di 14/16mm; (fonte: Parco dell'Adamello)	98
Figura 65: Pianta di una vasca scala 1:50; (fonte: Parco dell'Adamello)	98
Figura 66: Sezione A-A' scala 1:50; (fonte: Parco dell'Adamello)	99
Figura 67: Sezione B-B' scala 1:50; (fonte: Parco dell'Adamello).....	99

Indice delle tabelle

Tabella 1: carico idraulico ed organico medio(Masotti, 2011) (fonte: linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013).....	23
Tabella 2: Valori medi e rese di rimozione estratti da sistemi HF in Europa che trattano reflui domestici e urbani (Vymazel et al., 2008)(fonte: linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013)	27
Tabella 3: Valori medi e rese di rimozione estratti da sistemi HF in Europa che trattano reflui domestici e urbani (Vymazel et al., 2008)(fonte: linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013)	29
Tabella 4: Funzioni svolte dalle macrofite suddivise per parte. (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012).....	35
Tabella 5: Principali specie diffuse in Italia per la fitodepurazione a flusso libero. (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012).....	36
Tabella 6: Principali specie diffuse in Italia per la fitodepurazione a flusso sub superficiale orizzontale e verticale (HF+VF). (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)	38
Tabella 7: Profondità radicale delle specie acquatiche più utilizzate nei sistemi per la fitodepurazione a flusso sub superficiale orizzontale e verticale (HF+VF)(fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)	38
Tabella 8: Profondità dell'acqua ideale di alcune specie impiegate nei sistemi per la fitodepurazione a flusso libero (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)	39
Tabella 9: Tabella riassuntiva dei principali schemi d'impianto applicativi con relative caratteristiche	58
Tabella 10: Icone di Chermoff e rispettivo significato. (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)	62
Tabella 11: Valutazione comparativa delle performance e degli aspetti gestionali e di realizzazione dei principali sistemi di fitodepurazione. (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)	63
Tabella 12: riassunto dei principali interventi di manutenzione programmata; (fonte: Parco dell'Adamello)	86
Tabella 13: riassunto dei principali interventi di manutenzione in programma; (fonte: Parco dell'Adamello)	101

1. INTRODUZIONE

La montagna è universalmente riconosciuta come luogo di maestosa bellezza essendo culla di un patrimonio ambientale inestimabile costituito da biodiversità, tradizioni e paesaggi. Questo patrimonio rende l'utente della montagna, dall'escursionista improvvisato all'esperto alpinista, un privilegiato, potendo usufruire e godere dell'ambiente in maniera totale e senza limiti e ricevendo da esso enorme soddisfazione. Essa ha ispirato numerosi artisti quali pittori, poeti oltre a formare grandi personaggi che attraverso le loro gesta alpinistiche hanno contribuito ad arricchire il fascino delle montagne sottolineandone talvolta i pericoli e le insidie che essa nasconde. Poesie, dipinti e gesta possibili dunque solamente grazie all'elemento naturale, preponderante, fondamentale e ricco in questi luoghi.

Il serbatoio di biodiversità è in linea di principio infinito, ospita una varietà ampia di specie vegetali ed animali che spesso è strettamente legata al proprio specifico habitat, fatto di equilibri climatici-trofici-pedologici che devono essere rispettati.

Questo serbatoio comprende infine anche l'uomo, che pur essendo "solo un elemento del sistema", condiziona e spesso modifica con la sua attività l'ambiente.

Le tradizioni hanno dato vita alle più disparate culture montane nate inizialmente con diffidenza verso la montagna stessa e successivamente, attraverso il quotidiano lavoro svolto in montagna dalle popolazioni che vivevano giornalmente questi luoghi difficili, divenute motivo di vanto e di identificazione popolare oltre che importanti usanze da tramandare.

Negli ultimi decenni si è assistito alla nascita del cosiddetto turismo di massa, costituito dalle popolazioni che non abitano direttamente e che non vivono quotidianamente la montagna che hanno iniziato ad apprezzare e a frequentare questi luoghi sia per semplice passione e divertimento che, in alcuni ma non sporadici casi, per trasferirsi in montagna ed intraprendere diverse attività legate alla vita rurale. Questo ha portato ad un parziale ripopolamento delle montagne soprattutto stagionale, con grande affluenza di popolazione che sfrutta la montagna nella sua intera multifunzionalità.

Questo è sicuramente un aspetto positivo in quanto la montagna genera reddito che dovrebbe rappresentare non solo il profitto del singolo imprenditore, ma anche una risorsa diretta per la montagna in grado di sostenere i progetti e le idee per la tutela e la salvaguardia dell'ambiente

montano: aspetti quali l'inquinamento ambientale dovuto allo scarico dei reflui dei rifugi, vuole essere individuato ed analizzato non come il canonico dogma dell'inquinamento globale che affligge indistintamente popolazioni ed habitat, ma si vuole andare ad analizzare aspetti concreti e tecnici con il quale si può dare un sostanziale contributo alla salvaguardia ambientale.

In quest'ottica l'elaborato ha come obiettivo l'analisi delle problematiche legate al trattamento delle acque scure in ambienti d'alta quota, proponendone come soluzione la fitodepurazione. La nascita del turismo di massa, infatti, causa un sensibile aumento dei carichi in termini di reflui in alta quota e le normative a livello comunitario e nazionale consigliano la revisione della maggior parte degli impianti esistenti in quanto inadatti a sostenere carichi elevati, poco efficienti dal punto di vista depurativo e insostenibili dal punto di vista ambientale.

Gli impianti di fitodepurazione possono rappresentare un'opportunità per i rifugi alpini di salvaguardia ambientale e di ammodernamento tecnologico, oltre che una modalità per il trattamento delle acque scure nel rispetto degli standard vigenti. L'elaborato, dopo alcuni capitoli introduttivi in cui viene inquadrata la problematica del trattamento delle acque scure, tratterà nel dettaglio le principali modalità di fitodepurazione, analizzandone le modalità depurative, le caratteristiche tecniche, le rese e la componente vegetale presente.

Successivamente, verranno analizzate le problematiche impiantistiche legate all'ambiente alpino, verranno valutati i vari sistemi in rapporto con l'ambiente di montagna cercando di proporre un layout impiantistico che bene si adatti all'alta quota valutandone i criteri di scelta.

L'elaborato terminerà con i casi studio: il primo è l'impianto di fitodepurazione al servizio del Rifugio Tonolini sito in Comune di Sonico (Bs), realizzato nel 2013 dal Parco dell'Adamello che rappresenta un esempio in termini di progetto d'alta quota, valutabile in termini di rese depurative dopo una stagione d'utilizzo. Il secondo invece è l'impianto in progetto a servizio del Rifugio Aviolo sito in Comune di Edolo (Bs), a testimoniare come la fitodepurazione del Tonolini possa essere riproposta in altre realtà alpine.

2. IL QUADRO NORMATIVO

Dal punto di vista normativo la legislazione prescrive una serie di strumenti gerarchici che iniziano con le normative europee di riferimento e che ricadono poi sulla singola legislazione degli stati membri.

La norma comunitaria di riferimento in materia di trattamento delle acque reflue è rappresentata dalla Direttiva 91/271/CEE (Urban Waste Water Treatment Directive, UWWTD) che riguarda la raccolta, il trattamento e lo scarico delle acque reflue urbane, nonché il trattamento delle acque reflue urbane originate da taluni settori industriali al fine di proteggere l'ambiente da possibili danni che da queste possono originarsi. La direttiva impone sostanzialmente la realizzazione di opere/sistemi di trattamento e/o raccolta delle acque reflue per tutti gli agglomerati, in funzione dell'ubicazione, del grado di rischio ambientale e della potenzialità dell'impianto espressa in abitanti equivalenti (A.E).

Di questa prima norma interessano in particolare due definizioni:

- **Agglomerato**: area in cui una popolazione e/o le attività economiche sono sufficientemente concentrate così da rendere possibile la raccolta e il coinvolgimento delle acque reflue urbane verso un impianto di trattamento di acque reflue urbane o verso un punto di scarico finale.
- **Abitante equivalente**: il carico organico biodegradabile, avente una richiesta biochimica d'ossigeno a 5 giorni (BOD5) di 60 gr. di Ossigeno al giorno.

Per quanto riguarda i rifugi alpini essi non possono essere considerati dei veri e propri agglomerati in quanti sono quasi esclusivamente singoli edifici ma sono caratterizzati sicuramente da un grado di attività economica sufficientemente concentrata (considerando il delicato equilibrio ecologico dei siti occupati) sia nel tempo che nello spazio, che obbligano quindi ad una corretta gestione dei reflui. Il concetto di abitante equivalente è sicuramente una delle linee guida in fase di progettazione dell'impianto sia per quanto concerne il dimensionamento che la scelta della tipologia.

Per quanto riguarda il rischio ambientale è stato demandato ai singoli stati membri la scelta delle cosiddette aree sensibili e delle aree meno sensibili; tuttavia gli agglomerati minori che già disponevano di un sistema di raccolta, avrebbero dovuto dotarsi di un sistema di trattamento appropriato mediante un processo e/o un sistema di smaltimento. Esso, dopo lo scarico, deve garantire

la conformità delle acque recipienti ai relativi obiettivi di qualità e alle relative disposizioni della presente direttiva e di altre direttive pertinenti.

Seconda norma a livello comunitario è la direttiva 2000/60/CEE (Water Framework Directive - WFD) che rappresenta uno degli strumenti più importanti per il governo e la gestione delle acque continentali. Essa si ispira a concetti quali la prevenzione e la precauzione, sostenuti dal principio “chi inquina paga”; la gestione integrata a livello di bacino idrografico è il cardine di questa normativa che cerca di andare oltre i confini amministrativi a favore di una visione più olistica e multidisciplinare attenta soprattutto agli aspetti biologici e ambientali dei corpi idrici. L’obiettivo è la protezione, il miglioramento e il ripristino dello stato dei corpi idrici identificati nei bacini idrografici entro il termine temporale del 2015: il “buono stato” è da considerarsi in termini sia biologici che chimico-fisici.

In una visione europea di interventi e programmazione integrata come prevede la precedente normativa, i rifugi alpini rappresentano i primi possibili punti deboli della rete idrica di bacino e quindi, rispettando il principio della prevenzione e della precauzione, la salvaguardia dell’intero bacino deve partire proprio dalla corretta gestione dei reflui in quota.

In Italia il recepimento della WFD è avvenuto attraverso il Decreto Legislativo 152/2006 s.m.i. con il quale sono stati istituiti i distretti idrografici con le rispettive Autorità di Bacino Distrettuale rappresentanti il soggetto istituzionale deputato alla predisposizione e all’adozione del piano di bacino distrettuale e delle sue diverse articolazioni, incluso i piani di gestione adottati nel 2010 e attualmente in fase di approvazione.

Nello specifico del caso di studio la norma nazionale (D.lgs. 152/2006) specifica nell’Allegato V della parte terza riferita agli agglomerati con popolazione equivalente inferiore ai 2000 A.E. suggerisce tre criteri guida per l’individuazione dei trattamenti auspicabili:

- La semplicità della manutenzione e della gestione degli impianti;
- La capacità di sopportare adeguatamente forti variazioni orarie al carico idraulico ed organico;
- La minimizzazione dei costi gestionali.

I trattamenti appropriati devono quindi garantire dei livelli di performance accettabili garantendo sia gli standard qualitativi ma soprattutto la salvaguardia degli aspetti igienico sanitari connessi al contesto territoriale dove essi trovano applicazione: si distinguono in primari e secondari a seconda della soluzione tecnica adottata e del livello di depurazione.

Da sottolineare in conclusione come la stessa norma suggerisca come “auspicabile” per agglomerati con popolazione equivalente inferiore ai 2000 A.E., il ricorso ad un sistema di depurazione naturale come il lagunaggio o la fitodepurazione ma anche tecnologie come i filtri percolatori o impianti a ossidazione totale.

Lo stesso Decreto Legislativo 152/2006 all’articolo 105 relativo allo scarico in acque superficiali, al comma 6 fa riferimento allo scarico in zone situate in alta montagna (superiori ai 1.500 m s.l.m.) dicendo che a causa delle basse temperature i processi biologici potrebbero essere poco efficaci e quindi le acque possono sottoposte ad un trattamento meno spinto purché appositi studi non dimostrino che questi scarichi non hanno ripercussioni negative sull’ambiente.

La fitodepurazione rappresenta la tecnologia più adeguata per integrare e conseguire migliori rese rispetto ai soli trattamenti primari ed applicabile a scarichi domestici e assimilabili fino a potenzialità superiori ai 50/100 A.E.

3. LA SITUAZIONE RIFUGISTICA ITALIANA

3.1 Il C.A.I.

Con il termine rifugio, generalmente si indicano tutte quelle strutture poste in ambiente montano che offrono sostegno all'attività escursionistica ed alpinistica e sono importanti punti d'appoggio per le operazioni di soccorso alpino.

In Italia i rifugi sono in buona parte di proprietà del C.A.I. (Club Alpino Italiano), anche se vi sono rifugi privati. Idealmente queste strutture sono patrimonio di tutti i soci dell'associazione che mantengono le strutture attraverso il pagamento della quota sociale.

Il C.A.I. è una libera associazione costituita nel 1863 a Torino durante la salita del Monviso ad opera di Quintino Sella, Giovanni Barracco, Paolo e Giacinto di Saint Robert con lo scopo di promuovere l'alpinismo in ogni sua manifestazione, la conoscenza e lo studio delle montagne, specialmente di quelle italiane, e la difesa del loro ambiente naturale.

L'Associazione è costituita da Soci riuniti liberamente in Sezioni, che a loro volta sono coordinate in raggruppamenti regionali: a dicembre 2014 i Soci del CAI risultano essere 306.553, che partecipano alle attività di 511 Sezioni e 310 Sottosezioni appartenenti a 21 gruppi regionali di cui 2 raggruppamenti provinciali (Trentino e Alto Adige)

Dal punto di vista giuridico la struttura centrale del Club Alpino Italiano si configura come un Ente pubblico non economico, mentre tutte le sue strutture periferiche (Sezioni, raggruppamenti regionali e provinciali) sono soggetti di diritto privato.

Entrando nello specifico negli obiettivi dell'associazione troviamo:

- Promuovere la frequentazione della montagna e organizzare iniziative alpinistiche, escursionistiche e speleologiche in maniera diffusa sul territorio nazionale;
- Organizzare e gestire corsi d'addestramento per le attività alpinistiche, sci-alpinistiche, escursionistiche, speleologiche, naturalistiche volti a promuovere e garantire una sicura frequentazione della montagna ad un bacino d'utenza sempre più grande;
- Formare e qualificare a vario titolo "professionisti" della montagna (22 diverse figure di titolati tra cui istruttori, accompagnatori ed operatori), necessarie allo svolgimento delle attività citate in sicurezza;

- Effettuare il tracciamento, la realizzazione e la manutenzione di sentieri, delle opere alpine e delle attrezzature alpinistiche;
- Effettuare la realizzazione, la manutenzione e la gestione dei rifugi alpini e dei bivacchi d'alta quota di proprietà del Club Alpino Italiano e delle singole Sezioni, fissandone i criteri ed i mezzi;
- organizzare, tramite il Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico (CNSAS), struttura operativa del CAI, di idonee iniziative tecniche per la vigilanza e la prevenzione degli infortuni nell'esercizio delle attività alpinistiche, escursionistiche e speleologiche, per il soccorso degli infortunati o dei pericolanti e per il recupero dei caduti;
- promuovere attività scientifiche e didattiche per la conoscenza di ogni aspetto dell'ambiente montano nonché di ogni iniziativa idonea alla protezione ed alla valorizzazione dell'ambiente montano nazionale, anche attraverso l'operato di organi tecnici nazionali e territoriali;
- promuovere iniziative di formazione di tipo etico-culturale, di studi dedicati alla diffusione della conoscenza dell'ambiente montano e delle sue genti nei suoi molteplici aspetti, della fotografia e della cinematografia di montagna, della conservazione della cultura alpina.

3.2 I rifugi del C.A.I.

Il C.A.I. gestisce un totale di 750 strutture sparse su tutto il territorio nazionale che possono essere suddivise in base alla loro collocazione geografica come illustrato nella fig.1.



Figura 1: Suddivisione del territorio nazionale per aree geografiche (fonte: rifugi e bivacchi.com)

Ogni zona è a sua volta suddivisa in sottozona (esempio Fig.2 sottozona Prealpi Lombarde, Adamello, Presanella) selezionate a seconda della posizione geografica, della regione forestale di appartenenza e degli orizzonti altitudinali occupati.



Figura 2: Suddivisione del territorio nazionale per sottozona geografiche: sottozona Prealpi Lombarde, Adamello, Presanella (fonte: rifugi e bivacchi.com)

Ognuna di queste zone è infine suddivisa in aree comunate da caratteristiche morfologiche, geografiche, d'origine litologica e di gestione amministrativa all'interno delle quali sono dislocate le varie strutture.



Figura 3: Esempio di sottozona: Adamello-Preanella con le strutture presenti e le sottozone confinanti. (fonte: rifugi e bivacchi.com)

3.3 Identificazione delle strutture

Come è possibile distinguere anche dalla Figura 3, le strutture presenti sul territorio nazionale affidate o meno in gestione al C.A.I., sono di diverso tipo e si possono distinguere in base alle diverse caratteristiche strutturali e funzionale in:

- **Rifugi:** strutture ricettive sorte per rispondere alle esigenze di carattere alpinistico ed escursionistico, convenientemente predisposte ed organizzate per dare ospitalità e possibilità di sosta, ristoro, pernottamento e servizi connessi ed attrezzate per il primo intervento di soccorso. Dotate di locali separati ad uso gestore/custode e di un locale invernale con accesso indipendente per il pernottamento durante i periodi di chiusura. In questa categoria sono compresi i rifugi incustoditi a cui tutti possono accedere ritirando le chiavi a valle;



Figura 4: Esempio di struttura classificata come rifugio: Rifugio Bozzi, alta Val di Viso (Bs). (fonte: cai.bs.it)

- **Punti di appoggio:** strutture fisse generalmente ricavate con corretti ma modesti interventi di restauro e recupero di esistenti edifici tipici dell'ambiente montano quali casere, baite, malghe non più utilizzate, purché agibili, al fine di salvaguardare un aspetto del paesaggio tradizionale della montagna; ubicate, in luoghi dove non esistono rifugi alpini devono consentire il ricovero ad alpinisti ed escursionisti, con una attrezzatura semplice, ma indispensabile al pernottamento raggiungibili esclusivamente a piedi con sentieri o mulattiere, hanno la funzione di punti di appoggio e di transito lungo itinerari in media quota, alte vie, traversate. Sono escluse funzioni di gestione per servizi di fornitura cibi e bevande. Per la relativa manutenzione si procederà come per i bivacchi;



Figura 5: Esempio di struttura classificata come punto d'appoggio: Bivacco Campoluzzo, Comune di Eneo (Vi): struttura utilizzabile dai soci dell'altopiano previa richiesta. (fonte: caiasiago.it)

- **Bivacchi:** costruzioni di modeste dimensioni con capienza normalmente non superiore ai 12 posti, generalmente ubicati nelle zone più elevate delle catene montuose, frequentate per alpinismo classico, quali basi prossime agli attacchi delle vie di salita o lungo percorsi alpinistici di quota. Sono strutture incustodite e aperte in permanenza, attrezzate con quanto essenziale per il pernottamento o il riparo di fortuna degli alpinisti. Le Sezioni si devono interessare direttamente per la loro permanente apertura e per la perfetta manutenzione, nonché delle condizioni igieniche, di pulizia estesa agli spazi adiacenti al bivacco.



Figura 6: Esempio di struttura classificata come bivacco: Bivacco Festa, alta val Galinera (fonte: cai.bs.it)

3.4 Classificazione delle strutture

La classificazione delle strutture è effettuata su base geografica/topografica, tenendo conto delle finalità della struttura, quota, difficoltà di accesso, stagionalità e suddivide le tre macro categorie precedenti in sottocategorie quali:

- 1° GRUPPO: comprende i rifugi escursionistici di categoria A, cioè quelli raggiungibili con strada rotabile aperta al traffico ordinario o comunque ubicati in prossimità di questa; comprende anche i rifugi escursionistici di categoria B quelli raggiungibili con mezzo meccanico di risalita in servizio pubblico (escluse le sciovie), o comunque ubicati in prossimità dello stesso.
- 2° GRUPPO: comprende i rifugi alpinistici di categoria C – D - E: rispettivamente, in relazione alla situazione locale con particolare riferimento alla quota, alla durata e difficoltà di accesso, nonché all'incidenza del sistema normalmente adottato per i rifornimenti.
- 3°GRUPPO: comprende bivacchi e punti d'appoggio che non sono al loro interno classificati.

4. GLI IMPIANTI DI FITODEPURAZIONE

4.1 Caratteristiche dell'utenza media

Durante le fasi di progettazione di un impianto di fitodepurazione, uno degli aspetti più significativi che indirizza il progettista nel dimensionamento dell'opera, ma anche nella scelta dell'impianto da adottare, è la tipologia d'utenza.

Per tipologia d'utenza si intende la stima e l'analisi della quantità di persone solitamente e potenzialmente frequentanti il rifugio, e la loro distribuzione temporale all'interno dell'anno solare.

Diverse tipologie di attività ricettive quali centri turistici, campeggi, alberghi, ristoranti e ancor più i rifugi alpini sono soggetti ad una variazione di presenze molto ampia, in archi di tempo sostanzialmente piccoli: il grafico in Figura 7 relativo alle strutture alberghiere ed extra-alberghiere della provincia di Trento mostra come considerando per esempio l'arco di tempo settimanale per l'anno 2014, le presenze nel week-end sono sensibilmente maggiori rispetto a quelle infrasettimanali. In termini assoluti il numero di turisti negli anni è abbastanza stabile come dimostra la Figura 8.

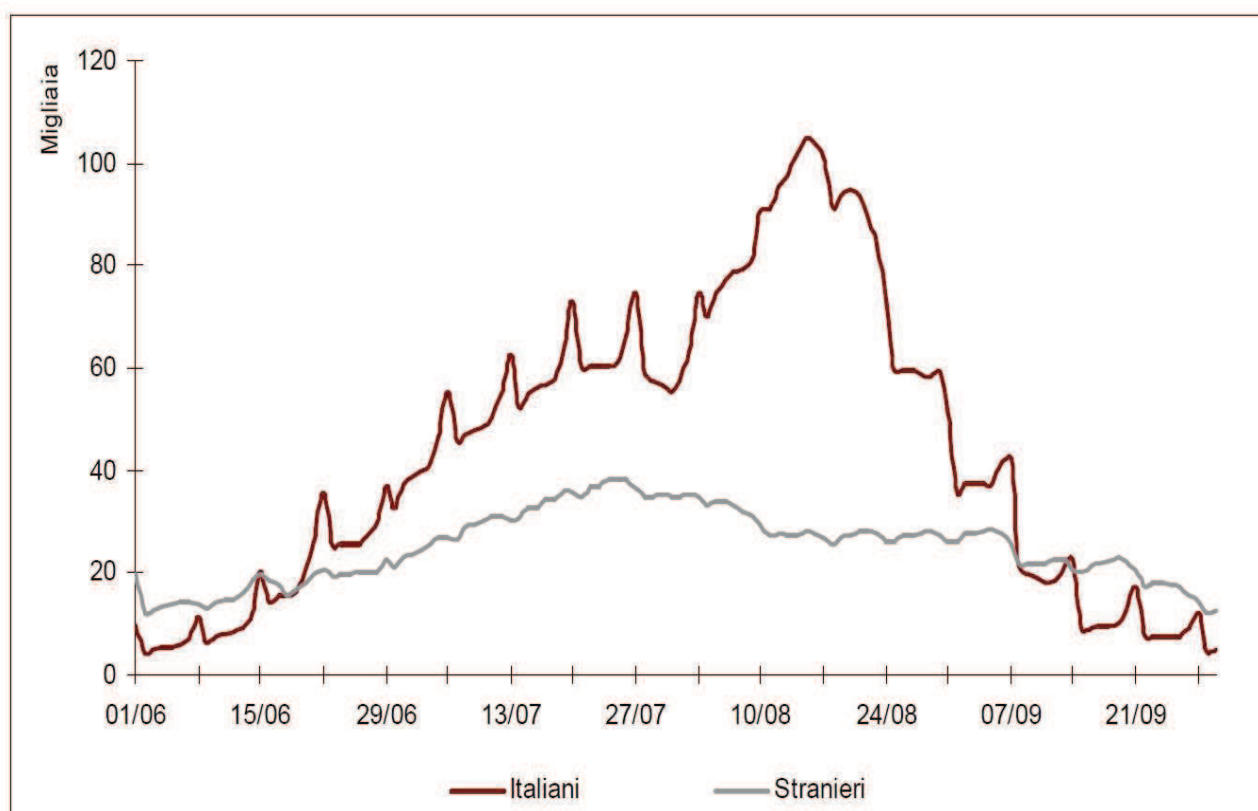


Figura 7: Andamento estivo relativo alle presenze nelle strutture alberghiere ed extra alberghiere in Trentino nell' anno 2014 (fonte: servizio statistico della Provincia Autonoma di Trento)

Questa alternanza di affluenza si ripercuote direttamente sulla caratteristica dei carichi organici che dovranno essere trattati a periodi alterni ma con tempi brevi per evitare sovraccarichi.

Il compito del progettista è parzialmente facilitato dal andamento delle presenze medio su periodi estivi più lunghi come mostrato nel grafico successivo: si può notare come le variazioni siano comunque limitate e consentono un'affidabile stima degli abitanti equivalenti.

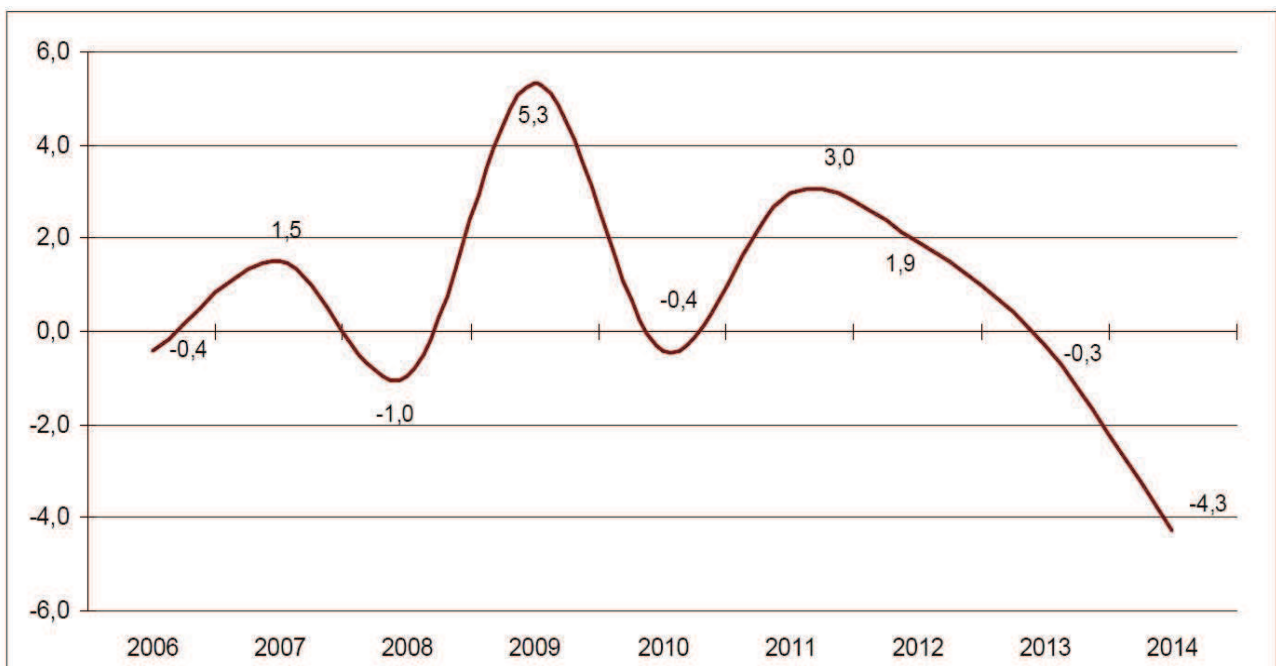


Figura 8: Andamento estivo relativo alle presenze nelle strutture alberghiere ed extra alberghiere in Trentino nel periodo 2006/2014; i numeri rappresentano le variazioni percentuali sull'anno precedente. (fonte: servizio statistico della Provincia Autonoma di Trento)

Queste caratteristiche degli andamenti turistici sono validi per quella tipologia di rifugi ad apertura esclusivamente estiva, in quanto per strutture ad attività annuale bisogna considerare l'effettiva efficienza dell'impianto nei periodi di freddo.

