POLITECNICO DI TORINO

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio
Tutela Ambientale

Tesi di Laurea Magistrale

Gestione e trattamento delle acque reflue nei rifugi alpini

Relatori

prof. Stefania Tamea
prof. Silvia Fiore

Candidato

Simone Bottino
Matricola 255471

Anno Accademico 2019-2020

Abstract

La gestione ed il trattamento delle acque nei rifugi alpini dipendono da molteplici fattori che presentano considerevoli problematiche rispetto alla depurazione effettuata in zone urbane. I rifugi montani sono infatti piccole utenze molto spesso isolate, con difficoltà di approvvigionamento idrico ed energetico, aventi ridotti spazi a disposizione e gestiti in maniera discontinua nell'arco dell'anno. Inoltre, la gestione delle acque è soggetta a basse temperature che abbassano le rese depurative delle principali tecniche di trattamento, ed i sistemi presenti sono nel tempo sottoposti a forti differenze di carico idraulico ed inquinante a causa della variazione dei flussi turistici.

I parametri principali che entrano in gioco nella modalità di approvvigionamento e nella scelta dell'idoneo trattamento sono la quota di ubicazione e gli abitanti serviti, esprimibili in funzione dei posti letto della struttura. A valle dei pretrattamenti volti alla rimozione dei grassi e dei corpi grossolani trovano spazio i trattamenti primari che, previo corretto dimensionamento, hanno lo scopo di ridurre i componenti sedimentabili. Successivamente, a basse quote e per qualsiasi taglia dell'impianto appare più idoneo servirsi di tecniche naturali come la fitodepurazione o la dispersione nel terreno per sub-irrigazione, mentre all'aumentare della quota, a causa delle basse temperature, si rendono necessarie soluzioni impiantistiche più complesse quali filtri biologici o processi a membrana.

Dall'analisi dei dati raccolti in 32 rifugi piemontesi, posti a differenti quote e con numero di posti letto variabile, emerge nel processo di depurazione un largo utilizzo di degrassatori (63%), di fosse Imhoff (82%) per quanto riguarda il trattamento primario ed infine la tendenza a scaricare nel terreno tramite pozzi perdenti (36%) e per sub-irrigazione (33%). Solamente due sono i casi di fitodepurazione e tre le soluzioni impiantistiche. Appare problematica la gestione dei fanghi: unicamente in tre casi vengono effettuati trattamenti.

Indice

1 Introduzione 1
2 Le acque reflue nei rifugi alpini 2
2.1 Le caratteristiche ed i costituenti delle acque reflue 3
2.1.1 Parametri fisici 3
2.1.2 Parametri chimici 6
2.1.3 Parametri biologici 13
2.2 Analisi dei carichi ed abitanti equivalenti 15
2.2.1 Carichi idraulici specifici nei rifugi 16
2.2.2 Carichi inquinanti specifici nei rifugi 18
2.2.3 Composizione tipica delle acque 21
2.3 Fattori che influenzano la gestione in ambienti di alta montagna 23
2.3.1 Raggiungibilità del sito 23
2.3.2 Periodi gestionali 24
2.3.3 Approvvigionamento idrico e portata delle acque reflue 24
2.3.4 Approvvigionamento energetico 25
2.3.5 Temperatura 26
2.4 Normativa di riferimento 28
3 Trattamenti depurativi per rifugi alpini 31
3.1 Pre-trattamenti 32
3.1.1 Degrassatori 32
3.1.2 Grigliatura 34
3.1.3 Bioagumentation 35
3.2 Trattamenti primari 36
3.2.1 Fosse settiche 36
3.2.2 Vasche Imhoff 37
3.3 Trattamenti secondari 39
3.3.1 Pozzo perdente 40
3.3.2 Sub-dispersione nel terreno 41
3.3.3 Fitodepurazione 44
3.3.4 Biofiltri 46
3.3.5 Ossidazione Totale 49
3.3.6 Reattori biologici a membrana 51
3.4 Disinfezione 53
3.5 Gestione dei fanghi 54
3.5.1 Letti essiccatori 54
3.5.2 Letti vegetali 56