L'analisi dell'utenza può quindi essere svolta dal progettista attingendo a diverse fonti:

- Analisi della letteratura nazionale ed internazionale ed estrapolazione di dati di realtà il quanto più possibile simile a quella in esame;
- Monitoraggio dei consumi idrici;

- Analisi chimico-biologiche durante i picchi d'esercizio con ottenimento di dati relativi al tempo di corrivazione in relazione ai picchi d'orario di utilizzo;

Data l'utenza media, simile per quanto riguarda i rifugi alpini quantomeno nel panorama nazionale, posso affermare che i risultati saranno:

- Alte oscillazioni di carichi idraulici e organici a livello giornaliero e stagionale, con picchi generalmente concentrati nei fine settimana e nei periodi d'alta stagione;
- Alte oscillazioni idrauliche orarie, con variazioni di anche 10 volte all'interno della giornata;
- Alte oscillazioni giornaliere delle concentrazioni di inquinanti nel refluo;
- Alte concentrazioni di azoto ammoniacale;
- Alta presenza di grassi, oli e solidi sospesi.

Per dare un'idea del potenziale carico idraulico ed organico di utenze comuni si riporta la tabella 1 riassuntiva tratta dalla letteratura scientifica italiana.

Natura della comunità	Carico idraulico (l/g)	Carico organico (l/g)
<i>Centri turistici marini e montani</i>		
Case (Ospiti stabili)	150-200	60-70
Hotels , pensioni ..(per ospite+personale di servizio, esclusi bar e ristoranti)	150-400	55-75
Case di Riposo (per letto)	200-350	60-90
Campeggi e villaggi turistici (per ospiti)	100-200	40-70
<i>Ristoranti</i>		
Per impiegato	35-60	20-25
per posto servito	10-12	10-15

Tabella 1: carico idraulico ed organico medio(Masotti, 2011) (fonte: linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013)

4.2 Tipologia di impianto

La scoperta della fitodepurazione e l'impiego di essa in impianti atti alla depurazione delle acque, è una pratica nata agli inizi degli anni 50; lo studio dei processi chimico-fisici-biologici tipici delle zone umide naturali furono intrapresi da Seidel presso il MaxPlanckInstitute di Plön nel nord della Germania.

Inizialmente gli studi erano prettamente sperimentali su piccola scala, e consistevano nell'analisi dei batteri e nella ricerca delle macrofite più adatte ai trattamenti; i risultati non furono buoni in quanto vi erano dubbi sia sulla capacità depurativa che sull'effettiva attitudine delle piante a crescere e sopravvivere in ambienti inquinati.

Gli esperimenti vennero successivamente estesi a diverse tipologie di reflui come per esempio reflui urbani, caseari, animali.

Dal punto di vista impiantistico inizialmente gli sforzi furono, come detto, indirizzati allo studio delle capacità depurative e sui vegetali, ma poi si trasferirono sulla composizione del letto filtrante, andando ad individuare le argille e le sabbie quali materiali più adatti all'azione di filtraggio del refluo.

Negli anni '80 si svilupparono i diversi sistemi impiantistici oggi conosciuti; inizialmente i più diffusi furono quelli a flusso libero che, essendo già presenti in natura erano più facili da riprodurre; successivamente vennero quelli a flusso orizzontale seguiti da quelli a flusso verticale che a cavallo degli anni 2000, combinandosi fra di loro e aumentando il livello tecnologico dell'opera, diedero vita ai sistemi ibridi.

Il primo vero impianto di fitodepurazione in scala reale fu costruito a Othfresen nel 1977 e successivamente si diffusero soprattutto in Danimarca, Austria, Svizzera, Ungheria, oltre che nel nord America e in Australia.

In Italia questi impianti si sono diffusi con un certo ritardo, non per mancanza di ricerca o tecnologie, ma soprattutto per un vuoto normativo che non considerava questi impianti; infatti solo nel 1999 lo Stato italiano a recepito la direttiva Europea 91/271 con Decreto Legislativo 152/99 nel quale la fitodepurazione viene suggerita dalla norma stessa come utile strumento di trattamento secondario appropriato per unità abitative inferiori ai 2000 abitanti o come trattamento di affinamento per impianti di grandi dimensioni.

Attualmente gli impianti a livello nazionale sono circa 300, distribuiti soprattutto nel centro e nel nord Italia. Inizialmente la realizzazione di questi impianti non ebbe ampia diffusione sul territorio nazionale in quanto spesso i risultati erano poco soddisfacenti. Gli impianti, infatti, erano spesso realizzati

da ditte poco specializzate che, con scarsa o nulla competenza specifica, si improvvisavano imprenditori verdi e realizzavano impianti erroneamente dimensionati e con tipologie d'impianto poco adatte all'utenza a cui era destinato.

Attualmente la fitodepurazione è entrata prepotentemente sia negli ambienti accademici che professionali, dando luogo a numerosi studi di professionisti esperti che seguono e progettano gli impianti di fitodepurazione, oltre a ditte specializzate nella realizzazione.

La classificazione di questi sistemi di fitodepurazione è basata sulle caratteristiche del percorso idraulico del refluo e sulla tipologia di essenze vegetali utilizzate, annoverando più di venti tipologie differenti di impianto; negli ambienti di studio di questo elaborato le tipologie applicabili e fino ad oggi applicate che meritano un approfondimento si possono suddividere in:

- sistemi a flusso sommerso: sono canali o bacini naturalmente o artificialmente impermeabilizzati, riempiti con materiale inerte ad elevata conducibilità idraulica che viene sfruttato anche come supporto di crescita per le macrofite emergenti e per la popolazione microbica.
- sistemi a flusso libero: sono anche detti a flusso superficiale e sono costituiti da bacini o canali, naturalmente o artificialmente impermeabilizzati, in cui il livello dell'acqua è costantemente mantenuto sopra il livello del medium, con un battente idrico tipicamente compreso tra 0,3 e 0,6 m.

4.2.1 Sistemi a flusso sommerso orizzontale (horizontal flow – HF)

Questa modalità d'impianto prevede la formazione di vasche impermeabilizzate: questa operazione è solitamente effettuata attraverso il rivestimento delle vasche stesse con materiale plastico (liner plastico in PVC, PEAD o EPDM) mentre solo più raramente sono rivestite da calcestruzzo sia per motivi di costo che per ovvi motivi ambientali.

Questi bacini artificiali sono riempiti da materiale inerte come ghiaia, sabbia, pietrisco di diversa pezzatura al di sopra del quale avviene la piantumazione delle specie vegetali definite macrofite radicate emergenti (Capitolo 4.3.2). Il flusso d'acqua viene mantenuto costantemente al di sotto della superficie del materiale di riempimento, così che esso si mantenga saturo e vi sia la creazione di un ambiente prevalentemente anossico ricco tuttavia di micro zone aerobiche in prossimità delle radici delle piante che trasferiscono l'ossigeno dall'atmosfera all'interno del letto filtrante.

L'alternanza di zone aerobiche, anaerobiche ed anossiche, cioè delle condizioni redox del sistema, lo rende estremamente elastico favorendo lo sviluppo di popolazioni microbiche altamente differenziate che aumentano l'efficienza depurativa nei confronti di un ampio spettro di inquinanti e la rimozione dei patogeni, metabolicamente non adatti e sensibili a repentini e continui cambi del tenore di ossigeno disciolto.

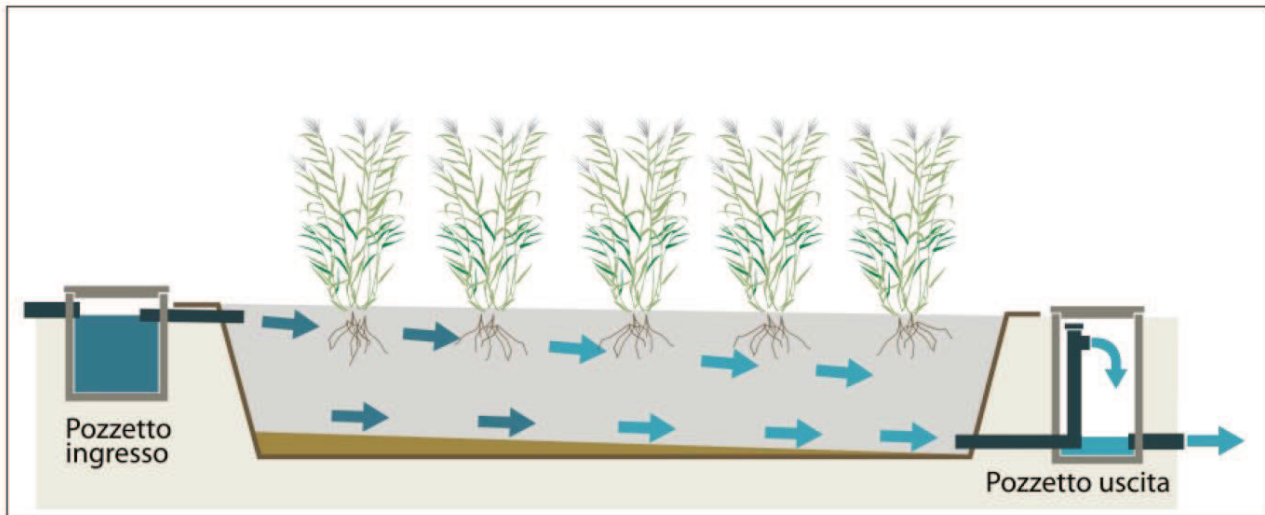


Figura 9: Rappresentazione schematica di un sistema a flusso sommerso orizzontale (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)

Mentre il refluo attraversa il materiale di riempimento viene a contatto con la rizosfera delle macrofite e la sostanza organica in essa contenuta così come la sostanza azotata viene degradata dall'azione microbica.

I principali meccanismi della rimozione degli inquinanti in un sistema HF sono:

- inquinanti organici (BOD5, COD): sedimentazione, degradazione batterica;
- materiali in sospensione: sedimentazione, filtrazione;
- metalli: precipitazione, adsorbimento, scambio ionico, uptake da parte delle piante;
- azoto: sedimentazione, adsorbimento, volatilizzazione (azoto ammoniacale), degradazione batterica (prevalentemente processi di denitrificazione); uptake da parte delle piante e della flora batterica;
- fosforo. Precipitazione, adsorbimento, uptake delle piante;

- patogeni: sedimentazione e filtrazione, predazione, morte naturale, effetto degli antibiotici emessi dalle piante.

Successivamente è riportata la tabella 2 che indica in maniera sintetica l'efficienza depurativa rispetto ai principali inquinanti.

Tipo di inquinante	C _{in} (mg/l)	C _{out} (mg/l)	n° di impianti	Efficienza %
BOD ₅	178	32	261	80,7
COD	287	76	224	63,2
SST	113	22,3	319	68,1
TKN	49,8	26,2	104	41,5
P _{tot}	8,7	4,4	247	40,9

Tabella 2: Valori medi e rese di rimozione estratti da sistemi HF in Europa che trattano reflui domestici e urbani (Vymazel et al., 2008)(fonte: linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013)

4.2.2 Sistemi a flusso sommerso verticale (vertical flow – VF)

Questa seconda tipologia di impianto a flusso sommerso è molto simile dal punto di vista tecnologico al modello HF: anche in questo caso è necessaria la realizzazione di una vasca impermeabilizzata come nel sistema orizzontale con le medesime caratteristiche tecniche di isolamento.

La principali differenze tra le due tipologie d'impianto sono:

- metodo di scorrimento del refluo: è la differenza più importante in quanto essa avviene in maniera discontinua con l'ausilio di pompe o di sifoni auto-adescenti con scorrimento del fluido prevalentemente verticale;
- medium di riempimento: in questo caso il materiale inerte deve essere posato secondo uno schema prestabilito, definito, che consenta il sovrapporsi di strati di granulometria diversa tendenzialmente più fine rispetto ai sistemi HF con una parte leggermente più grossolana al centro; la particolare granulometria regola in maniera adeguata la discesa del refluo tra gli strati di inerte;
- tempi di ritenzione idraulici: alcune ore per i VF e alcuni giorni per gli HF.

L'alimentazione intermittente ricrea le condizioni di un reattore "batch", costringendo l'impianto a dotarsi di due vasche in parallelo che riescano a sfruttare al meglio il flusso alternato, in modo da poter regolare al meglio i tempi di riossigenazione del letto variando frequenza e quantità di carico del refluo in ingresso.

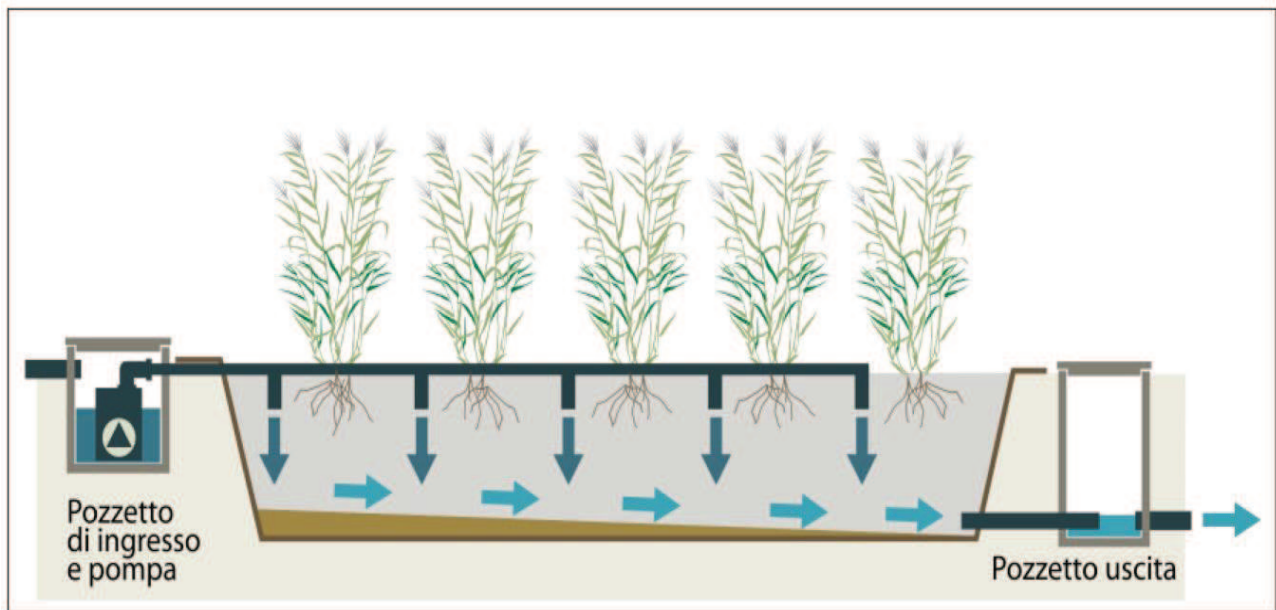


Figura 10: Rappresentazione schematica di un sistema a flusso sommerso verticale (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)

L'alimentazione intermittente del refluo e la particolare tipologia del substrato a granulometria differente, rende il substrato stesso mobile nel passaggio dalla carenza all'eccesso di ossigeno incrementando così i processi aerobici come la rimozione della sostanza organica e la nitrificazione.

I fenomeni di intasamento superficiale sono scongiurati nel primo periodo in quanto il continuo apporto di solidi sospesi e di sostanza organica, inizialmente favorisce la diffusione omogenea del refluo su tutta la superficie del letto, mentre nel lungo periodo potrebbero portare a fenomeni stagnanti con conseguente riduzione della capacità ossidativa e conseguentemente di nitrificazione.

Per evitare nel lungo periodo questi fenomeni negativi è consigliabile procedere con l'immissione di adeguati carichi idraulici ed organici per unità di superficie uniti a sufficienti tempi di riposo tra un carico e l'altro oltre a prevedere tra la vegetazione specie vegetali con apparato radicale attivo meccanicamente sul medium.

Successivamente è riportata la tabella 3 che indica in maniera sintetica l'efficienza depurativa rispetto ai principali inquinanti.

Tipo di inquinante	C _{in} (mg/l)	C _{out} (mg/l)	n° di impianti	Efficienza %
BOD ₅	309	21	97	87,9
COD	547	70	115	78,6
SST	188	18	74	77,1
NH ₄ -N	56,4	10,6	78,9	94
N _{tot}	70	37,6	64	44
P _{tot}	10,6	4,6	94	48,3

Tabella 3: Valori medi e rese di rimozione estratti da sistemi HF in Europa che trattano reflui domestici e urbani (Vymazel et al., 2008) (fonte: linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013)

4.2.3 Sistemi a flusso sommerso verticale per reflui grezzi (FRB)

Questa recente tipologia impiantistica è di recente concezione anche se abbondantemente testata e si distingue da tutte le altre tipologie sommerse in quanto non necessita di un sistema di sedimentazione primaria (Paragrafo 0) e quindi non ci sono fanghi da smaltire. Questa ulteriore semplificazione tecnologica è fondamentale nella possibile applicazione alpina in quanto semplifica la realizzazioni sia in termini tecnici che economici, ma soprattutto in termini energetici anche se è importante sottolineare che gli schemi impiantistici abbinano spesso questa tipologia di impianto ad impianti HF o VF.

Dal punto di vista impiantistico lo schema tipico prevede un primo stadio per reflui grezzi suddiviso su tre linee in parallelo, seguito da un secondo stadio VF articolato su due linee, alimentate in maniera alternata ogni 2/4 ore, o da un secondo stadio HF come riportato in figura 11.

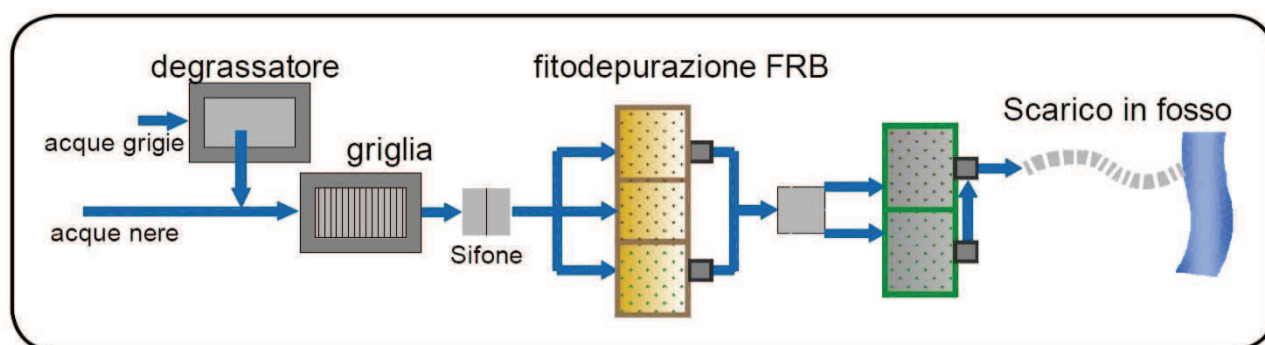


Figura 11: Rappresentazione schematica di un sistema a flusso sommerso verticale FRB. (fonte: linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013)

Da sottolineare come i materiali solidi sedimentati formano una crosta in superficie che ha un tasso di crescita di 1-2 cm/anno che deve essere rimossa ogni 10/15 anni, quando si è stabilizzata e può essere impiegata come ammendante chimico.

Questa crosta ha una limitata produzione di cattivi odori prodotti nelle immediate vicinanze dell'impianto nel momento della distribuzione del liquami; negli altri momenti lo strato di fango superficiale viene mantenuto in condizioni aerobiche sia per la modalità di alimentazione che per l'effetto della vegetazione presente mitigando così gli odori sgradevoli.

4.2.4 Sistemi a flusso libero (free water system – FWS)

Questa tipologia d'impianto riproduce esattamente i meccanismi di rimozione delle sostanze inquinanti presenti nei processi di autodepurazione delle zone umide naturali agendo contro organismi patogeni, BOD, COD, solidi sospesi, sostanze nutrienti, metalli pesanti e altri micro inquinanti. Il sistema, come illustrato nella figura 12, prevede anche in questo caso la realizzazione di una vasca impermeabilizzata come nel sistema orizzontale con le medesime caratteristiche tecniche di isolamento.

Uno dei principali obiettivi della progettazione di un sistema libero consiste nel garantire il contatto tra refluo e superficie biologicamente attiva per consentire un effettiva permanenza idraulica del refluo ed evitare la formazione di corti-circuiti idraulici. Il flusso segue quindi un percorso che comprende zone di inlet fino a zone di outlet: le zone a bassa velocità di scorrimento e bassa profondità con presenza abbondante di fusti, regolarizzano il flusso attraverso la formazione di piccoli canali.

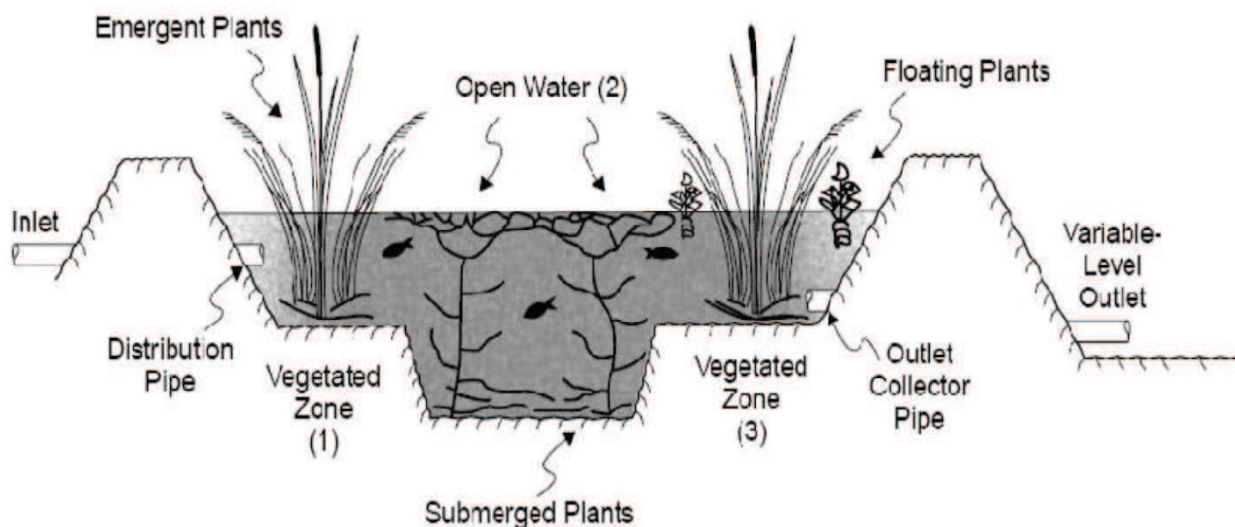


Figura 12: Rappresentazione schematica di un sistema a flusso libero FWS. (fonte: U.S. EPA 2000)

Le sostanze organiche e azotate sono rimosse attraverso processi biologici anossici in profondità, ossigenati in superficie; i solidi sospesi sono rimossi dalle radici o precipitano in profondità mentre la rimozione del fosforo avviene in maniera abbastanza lenta per adsorbimento, assorbimento, precipitazione e complessazione.

Questo sistema garantisce un'importante azione di rimozione dei microrganismi patogeni che, pur essendo molto efficace, è altamente variabile in quanto strettamente influenzata dalla variabilità dei fattori chimici, fisici e biologici.

I metalli pesanti sono infine rimossi attraverso l'up-take delle piante, l'interazione chimico fisica con il suolo e la conseguente precipitazione.

Tra le varie tipologie FWS più utilizzate vi è sicuramente il sistema Lemna (figura 13), in cui i bacini di accumulo sono totalmente ricoperti da Lemna o lenticchia d'acqua che è la più piccola e semplice pianta galleggiante utilizzata per il trattamento di depurazione dei reflui.



Figura 13: *Lemna sp.* tipica di un sistema a flusso libero FWS. (fonte: snipview.com)

L'utilizzo di questo vegetale presuppone un'attenta valutazione e programmazione preventiva delle operazioni di rimozione periodica della Lemna in quanto essa ha un rapidissimo sviluppo per non appesantire troppo la biomassa superficiale.

4.2.5 Sistemi di fitodepurazione aerate (AEW o FBA)

Questa tipologia d'impianto, più che un vero e proprio differente sistema di fitodepurazione, può essere inteso come un diverso approccio a questi sistemi e può essere un valido contributo per il potenziamento di impianti già realizzati (refurbishment) che non sono più in grado di fare fronte ad aumenti d'utenza o sono stati realizzati sottodimensionati. Fu introdotto in America circa 15 anni fa da Scott D. Wallace, uno dei massimi esperti del settore, e negli anni si è affermato come efficace artificio in termini di performance per quanto riguarda la degradazione dei composti organici e dell'azoto ammoniacale.

Altro indubbio vantaggio in impianti di neo-progettazione, è la capacità di risparmio in termini di spazio permettendo di ridurre le superfici di 4-5 volte rispetto ad impianti di fitodepurazione classici a parità di abitanti equivalenti considerati.

Un surplus in termini di resa ed efficienza, è controbilanciato da una richiesta energetica maggiore rispetto ai normali impianti fitodepurativi, anche se è bene sottolineare, resta comunque almeno di 5 volte inferiore rispetto ai normali impianti depurativi. Il surplus d'efficienza è fornito da compressori che pompano l'aria all'interno di collettori collegati a tubazioni poste sul fondo che permettono la distribuzione nella vasca come illustrato nella figura 14.

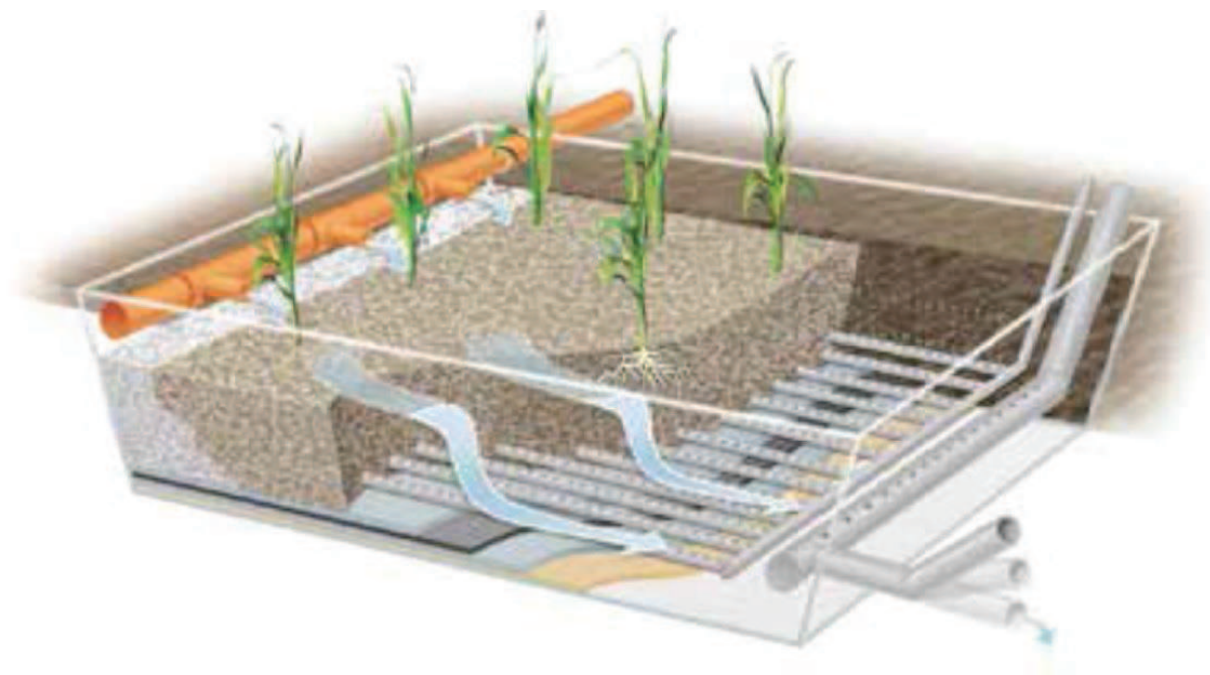


Figura 14: Rappresentazione schematica di un sistema di fitodepurazione aerata AEW o FBA e particolare tubi di aereazione. (fonte: linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013)

Prevalentemente vengono usati schemi progettuali a flusso sommerso verticale che lavorano in condizioni sature per permettere la diffusione dell'aria all'interno del refluo e sfruttare contemporaneamente la superficie superiore della vasca per il carico delle acque da trattare; è possibile comunque anche la progettazione con uno schema a flusso sommerso orizzontale soprattutto nei casi di “refurbishment”

4.2.6 Sistemi di fitodepurazione ibridi

Questi impianti consistono nell'applicazione in serie di più tipologie d'impianto come illustrato in figura 15: questa tecnica permette di risolvere i problemi dell'una o dell'altra tipologia unendo i vantaggi dei singoli sistemi.

I sistemi HF sono caratterizzati da semplici operazioni di manutenzione e notevole adattabilità alla variazione di carico garantendo un ottimo abbattimento dei carichi organici e dei solidi sospesi anche con basse concentrazioni, riduzione della carica microbica e ottima capacità di denitrificazione.

I sistemi VF e FRB garantiscono riduzione spinta dell'azoto ammoniacale, la sabbia filtra in maniera “estensiva” dando un'elevata qualità dell'effluente oltre che a necessitare di meno spazio.

I sistemi multistadio quindi, se adeguatamente supportati da tecniche di riciclo, possono rappresentare una via percorribile soprattutto nel caso di quantità importanti di refluo.

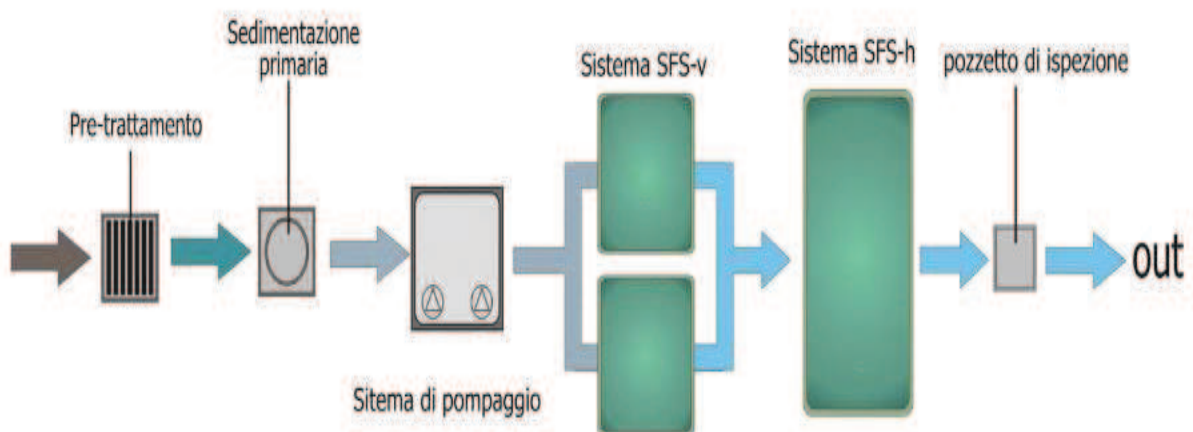


Figura 15: Rappresentazione schematica di un sistema di fitodepurazione ibrido VF+HF (fonte: IRIDRA S.R.L.)

4.3 Le specie vegetali

4.3.1 Ruolo ed importanza

I sistemi di depurazione naturale cercano di ricreare le condizioni chimico-fisiche e biologiche degli ecosistemi naturali. In tale contesto la riproduzione del corredo floristico del sistema riveste un ruolo fondamentale sia per quanto riguarda l'efficienza nel ruolo depurativo delle specie insediate che la mitigazione d'impatto ambientale.

Dovendo ricreare habitat tipici di ambienti umidi, le specie vegetali maggiormente utilizzate saranno quelle tipiche di tali ambienti, adatte a crescere in zone perennemente o periodicamente sature d'acqua. Essendo le piante organismi autotrofi per eccellenza, esse rappresentano un anello fondamentale di tutte le catene biologiche dell'ambiente subaereo trasformando l'energia solare in energia chimica che verrà trasferita agli altri anelli della catena in diverse forme. Il loro ruolo all'interno del sistema è quindi fondamentale e per questo devono vivere in condizioni trofiche ideali: ottima disponibilità di luce, acqua ed elementi chimici così da garantire il corretto svolgimento dei processi biochimici.

Le specie vegetali riscontrabili negli impianti di fitodepurazione possono essere classificate in due distinti gruppi:

- Elofite: sono dette anche macrofite radicate emergenti, sono piante semi acquatiche che vivono su suoli parzialmente o completamente saturi d'acqua fino ad una parziale sommersione del fusto con foglie e fiori liberi. Sono quelle maggiormente impiegate in questa tipologia di impianti;
- Idrofite: piante acquatiche caratterizzate da un corpo vegetativo completamente sommerso o galleggiante.

Dal punto di vista funzionale, le piante svolgono un ruolo fondamentale come riassunto in tabella 5, infatti:

- Sono fondamentali nel trasporto di ossigeno dall'atmosfera alla parte "solida" utilizzato per i processi ossidativi;
- Sono ambiente di crescita delle popolazioni batteriche che hanno il compito di decomporre la sostanza organica e trasformare i nutrienti;
- Contribuiscono a regolare i tempi di permanenza idraulica;
- Creano habitat naturali, "bio-diversi", con condizioni ambientali e trofiche adatte ad incrementare il numero di individui di micro e macro-fauna presenti;

- Contribuiscono direttamente all'abbattimento della carica microbica e dei nutrienti assorbendo nitrati e fosfati;
- Riducono i volumi d'acqua attraverso la normale evapotraspirazione;
- Controllano lo sviluppo di alghe;
- Creano paesaggio, fondamentale soprattutto nelle impiego di impianti in situazione di particolare fragilità eco-sistemica, o in situazioni paesaggistiche a vocazione turistica.

La figura 16 illustra la distribuzione dell'ossigeno a livello radicale.

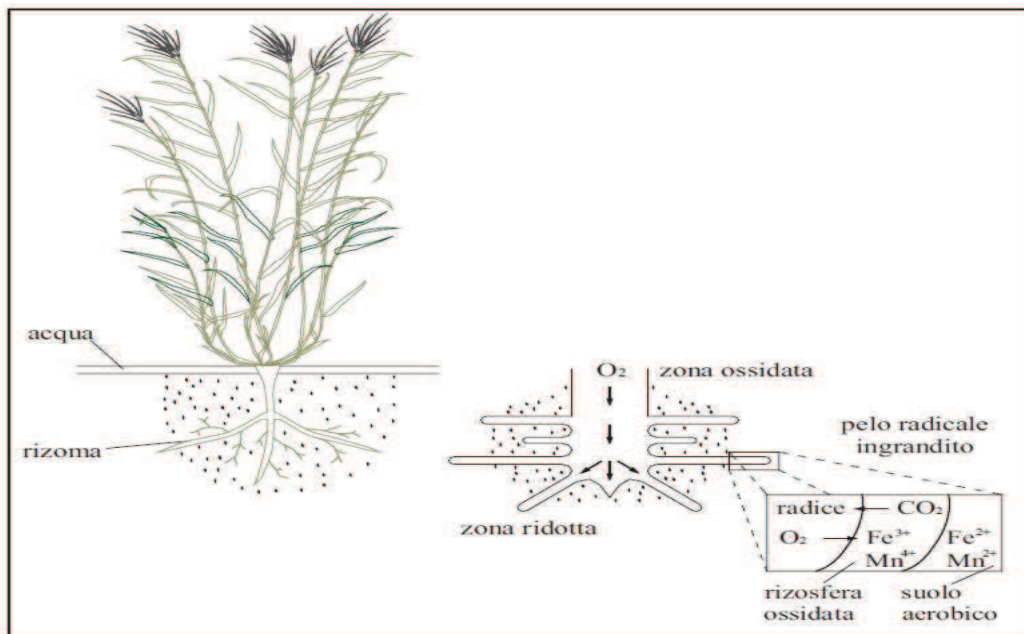


Figura 16: Meccanismo di distribuzione dell'ossigeno a livello radicale in alcune piante elofite. (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)

Parte aerea	Parte sommersa	Apparati radicali e rizomi
attenuazione della luce	funzione di supporto per i microrganismi	stabilizzazione della superficie e, quindi, controllo dell'erosione
influenza sul microclima	rilascio di ossigeno fotosintetico	prevenzione di infiltrazione nei sistemi a flusso sub-superficiale verticale
riduzione della velocità del vento	assunzione dei nutrienti	assunzione di nutrienti
funzione estetica	effetto filtrante per i detriti	rilascio di antibiotici
riserva di nutrienti	riduzione della velocità della corrente	

Tabella 4: Funzioni svolte dalle macrofite suddivise per parte. (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)

4.3.2 La scelta della vegetazione

La scelta delle piante rappresenta un momento fondamentale della fase progettuale sia dal punto di vista tecnico che da un punto di vista economico; la selezione delle specie deve essere fatta tenendo in considerazione un'ampia moltitudine di aspetti ricercati all'interno delle condizioni climatiche ma anche in base alla diversa tipologia d'impianto.

La selezione della vegetazione dovrà infatti tener conto di:




- Adattabilità alle condizioni di saturazione del terreno;
- Potenziale di crescita dell'apparato radicale;
- Capacità di trasporto dell'ossigeno;
- Capacità di attività fotosintetica;
- Resistenza all'elevata concentrazione di inquinanti;
- Resistenza alle malattie.

Importante è inoltre l'equilibrio tra le specie presenti: l'eccessivo sviluppo di alcune di esse infatti potrebbe compromettere la crescita e la funzionalità di altre, divenendo vere e proprie infestanti; di seguito in tabella 5 sono riportate le specie più diffuse per impianti a flusso libero in Italia:

ELOFITE		IDROFITE	
Nome scientifico	Nome comune	Nome scientifico	Nome comune
<i>Phragmites australis</i> (o <i>communis</i>)	Cannuccia di palude	IDROFITE SOMMERSE	
<i>Thypha latifolia</i>	Mazzasorda, Sala	<i>Myriophyllum spicatum</i>	Millefoglie d'acqua
<i>Thypha minima</i>	Mazzasorda	<i>Potamogeton natans</i>	Lingua d'acqua
<i>Thypha angustifolia</i>	Stiancia	<i>Potamogeton crispus</i>	Lingua d'acqua crespa
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	Giunco da corde	<i>Ceratophyllum demersum</i>	
<i>Juncus</i> spp.	Giunco	<i>Elodea canadensis</i>	Peste d'acqua comune
<i>Butomus umbellatus</i>	Giunco fiorito		
<i>Caltha palustris</i>	Farferugine	IDROFITE FLOTTANTI	
<i>Carex fusca</i>	Carice nera	<i>Nymphaea alba</i>	Ninfea comune, carfano
<i>Carex hirta</i>	Carice ertta	<i>Nymphaea rustica</i>	Ninfea rosa
<i>Carex elata</i>	Carice spondicola	<i>Nuphar lutea</i>	Nannufero
<i>Iris pseudacorus</i>	Iris giallo	<i>Nymphoides peltata</i>	Genziana d'acqua
<i>Epatorium cannabinum</i>	Canapa d'acqua	<i>Callitriche stagnalis</i>	Stella d'acqua
<i>Mentha aquatica</i>	Menta acquatica	<i>Hottonia palustris</i>	Violetta d'acqua
<i>Epilobium irsutum</i>	Epilobio maggiore		
<i>Alisma plantago aquatica</i>	Mestolaccia	PLEUSTOFITE	
<i>Lythrum salicaria</i>	Salcerella	<i>Hydrocharis morsus - ranae</i>	Morso di rana
<i>Stachys palustris</i>	Mastricale palustre	<i>Lemna</i> spp.	Lenticchie d'acqua
<i>Sparganium erectum</i>	Coltellaccio, bido	<i>Wolffia arrhiza</i>	
<i>Glyceria maxima</i>	Gramigna di palude	<i>Eichornia crassipes</i>	Giacinto d'acqua

Tabella 5: Principali specie diffuse in Italia per la fitodepurazione a flusso libero. (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)

Pur avendo caratteristiche morfologiche differenti (descritte per le principali specie in Tabella 6), le specie macrofite radicate emergenti (elofite) presentano un esteso sviluppo di tessuti areati (aerenchimi) fondamentale per il trasporto di ossigeno dall'atmosfera al medium di riempimento: sono quindi le più utilizzate nei sistemi di fitodepurazione, soprattutto in quelli a flusso sub superficiale orizzontale e verticale (HF-VF).

Nome	Descrizione	Aspetto
Cannuccia di palude <i>(Phragmites australis o communis)</i>	Specie erbacea, <u>perenne</u> , <u>rizomatosa</u> ; può raggiungere anche 4 m di altezza. Foglie, opposte, ampie e laminari, lunghe 15-60 cm, larghe 1 - 6 cm, glabre, verdi o glauche. All'apice del <u>fusto</u> è presente una <u>pannocchia</u> di colore bruno o violaceo, lunga fino a 40 cm. Germoglia a marzo e fiorisce a luglio.	
Mazzasorda o Mazza di tamburo <i>(Typha latifolia)</i>	Specie erbacea, alta anche 2,5 m. Infiorescenze femminili formate da migliaia di piccolissimi fiori di colore bruno circondati da peli. Le <u>spighe</u> cilindriche marroni ed a forma di salsiccia sono lunghe fino a 30 cm.	
Mazzasorda <i>(Typha minima)</i>	Specie erbacea alta 30 - 80 cm. Foglie lineari, canalicolate, lunghe e strette (1-3 mm). Fioritura maggio-giugno.	




Stiancia <i>(Typha angustifolia)</i>	Specie erbacea <u>perenne</u> , rizomatosa, altezza 1,5-2 m, portamento eretto, fogliame semipersistente. <u>Foglie</u> lineari, cerulee. Vegeta in <u>terreno</u> fresco, umido, acquitrinoso e tollera periodi di immersione anche prolungati; è molto diffusa nelle paludi, negli stagni e nei fossi, fino a 1.000 m di altitudine. Il periodo di fioritura è giugno-luglio.	
Giunco da corde <i>(Shoenoplectus lacustris o Scirpus lacustris)</i>	Specie erbacea perenne, rizomatosa, in condizioni particolarmente favorevoli può raggiungere i 3 m. di altezza. Fusti eretti, cilindrici, di colore verde scuro. Foglie brevi, lineari o ridotte a guaine alla base del fusto. Infiorescenza a forma di capolino, situata al termine del fusto, costituita da piccole spighe rosso-brune	
Giunco <i>(Juncus spp)</i>	Specie erbacea perenne, rizomatosa. Può raggiungere 1-1,5 m. di altezza sviluppando fusti verdi, privi di foglie o con foglie avvolte intorno al fusto.	

Tabella 6: Principali specie diffuse in Italia per la fitodepurazione a flusso sub superficiale orizzontale e verticale (HF+VF). (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)

Phragmites australis L è una specie diffusa in tutto il mondo e largamente utilizzata in quanto possiede un'elevata capacità di attecchimento, accrescimento e diffusione oltre a richiedere poca manutenzione.

Per quanto riguarda la profondità di penetrazione dell'apparato radicale, nei sistemi a flusso sommerso è fondamentale conoscere questo parametro così da progettare al meglio la profondità del letto filtrante; alcuni esempi in tabella 7 e 8.

Pianta acquatica	Penetrazione delle radici (cm)
<i>Phragmites australis (o communis)</i>	70
<i>Typha latifolia</i>	30 - 40
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	80
<i>Juncus effusus</i>	60 - 90

Tabella 7: Profondità radicale delle specie acquatiche più utilizzate nei sistemi per la fitodepurazione a flusso sub superficiale orizzontale e verticale (HF+VF) (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)

La profondità infatti deve essere ottimale soprattutto nei sistemi HF in cui l'apparato ipogeo ha la funzione di affinamento finale del carico organico e dei processi di denitrificazione: grazie al loro movimento favoriscono la conducibilità idraulica per via meccanica.

Si prediligono quindi specie ad accrescimento uniforme sia a livello emerso che radicale, così da riprodurre condizioni di conducibilità idraulica uniformi, evitando intasamenti e ritenzione che influiscono negativamente sui rendimenti depurativi.

Nei sistemi VF il ruolo della vegetazione è ancora più legato all'azione meccanica in quanto il trasporto d'ossigeno è poco importante perchè il medium ha già a disposizione l'ossigeno necessario per i processi ossidativi.

Negli schemi a flusso libero sono fondamentali gli apparati radicali più superficiali (primi 30-40 cm), in quanto essi devono svolgere un fondamentale lavoro meccanico sulla crosta superficiale di fango, che spaccandosi favorisce la percolazione del refluo. In questa tipologia d'impianto fondamentale è anche l'altezza d'acqua quale elemento biotico per la scelta delle specie.

ELOFITE		IDROFITE	
Specie vegetale	Profondità dell'acqua (cm)	Specie vegetale	Profondità dell'acqua (cm)
<i>Phragmites spp</i>	0 - 100	<i>Myriophyllum spp</i>	10 – 20
<i>Thypha minima</i>	0 - 40	<i>Potamogeton spp</i>	> 50
<i>Juncus effesus</i>	0 – 30	<i>Ceratophyllum demersum</i>	> 50
<i>Lythrum salicaria</i>	0 – 30	<i>Nymphoides peltata</i>	30
<i>Iris pseudacorus</i>	0 – 20	<i>Nuphar lutea</i>	30 – 50
<i>Butomus umbellatus</i>	10 – 30	<i>Nymphaea alba</i>	70 – 110
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	0 – 100	<i>Nymphaea rustica</i>	70 – 110
<i>Carex spp</i>	0 – 10	<i>Lemna spp</i>	galleggiante
<i>Alisma plantago aquatica</i>	10 – 20	<i>Hydrocharis morus-ranae</i>	galleggiante

Tabella 8: Profondità dell'acqua ideale di alcune specie impiegate nei sistemi per la fitodepurazione a flusso libero (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)

Completano infine la scelta progettuale aspetti quali la reperibilità in vivaio, che può influire direttamente sugli aspetti economici e logistici, i costi di acquisto e la posa in opera, che deve essere molto semplice così da poter essere effettuata da qualsiasi tipo di operaio incaricato, costi di manutenzione e caratteristiche paesaggistico-decorative.

4.3.3 Fase finale: propagazione e messa a dimora

Negli impianti di fitodepurazione è buona cosa effettuare una messa a dimora della vegetazione attraverso il trapianto diretto di piantine come illustrato in figura 17: questa tecnica consente di accorciare notevolmente i tempi di crescita della pianta oltre che i tempi per la formazione di una copertura omogenea.

Le tempistiche per il raggiungimento di un manto completo e definitivo sono di 2 anni circa, anche se già a partire dal secondo anno vegetativo si ha la totale copertura dell'impianto.

La messa a dimora è una fase cruciale per uno sviluppo rapido e regolare, deve essere fatta cercando di contenere la competizione con le infestanti, le malattie e le problematiche legate al rischio climatico.



Figura 17: Messa a dimora delle macrofite in un impianto sub-superficiale verticale. (fonte: Cooper et al.,1996)

Per esempio la specie più diffusa ed utilizzata, *Phragmites australis* L, il trapianto avviene con pane di terra con densità 3-4 piante/m² in primavera e interrimento dei cespi o rizomi di circa 15 cm di lunghezza in autunno a circa 15 cm di profondità all'interno del medium, per i sistemi a flusso sommerso si consiglia la messa a dimora di piante già sviluppate con densità 4 piante/m².

4.3.4 Specie adatte alla fitodepurazione d'alta quota

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 fito-depuranti vanno ricercate all'interno della vegetazione tipica dell'orizzonte alpino e sub-alpino.

In quest'ottica la Comunità Europea ha finanziato il progetto Alcotra "fitodepurazione in ambiente alpino-FITODEP" con il quale il parco del Marguarait, con il suo settore botanico denominato Centro per la Biodiversità vegetale, ha sviluppato un protocollo operativo per la selezione delle specie migliori sulla base di un'attenta analisi riguardante attecchimento, resistenza agli agenti atmosferici e funzionalità di processo.

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 stazionarie estreme e reperibile facilmente in loco con un buon numero di specie, così da svolgere anche un ruolo di riserva di germoplasma di specie spesso endemiche.

In termini botanici le specie selezionabili ricadono all'interno delle già menzionate 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;

Per identificare e catalogare in maniera seria e precisa una specie come autoctona, è necessario svolgere approfondite indagini floristiche e vegetazionali attraverso:

- Bibliografia: lo studio di elaborati tecnici, spesso presenti nelle zone di studio che hanno tradizione turistica e/o naturalistica;
- Rilevamenti diretti: campionamento (se consentito) delle specie vegetali presenti in aree umide prossime all'impianto o in alternativa raccolta dei semi.
- Analisi delle banche dati disponibili presso enti, istituti, associazioni, laboratori;

Sulla base di tutte le considerazioni fatte ed adottando un protocollo di selezione che rispetti i principi elencati, il progetto FITODEP ha selezionato 29 specie da impiegare in ambiente alpino per la fitodepurazione.

<i>Angelica sylvestris</i> L.	<i>Imperatoria ostruthium</i> W.D. J. Koch
<i>Bistorta officinalis</i> Delarbre	<i>Juncus arcticus</i> L.
<i>Caltha palustris</i> L.	<i>Lactuca alpina</i> (L.) A. Gray
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard	<i>Lamium album</i> L.
<i>Carex rostrata</i> Stokes	<i>Mentha longifolia</i> (L.) L.
<i>Chaerophyllum hirsutum</i> L.	<i>Menyanthes trifoliata</i> L.
<i>Chaerophyllum elegans</i> Gaudin	<i>Myrrhis odorata</i> (L.) Scop.
<i>Chenopodium bonus-henricus</i> L.	<i>Petasites paradoxus</i> (Retz.) Baumg.
<i>Cirsium alsophilum</i> (Pollini) Soldano	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. Ex Steud.
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.	<i>Ranunculus aconitifolius</i> L.
<i>Epilobium angustifolia</i> L.	<i>Rumex alpinus</i> L.
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck	<i>Senecio ovatus</i> (G.Gaertn., B.Mey & Scherb.) Willd.
<i>Eriophorum latifolium</i> Hoppe	<i>Veratrum album</i> L.
<i>Geranium sylvaticum</i> L.	<i>Veronica beccabunga</i> L.
<i>Heracleum spondylium</i> L.	

Figura 18: Elenco specie da impiegare nella fitodepurazione in ambiente alpino. (fonte: linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013)

4.4 Schemi di impianto applicativi

4.4.1 Schema generale

Lo schema generale di fitodepurazione comprende uno stadio di trattamento primario o preliminare, che precede il vero e proprio impianto di fitodepurazione come illustrato in figura 19; questo schema tecnico è molto simile a quello dei comuni impianti di depurazione biologici con la differenza che la fitodepurazione non ha alcuna produzione di fanghi nello stadio di trattamento secondario, mentre in quello primario vengono rimossi con la manutenzione ordinaria.

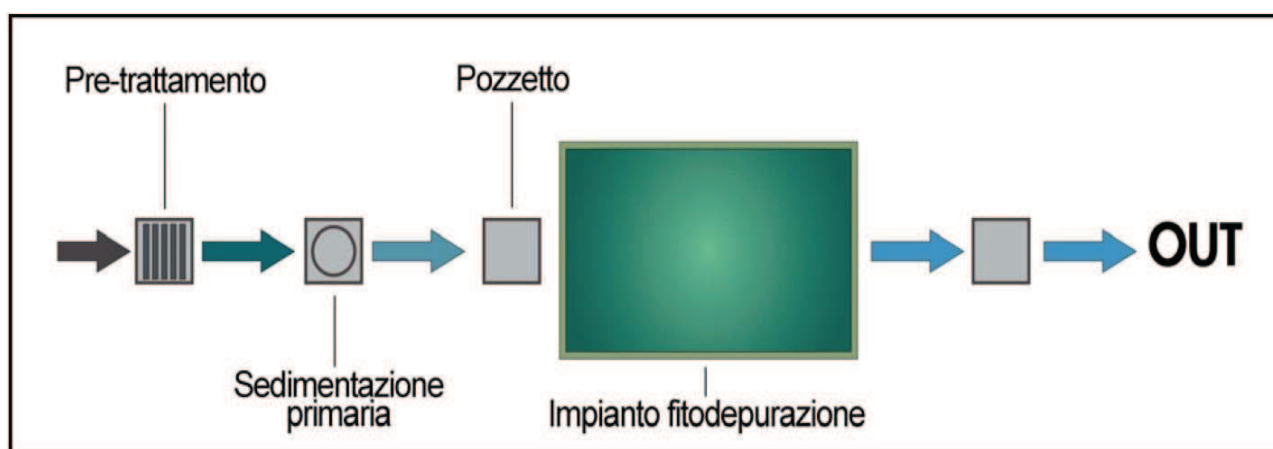


Figura 19: Schema generale di un impianto di fitodepurazione (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)

La complessità tecnica dell'intero tratto iniziale dipende direttamente dalla tipologia di refluo da trattare: solitamente le tecniche impiegate sono la disoleazione, la dissabbiatura e la grigliatura per eliminare le particelle grossolane per arrivare alla sedimentazione primaria vera e propria, utile per l'eliminazione dei solidi primari attraverso vasche di sedimentazione primaria, vasca tricamerale o la più comune vasca Imhoff.

A questo trattamento primario, effettuato per ridurre od eliminare gli inconvenienti di processo e ai macchinari dovuto all'introduzione di refluo non adatto, seguono i diversi sistemi secondari di fitodepurazione vera e propria già descritti nel capitolo (Capitolo 4.2) disposti in serie o parallelo o nei cosiddetti sistemi ibridi.

4.4.2 Pretrattamenti

Le modalità di pretrattamento più utilizzate sono, come già detto in precedenza la grigliatura, la disoleazione e la dissabbiatura che sono dei trattamenti di tipo meccanico in grado di aumentare il rendimento depurativo sia in termini qualitativi che quantitativi abbattendo il carico di sostanze, batterico e di inquinamento.

4.4.2.1 Grigliatura

Processo meccanico che consente di allontanare i corpi più grossolani presenti nei liquami; si possono distinguere tre tipologie di meccanismi differenti a seconda dello spazio tra le maglie:

- Griglia grossolana: maglie con spaziatura tra 40 e 110 mm;
- Griglia media: maglie con spaziatura tra 20 e 40 mm;
- Griglia sottile: maglie con spaziatura tra 10 e 20mm.

Le griglie per mantenere un buon grado di efficienza devono essere costantemente pulite, operazione che può essere effettuata manualmente o automaticamente.

La pulizia manuale è la più economica, diffusa soprattutto negli impianti piccoli ma che spesso viene automatizzata in quanto i meccanismi automatici garantiscono un risultato ottimale con ritmi di pulizia più elevati, mentre un'operazione manuale è meno efficace e spesso viene ripetuta con meno frequenza, oltre che essere un'operazione sgradevole.