3.5.3 Sacchi filtranti 56
3.6 Trattamenti idonei in funzione di quota e taglia del rifugio 57
4 Casi di studio in Italia e all'estero 61
4.1 Rifugio Buzzoni 61
4.2 Rifugio Sandro Occhi all'Aviolo 63
4.3 Rifugio Carlo Franchetti 65
4.4 Rifugio Lamsenjoch (*Lamsenjochhütte*) 67
4.5 Monte Rosa Hütte 69
4.6 Rifugio del Goûter (*Refuge du Goûter*) 71
5 Gestione e trattamento dei reflui nei rifugi del Piemonte 74
5.1 Risposte al questionario 75
5.2 Gestione ed approvvigionamenti delle strutture 78
5.3 Analisi dei trattamenti preliminari 85
5.4 Analisi dei trattamenti primari 89
5.5 Analisi dei trattamenti secondari 91
5.6 Analisi dei ricettori degli scarichi 94
5.7 Analisi della gestione dei fanghi di supero 95
5.8 Analisi dei criteri di dimensionamento delle vasche 98
5.9 Analisi delle componenti principali dello studio 103
6 Conclusioni 109
7 Appendice: schede dei rifugi intervistati 111
7.1 Rifugio Fantoli Antonio 112
7.2 Rifugio Bruno Piazza 113
7.3 Rifugio Onelio Amprimo 114
7.4 Rifugio GEAT – Val Gravio 115
7.5 Rifugio Mongioie 116
7.6 Rifugio Guido Muzio 117
7.7 Rifugio Toesca 118
7.8 Rifugio Jervis Willy al Prà 119
7.9 Rifugio Barbara Lowrie 120
7.10 Rifugio Levi - Molinari 121
7.11 Rifugio Città di Ciriè 122
7.12 Rifugio De Alexandris - Foches al Laus 123
7.13 Rifugio Dante Livio Bianco 124
7.14 Rifugio Città Di Mortara - Grande Halte 125
7.15 Rifugio Garelli Piero 126

7.16 Rifugio Della Balma 127
7.17 Rifugio Zamboni - Zappa 128
7.18 Rifugio Alfredo Rivetti 129
7.19 Rifugio Maria Luisa 130
7.20 Rifugio Scarfiotti 131
7.21 Rifugio Paolo Daviso 132
7.22 Rifugio Franco Remondino 133
7.23 Rifugio Vallanta 134
7.24 Rifugio Lorenzo Bozano 135
7.25 Rifugio Città di Busto 136
7.26 Rifugio Luigi Cibrario 137
7.27 Rifugio Quintino Sella 138
7.28 Rifugio Ernesto Tazzetti 139
7.29 Rifugio Federici - Marchesini - al Pagari 140
7.30 Rifugio Gastaldi Bartolomeo 141
7.31 Rifugio Vitale Giacoletti 142
7.32 Rifugio Luigi Vaccarone 143
Bibliografia 144

1 Introduzione

La gestione del ciclo dell'acqua nei rifugi alpini presenta complessità e aspetti tecnici non banali, considerando la sentita necessità di tutelare i corpi idrici superficiali e sotterranei in un ambiente incontaminato come quello montano e l'interesse turistico-sportivo delle strutture interessate.

Il presente lavoro nasce dall'esigenza di indagare quali siano i criteri tecnici e gestionali al fine di perseguire un corretto trattamento delle acque nelle strutture alpine, con particolare attenzione alle realtà piemontesi. Esse sono infatti piccole utenze solitamente isolate, senza possibilità di allaccio ad un sistema fognario, spesso irraggiungibili con la maggior parte dei mezzi di trasporto a causa della quota di ubicazione. Proprio quest'ultimo fattore influenza maggiormente la gestione dei reflui, in quanto le basse temperature raggiunte in alta montagna incidono pesantemente sulle rese depurative delle principali tecniche di trattamento. Inoltre, molto spesso i rifugi presentano difficoltà per quanto riguarda il loro approvvigionamento energetico, talvolta adeguato a garantire soltanto i servizi essenziali e non sufficiente ad alimentare correttamente degli impianti di trattamento delle acque. In numerosi casi non vi è abbastanza spazio disponibile per adibire un idoneo sistema di depurazione, quasi sempre soggetto a variabilità di carico idrico ed inquinante in base agli afflussi turistici stagionali e settimanali.