Per quanto riguarda i sistemi di automazione ne esistono di due principali tipologie:

- Griglia ad arco: ideale per i canali di limitata profondità;(Fig.20)
- Griglia verticale: ideale per canali profondi; (Fig.21)

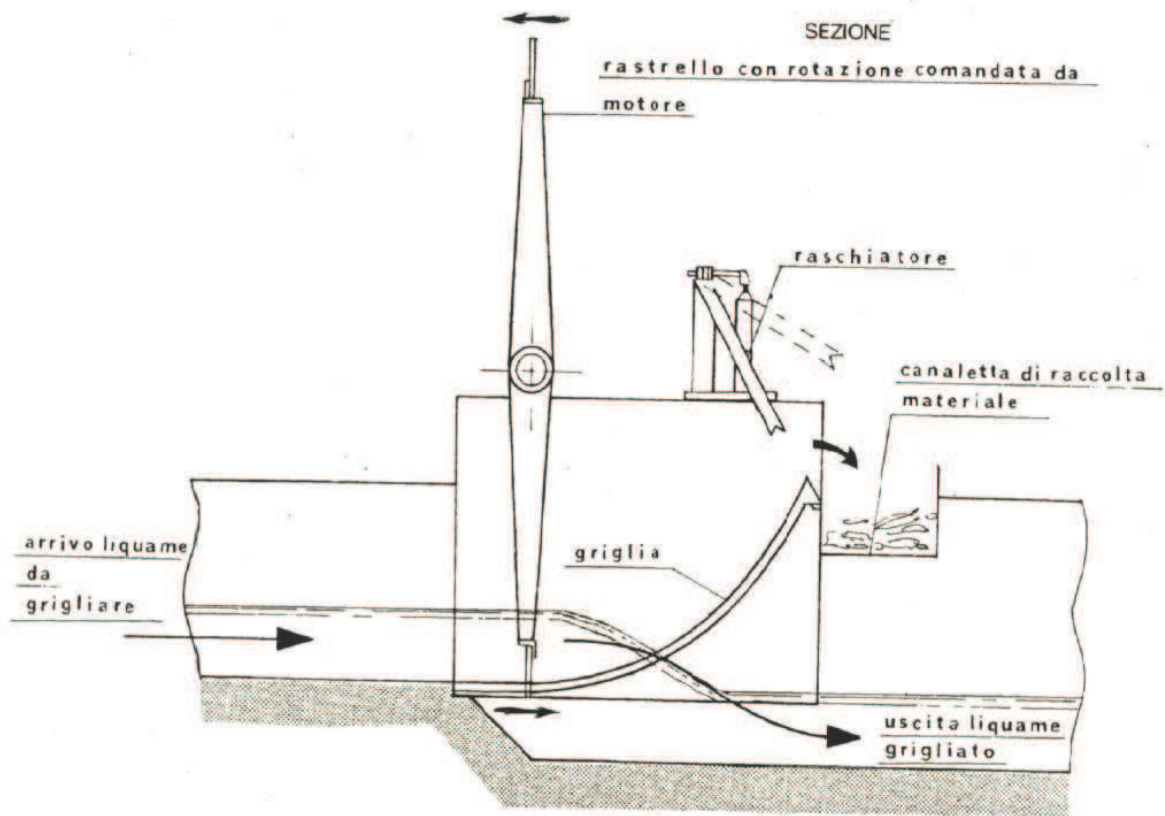


Figura 20: schema di funzionamento griglia ad arco. (fonte: L.Masotti, *Depurazione delle acque*, p.58)

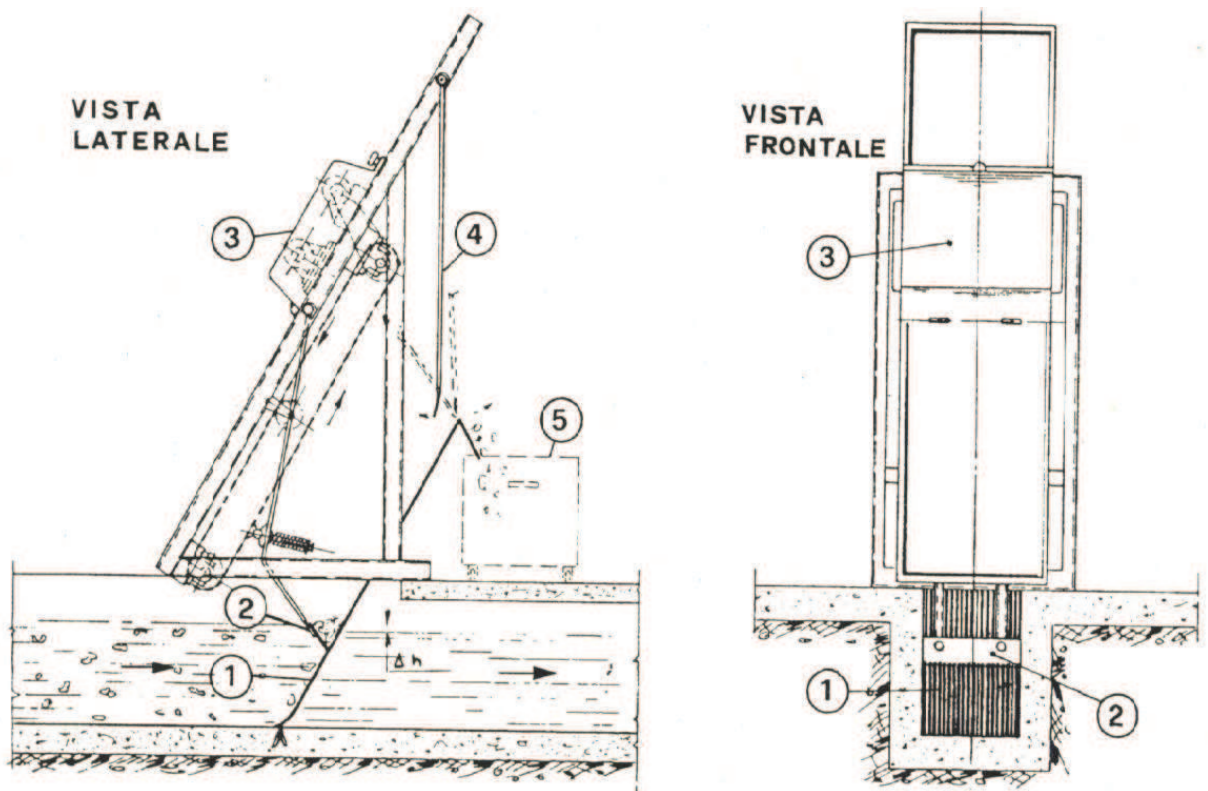


Figura 21: schema di funzionamento griglia verticale. (fonte: L.Masotti, *Depurazione delle acque*, p.59)

Pur essendo sistemi tecnicamente differenti il principio è uguale per entrambi: il refluo, fluido, viene convogliato fino alla griglia che, in base alla tipologia di maglia, selezionerà una parte di materiale che resterà sulla superficie della griglia stessa. Qui organi meccanici provvedono a sollevare la parte solida vagliata e a convogliarla verso una sistema di raccolta, variabile a seconda della quantità di filtrato; si passa da normale sacco di polietilene per le utenze di poche abitanti fino a veri e propri containers nel caso di grosse quantità.

Lo smaltimento del grigliato potrà avvenire con il normale iter dei rifiuti solidi urbani per quantità esigue, con sistemi di smaltimento autonomo per utenze superiore a qualche centinaio di abitanti.

4.4.2.2 Dissabbiatura

Questa operazione consiste nell'eliminazione dalle acque di rifiuto di sabbie che potrebbero andare ad ostruire le varie tubazioni dell'impianto, danneggiare macchinari eventualmente connessi e ad abbassare la profondità delle vasche di fitodepurazione diminuendone di conseguenza la portata e l'efficienza. Assieme alle sabbie vengono catturate anche tutte quelle sostanze con caratteristiche fisiche simili. In questa fase la selezione deve essere equilibrata per evitare l'eccessiva trattenuta di particelle organiche o al contrario il passaggio di sabbia

I differenti principi fisici sfruttati classificano i dissabbiatori in:

- Dissabbiatori a canale: sono solitamente a sezione rettangolare con pareti che favoriscono il deposito del materiale decantato verso il punto più basso; fondamentale è la velocità di avanzamento del refluo che deve essere mantenuta, da appositi congegni in ingresso, a 0,30 m/s.

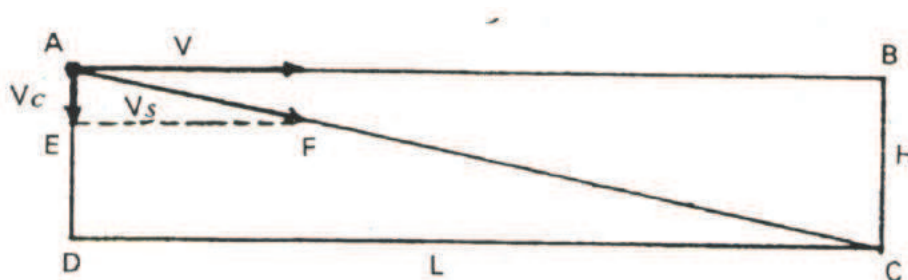


Figura 22: Schema del rincipio di funzionamento dissabbiatore a canale (fonte: *Schema del principio di funzionamento dissabbiatore aerato.* (fonte: L.Masotti, *Depurazione delle acque*, p.80)

- Dissabbiatori aerati: applicano alle particelle di sabbia il principio del moto a spirale, immettendo aria lateralmente nel canale si ha un moto rotazionale nella massa liquida che unito al moto longitudinale già presente, fornisce un moto a spirale alla massa stessa. Questo stato di agitazione provoca la flottazione delle particelle organiche più leggere

e il deposito della sabbia verso il fondo. L'aria viene immessa tramite diffusori a bolle fini.

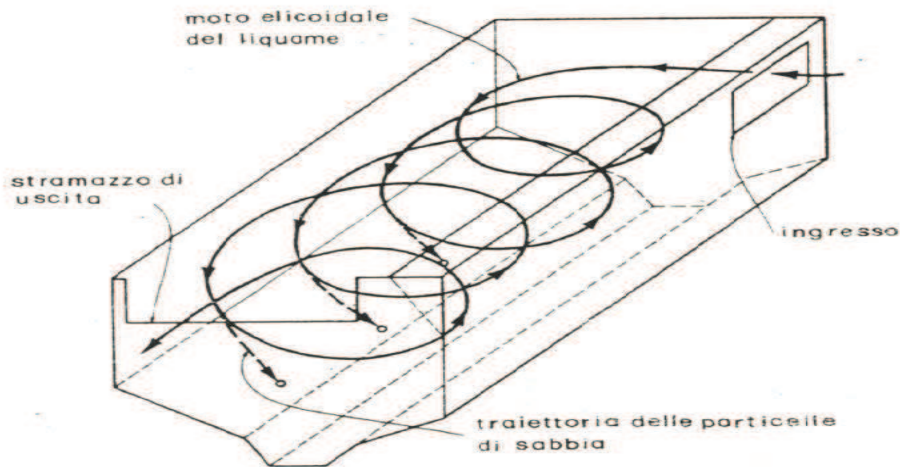


Figura 23: Schema del principio di funzionamento dissabbiatore aerato. (fonte: L.Masotti, *Depurazione delle acque*, p.80)

- Dissabbiatori ad immissione tangenziale: sono impianti compatti a pianta circolare, mossi da un agitatore elettrico centrale ad asse verticale che regola la velocità del liquame che consente di svincolarsi dalla portata del liquame e quindi dalla sua velocità, permettendone così la separazione; le sabbie separate vengono trasportate successivamente ad un pozzetto di raccolta tramite meccanismo air-lift.

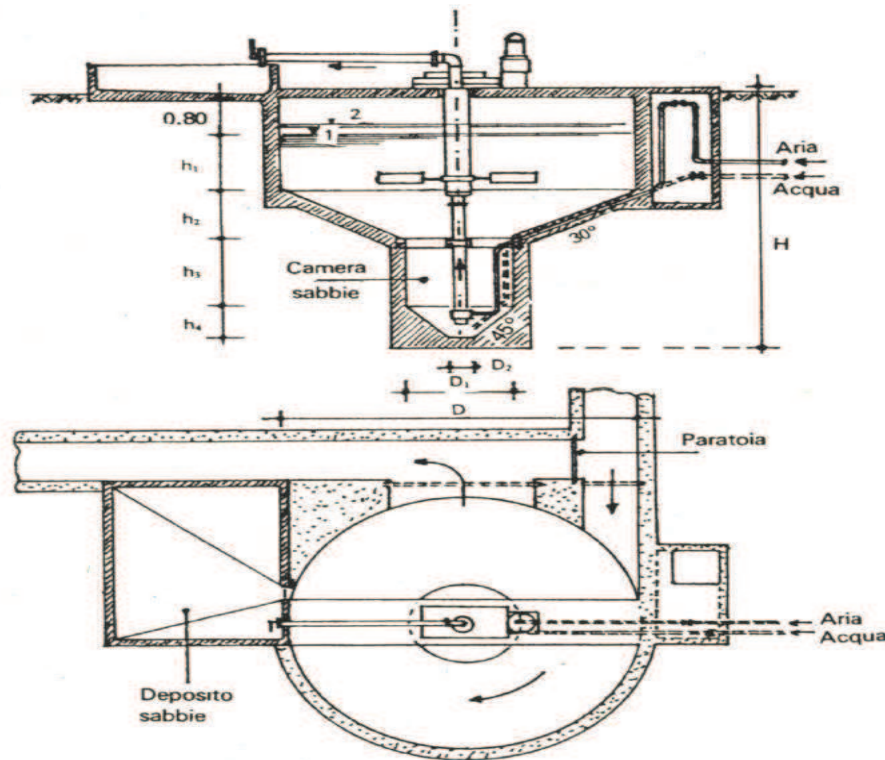


Figura 24: Schema del principio di funzionamento dissabbiatore ad immissione tangenziale. (fonte: L.Masotti, *Depurazione delle acque*, p.71)

4.4.2.3 La disoleazione

Questa operazione è necessaria in tutti quei casi in cui il refluo in ingresso contiene elevate quantità di olii e grassi che potrebbero andare ad interferire con le fasi di trattamento biologico aerobico, creando gravi inconvenienti al processo depurativo: essi infatti aderiscono ai fiocchi di fango ostacolando la loro sedimentazione oltre che l'adsorbimento nutritivo e gli scambi gassosi.

Esistono tre differenti tipologie di disoleatori:

- Pozzetto di disoleazione: è l'applicazione più semplice, ideale per le piccole abitazioni a limitato carico di reflui;

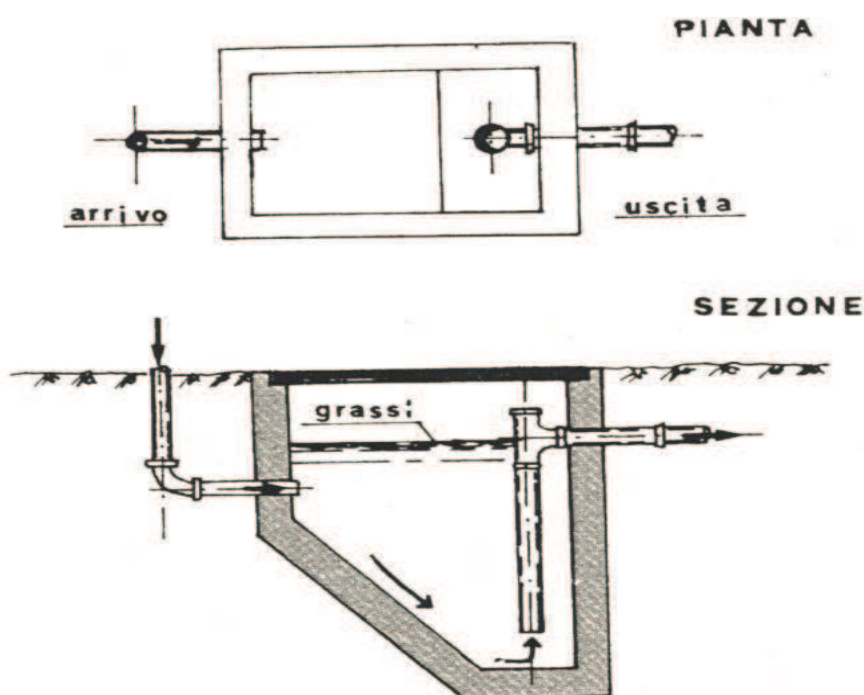


Figura 25: Schema del principio di funzionamento di pozzetto disoleatore. (fonte: L.Masotti, *Depurazione delle acque*, p.87)

- Disoleatore statico: sistema da impiegare per un'utenza importante, con volumi importanti, con un adeguato sistema di raccolta, dimensionato sia sul volume che sul peso dei reflui; esso permette il deposito sul fondo dei solidi depositabili e la separazione delle sostanze oleose per sospensione.



Figura 26: Schema del principio di funzionamento di disoleatore statico. (fonte: www.Dicamilloserbatoi.it)

- Disoleatore a pacco lamellare: sono i sistemi più efficienti in grado di occupare spazi limitati all'interno dei quali il flusso, costretto ad un moto laminare, consente la flottazione degli oli e dei grassi verso la parte superiore del comparto e la sedimentazione dei fanghi nella parte inferiore del medesimo comparto.

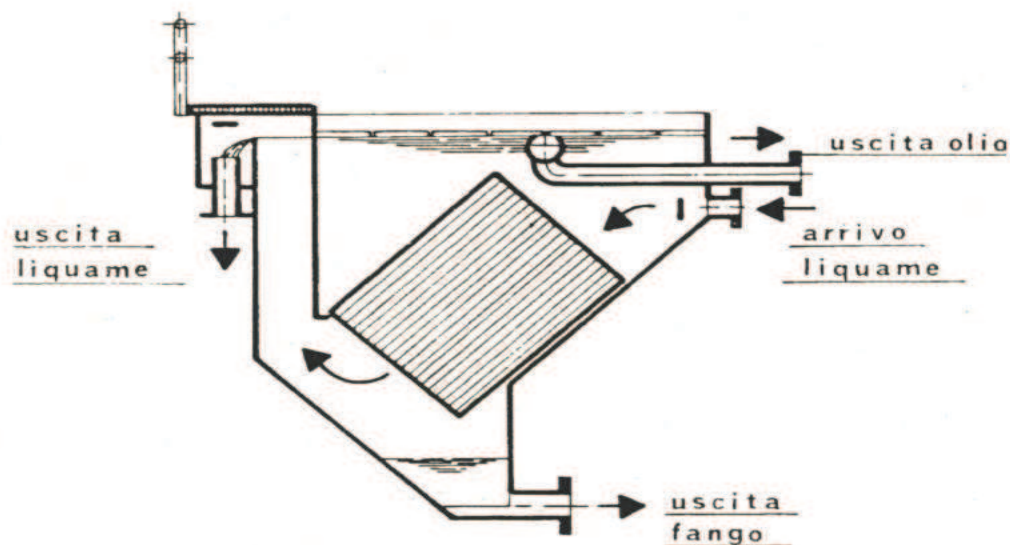


Figura 27: Schema del principio di funzionamento di disoleatore a pacco lamellare. (fonte: L.Masotti, *Depurazione delle acque*, p.89)

4.4.3 Sedimentazione primaria

4.4.3.1 Vasca Imhoff

Questa tipologia di vasca è un sistema di smaltimento dei liquami poco sofisticato, appartenente alla categoria dei cosiddetti bacini combinati, in cui si alternano processi fisici e processi biologici.

Essa può avere pianta rettangolare o circolare, ed in entrambi i casi è costituita da due comparti sovrapposti in comunicazione idraulica tra di loro come illustrato in figura 28. Quello superiore svolge il lavoro fisico di sedimentazione delle sostanze pesanti contenute nel liquame, ed è solitamente costituito da una tramoggia con fessurazioni sul fondo. Il comparto inferiore è invece destinato all'accumulo del materiale proveniente dal comparto superiore attraverso le fessure di fondo, in questa vasca avvengono i processi biologici, in particolare la digestione anaerobica.

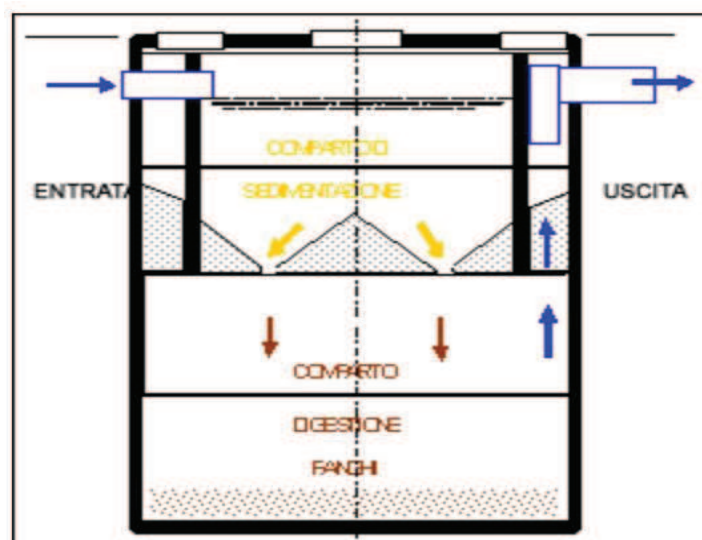


Figura 28: Schema del principio di funzionamento di una vasca Imhoff. (fonte: www.acquereflue.it)

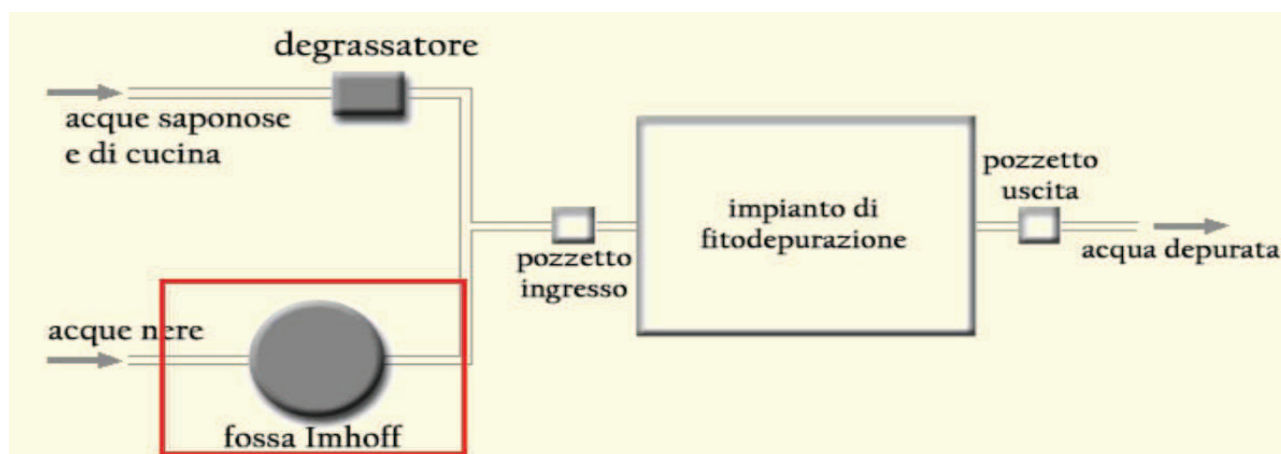


Figura 29: Schema inquadramento del posizionamento della vasca Imhoff all'interno di un impianto di fitodepurazione. (fonte: www.fitodepurazione.it)

4.4.3.2 Vasca tricamerale

Le fosse o vasche settiche tricamerale sono sistemi per il trattamento primario dei reflui solidi utili per:

- la separazione dei solidi sedimentabili, dei materiali grossolani, delle sabbie, degli oli e dei grassi presenti nelle acque reflue;
- la riduzione per decomposizione di una frazione delle sostanze organiche accumulate;
- l'accumulo e lo stoccaggio dei materiali separati;

La suddivisione del sistema in più camere stagne, influisce in modo significativo sull'efficienza di abbattimento; con questa configurazione, gran parte dei solidi sospesi si accumulano nel primo comparto e difficilmente riescono a passare nelle camere successive.

Inoltre, per rispettare la vigente normativa, le vasche devono essere dotate di coperchi per l'ispezione e il prelievo periodico dei fanghi, nonché di un bocchettone di sfiato con tubi in ingresso e uscita opportunamente dimensionati e dotati di guarnizione in gomma.



Figura 30: Esempi di vasca tricamerale. (fonte: www.tubiadige.it)

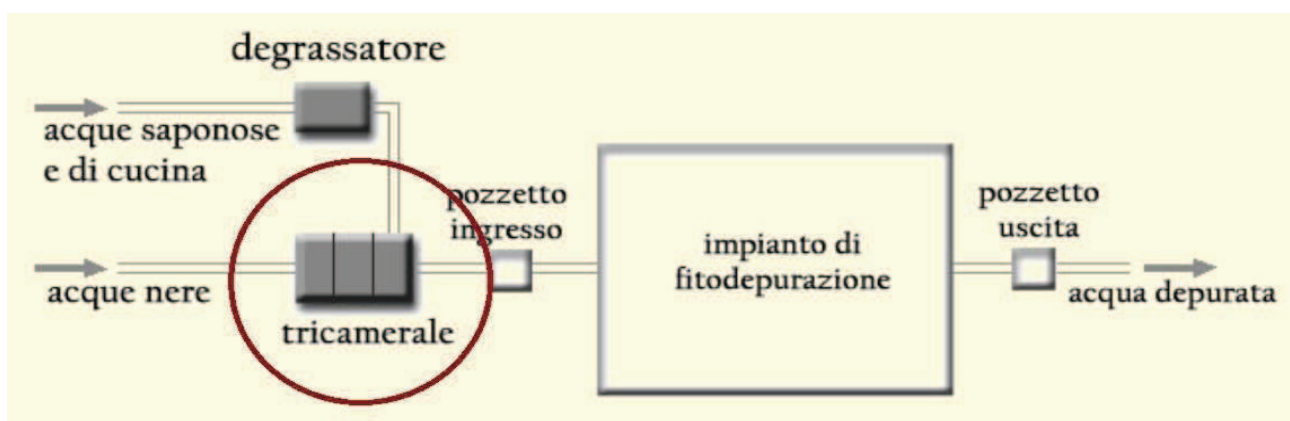


Figura 31: Schema inquadramento del posizionamento della vasca tricamerale all'interno di un impianto di fitodepurazione. (fonte: www.fitodepurazione.it)

4.5 Lay-out impiantistico

Dal punto di vista pratico, la configurazione impiantistica è fondamentale per la programmazione delle attività di cantiere e consiste nello stabilire le diverse modalità di impianto da impiegare e la loro successione che dipendono, come già detto, essenzialmente dalla tipologia qualitativa del refluo, la quantità di refluo, gli obiettivi depurativi e le caratteristiche dell'area di realizzazione.

Tra le tipologie schematiche d'impianto troviamo:

- Fossa biologica tricamerale + HF;
- Fossa biologica tricamerale + VF;
- Fossa biologica tricamerale + HF+VF;
- Fossa biologica tricamerale + VF+HF;
- Fossa biologica tricamerale + Fitodepurazione aerata;
- FRB+HF;

I dati relativi alle rese depurative attese, alla superficie netta richiesta e al costo di intervento inseriti nei paragrafi successivi derivano dal manuale "linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013".

4.5.1 Fossa biologica tricamerale + HF

Questo sistema illustrato nella figura 32, si basa unicamente sul flusso sommerso orizzontale come soluzione fitodepurante: è uno degli schemi più diffusi e adatti alle piccole utenze.

L'indubbio vantaggio è la semplicità di gestione e manutenzione, avendo come punto sfavorevole (spesso presente anche in altre tipologie) il bisogno di dotarsi di una sedimentazione primaria come la fossa tricamerale o la imhoff.

Il sistema HF, ovviamente presente in successione al trattamento primario, può essere ripetuto in serie o parallelo per aumentarne la portata e l'efficienza depurativa.

Il funzionamento avviene per gravità senza bisogno di nessun'apparecchio elettrico e di alcun intervento gestionale, ad eccezione dell'espurgo periodico del fango.

Il costo di intervento è circa di 400-600€/abitante equivalente, 300-800€/posto letto nei rifugi alpini.

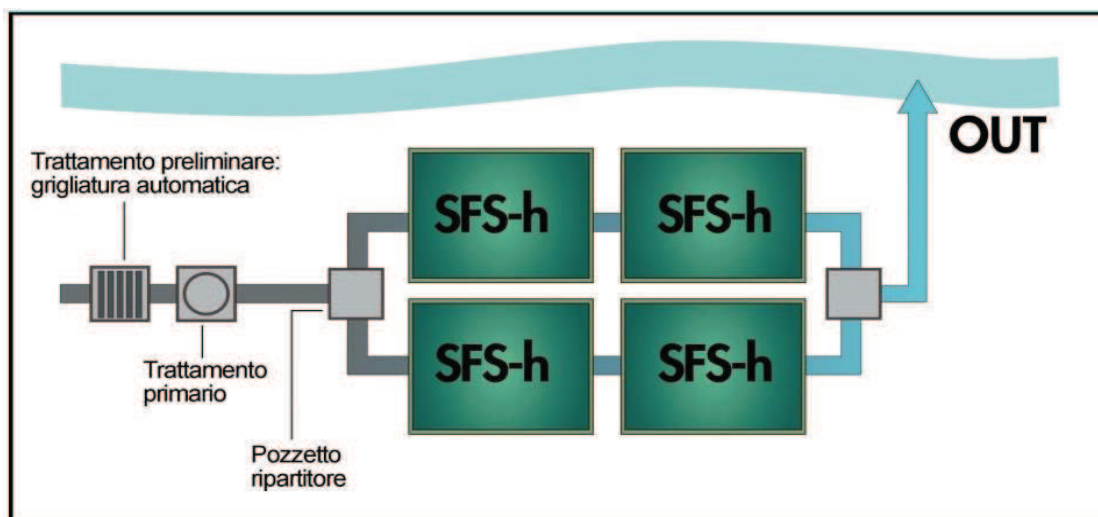


Figura 32: Schema generale di un impianto di fitodepurazione HF in serie e parallelo. (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)

Questo sistema garantisce una qualità delle acque in uscita molto buona a livello di carico organico e solidi sospesi, mentre l'abbattimento dell'azoto ammoniacale difficilmente supera il 50-60%, valore in linea con le altre tipologie e comunque appropriato alle piccole utenze. Nello specifico le rese attese sono un abbattimento del 80-90% del BOD₅, del 80-90% del TSS, del 30-50% del TN, del 30-50% del NH₄.

Gli spazi richiesti per la realizzazione sono leggermente superiori alle altre tipologie, vanno dai 2,5-4 m²/abitante equivalente corrispondente a 1,5/3 m² per posto letto nei rifugi alpini.

4.5.2 Fossa biologica tricamerale +VF

È una tipologia d'impianto ampiamente diffusa anche se meno semplice della precedente, è particolarmente adatta ai climi freddi; come per gli schemi comprendenti HF, può essere ripetuto in serie o in parallelo per aumentare efficienza e quantità di carico, consentendo la regolazione del carico dell'impianto tra le diverse linee e il funzionamento in continuo dell'impianto nella sua globalità.

Lo schema prevede come illustrato in figura 33 un pretrattamento con annessa fossa tricamerale o imhoff per le acque nere che necessariamente dovrà essere svuotata periodicamente dai fanghi; il sistema dovrà essere alimentato per gravità evitando così l'impiego di pompe, che seppur funzionanti poche ore al giorno, aumentano sensibilmente il fabbisogno energetico dell'impianto, oltre ai costi di manutenzione.

Rispetto ai sistemi HF c'è maggiore libertà sulle geometrie delle vasche, risultando più facile da inserire in certi contesti alpini, dove lo sfruttamento

dello spazio in maniera intelligente è fondamentale e talvolta imposto dalla particolare morfologia del territorio.

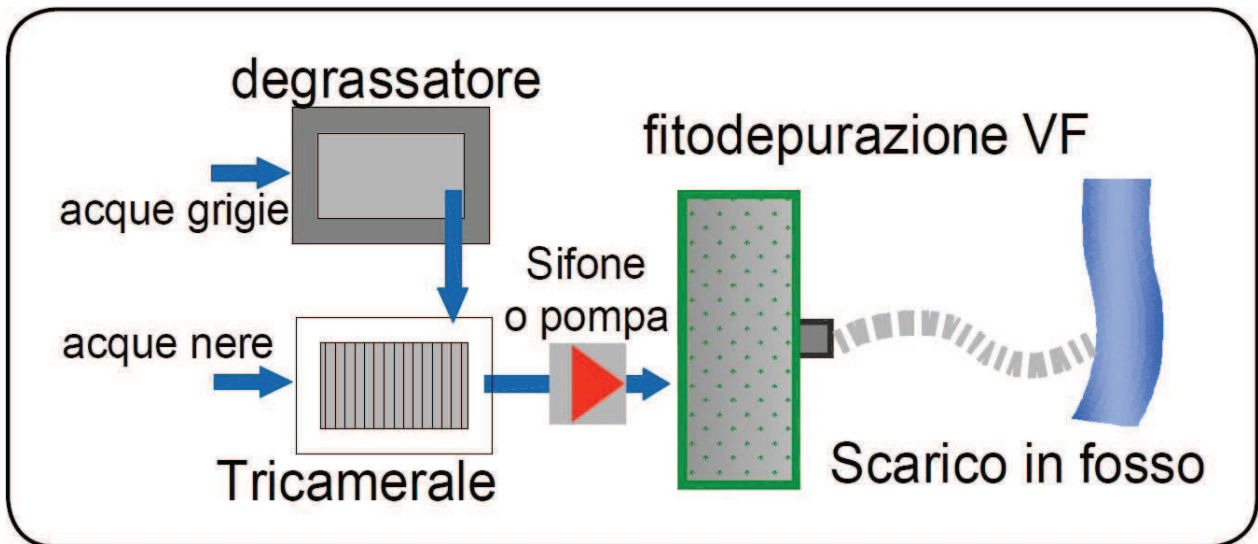


Figura 33: Schema generale di un impianto di fitodepurazione VF semplice con relativo impianto di trattamento primario. (fonte: linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013)

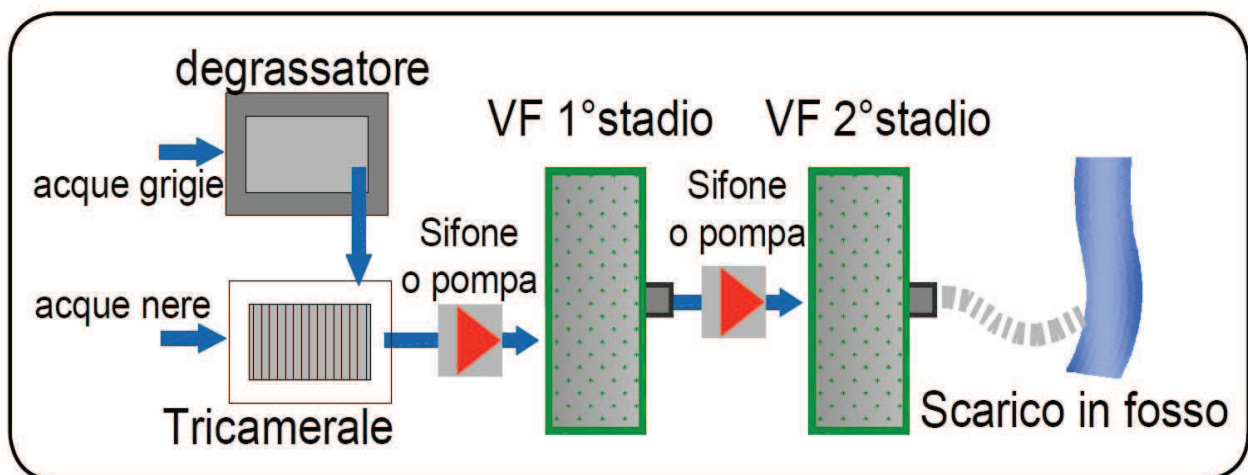


Figura 34: Schema generale di un impianto di fitodepurazione VF+VF in parallelo con relativo impianto di trattamento primario. (fonte: linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013)

In termini di depurazione, i punti di forza della tipologia fossa tricamerale + VF sono un'efficace riduzione dell'azoto ammoniacale, oltre al carico organico e ai solidi sospesi; nello specifico le rese depurative attese sono

abbattimento del 80-90% del BOD₅, del 90-95% del TSS, del 30-50% del TN, del 70-90% del NH₄.

Gli spazi richiesti per la realizzazione vanno dai 2-3 m²/abitante equivalente corrispondente a 1,5/2,5 m² per posto letto nei rifugi alpini.

Il costo di intervento è circa di 450-600€/abitante equivalente, 350-800€/posto letto nei rifugi alpini.

4.5.3 Fossa biologica tricamerale + HF+VF

Schema impiantistico ibrido illustrato in figura 35 che combina fitodepurazione orizzontale e verticale nella gran parte dei casi in serie.

In questa configurazione il sistema HF è posto in testa allo schema, subito dopo la sedimentazione primaria, dove esercita un efficace azione di rimozione delle sostanze organiche, di solidi sospesi e per la denitrificazione: nello specifico le rese depurative attese sono abbattimento del 90-99% del BOD₅, del 95-99% del TSS, del 60-80% del TN, del 90-99% del NH₄.

A valle è invece posto il piccolo sistema VF che attua un ulteriore eliminazione dei solidi sospesi e delle sostanze organiche, oltre agli importanti processi di nitrificazione dell'ammonio a nitrato. VF è successivo ad HF per evitare indesiderati fenomeni di intasamento.

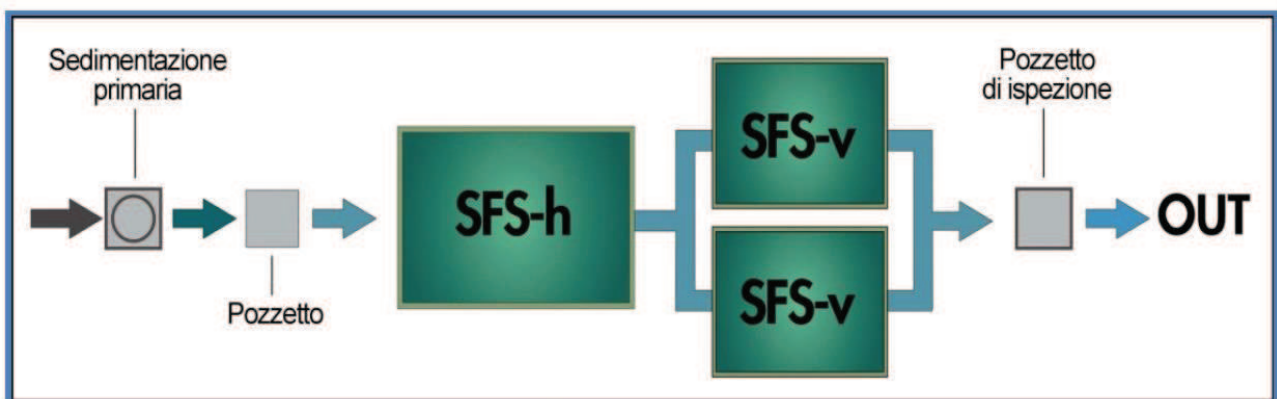


Figura 35: Schema generale di un impianto di fitodepurazione HF+VF in serie con relativo impianto di trattamento primario. (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)

Il principale vantaggio di questa modalità impiantistica è il ridotto impiego di superficie, mentre il punto debole è sicuramente la scarsità di ossigeno che perviene nelle vasche VF che quindi non eseguono al meglio la denitrificazione se non supportate da adeguati sistemi di ricircolo dell'effluente al serbatoio di alimentazione dell'intero impianto.

Gli spazi richiesti per la realizzazione vanno dai 2-3 m²/abitante equivalente corrispondente a 1,5/2,5 m² per posto letto nei rifugi alpini.

Il costo di intervento è circa di 450-600€/abitante equivalente, 350-800€/posto letto nei rifugi alpini.

4.5.4 Fossa biologica tricamerale + VF+HF

Anche questo sistema illustrato in figura 36 è progettato con l'intento di combinare l'efficacia nitrificante del sistema VF con l'efficienza denitrificante del sistema HF; l'obiettivo fondamentale è la rimozione delle sostanze organiche, dei solidi sospesi e la nitrificazione dell'ammonio nel impianto VF con successiva ulteriore rimozione delle sostanze organiche, solidi sospesi e denitrificazione nel impianto HF.

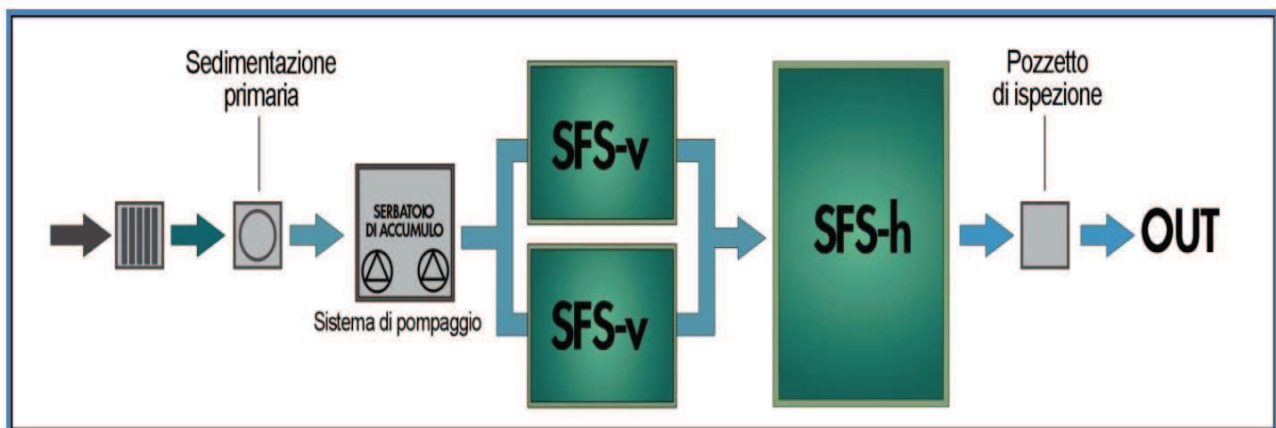


Figura 36: Schema generale di un impianto di fitodepurazione VF+HF in serie con relativo impianto di trattamento primario. (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)

L'impianto è tecnicamente abbastanza complesso e nel corso degli anni ha trovato diffusione soprattutto in paesi quali Austria, Francia, Irlanda e Slovenia.

4.5.4 Fossa biologica tricamerale + Fitodepurazione aerata

I sistemi aerati, come già discusso nel capitolo riguardante le tipologie d'impianto, permettono tramite la forzatura dell'aria di aumentare in maniera drastica l'efficienza qualitativa e quantitativa dell'impianto, abbassando inoltre la superficie richiesta.

Questa tipologia d'impianto necessita di un trattamento primario con fossa tricamerale o imhoff per le acque nere oltre che a griglia e degrassatore.

Consigliato è l'uso in ambienti particolarmente poveri di superficie, dove l'alta efficienza impiantistica compensa una superficie d'impianto esigua: gli

spazi richiesti per la realizzazione vanno dai 0,5/1 m²/abitante equivalente corrispondente a 0,3/1 m² per posto letto nei rifugi alpini.

Le ottime rese depurative attese sono abbattimento del 90-99% del BOD₅, del 80/90% del TSS, del 50/60% del TN, del 90/99% del NH₄.

Da sottolineare come nonostante il consumo energetico sia rilevante in confronto con gli schemi precedenti, restano comunque inferiori ai sistemi di smaltimento convenzionale.

4.5.5 FRB+HF

Principale caratteristica di questo impianto illustrato in figura 37 è l'assenza di fosse biologiche o imhoff grazie l'adozione del metodo "alla francese" (FRB) che consente il trattamento diretto di reflui grezzi e la seguente formazione di una crosta superficiale che dovrà essere rimossa ogni 10/15 anni. Rimane comunque l'utilizzo di degrassatori e griglie.

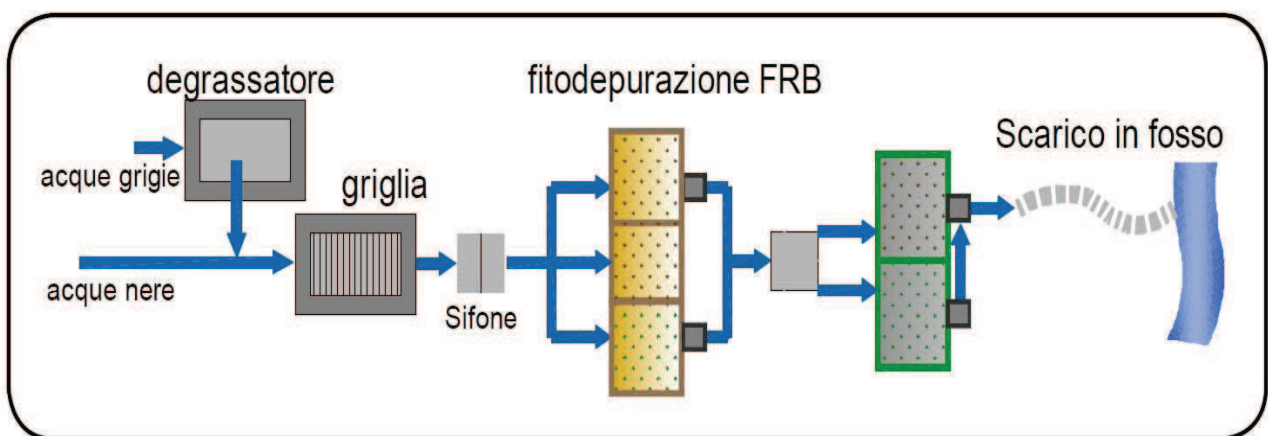


Figura 37: Schema generale di un impianto di fitodepurazione FRB+HF (fonte: linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturale in ambiente alpino, Parco Naturale del Marguareis/Iridra S.R.L., 2013)

Il secondo stadio HF completa la depurazione con rese attese del 90-95% del BOD₅, del 90-95% del TSS, del 70-90% del TN, del 70-90% del NH₄.

Gli spazi richiesti per la realizzazione vanno dai 1,5-2,5 m²/abitante equivalente corrispondente a 1-2 m² per posto letto nei rifugi alpini.

Il costo di intervento è circa di 500-700€/abitante equivalente, 200-800€/posto letto nei rifugi alpini. Per meglio sintetizzare le caratteristiche dei vari impianti viene proposta la tabella riassuntiva 9.

TIPOLOGIA D'IMPIANTO	RESE DEPURATIVE				AREA RICHIESTA m2/A.E.	VANTAGGI	SVANTAGGI	COSTO €/A.E.
	BOD5	TSS	TN	NH4				
Fossa biologica tricamerale + HF	80-90%	80-90%	30-50%	30-50%	2,5-4	Semplicità costruttiva e gestionale	Smaltimento dei fanghi depositati nella sedimentazione primaria	400-600
Fossa biologica tricamerale +VF	80-90%	90-95%	30-50%	70-90%	42038	Si adatta bene ai climi freddi	Smaltimento dei fanghi depositati nella sedimentazione primaria	450-600
Fossa biologica tricamerale + HF+VF	90-99%	95-99%	60-80%	90-99%	3-Feb	Altamente performante dal punto di vista depurativo	Smaltimento dei fanghi depositati nella sedimentazione primaria	450-600
Fossa biologica tricamerale + VF+HF						Alta resa in termini depurativi	Rischio d'intasamento	
Fossa biologica tricamerale + Fitodepurazione aerata	90-99%	80-90%	50-60%	90-99%	0,5-1,5	Ridotto consumo di superficie e ottimo funzionamento ad ogni tipo di temperatura	Complessità tecnologica e consumo energetico elevato	350-500
FRB+HF						Assenza di sedimentazione primaria	Abbondante uso di suolo ed eliminazione solo parziale dei trattamenti primari	

Tabella 9: Tabella riassuntiva dei principali schemi d'impianto applicativi con relative caratteristiche

4.6 La scelta dell'impianto

4.6.1 Criteri generali di scelta.

Prima di intraprendere qualsiasi fase progettuale, è necessario valutare le scelte legate alla fattibilità dell'intervento e verificarne la compatibilità con i vincoli dettati dalle normative regionali e nazionali di settore.

Le scelte quindi possono essere definite sì, a discrezione del tecnico, ma devono comunque sempre rispettare i dettami legislativi.

I fattori da analizzare, considerando talvolta la complessità degli impianti e talvolta il precario equilibrio ecologico degli ecosistemi dove si è chiamati ad intervenire, sono e devono essere molteplici e devono riguardare tutti gli aspetti dell'opera nella sua complessità.

Le valutazioni preliminari dovranno quindi considerare:

- Le caratteristiche del refluo da depurare;
- Gli obiettivi depurativi derivanti dalla legislazione regionale e nazionale;
- Le caratteristiche del ricettore finale e della legislazione ad esso connessa;
- La reale applicabilità di un impianto di fitodepurazione dal punto di vista dei benefici tecnici in confronto con le altre modalità di smaltimento realizzabili.

Massima considerazione e rispetto deve essere posta nei confronti di eventuali piani di gestione delle acque/ dei bacini idrografici, e nei casi delle opere in quota è opportuno considerare particolari piani di gestione di aree protette come ad esempio parchi, riserve o siti d'importanza comunitaria (S.I.C).

Particolare attenzione richiede il dimensionamento dell'impianto e l'individuazione, in maniera estremamente precisa dell'utenza media, espressa in numeri reali con il concetto di abitante equivalente.

Una volta determinata la soluzione tecnico-progettuale, deve essere valutato il corretto funzionamento in base ai parametri prestabiliti, il tutto con una sostenibilità economica sia in fase di realizzazione che di gestione futura.

Appurata la bontà economica ed impiantistica della scelta, si passa alla configurazione completa dello schema applicativo andando ad inserire nel corretto ed adatto ordine le varie parti che comporranno l'impianto nel suo insieme.

Successivamente si passa alla scelta dell'area, operazione importante sia dal punto di vista logistico ed economico ma anche ambientale; tale scelta in ambienti difficili può essere talvolta obbligata ed indirizzata dalle caratteristiche ambientali stesse.

Considerando i diversi aspetti da analizzare, successivamente ad indagini geologiche, idrogeologiche, geotecniche, verifica dei vincoli, inquadramento climatico e vegetazionale, si procederà al disegno dell'impianto.

4.6.2 Analisi funzionale dei diversi sistemi fitodepurativi.

Come analizzato nel dettaglio all'interno del capitolo riguardante le tipologie di impianto, il progettista si può muovere all'interno di un'ampia scelta a livello impiantistico.

Dal punto di vista della diffusione, i sistemi a flusso sommerso rappresentano sicuramente la soluzione impiantistica più diffusa almeno livello europeo mondiale.



Figura 38: Impianto di fitodepurazione a flusso sommerso realizzato in Canada, con una capacità di 1800 abitanti equivalenti (fonte: *abydoz.com*)

Entrando nel merito degli impianti a flusso sommerso, in Italia i più diffusi sono quelli a flusso orizzontale seguiti da quelli a flusso verticale. I sistemi a flusso orizzontale (HF) sono i più diffusi in quanto rappresentano gli impianti più equilibrati dal punto di vista dell'efficienza, costo, gestione ed efficacia depurativa.

I sistemi HF funzionano, in buona parte dei casi, per gravità e non hanno quindi bisogno di sistemi elettrici di pompaggio come per esempio i sistemi di

fitodepurazione aerati (AEW) con una semplificazione impiantistica notevole, una diminuzione dei costi di realizzazione e di gestione.

Il costo del materiale inerte, in questo caso ghiaia, è molto inferiore rispetto al costo delle sabbie grossolane utilizzate nei sistemi a flusso verticale (VF).

Importantissimo inoltre considerare come i sistemi HF funzionino bene anche in presenza di un'alimentazione di refluo discontinua, anche interrotta per più tempo.

I sistemi VF possono puntare sicuramente sull'efficienza depurativa: per quanto riguarda la rimozione del carico organico e dei solidi sospesi, infatti, sono molto efficienti; consentono inoltre un'ottima nitrificazione grazie ad una maggiore ossigenazione del refluo rispetto ai sistemi HF a discapito della denitrificazione, processo fondamentale nell'eliminazione completa dell'azoto totale. Ottimi sono anche i rendimenti nell'eliminazione della carica microbica.

I sistemi a flusso libero (FWS) sono prevalentemente diffusi nel Nord Europa e in America, mentre in Italia sono scarsamente diffusi in quanto il diretto contatto reflui-atmosfera causa problematiche in quanto i reflui primari sono altamente inquinati e questa tipologia non è sufficientemente efficiente nella depurazione.

Solitamente, infatti, questa tipologia d'impianto è diffusa per il trattamento terziario o avanzato dei reflui, o di reflui, per natura già sufficientemente diluiti. Richiedono ampio utilizzo di suolo, soffrono i climi freddi che potrebbe causare una crosta di ghiaccio sulla superficie libera con conseguente ri-sospensione dei sedimenti. Hanno inoltre una sofisticata complessità ecosistema, il cui "controllo umano" non è facile e sempre possibile.

Indubbio vantaggio di questi impianti è la semplicità di progettazione e realizzazione, che ricordo può essere anche eseguita su superfici pianeggianti in quanto l'impianto non necessita di dislivelli; inoltre presenta basse perdite di carico. Sono ottimali in ambienti con inquinamento diffuso sia di origine agricola che urbana.

4.6.3 I sistemi ibridi

Diversi limiti dei sistemi ad uno stadio possono essere superati attraverso i sistemi ibridi: l'aumento del numero di stadi causa l'aumento dell'efficienza depurativa ed ormai in tutto il Nord Europa si ricorre soprattutto a sistemi HF-VF o VF-VF.

In particolare è bene sottolineare i diversi risvolti depurativi che possono nascere dalla differenza combinazione HF-VF:

- Nel caso dell'utilizzo di HF-VF con ricircolo si ottengono i massimi risultati depurativi consentiti dall'utilizzo di questa tipologia d'impianto in rapporto al suolo utilizzato;
- Nel caso dell'utilizzo VF-HF i risultati depurativi nel loro insieme sono inferiori rispetto al precedente, ma vi è una miglior efficacia nel trattamento dell'azoto.

E' evidente che l'adozione di modelli ibridi oltre che aumentare drasticamente la complessità impiantistica e di realizzazione, fa lievitare l'impatto ambientale ed economico dell'opera, che può essere giustificato solamente dalla particolare tipologia dello scarico e degli obiettivi depurativi che il progettista propone o che la legge impone.

Queste configurazioni devono essere periodicamente controllate per evitare cattivi odori e inefficienza, sono particolarmente adatte in casi di alternanza di carico e hanno bisogno di un tempo minimo per raggiungere la piena efficienza in quanto il materiale vegetale deve attecchire completamente.

Nella tabella successiva è riportato un confronto tra tipologie HF/VF/Ibridi con relativa valutazione delle varie componenti attraverso le "icone di Chermoff" con la legenda illustrata nelle tabelle 10 e 11:




	: valutazione positiva, che indica il pieno raggiungimento degli obiettivi prefissati
	: valutazione mediamente positiva, per rappresentare che l'obiettivo non si ritiene del tutto raggiunto
	: valutazione scarsamente positiva, per indicare che l'obiettivo non si ritiene raggiunto

Tabella 10: Icone di Chermoff e rispettivo significato. (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)

Componente	Indicatori	Sistemi a flusso orizzontale	Sistemi a flusso verticale	Sistemi misti
Efficienza processo depurativo	<i>Rimozione COD-BOD</i>	😊	😊	😊
	<i>Rimozione solidi sospesi</i>	😊	😊	😊
	<i>Rimozione N</i>	😐	😊	😊
	<i>Rimozione P</i>	😞	😞	😐
	<i>Rimozione tensioattivi</i>	😐	😐	😊
	<i>Rimozione carica microbica</i>	😊	😐	😊
	<i>Abbattimento sostanze odorigene</i>	😐	😐	😊
Flessibilità di risposta	<i>Variazioni di Carico organico/idraulico</i>	😊	😊	😊
	<i>Carico di punta stagionale</i>	😊	😊	😊
	<i>Presenza di sostanze tossiche</i>	😐	😐	😐
Oneri economici/di esercizio	<i>Costi di realizzazione</i>	😐	😐	😞
	<i>Tempi di messa in esercizio</i>	😞	😞	😞
	<i>Consumi energetici</i>	😊	😐	😐
	<i>Costi di gestione</i>	😊	😐	😐
	<i>Semplicità di gestione</i>	😊	😐	😐
Benefici ambientali e paesaggistici	<i>Superficie occupata</i>	😞	😐	😞
	<i>Inserimento paesaggistico</i>	😊	😊	😊
	<i>Riqualificazione ambientale (ripristino/costituzione habitat, ecc.)</i>	😊	😊	😊

Tabella 11: Valutazione comparativa delle performance e degli aspetti gestionali e di realizzazione dei principali sistemi di fitodepurazione. (fonte: manuale e linee guida per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione e per il trattamento delle acque reflue urbane ISPRA 2012)

4.6.4 Criticità di scelta in ambiente montano

In ambienti particolari come quello montano/d'alta quota, le considerazioni viste fin ora vengono amplificate in quanto la fragilità ambientale è superiore e la legislazione vincolistica più stringente.

Sarà quindi ancora più difficile proporre dei modelli di progettazione e di analisi tecnico-economica dell'opera, ma sicuramente è possibile sottolineare i principali ostacoli dell'esecuzione di un impianto di fitodepurazione in alta quota.

Le principali problematiche sono legate a diversi aspetti quali morfologia, spazi, altitudine, clima, logistica.

In ambienti spesso incontaminati e ampiamente estesi, è quasi paradossale come la disponibilità di suolo sia un fattore su cui porre attenzione: tutte quelle superfici troppo pendenti, instabili, altamente boscate devono essere escluse in quanto l'area destinata all'impianto deve avere caratteristiche di profondità e pendenza particolari che spesso devono essere artificialmente ricreate. 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.

Il termine impianti d'alta quota contiene una serie di problematiche legate appunto alla quota, avendo come riferimento posizioni al di sopra dei 1400 m s.l.m.

La prima problematica è sicuramente legata alle difficoltà d'accesso: raramente infatti i rifugi 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 siti nelle vicinanze di dighe con annessi sistemi di trasporto a fune.

In tutti gli altri casi è necessario il trasporto di mezzi e materiale con elicottero (figura 39): essendo un mezzo altamente costoso (ad oggi circa 30 euro + I.V.A. / minuto) può rappresentare in molti casi una fetta importante del budget di realizzazione dell'intera opera.

E' quindi necessario contenere al massimo il peso e la tipologia dei materiali impiegati, per ridurre i minuti di trasporto: un grande ostacolo è rappresentato dal materiale inerte che costituisce l'impianto che occupa spesso molto spazio e necessità di quantità importanti: si può ricorrere a stratagemmi progettuali per diminuire la necessità di inerte oppure prevedere la realizzazione di una piccola cava in loco da cui ricavare il materiale stesso. Potrebbe essere anche presa in considerazione l'opportunità di utilizzare inerti con basso peso specifico come la Leca granulare o pomice oppure la zeolite, argilla che aumenta il. I fattori economici legati al trasporto aereo di sabbia esclude in questi casi la progettazione di sistemi VF.



Figura 39: Fase di elitransporto dei materiali inerti. (fonte: *Consorzio Forestale Alta Valle Camonica di Edolo*)

Oltre ad un sensibile risparmio di peso, questi prodotti hanno delle capacità chimico-fisiche particolari, che ne esaltano soprattutto l'assorbimento.