Verrà in seguito inquadrata la gestione dell'acqua nei rifugi, per poi approfondire l'analisi dei fattori che ne influenzano la gestione in ambiente di alta montagna ed infine accennare alla normativa esistente in materia. Successivamente trova spazio la descrizione dei trattamenti preliminari, primari e secondari attuabili in questo particolare tipo di utenza, per poi andare a definire quali tecnologie siano più idonee in funzione della quota e della taglia del rifugio. A seguire saranno presentati sei casi studio italiani ed esteri catalogabili come strutture di riferimento per quanto riguarda il trattamento dei reflui, per poi discutere i risultati ottenuti dall'intervista effettuata tramite la compilazione di un questionario somministrato ai rifugi del CAI Piemonte nell'estate dell'anno 2020. I dati ottenuti da 32 strutture, riguardanti informazioni generali sulla gestione ed approvvigionamenti dei rifugi, sui trattamenti effettuati ad acque e fanghi di supero, sono infine elaborati ed illustrati per effettuare un'analisi trasversale sui sistemi di depurazione in uso nelle realtà piemontesi, in funzione della quota e della taglia delle strutture, al fine di far emergere eventuali criticità, riscontri positivi e futuri obiettivi da perseguire.

2 Le acque reflue nei rifugi alpini

La normativa italiana [1] classifica le acque reflue in base alla loro origine, distinguendole in domestiche, industriali ed urbane. Le acque reflue provenienti da attività quali rifugi alpini, rifugi escursionistici e più in generale attività che offrono servizi igienici, alberghieri e di ristoro, sono sicuramente classificabili come acque reflue domestiche, definite come *acque provenienti da insediamenti di tipo residenziale e da servizi e derivanti prevalentemente dal metabolismo umano e da attività domestiche*.

Tale inquadramento è esplicitato anche nei vari Regolamenti Regionali in materia di rifugi alpini di alcune regioni italiane, come in quello di Valle d'Aosta [2], Piemonte [3] e Lombardia [4].

Risulta fondamentale per la gestione e smaltimento di questi reflui la definizione di "scarico"; nuovamente, il D.Lgs. 152/2006 [1] stabilisce come scarico *qualsiasi immissione di acque reflue in acque superficiali, sul suolo, nel sottosuolo e in rete fognaria, indipendentemente dalla loro natura inquinante, anche sottoposte a preventivo trattamento di depurazione.*

Quando si tratta di acque reflue generate da rifugi è dunque possibile far riferimento a gestione, trattamenti e scarichi di reflui di natura domestica.

2.1 Le caratteristiche ed i costituenti delle acque reflue

Nei rifugi alpini la risorsa idrica è impiegata per l'uso potabile, nei servizi igienici (lavandini, docce e WC), nelle cucine come residuo di cottura e lavaggio stoviglie, come acqua di lavaggio dei locali e, talvolta, come acqua di lavaggio per indumenti. Ciò che ne consegue è che nel refluo di un rifugio sono presenti esclusivamente prodotti del metabolismo umano, detergenti ed elementi derivati dal lavaggio e cottura dei cibi.

In generale, nelle acque reflue possono essere presenti un gran numero di sostanze inorganiche ed organiche che, a seconda della tipologia e della concentrazione, possono risultare pericolose per la salute e per l'ambiente; si rende quindi necessario un idoneo trattamento di depurazione, per evitare il rilascio di contaminanti, specie in un ambiente vulnerabile come quello montano. Comprendere la natura dell'acqua reflua è di fondamentale importanza per la sua gestione ottimale in termini di prestazioni ambientali ed economiche, in quanto la descrizione della sua qualità sta alla base della progettazione di un impianto di trattamento e di un eventuale riuso.