Altro aspetto legato all'isolamento dell'impianto, è il costo e l'organizzazione della manutenzione: come riportato nel paragrafo 4.7 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 saranno privilegiati impianti che richiedano minima manutenzione, effettuabile direttamente dal proprietario/utente e soprattutto che non accumulino fanghi che dovrebbero essere trasportati a valle con costi elevati.

L'ubicazione isolata ed impervia condiziona direttamente le disponibilità energetiche: come detto per le vie d'accesso, anche l'energia, soprattutto elettrica, può essere ampiamente disponibile solo nei casi dell'adiacenza del rifugio ad impianti idroelettrici: 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 se stessi o per sistemi complementari, sono dunque da escludere privilegiando impianti il più possibili 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.

Dal punto di vista delle rese depurative non si hanno grosse problematiche in quanto i parametri principali sono rispettati, anche se processi come la nitrificazione vengono rallentati al di sotto dei 12° C come succede però in diverse tipologie di impianti a trattamento biologico.

Dal punto di vista della vegetazione depurante essa risponde bene, non avendo particolari problemi in quanto riproduce autonomamente le fasi biologiche che avrebbe durante un normale inverno nel suo habitat naturale.

Importante è considerare i cosiddetti “periodi di avviamento” di cui necessitano sia gli impianti di nuova realizzazione che gli impianti inutilizzati per molti mesi: in questa fase viene ripristinata la biomassa necessaria alla degradazione delle sostanze inquinanti; questo provoca un sensibile calo della resa depurativa, in parte attenuabile con una buona protezione impiantistica e con un aumento di carico graduale successivamente al periodo di scarico.

4.7 Manutenzione dell'impianto

Come sottolineato nei capitoli precedenti, soprattutto in un contesto alpino, la manutenzione diventa non solo un insieme di pratiche necessarie per il corretto funzionamento dell'impianto ma un fattore fondamentale nella scelta della tipologia di sistema da adottare.

Questo insieme di pratiche devono essere il più limitate possibile per permettere di contenere i costi di mantenimento durante la vita del sistema depurante; le operazioni di manutenzione sia ordinarie che straordinarie sono molteplici e si differenziano a seconda del tipo d'impianto, dell'epoca di intervento e della frequenza d'intervento.

In generale le operazioni si possono essenzialmente suddividere in interventi straordinari ed interventi ordinari, entrambi effettuati al fine di garantire:

- Un corretto mantenimento dell'efficienza depurativo, con breve discordanza con i valori progettati nella fase iniziale e realizzati nei primi tempi di attivazione dell'opera;
- Ridurre al minimo i malfunzionamenti, evitando dunque episodi pericolosi dal punto di vista ambientale;
- Prolungare al massimo la vita dell'impianto.

E' bene sottolineare come questi impianti generalmente siano bisognosi di limitata manutenzione, soprattutto in schemi applicativi semplici come quelli adottati in ambienti alpini, con interventi facili, fattibili da personale presente anche se non specializzato in grado di consentire una corretta funzionalità ed evitare di incorrere in malfunzionamenti dovuti all'abbandono. In termini generali gli interventi più diffusi riguardano fenomeni di intasamento delle tubazioni o dello strato inerte che per diversi motivi può colmarsi; gli interventi devono considerare non solo il trattamento secondario (la vasca vera e propria) ma anche tutti quei dispositivi che costituiscono il cosiddetto trattamento primario e i pretrattamenti che possono comprendere diversi sistemi quali per esempio pompe che dovranno essere controllate e revisionate

secondo precisi standard forniti solitamente direttamente dalla ditta produttrice.

Una manutenzione precisa e corretta comprende anche un “Libretto di manutenzione” dove sono annotati tutti gli interventi effettuati su ogni parte dell’impianto, le motivazioni, i costi e l’epoca d’intervento: questo strumento permette di conoscere e registrare quali sono le risposte in termini depurativi successive all’intervento, permette di analizzarne i costi e stabilirne i costi futuri.

4.7.1 Interventi ordinari

Per interventi ordinari si considerano tutti quegli interventi programmati, ciclici atti a mantenere l’efficienza depurativa e l’integrità dell’impianto; come detto precedentemente spesso si tende a banalizzare questo tipo di interventi rischiando di cadere nell’abbandono dell’sistema.

Nel caso di impianti d’alta quota, vengono considerate operazioni ordinarie, l’insieme degli interventi atti alla riattivazione del sistema dopo il periodo invernale.

Ogni tipo di manutenzione correttamente eseguita dovrebbe comunque sempre prevedere un’analisi chimica sia dei liquami che dei reflui depurati, così da verificare l’efficienza depurativa dell’impianto, con cadenza mensile per i grandi impianti o annuale per gli impianti d’alta quota.

4.7.2 Manutenzione ordinaria dei sistemi primari

Un impianto di depurazione in ottimo stato e perfettamente efficiente deve esserlo in tutte le sue componenti, e quindi anche in quella parte di impianto che ha la funzione di pre-trattamento: il sistema può essere più o meno articolato e deve subire le stesse attenzioni del sistema secondario che rappresenta l’impianto di fitodepurazione vero e proprio. I maggiori problemi sono causati dalla sedimentazione del materiale solido che può compromettere l’alimentazione dell’impianto.

Per quanto riguarda i trattamenti riguardanti il sistema primario, tra le operazioni di routine a scadenza trimestrale possono essere eseguite:

- Controllo dell’effluente: un impianto efficiente non deve avere fango digerito nella fase primaria, in questo caso si interverrà estraendo il 75% dei fanghi in eccesso;
- Controllo della funzionalità della vasca: il controllo sarà fatto sia sul livello dei fanghi che dovrà essere di almeno 30cm al di sotto della fessura di comunicazione tra le vasche, sia sulla qualità del fango che non dovrà presentare fiocchi; nel primo caso si interverrà aspirando il

fango in eccesso e nel secondo caso aggiungendo calce idrata o bicarbonato di sodio;

- Controllo della presenza di schiuma sulle lame para-schiuma: rimozione della schiuma se necessario;
- Controllo delle tubazioni d'ingresso e uscita del refluo: lo scorrimento deve essere facile e libero; in caso di ostruzione si dovrà procedere al lavaggio delle tubazioni con acqua in pressione.

Infine sui trattamenti primari vanno ad alternarsi controlli con periodicità più ampia, come il controllo della tenuta della vasca effettuato osservando un pelo libero costante nella struttura stessa: in caso di perdita si procederà con lo svuotamento della vasca, l'individuazione del punto perdente e la sistemazione.

Per quanto riguarda il sistema di fitodepurazione vero e proprio, nell'analisi delle varie operazioni di manutenzione e gestione si è indagato i sistemi più diffusi e applicabili in ambiente alpino quali i sistemi HF e i VF.

4.7.3 Manutenzione ordinaria nei sistemi a flusso sommerso orizzontale (hf)

Per programmare correttamente la manutenzione su un certo tipo di impianto bisogna conoscerne i principi di funzionamento, così da individuare le sezioni dell'impianto più a rischio e poterle monitorare costantemente intervenendo tempestivamente in caso di guasto o mal funzionamento.

Come descritto nei capitoli precedenti, gli impianti HF sono caratterizzati da alimentazione continua, generalmente per gravità, in cui è fondamentale assicurarsi che il pelo libero del liquame si mantenga correttamente e costantemente al livello prestabilito in fase progettuale.

Per garantire il mantenimento di questo livello è necessario che il flusso in ingresso sia contenuto, con una velocità limitata che non provochi l'innalzamento dei livelli nella vasca.

I controlli a periodicità trimestrale su questo tipo d'impianto sono:

- Controllo sulla vegetazione: effettuati sia sulla crescita delle piante, andando a controllare soprattutto la densità che deve essere superiore alle 10 piante/m². Si interviene effettuando nuovamente la piantumazione se in stagione adatta. Il controllo dei vegetali deve anche comprendere il controllo delle infestanti attraverso il diserbo manuale o, più raramente, l'allagamento;
- Controllo delle sponde di contenimento: in caso di cedimento si interviene con il completo disaggio della parte instabile e alla ricostruzione;

- Controllo dei sistemi di alimentazione e del pozzetto di regolazione: in presenza di fenomeni ostruttivi si interviene con lo spurgo dei tubi di alimentazione attraverso acqua in pressione e si rimuove il sedimento presente nel pozzetto.

I controlli a periodicità semestrale possono riguardare:

- Controllo della vegetazione: va analizzata la densità sulle sponde dell'impianto, così da consolidarle al meglio; in caso di mancato raggiungimento del 50% della superficie ricoperta di tappeto erboso, dovremmo intervenire attraverso una nuova semina (se la stagione lo consente);
- Controllo della funzionalità dello strato inerte: il corretto funzionamento prevede assenza di ruscellamento e di sversamenti fangosi in superficie; in caso contrario si può rimediare attraverso la pulizia dello strato inerte attraverso acqua in pressione fatta penetrare attraverso le tubature d'ispezione, oppure allargando il letto drenante per permettere la venuta a galla dei fanghi;
- Controllo dei meccanismi di regolazione: verifica della correttezza dei livelli con l'eventuale sistemazione della tenuta stagna dell'impianto.

Interventi a periodicità annuale sono invece interventi sui vegetali, consistenti nel taglio della parte aerea da effettuarsi nella stagione invernale: questo tipo di intervento permette di eliminare la biomassa secca che potrebbe andare a sporcare il letto dell'impianto e potrebbe sottrarre inutilmente importanti energie per la pianta. Lo sfalcio avviene ad un'altezza di circa 20 cm dal colletto e non rappresenta uno stress per il vegetale in quanto esso ha immagazzinato tutte le sue riserve naturali nell'apparato ipogeo.

4.7.4 Manutenzione ordinaria nei sistemi a flusso sommerso verticale (vf)

Nel caso degli impianti VF l'alimentazione è discontinua e l'impiego di dispositivi quali sifoni, tramogge valvole e pompe è frequente e in maniera più abbondante rispetto ai sistemi HF. È quindi fondamentale l'ottima efficienza di questi dispositivi per assicurare un'alimentazione uniforme su tutto il sistema: per le manutenzioni elettroniche bisogna seguire le istruzioni dei fabbricanti, mentre per i dispositivi idraulici e meccanici spesso è sufficiente una corretta pulizia con getto d'acqua in pressione e successiva lubrificazione.

E' bene sottolineare come molti controlli effettuati per gli impianti HF sono validi anche per i VF.

Per questa tipologia di fitodepuratore i principali controlli trimestrali sono:

- Controllo sulla vegetazione: effettuati sia sulla crescita delle piante, andando a controllare soprattutto la densità che deve essere superiore alle 10 piante/m². Si interviene effettuando nuovamente la piantumazione se in stagione adatta. Il controllo dei vegetali deve anche comprendere il controllo delle infestanti attraverso il diserbo manuale o, più raramente, l'allagamento;
- Controllo delle sponde di contenimento: in caso di cedimento si interviene con il completo disgaggio della parte instabile e alla ricostruzione;
- Controllo del sistema di alimentazione: verificare che i vari sistemi, meccanici ed idraulici non siano compromessi o mal funzionanti a causa di un solido al loro interno; in questo caso sarà doverosa la rimozione manuale o con getto d'acqua;
- Controllo della superficie dell'impianto: l'acqua deve essere assente sulla superficie di carico, fatta eccezione per il momento di pieno carico dell'impianto; in caso di ristagni è corretto interrompere l'alimentazione per alcune settimane;

I controlli a periodicità semestrale possono riguardare:

- Controllo della vegetazione: va analizzata la densità sulle sponde dell'impianto, così da consolidarle al meglio; in caso di mancato raggiungimento del 50% della superficie ricoperta di tappeto erboso, dovremmo intervenire attraverso una nuova semina (se la stagione lo consente);
- Controllo dei meccanismi di regolazione: verifica della correttezza dei livelli con l'eventuale sistemazione della tenuta stagna dell'impianto.

Anche per questa tipologia d'impianto è previsto il taglio della vegetazione con modalità e scopi analoghi ai sistemi a scorrimento orizzontale.

4.7.5 Manutenzione straordinaria

Questo tipo di manutenzione va ad intervenire in casi analoghi ai precedenti, con danni improvvisi spesso dovuti ad un'errata esecuzione iniziale delle opere, dell'errato dimensionamento o della scarsa manutenzione ordinaria. Spesso questi interventi, a causa della gravità, devono essere eseguiti da personale specializzato con costi ben più elevati di un intervento ordinario.

Le operazioni di manutenzione straordinaria sono riconducibili generalmente a due tipi di problematiche:

- Fenomeni di ostruzione del letto: detto anche clogging può colpire entrambi i tipi di fitodepuratori trattati in precedenza causando ruscellamento superficiale, formazione di pozze d'acqua in superficie e nel caso colpisca i sistemi di sedimentazione primari, vi sarà l'interruzione dell'alimentazione con possibile danno alle vasche primarie.
- Malattie delle piante o presenza di infestanti: la copertura di vegetali può essere attaccata da diversi tipi di insetti soprattutto se il fitodepuratore è disposto in habitat particolari: in caso di forte attacco si consiglia di rivolgersi ad uno specialista.

4.7.5 Caso particolare: il clogging controllato

Questo particolare metodo di gestione può essere applicato ai cosiddetti sistemi "alla francese": questi impianti sono molto semplici in quanto non prevedono una sedimentazione primaria e quindi sono alimentati direttamente con reflui "grezzi". E' quindi normale che vi siano dei fenomeni di intasamento con formazione di uno strato di fango superficiale libero di formarsi fino a che non va a compromettere la conducibilità idraulica dell'impianto che non riuscirà più a soddisfare lo smaltimento della portata in ingresso. Solo in questo caso la crosta fangosa deve essere asportata, ed una volta liberata la superficie l'impianto potrà riprendere la sua consueta attività fitodepuratrice, con conseguente e normale nuovo accumulo di materiale fangoso in superficie. I tempi medi di rimozione della crosta fangosa vanno dagli 8 ai 10 anni a seconda della tipologia di refluo in ingresso. Questo tipo d'intervento può essere considerato un vero e proprio intervento straordinario, con costi anche elevati se effettuato in ambienti logisticamente sfavorevoli.

4.7.6 La manutenzione: aspetti e problematiche d'alta quota

Gli interventi di manutenzione descritti fin ora sono validi nei metodi per qualsiasi tipo d'impianto, mentre nelle tempistiche vanno decisamente calibrati al meglio e programmati tenendo conto della stagionalità dell'utilizzo.

Come già analizzato nei capitoli precedenti, l'interruzione invernale dei processi fitodepurativi comporta la necessità di avere dei tempi di riattivazione a inizio stagione, fase delicata sia per l'impianto stesso, che per la sua parte vegetale.

Alla riattivazione infatti, molte delle manutenzioni effettuate normalmente durante l'anno devono essere concentrate al momento della riattivazione

stessa; per prima cosa si provvederà alla verifica dei livelli, al controllo dell'effettiva funzionalità del sistema di tubazione sia dell'impianto primario che secondario per assicurarsi che non vi siano fenomeni di intasamento; importante fare una minima analisi dello stato di sviluppo dei vegetali, per verificare la vigoria delle piante ed eventualmente programmare la messa a dimora di nuovi individui in aree deficitarie, compatibilmente con l'andamento climatologico della stagione in corso. Importante anche l'analisi dello strato superiore della vasca, per verificare l'assenza di corpi estranei (massi, porzioni ancora ricoperte di neve o ghiacciate).

In questa fase gli interventi straordinari potrebbero essere rappresentati, per esempio, da rotture dovute ai fenomeni valanghivi o franosi che possono compromettere l'impianto.

5 CASI DI STUDIO

5.1 L'impianto di fitodepurazione del rifugio Tonolini

Tra gli impianti di fitodepurazione recentemente realizzati, quello al servizio del rifugio Tonolini può essere considerato l'esempio di come è possibile applicare un metodo di depurazione naturale ad un'ambiente d'alta quota (2467 m s.l.m.) con l'intento di prevenire l'apporto antropico di nutrienti per la gestione e valorizzazione del territorio rurale circostante, migliorando in sinergia la qualità delle acque superficiali e sotterranee.

I dati e le scelte progettuali contenute in questo capitolo derivano da elaborati tecnici e progettuali del Parco dell'Adamello, redatti dal Dott. Ing. Massimo Sartorelli.

5.1.1 Considerazioni preliminari e giustificazione dell'intervento

L'impianto in oggetto rientra nella serie di opere di tutela ambientale realizzate dal Parco dell'Adamello denominate "terre alte"; l'ente ha incaricato l'Ing. Massimo Sartorelli tecnico progettista che ha consegnato l'elaborato progettuale nel luglio 2012.

La scelta della fitodepurazione oltre che essere indicata e consigliata dalla legislazione (D.G.R. del 5 aprile 2006 8/2318) per realtà simili a quella in oggetto, consente d'unire l'efficacia depurativa necessaria per il rispetto delle norme vigenti in merito allo scarico di acque reflue (r.r. del 24 marzo 2006 n.3/D.G.R del 5 aprile 2006 n.8/2318) al rispetto e alla tutela paesaggistica di un'area sensibile, ad alto valore ambientale oltre che ricadente all'interno dei confini amministrativi del Parco dell'Adamello.

Il tipo di impianto scelto è a flusso sub-superficiale orizzontale che ben si adatta alla quantità di reflui da trattare, è semplice sia da realizzare che da mantenere e richiede una quantità di superficie limitata, in quanto l'efficienza depurativa per unità di superficie conferita dai cosiddetti strati attivi, è elevata.

Il rifugio è stato eretto nel 1891 e rappresenta il più antico rifugio del gruppo dell'Adamello, dispone di una cucina, una zona ristoro, una sala da pranzo, 2 bagni e un dormitorio da 34 posti letto; è dotato di ricovero invernale sempre aperto con 10 posti letto.

Tornando all'aspetto ambientale gli effetti oltre che diretti sono anche indiretti:

- minor inquinamento del sottostante pascolo di Malga Baitone che non verrà più deturpato dai reflui del rifugio come avveniva precedentemente;
- protezione sostanziale del corso idrico sottostante, in cui precedentemente confluivano sia sostanza organica che i nutrienti, si miscelavano con il corso d'acqua e successivamente si riversavano nel fiume Oglio e quindi nel lago d'Iseo;

Infine, questo impianto può essere considerato un “caso studio” relativamente agli impianti di fitodepurazione a servizio di un rifugio alpino, con l'impegno del Parco stesso nel monitoraggio sia dello stato dell'opera che della raccolta dei risultati depurativi nei prossimi anni.

Nella fase finale, il progetto è stato arricchito da alcune prescrizioni da parte dei rappresentanti degli enti territoriali, atte ad una completa ed efficace tutela ambientale:

- durante i lavori dovrà essere evitato il rotolamento dei massi a valle, riponendo i massi stessi negli appositi ripari;
- tutto il materiale risultante dagli scavi dovrà essere correttamente riportato in loco;
- deve essere limitato l'impatto visivo dell'opera interrando tutte le parti in calcestruzzo;
- tutte le aree private di cotico erboso dovranno essere inerbite con specie autoctone;

Per quanto riguarda i vincoli ambientali l'area ricade completamente all'interno del Parco dell'Adamello riconosciuta come ZPS; per quanto riguarda gli elementi paesaggistici l'area ricade nelle “Bellezze d'insieme” conosciute come Vincolo 1479/39, art.1, commi 3, 4, oggi identificate dal D.Lgs. 22 gennaio 2004, n.42, “Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'art. 10 della L. 6 luglio 2002, n.137) e nelle “aree alpine al di sopra dei 1.600m. s.l.m.” conosciute come Vincolo 431/85, art.1, lettera D), oggi identificati dal D.Lgs. 22 gennaio 2004, n.42, “Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'art. 10 della L. 6 luglio 2002, n. 137”. L'area ricade anche, ai sensi del D.Lg. 22 gennaio 2004, n. 42 “ Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'art. 10 della L. 6 luglio 2002, n. 137” individua all'art.142 entro le fasce soggette a tutela di cui lettera c “i fiumi, i torrenti, i corsi d'acqua e le relative sponde o piedi degli argini per una fascia di 150 metri ciascuna” e di cui a lettera b “Territori contermini ai laghi”. Da sottolineare come il presente caso studio non sia soggetto a vincolo idrogeologico ai sensi del RDL 30 dicembre 1923 n.3267, che sottopone a

“vincolo per scopi idrogeologici i terreni di qualsiasi natura e destinazione che, per effetto di forme di utilizzazione contrastanti con le norme di cui agli artt. 7, 8 e 9 (riguardano i dissodamenti, cambiamenti di coltura ed esercizio del pascolo) possono con danno pubblico perdere la stabilità o turbare il regime delle acque”. Il sito d'intervento non rientra nella zona ZVN (zone vulnerabili ai nitrati). Oltre che al rispetto delle normative vincolistiche esistenti, l'intervento rispetta a pieno uno strumento di tutela e salvaguardia degli habitat presenti e della qualità delle acque.

5.1.2 Inquadramento geografico dell'area d'intervento

L'impianto sorge a fianco del Rifugio Tonolini, piccola struttura di proprietà del C.A.I. di Brescia, ad una quota di 2.450 m. s.l.m. in località Lago Rotondo nella Conca del Baitone sita nella parte alta della Val Malga in Comune di Sonico.

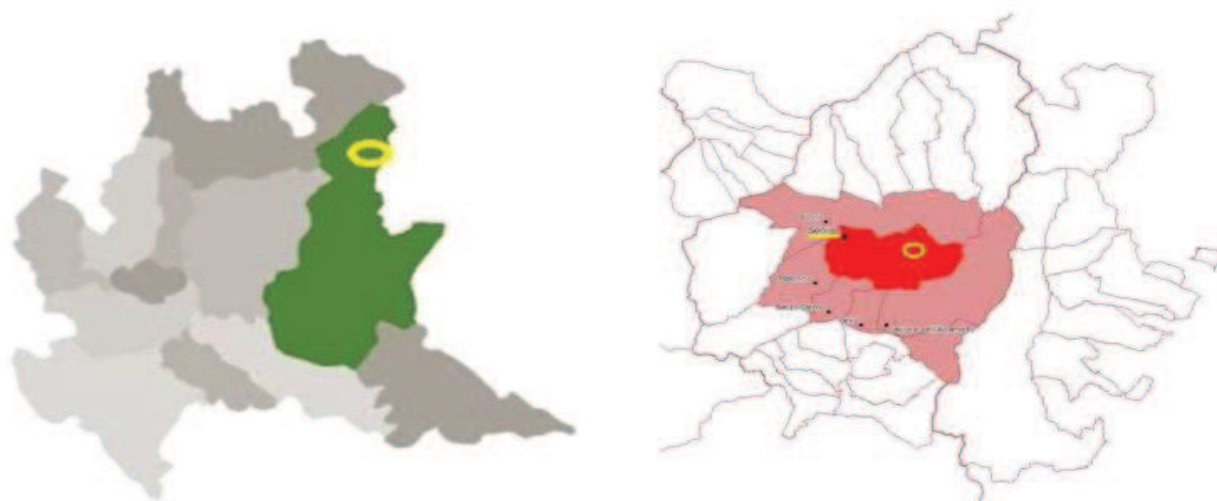


Figura 40: Inquadramento amministrativo dell'intervento



Figura 41: Inquadramento fotografico dell'intervento



Figura 42: Inquadramento su carta C.T.R. 1:10.000 dell'intervento

L'orizzonte altitudinale occupato è quello alpino, caratterizzato da affioramenti rocciosi, ghiaioni, torrenti e praterie d'alta quota in parte pascolate, generalmente scarse dal punto di vista floristico come illustrato in figura 43. La zona è ricca di piccoli laghi di origine glaciale quali lago rotondo adiacente al rifugio stesso e a salire lago verde, lago lungo e lago bianco.



Figura 43: Rifugio Tonolini immerso nel contesto alpino adiacente

In particolare l'area d'intervento illustrata in figura 44, è sita alla sinistra del rifugio, ricoperta da tappeto erboso autoctono con pendenza lieve o nulla.



Figura 44: Area d'intervento presso il rifugio Tonolini (fonte: Parco dell'Adamello)

Dal punto di vista dell'inquadramento geografico è fondamentale sottolineare come, nonostante il contesto di riferimento abbia una valenza ambientale di pregio, l'area sottostante a quella dell'intervento è abbondantemente stata antropizzata dalla costruzione del bacino artificiale del Baitone per scopi idroelettrici (figura 45).



Figura 45: Vista del lago Baitone con omonimo rifugio dal sentiero che conduce al Rifugio Tonolini

5.1.3 Inquadramento ambientale, ecologico e fitoclimatico

Le informazioni contenute in questo paragrafo sono state tratte dalla documentazione relativa allo studio d'incidenza sulla ZPS IT 2070401 "Parco Naturale dell'Adamello" e dal "Progetto di adeguamento e ampliamento del Rifugio Tonolini" redatto dal Dott. For. Marco Sangalli e dal Dott. Massimo Ragusa; parte delle informazioni relative alla climatologia e alla distribuzione cacuminale della vegetazione sono invece tratte dal piano d'asestamento forestale del Comune di Sonico (revisione 2015) redatto dal Dott. For. Mario Tevini in collaborazione con lo studente Matteo Casalini.

Il clima della testata della Val Malga è tipico della zona temperata sub-oceanica, con un regime pluviometrico sub-equinoziale con picchi di precipitazione in Primavera (maggio) e in autunno (minore), e minimi concentrati in inverno a carattere quasi esclusivamente nevoso. La piovosità media annua è circa di 1.460 mm con buona distribuzione durante il limitato periodo vegetativo che garantisce una sostanziale disponibilità idrica.

Dal punto di vista termometrico ci troviamo in una tipica situazione alpina, con estati temperate, inverni rigidi ed equinozi freschi, con valore termometrico annuo medio di riferimento di 6°C

L'area d'intervento si colloca all'interno di una tipica prateria alpina della fascia altitudinale più estrema, cacuminale, caratterizzata da condizioni estreme ed ostili che plasmano le cenosi vegetali presenti con caratteri quali le dimensioni ridotte, portamento strisciante o a cuscinetto od ispessimento della lamina fogliare. Inoltre la copertura vegetale è molto discontinua, intervallata da continui ghiaioni, rocce e massi dove si vengono a ricreare microclimi particolari. Forte è la presenza di licheni e di muschi nelle aree umide.

L'area d'interesse ricade all'interno dell'habitat contrassegnato con il numero 6150 e denominato "Formazioni erbose boreo-alpino silicee", che si caratterizza per la presenza di comunità monostratificate per la maggior parte dominate da emicriptofite cespitose che costituiscono praterie alpine e subalpine, primarie o secondarie. Vi sono comprese le comunità delle vallette nivali su substrato siliceo dominate da briofite nelle stazioni di innevamento più prolungato o di salici nani.

E' bene sottolineare come nel complesso la varietà floristica sia elevata; l'habitat 6150 comprende per la prateria: *Carexcurvula*, *Juncustrifidus*, *Oreochloadisticha*, *Pulsatilla vernalis*, *Luzulaspicata*, *Agrostisrupestris*, *Ajugapyramudalis*, *Minuartiarecurva*, *Primula integrifolia*, *Juncusjacquini*, *Silene excapa*, *Leontodonhalvaticus*, *Festuca halleri*, *Pedicularius tuberosa*, *Hypochoeris uniflora*, *Hieraciumfurcatum* (gruppo),

Phyteumaglobulariifolium, *Festuvascabriculmis*, *Gentiana ramosa*, *Achillea moschata*, *Laserpitiumhalleri*.

Per le vallette nivali: *Polytrichumsexangulare*, *Antheliajuratzkana*, *Salixherbacea*, *Soldanella pusilla*, *Alchemilla pentaphyllea*, *Gnaphaliumsupinum*, *Sibbaldiaprocumbens*.



Figura 46: *Leucanthemopsis alpina* nei pressi del rifugio; (fonte: rifugi lombardia)

5.1.4 Dimensionamento dell'impianto

Tutte le scelte effettuate per la progettazione dell'impianto rispettano i criteri delle "Linee guida per la progettazione e gestione delle zone umide artificiali per la depurazione dei reflui civili" (APAT 2005), delle "Linee guida per la ricostruzione delle aree umide per il trattamento delle aree superficiali" (ANPA 2002) e del "Programma di Tutela di uso delle Acque", allegato 17 alla relazione generale "Trattamenti appropriati per scarichi di acque reflue urbane provenienti da agglomerati con meno di 2000 abitanti equivalenti", redatto dalla Regione Lombardia D.G. Servizi di Pubblica Utilità- Unità Organizzativa Risorse Idriche.

Come accennato nella parte introduttiva di questo capitolo, la tipologia d'impianto scelta è quella a **flusso sub-superficiale orizzontale**.

Le prime fasi di lavoro si sono occupate del dimensionamento dell'impianto: innanzitutto come ben sottolineato nei capitoli precedenti è fondamentale individuare in maniera corretta il numero di abitanti equivalenti (A.E.): dopo un'analisi delle informazioni disponibili legati all'attività rifugistica dei decenni precedenti e tenendo conto delle nuove dimensioni del rifugio stesso, è stato stimato in 20 A.E. il numero corretto. Gli altri aspetti considerati nella scelta dell'impianto stesso sono stati:

- carico idraulico in ingresso;
- caratteristiche del refluo in termini di concentrazione degli inquinanti e temperatura del refluo;
- superficie disponibile;
- condizioni climatiche d'alta quota.

5.1.5 Pretrattamento e sedimentazione primaria

Il primo trattamento che i reflui subiscono è il passaggio al degrassatore/disoleatore: essi vengono convogliati dal rifugio a questi dispositivi tramite tubazioni in pvc, vengono trattati e successivamente passano ad una vasca Imhoff. Essa è realizzata in polietilene corrugato a pianta circolare, costituita da due comparti sovrapposti connessi idraulicamente. Il comparto superiore è destinato alla decantazione dei solidi sospesi, quello inferiore alla digestione anaerobica del fango costituito dalle particelle provenienti dal precedente comparto. In figura 47 sono evidenziati i pretrattamenti e la Imhoff.



Figura 47: Immagine dell'impianto al Rifugio Tonolini: nel riquadro rosso si notano i sistemi di sedimentazione primaria con a monte il degrassatore e più a valle la vasca Imhoff; fonte: Parco dell'Adamello

5.1.6 Il letto fitodepurante

E' bene sottolineare come la definizione corretta del nome della tipologia d'impianto sia fito-pedo-depurante, a sottolineare l'importanza dello strato inerte.

L'impianto è costituito da un bacino opportunamente impermeabilizzato con materiale HDPE (polietilene sintetico) dello spessore di 2 mm posto sopra un telo anti punzonante, per un area complessiva di 60 m^2 , con una larghezza di 6m e una lunghezza di 10 m.

Sul fondo della vasca sono ovviamente posti i tubi disperdenti in pvc del diametro di 160 mm lungo la larghezza della vasca, opportunamente forati ed in grado di distribuire in maniera corretta il refluo favorendo lo scorrimento sub-superficiale orizzontale. In maniera speculare è posta un'altra tubazione perforata drenante sulla parte opposta alla distribuzione, ricoperta da materiale grossolano quali pietre reperite in loco.

Al di sopra è posto lo strato di zeolite, substrato attivo in grado di ridurre la superficie utile per abitante equivalente da 6m^2 a 3m^2 . L'inerte è separato dal sovrastante terreno naturale mediante biostuoia in fibra di cocco con grado di copertura del 100%.

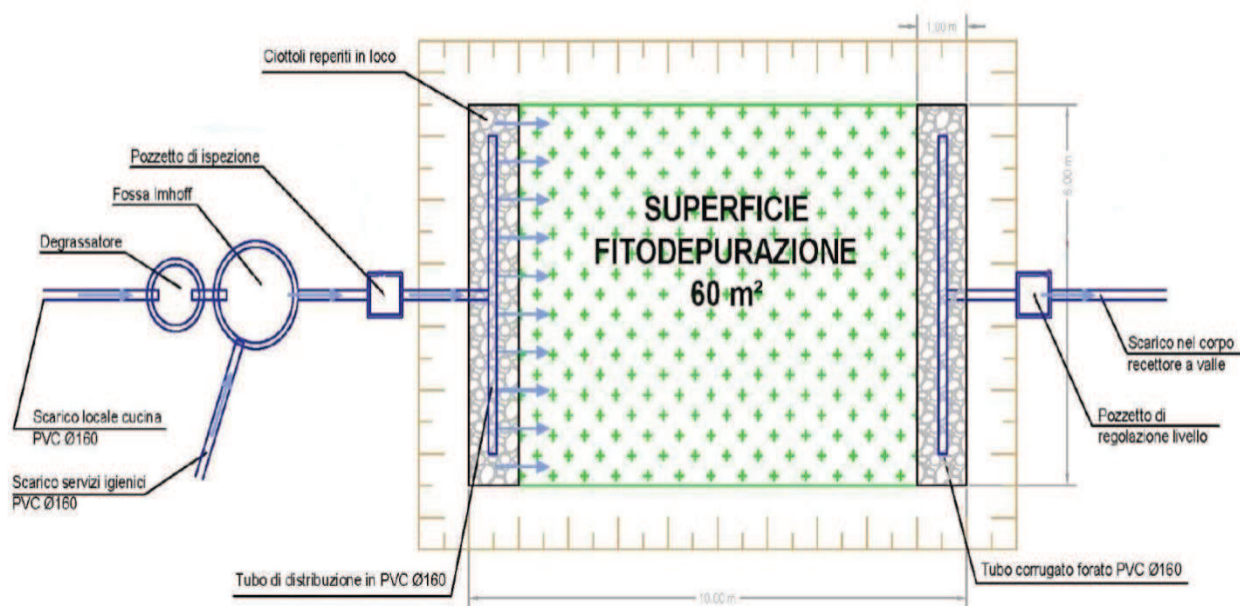


Figura 48: Planimetria del impianto al Rifugio Tonolini scala 1:100; fonte: *Parco dell'Adamello*

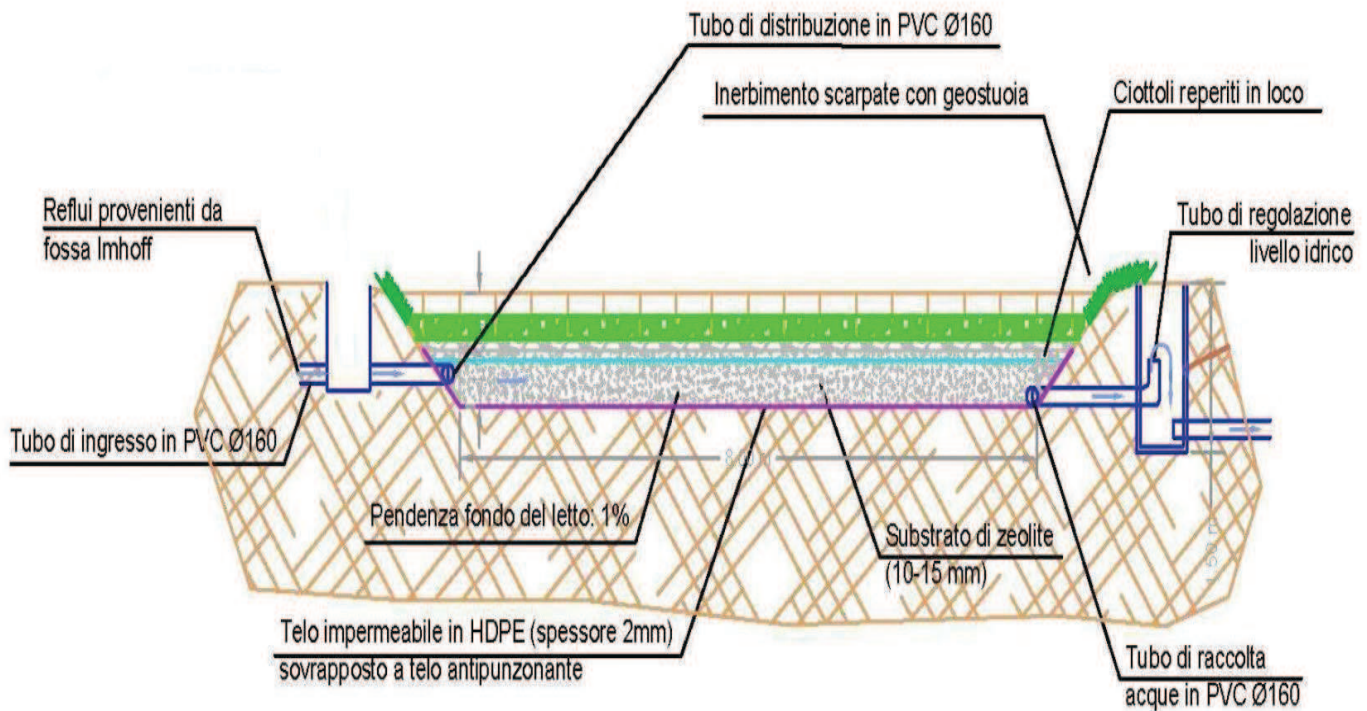


Figura 49: Sezione del impianto al Rifugio Tonolini scala 1:100;(fonte: Parco dell'Adamello)

Tenuto conto delle considerazioni precedentemente fatte sui vegetali impiegati e sull'equilibrio ecologico dell'area, tra le specie vegetali piantumate troviamo *Senecio cordatus*, *Leucanthemopsis alpina*, *Chenopodium bonus henricus*.

5.1.7 Manutenzione programmata

Come più volte sottolineato nei capitoli precedenti, la manutenzione oltre che essere indispensabile per la vita dell'impianto e per il mantenimento di un efficiente potere depurativo, rientra all'interno dei criteri di scelta in quanto può variare sensibilmente i costi di mantenimento del sistema.

Gli interventi programmati interesseranno sia la sedimentazione primaria che quelle secondaria: la vasca Imhoff deve essere gestita correttamente per garantire che la parte solida sedimentabile si fermi in questo stadio del sistema evitando intasamenti nella sedimentazione successiva. Anche il degrassatore dovrà essere spurgato, ma come per la Imhoff, è difficile indicare un arco di tempo piuttosto si interverrà quando necessario, in funzione dell'effettivo impiego dell'impianto a sua volta dipendente da numerosi fattori non pianificabili.

Per quanto riguarda gli interventi direttamente sul sistema di fitodepurazione possiamo classificarli in :

- Interventi di ispezione dei pozzetti: verrà eseguita l'ispezione stagionale dei pozzetti di controllo posti subito dopo la vasca Imhoff, il

controllo dei pozzetti in testa alla distribuzione in caso di fenomeni ostruttivi e il controllo del pozzetto posto a valle del letto per la regolazione del livello idrico.

- Interventi sulla vegetazione: controllo, soprattutto nei primi anni, che la vegetazione sia attecchita correttamente e che non vi siano aree libere da copertura vegetale; successivamente controllo dello sviluppo degli apparati radicali nel orizzonte occupato dal terreno vegetale.
- Controllo dell'efficienza dell'impianto attraverso il campionamento delle acque in ingresso ed in uscita e la loro analisi chimica.

In tabella 12 sono riportati in maniera sintetica i principali interventi di manutenzione

INTERVENTI	FREQUENZA	OSSERVAZIONI
Ispezione pozzetti di controllo	All'inizio e alla fine della stagione di attività del rifugio	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.
Interventi di ispezione e spurgo del degrassatore	Quando necessario	Tale operazione prevede lo spurgo e lo smaltimento del sedimento depositato nelle vasche.

Tabella 12: riassunto dei principali interventi di manutenzione programmata; (fonte: Parco dell'Adamello)

5.1.8 Organizzazione del cantiere e logistica

I lavori sono stati eseguiti nella seconda metà del mese di settembre 2013 dal Consorzio forestale Alta Valle Camonica di Edolo con la supervisione del direttore tecnico Dott. For. Mario Tevini, previa attenta organizzazione del lavoro e della logistica, iniziata già in fase progettuale.

Il rifugio è raggiungibile solamente a piedi e quindi per il trasporto di materiale si è ricorso sempre all'utilizzo dell'elicottero: in questo contesto la scelta della zeolite oltre che per fini di efficienza depurativa si è dimostrata anche economica nel trasporto aereo.

I materiali ed i mezzi raggiungevano la stazione di carico, sita in località Premassone, su mezzi gommati grazie alla strada comunale che percorre tutta la val Malga.

La prima fase dei lavori ha riguardato il sistema primario con scavo e posa di degrassatore e fossa imhoff e loro raccordo idraulico con l'impianto del rifugio; successivamente si è provveduto alla preparazione della vasca con scavo e successivo livellamento del terreno, avendo cura di lasciare una leggera pendenza negativa in uscita del letto; sono stati stesi i teli di impermeabilizzazione, sono stati disposti ed assicurati i tubi d'ingresso e d'uscita del fluido e, con l'ausilio del elicottero è stato distribuito lo strato di zeolite. Infine l'impianto è stato completato con il terreno naturale e con la posa del cotico erboso selezionato.

Sono stati impiegati una media di 3 operai sul cantiere e i lavori sono terminati in circa 2 settimane con un importo complessivo di spesa di 38.500,00 €.

5.1.9 Monitoraggio dell'opera e primi risultati depurativi

Il materiale ed i dati riportati in questo capitolo sono stati raccolti ed elaborati dal Parco dell'Adamello nella persona dell' Ing. Massimo Sartorelli.

Nel settembre 2014 è stato effettuato questo intervento di monitoraggio, atto a valutare sia lo stato delle opere che l'effettiva efficienza depurativa dopo una stagione di servizio.

Le prime considerazioni fatte dai tecnici incaricati, hanno interessato lo stato dell'area e in particolar modo lo stato della copertura vegetale:

Per quanto riguarda invece i campionamenti relativi alla depurazione delle acque si è proceduto con due rilievi (4 e 24 settembre 2014) prelevando 3 tipologie di campioni differenti da controllare:

- campione prelevato al pozzetto d'ingresso della fitodepurazione (dopo la imhoff); I
- campione prelevato nel pozzetto d'uscita; O
- campione prelevato al rubinetto; W

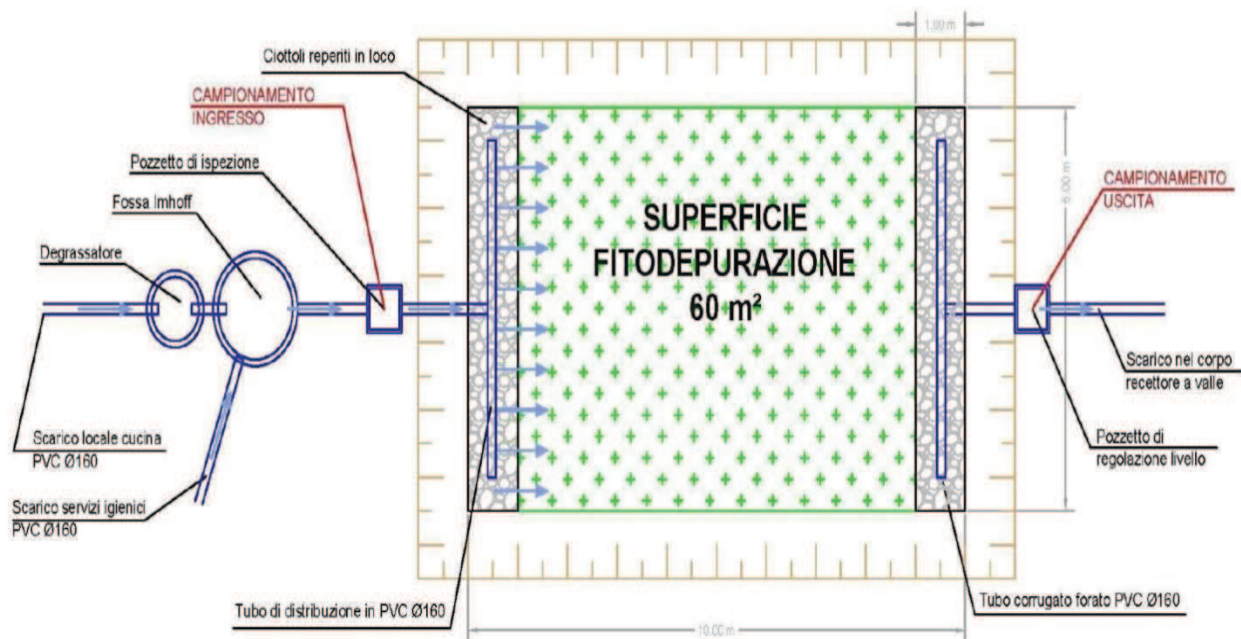


Figura 50: Planimetria del impianto al Rifugio Tonolini scala 1:100 con in evidenza i punti di campionamento; (fonte: Parco dell'Adamello)

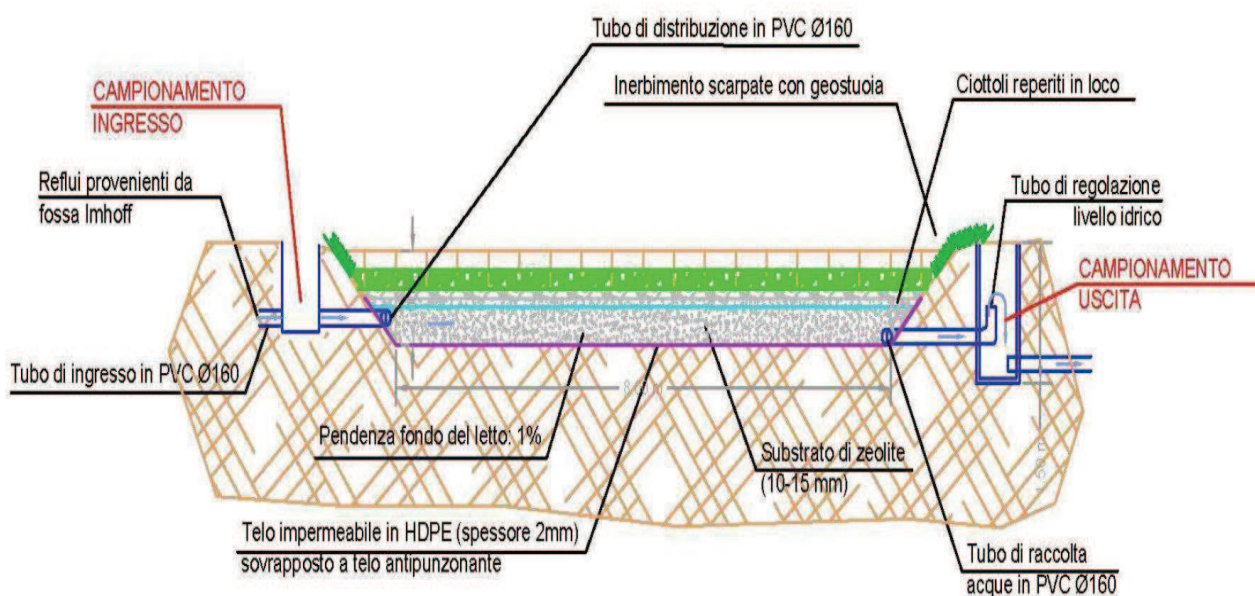


Figura 51: Sezione del impianto al Rifugio Tonolini scala 1:100 con in evidenza i punti di campionamento; (fonte: Parco dell'Adamello)

I risultati hanno dato degli esiti soddisfacenti, con abbattimento dell'ammoniaca superiore al 90%, abbattimento del 55% del BOD e del 70% del COD e una sensibile diminuzione sia del fosforo totale che della sostanza organica. Per avere un riferimento concreto la concentrazione mg/l in uscita dall'impianto del BOD è 20 circa 20mg/l contro i 25 mg/l limite di legge, mentre quella di COD è circa 70 mg/l contro i 125 mg/l limite di legge.



Figura 52: Confronto visivo dei campioni da sinistra a destra: O I W (fonte: Parco dell'Adamello)

Nell'intervista effettuata il data 10-05-2015 al gestore del rifugio, anch'esso conferma l'effettiva efficienza e la funzionalità dell'impianto, sottolineando come l'intervento abbia sostanzialmente eliminato tutti gli odori sgradevoli precedentemente presenti.

5.2 L'impianto di fitodepurazione del rifugio Aviolo

L'impianto al servizio del rifugio Aviolo rientra all'interno del progetto Terre Alte ideato dal Parco dell'Adamello, e seppur differente dal punto di vista tecnico rispetto al primo impianto realizzato al rifugio Tonolini, ne condivide gli obiettivi: questo progetto appena completato e con una realizzazione programmata nell'estate 2015 dimostra l'intento del parco di riproporre il modello Tonolini, realtà dunque efficace e sostenibile.

I dati e le scelte progettuali contenute in questo capitolo derivano da elaborati tecnici e progettuali del Parco dell'Adamello, redatti dal Dott. Ing. Massimo Sartorelli.

5.2.1 Considerazioni preliminari

L'impianto soddisferà i limiti legislativi riguardanti sia lo scarico delle acque reflue, che la tutela e la salvaguardia dell'equilibrio ambientale presente. Sarà al servizio del rifugio "Sandro Occhi" all'Aviolo (figura 53), costituito da un edificio comprendente una zona ristoro, una cucina, una sala da pranzo, bagni e camere per un totale di 54 posti letto. Il rifugio è molto frequentato in quanto sito lungo l'alta via dell'Adamello, facilmente raggiungibile e adiacente al lago d'Aviolo, bacino artificiale ma di origine naturale di grande importanza ecologica e naturalistica. Il rifugio è aperto da giugno a settembre e come quasi la totalità dei rifugi alpini avrà una curva di afflusso turistico con dei massimi nei week end estivi e nelle giornate festive.



Figura 53: Il rifugio "Sandro Occhi" all'Aviolo. (fonte: *Regioni Italiane.com*)

5.2.2 Inquadramento geografico dell'area d'intervento

L'impianto sorge a fianco del rifugio Aviolo sito nell'alta Val Paghera di Vezza D'Oglio in Comune di Edolo ad una quota di 1.930 m s.l.m.



Figura 54: Inquadramento amministrativo dell'intervento

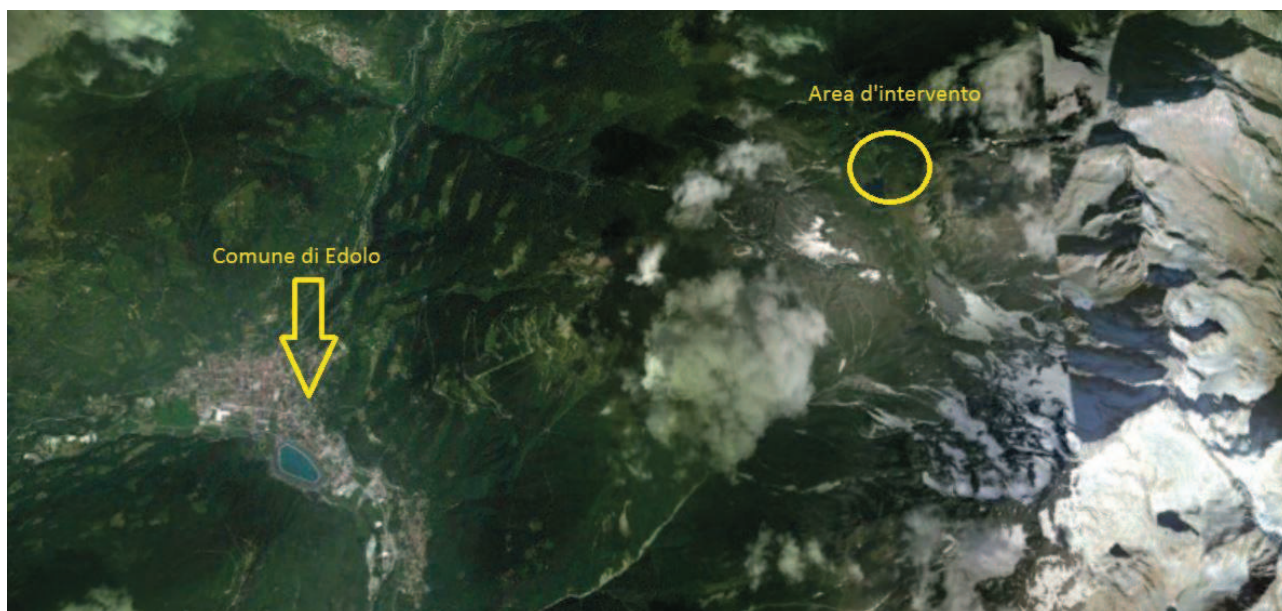


Figura 55: Inquadramento fotografico dell'intervento



Figura 56: Inquadramento su carta C.T.R. 1:10.000 dell'intervento

L'orizzonte altitudinale occupato dall'area d'intervento è quello al confine tra l'orizzonte alti montano e l'orizzonte alpino con la vegetazione che passa dai radi lariceti alle praterie d'alta quota intervallata da zone moreniche. Appena al di sopra del rifugio è posta la conca dell'Aviolo (figura 57) che ospita l'omonimo lago di origine naturale ma modificato per esigenze idroelettriche negli anni '50.



Figura 57: Lago d'Aviolo: si può notare la stratificazione vegetazionale del contesto.

In particolare l'area d'intervento è posta nei pressi del rifugio a nord ovest del fabbricato.

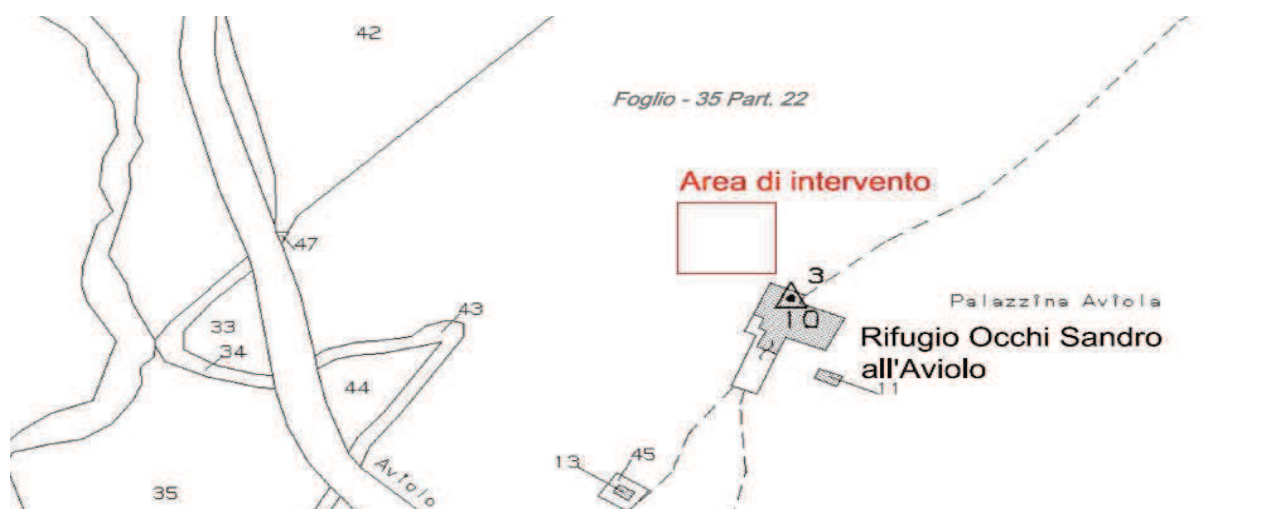


Figura 58: Area d'intervento su planimetria catastale scala 1:2000; (fonte: Parco dell'Adamello)

5.2.3 Stato di fatto

Attualmente il rifugio è dotato di un sistema di depurazione molto semplice, inefficiente e scarsamente piacevole dal punto di vista paesaggistico (figura 59): le acque scure del rifugio vengono coltate dal fabbricato ad una vasca tipo imhoff prefabbricata in cemento posta a valle del rifugio: da sottolineare come le tubazioni siano a vista nei tratti di superamento di alcuni tratti di roccia sub verticale sovrastanti la vasca d'arrivo.



Figura 59: Vasca imhoff prefabbricata attualmente in uso presso il rifugio Aviolo; (fonte: Parco dell'Adamello)

L'impianto non è dotato di nessun tipo di trattamento primario, e una volta sedimentati i liquami fuoriescono nel corso d'acqua sottostante e in parte direttamente sul suolo sottostante causando problemi di perdita del valore vegetale della biocenosi presente come testimonia la fotografia precedente, oltre che un impatto visivo negativo e uno sgradevole odore.

5.2.4 Dimensionamento dell'impianto

Tutte le scelte effettuate per la progettazione dell'impianto rispettano i criteri citati nel paragrafo 5.1.4 del presente elaborato.

La tipologia d'impianto scelta è quella a **flusso sub-superficiale orizzontale**, con qualche accorgimento tecnico rispetto all'impianto già realizzato al Tonolini.

Gli altri aspetti considerati nella scelta dell'impianto stesso sono stati:

- carico idraulico in ingresso;
- caratteristiche del refluo in termini di concentrazione degli inquinanti e temperatura del refluo;
- superficie disponibile;
- condizioni climatiche d'alta quota.

Considerati i fattori sopra citati, si è stimato un numero di abitanti equivalenti di 25/30 A.E.

5.2.5 L'impianto in progetto

Innanzitutto è bene specificare come la tipologia d'impianto di prossima realizzazione sia denominata fito-pedo-depurazione in quanto sfrutta le proprietà depurative dello strato inerte costituito da zeolite come avviene per il rifugio Tonolini, che permettono di minimizzare le superfici e fare economia nei trasporti.

Il sistema è costituito essenzialmente da 6 vasche in polietilene roto-stampato disposte su due linee in parallelo da 3 vasche ciascuna: queste vasche misurano 425x225x100 cm ciascuna per una superficie di 10m² e un volume di 10m³ l'una. Le vasche saranno disposte su livelli differenti con dislivelli sulla stessa linea che vanno dai 15cm ai 50 cm: dovranno essere creati piani di posa separati, uno per singola vasca avendo cura di non lasciare asperità e di costituire piani omogenei. Tra le due linee invece è previsto uno spazio di almeno 60 cm.

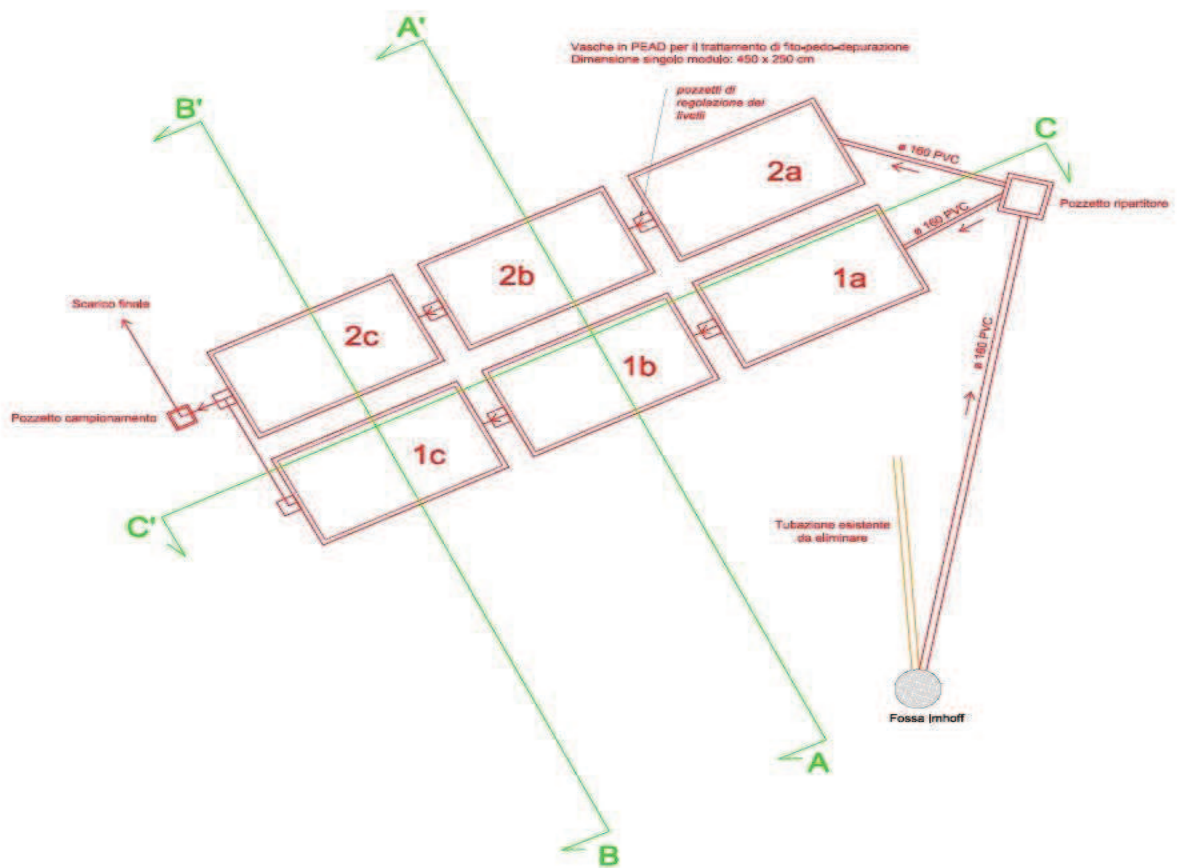


Figura 60: Planimetria dell'impianto in scala 1:100; (fonte: Parco dell'Adamello)

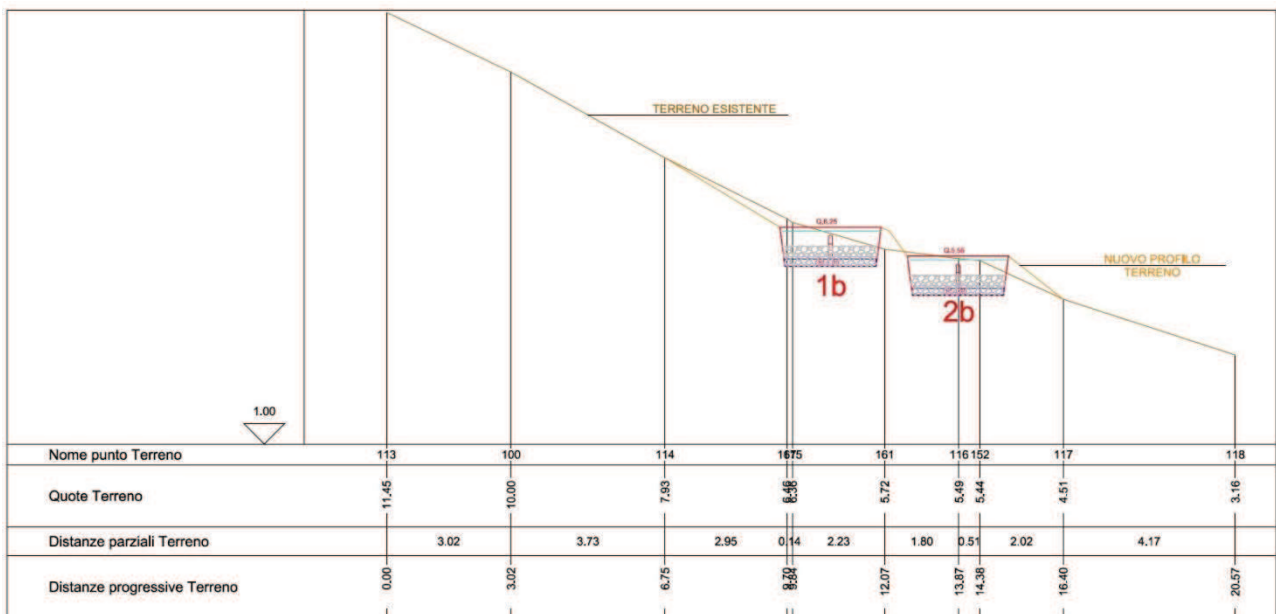


Figura 61: Sezione A-A' 1:100; (fonte: Parco dell'Adamello)

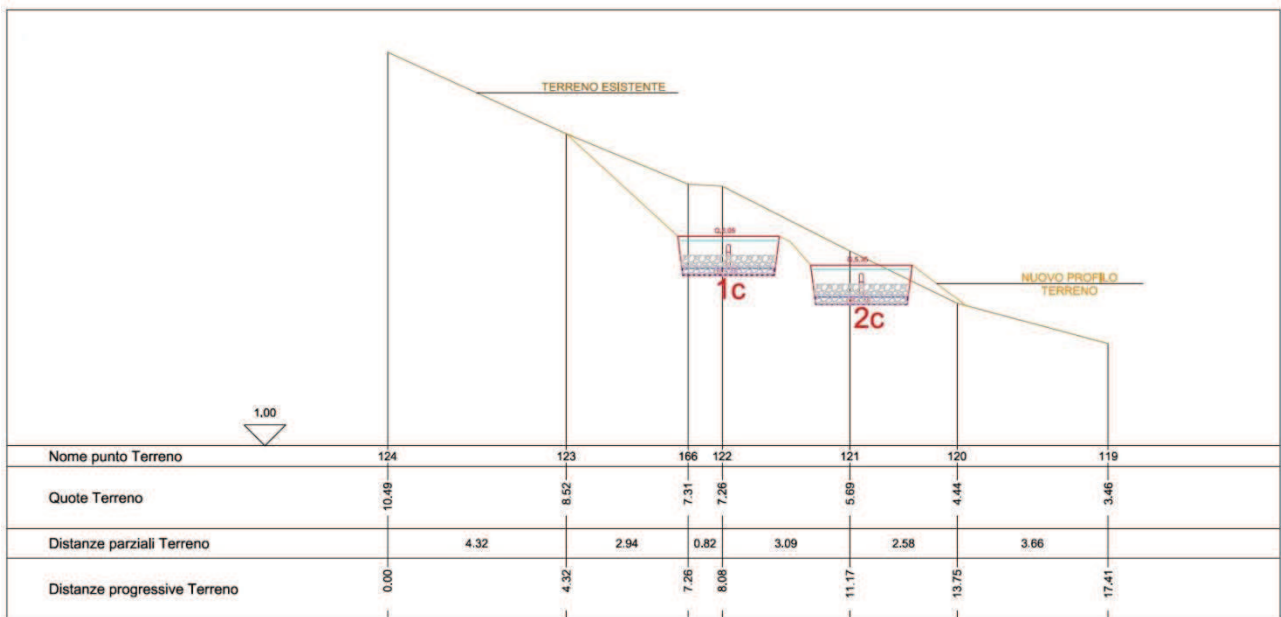


Figura 62: Sezione B-B' 1:100; (fonte: Parco dell'Adamello)

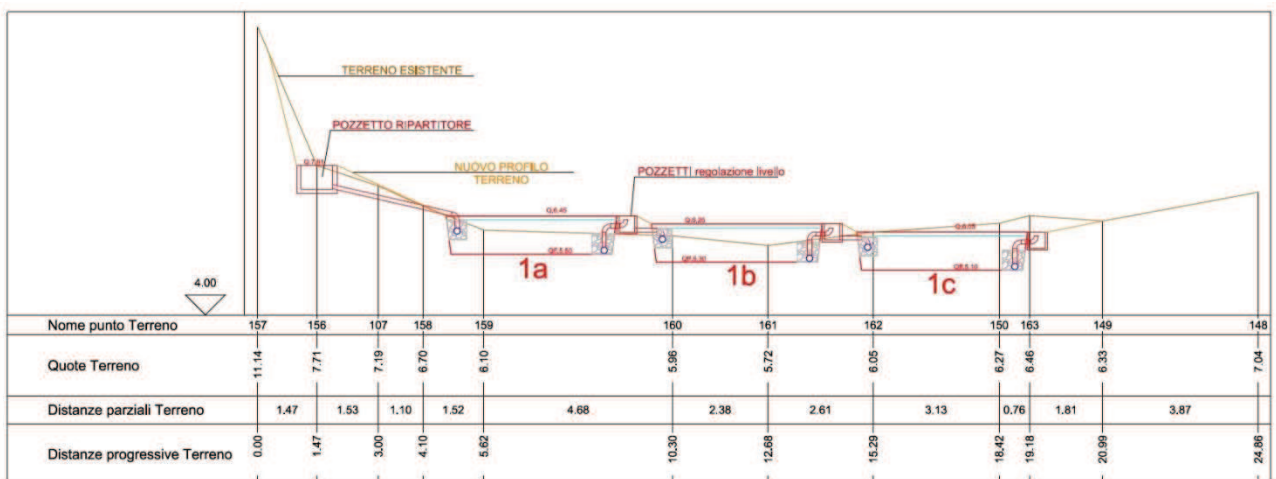


Figura 63: Sezione C-C' 1:100; (fonte: Parco dell'Adamello)

I reflui provenienti dalla imhoff saranno collettati verso il nuovo pozzetto ripartitore attraverso tubo in PVC: questo pozzetto realizzato in testa alle linee distribuirà il flusso dei reflui all'interno delle due linee, permettendo l'esclusione di una o dell'altra linea in caso di guasto o di necessità di manutenzione.

Una volta formato il piano di posa verranno sistemate le vasche prefabbricate delle dimensioni e caratteristiche sopra indicate, dotate successivamente dei rispettivi sistemi idraulici: ogni vasca è dotata di un sistema di distribuzione del refluo posto per tutta la larghezza della vasca e costituito da tubi disperdenti in PVC opportunamente forati.

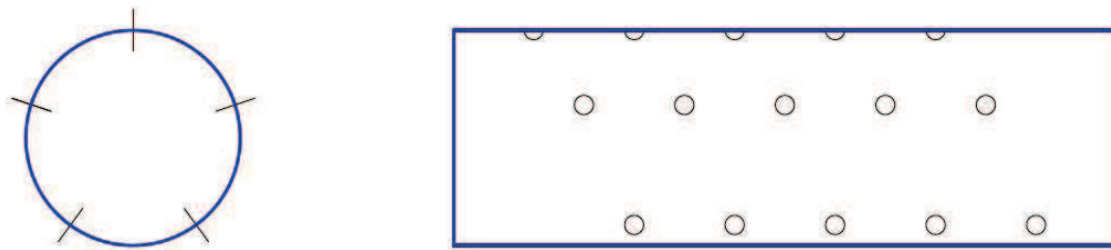


Figura 64: Particolare dei fori da realizzare direttamente in cantiere: indicativamente saranno realizzati 50 fori/m del diametro di 14/16mm; (fonte: Parco dell'Adamello)

Queste tubazioni disperderanno il refluo in una zona di dispersione costituita da materiale grossolano reperito in loco.

Dalla parte opposta della vasca avremo invece un sistema drenante posto per tutta la larghezza della vasca e costituito da tubi disperdenti in PVC opportunamente forati e posizionati in una zona drenante costituito da materiale grossolano reperito in loco come per la distribuzione.

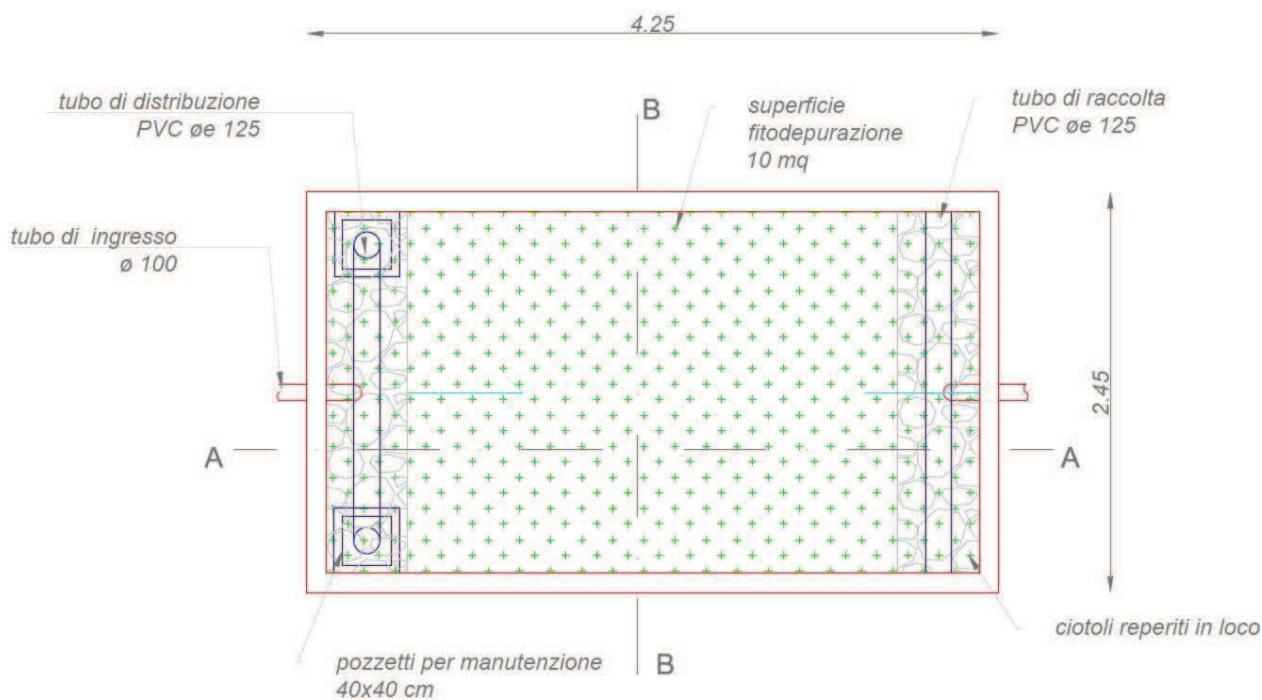


Figura 65: Pianta di una vasca scala 1:50; (fonte: Parco dell'Adamello)

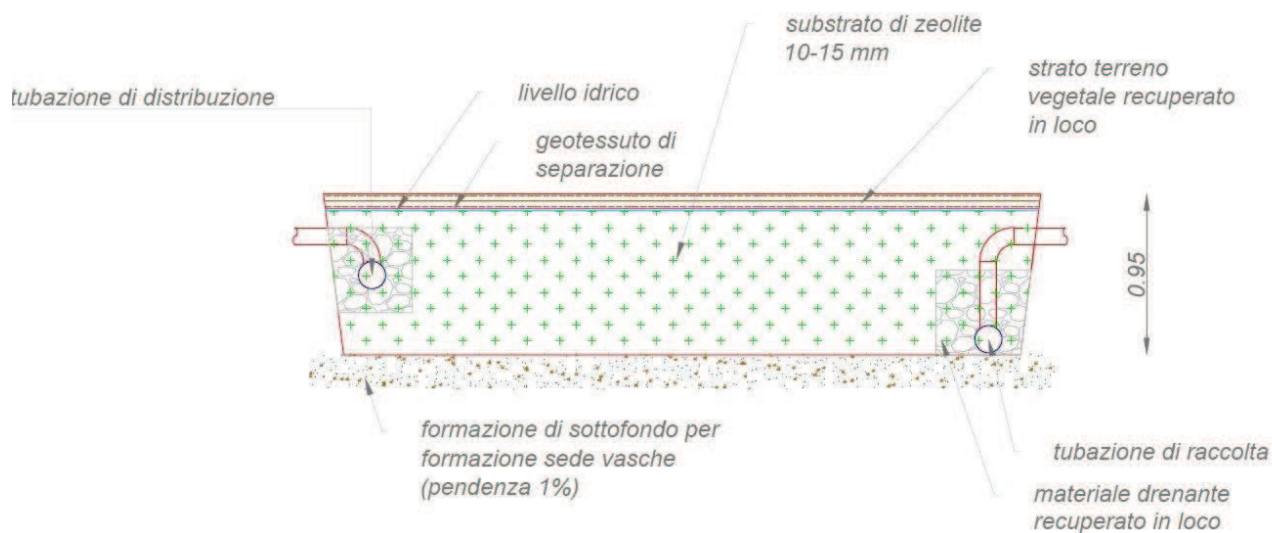


Figura 66: Sezione A-A' scala 1:50; (fonte: Parco dell'Adamello)

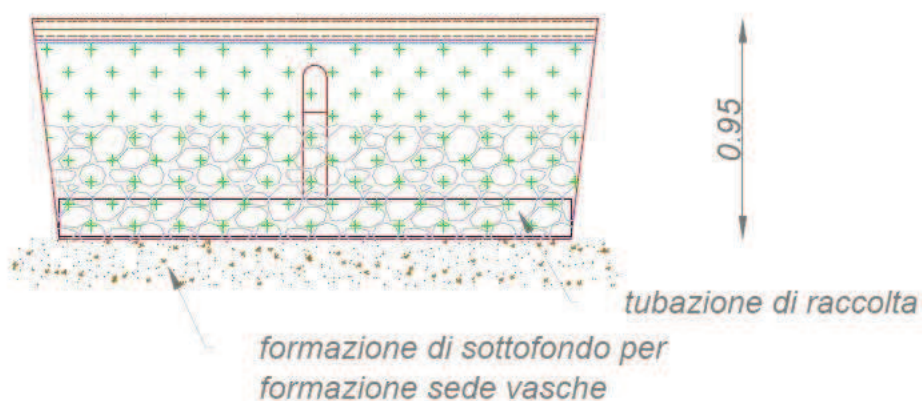


Figura 67: Sezione B-B' scala 1:50; (fonte: Parco dell'Adamello)

L'impianto idraulico sarà completato con la posa di pozzetti controllo livello a valle delle vasche e un pozzetto finale di campionamento per future analisi posto a monte dello scarico finale.

A questo punto è possibile preparare lo strato inerte che, come per il rifugio Tonolini, sarà costituito da zeolite; il quantitativo totale di zeolite stimato è di 54 m^3 suddiviso in 9 m^3 per vasca.

Successivamente avverrà la posa della biorete in cocco, che fungerà da strato di separazione tra la parte "viva" dell'impianto costituita dal materiale vegetale, e la parte inerte costituita dalla zeolite.

A questo punto l'impianto verrà colmato con terreno naturale derivante dagli scavi precedenti il quale dovrà essere accuratamente rizzollato con le specie

prelevate in aree adiacenti all'impianto e le zolle conservate al momento dello scavo dell'area stessa. Importante infine ricordare che prima della messa in funzione dell'impianto, sarebbe auspicabile un deciso intervento di pulizia della vasca imhoff presente.

5.2.6 Organizzazione del cantiere e logistica

L'area di cantiere non è raggiungibile da nessun mezzo meccanico in quanto collegata alla strada comunale mediante ripido e scosceso sentiero. Il trasporto di mezzi e materiali verrà fatto tramite elicottero che avrà come base di carico dei materiali la piazzola di partenza dell'impianto a fune esistente; lo stesso impianto a fune potrà essere utilizzato per il trasporto di quantità minime di materiale. Il personale incaricato alla realizzazione dovrà raggiungere giornalmente il cantiere a piedi oppure soggiornare al rifugio. Il tempo stimato per la realizzazione dei lavori è di 45 giorni per un importo totale di progetto di 50.000 €.

5.2.7 Manutenzione programmata

Le fasi progettuali descritte precedente, tra i vari obiettivi, hanno anche quello di minimizzare gli interventi di manutenzione aumentando di conseguenza l'economicità dell'opera.

Gli interventi su questo tipo d'impianto riguardano innanzitutto la vasca imhoff esistente: essa è infatti un passaggio fondamentale per quanto riguarda sia il rendimento depurativo della vasca stessa (garantisce circa il 30% di abbattimento sui solidi presenti) che della fase successiva rappresentata dalle vasche di fitodepurazione.

Sulla sedimentazione secondaria gli interventi principali sono semplici e, data la brevità del periodo d'utilizzo del rifugio, hanno cadenza abbastanza ampia.

Per quanto riguarda i pozzetti si dovrà:

- controllo del pozzetto ripartitore assicurandosi che non vi siano livelli anomali o principi di intasamento; è importante inoltre che le due linee depuranti lavorino entrambe con lo stesso carico a meno di regolazione volontaria differente.
- controllo dei pozzetti in testa alle linee di distribuzione (12), se necessari, spurgo/pulizia degli stessi;
- controllo dei livelli all'interno dei pozzetti controlla livello posti a valle di ogni vasca (6).

Per quanto concerne la vegetazione, soprattutto nelle stagioni iniziali dovrà essere monitorato lo stato della vegetazione sia in termine di attecchimento del

manto erboso autoctono, che in termini di copertura vegetale e di efficienza degli individui nello sviluppo radicale che dovrà essere abbondante ed affrancato.

Anche su questo impianto saranno previste una serie di analisi chimiche per verificare la bontà dell'intervento, attraverso il campionamento in ingresso ed in uscita delle acque.

Tabella 13 riassuntiva dei principali interventi di manutenzione

INTERVENTI	FREQUENZA	OSSERVAZIONI
Ispezione pozzetti di controllo	All'inizio e alla fine della stagione di attività del rifugio	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 (<i>non facente parte di progetto, ma strategica per il buono funzionamento del sistema di fito-pedodepurazione</i>)	Quando necessario	Tale operazione prevede lo spurgo e lo smaltimento del sedimento depositato nella vasca.

Tabella 13: riassunto dei principali interventi di manutenzione in programma; (*fonte: Parco dell'Adamello*)

6 CONCLUSIONI

La fitodepurazione è una realtà ormai consolidata per il trattamento delle acque reflue in ambito urbano, mentre in ambito alpino può essere considerata una “nuova tecnologia” al servizio dell’ambiente. Opportunità ambientale e soluzione ingegneristica che perfettamente si colloca all’interno di un utilizzo della montagna ecosostenibile.

Come illustrato nell’elaborato, i sistemi depuranti possono essere utilizzati in montagna, con le dovute accortezze soprattutto per quanto riguarda il dimensionamento, la scelta dell’impianto e soprattutto la ricerca delle specie vegetali più adatte all’ecosistema alpino in cui si opera.

Durante la mia indagine è risultato quanto sia difficile ed oneroso in termini economici, per gli enti gestori del territorio, eseguire studi floristici a scopi fitodepuranti: per ovviare a questo problema, spesso si ricorre a delle prove che con il passaggio delle stagioni individuano le specie che effettivamente ben si adattano a particolari condizioni pedologiche e di umidità. Sostenibilità ambientale ed economica che devono essere soddisfatte, così come avvenuto per il rifugio Tonolini, come testimoniano le buone rese depurative ottenute nel primo anno di funzionamento dell’impianto.

Il modello potrebbe essere potenzialmente esportabile in tutte le realtà rifugistiche di alta montagna, previo analisi floristica: in quest’ottica il Parco dell’Adamello sta promuovendo questa tecnica come dimostra il caso studio del rifugio Aviolo.

Nonostante i pionieri della fitodepurazione d’alta quota siano i tecnici del Parco del Marguareis (alpi marittime sud-occidentali – Provincia di Cuneo), che grazie a cospicui fondi europei hanno potuto effettuare approfondite indagini floristiche, in Valle Camonica il Parco dell’Adamello è comunque un ente attivo alla promozione e alla realizzazione di numerosi impianti sia di media quota (es. Casa del Parco di Cevo 1.100 m s.l.m.) che d’alta quota con l’impianto più alto d’Italia del rifugio Tonolini.

Dal punto di vista delle considerazioni personali, lo studio di questa tipologie d’impianto mi ha avvicinato ad un mondo inedito, anche se può essere considerato un’applicazione pratica di concetti teorici appresi nei corsi di idraulica e di ingegneria naturalistica previsti dal piano di studi.

Infine, ritengo utile rimarcare che questo genere di opere, come in molti casi dell’ingegneria naturalistica, non può ritenersi conclusa con la “fine lavori”

ma deve essere monitorata nei periodi successivi essendo in gran parte costituita da materiale vivo.

7 BIBLIOGRAFIA

- ❖ Parco naturale del Marguareis, IRIDRA s.r.l., Linee guida per l'applicazione di sistemi di depurazione naturali in ambito alpino, 2013.
- ❖ Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Guida tecnica per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione per il trattamento delle acque refluo urbane, 2012.
- ❖ Vymazal J., *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*, Prague, Czech University of Life Sciences, 2008.
- ❖ Arpa Toscana, *Fitodepurazione: applicazioni e prospettive*, 2003.
- ❖ Club Alpino Italiano (C.A.I.), *Regolamento generale rifugi*, 2011.
- ❖ Parco dell'Adamello, *Monitoraggio ambientale impianti di fitodepurazione*, 2014.
- ❖ Parco dell'Adamello, *Progetto esecutivo realizzazione impianto di fitodepurazione al servizio del rifugio Tonolini*, 2013.
- ❖ Parco dell'Adamello, *Progetto esecutivo realizzazione impianto di fitodepurazione al servizio del rifugio Aviolo*, 2014.
- ❖ Canepel R., Romagnolli F., *Un impianto di fitodepurazione in ambiente montano: progettazione e rese depurative*, 2009.
- ❖ ACIM s.r.l., *Trattamenti primari: grigliatura, dissabbiatura, disoleazione, Corso di formazione "la gestione dei depuratori biologici"*, 2005.
- ❖ Masotti L., *Depurazione delle acque*, Hoepli, 2011.

8 SITOGRAFIA

- ❖ <http://www.rifugi-bivacchi.com>
- ❖ <http://www.cai.bs.it>
- ❖ <http://www.caiasiago.it>
- ❖ <http://www.statistica.provincia.tn.it>
- ❖ <http://www.snipview.com>
- ❖ <https://www.di-camillo.com>
- ❖ <http://www.acquereflue.it>
- ❖ <http://www.fitodepurazione.it>
- ❖ <http://www.tubiadige.it>
- ❖ <http://abydoz.com>
- ❖ <http://www.rifugi.lombardia.it>
- ❖ <http://www.regioni-italiane.com>

9 RINGRAZIAMENTI

Un doveroso ringraziamento al Prof. Gian Battista Bischetti che mi ha seguito durante il periodo di tirocinio e ha dato un contributo fondamentale per la realizzazione di questo elaborato. Ringrazio il Consorzio Forestale Alta Valle Camonica di Edolo nelle persone del direttore tecnico Dott. Mario Tevini e del tecnico Simone Salvadori per il supporto tecnico , il materiale e le informazioni tecniche donatomi. Ringrazio il Parco dell'Adamello nelle persone del direttore Dott. Dario Furlanetto e del Geom. Gian Pietro Bolis per i consigli e per il materiale tecnico donatomi. Un ringraziamento particolare per Alessandra.