Per una corretta caratterizzazione delle acque reflue è necessario conoscerne i parametri fisici, chimici e biologici, che ne identificano proprietà e composizione, in accordo con la letteratura in materia [5] [6].

2.1.1 Parametri fisici

Solidi. Le acque reflue contengono una grande varietà di materiale solido, avente dimensione altrettanto variabile; per la loro quantificazione e caratterizzazione, solitamente si fa riferimento alle seguenti misure:

- Solidi Totali (TS): residuo solido rimanente in un campione di acqua reflua a seguito dell'evaporazione e surriscaldamento a 105 °C.
- Solidi Sospesi Totali (TSS): frazione di solidi totali trattenuta da un filtro avente pori con diametro pari a 0.45 μm.
- Solidi Disciolti Totali (TDS): differenza tra solidi totali e solidi sospesi, rappresenta la frazione di solido disciolto e colloidale presente nel refluo.

$$TS = TSS + TDS$$

- Solidi Volatili (VS): frazione di materiale solido che si volatilizza dopo essere stato portato ad una temperatura di 550°C per tre ore in una fornace; in genere i solidi volatili vengono considerati composti da materia organica.
- Solidi Fissi (FS): residuo di solidi totali rimanente a valle della volatilizzazione a 550°C dei solidi volatili. Costituiscono la frazione minerale inorganica presente nei solidi.

$$TS = VS + FS$$

- Solidi Sedimentabili (SS): quantità di materia solida contenuta nel refluo che decanta sul fondo di un cono Imhoff graduato, avente volume di un litro, dopo un certo periodo di tempo, solitamente un'ora. Maggiore è la dimensione della particella solida, tanto più velocemente riuscirà a sedimentare. Il volume di solidi sedimentabili è anche chiamato *volume del fango*.

Nell'analisi di un campione di acqua reflua, questi parametri vengono espressi in forma di concentrazione; solitamente si fa riferimento alla massa di inquinante contenuta nell'unità di volume di soluzione, ovvero mg/l. I solidi sedimentabili vengono invece espressi tramite concentrazione volumetrica, cioè ml/l.

Temperatura. Un altro parametro fisico di fondamentale importanza è la temperatura dell'acqua, misurata in gradi centigradi °C. Come verrà approfondito nel capitolo 2.3 del presente documento, la temperatura influisce pesantemente sulle cinetiche delle reazioni chimiche e biologiche che avvengono nel trattamento del refluo, sulla solubilità dei gas disciolti al suo interno e sulla sua viscosità. La temperatura delle acque reflue dipende in primo luogo dalla locazione geografica del sito produttivo, in quanto è strettamente legata alla temperatura dell'aria in atmosfera; siccome il calore specifico di quest'ultima è molto minore di quello dell'acqua, la temperatura del refluo risulta maggiore rispetto a quella atmosferica ad eccezione dei mesi più caldi dell'anno. Forti variazioni di temperatura sono presenti con l'alternarsi delle stagioni e delle ore della giornata, in particolar modo in un ambiente come quello montano. Normalmente, la temperatura del refluo è leggermente maggiore di quella dell'acqua presente in fornitura, in quanto il suo utilizzo nelle varie attività comporta un apporto di calore aggiuntivo.

Colore. Il colore del refluo è invece un indicatore, visibile ad occhio nudo, della sua età. Le acque reflue di colore marrone chiaro-grigio tenue sono chiamate *fresche* in quanto prodotte in tempi recenti. Con il passare del tempo si sviluppano reazioni di putrefazione ed il colore cambia fino a giungere tonalità grigio-scure ed infine nere: si parla di refluo *vecchio* o settico, solitamente senza presenza di ossigeno disciolto.

Odore. Come il colore, anche l'odore dello scarico è un indicatore della sua età: i reflui freschi non presentano un particolare odore, ma dopo circa quattro o cinque ore iniziano ad instaurarsi condizioni anaerobiche e la presenza di alcuni composti come l'acido solfidrico o le ammine sono causa di odori sgradevoli. Le basse temperature che spesso si ritrovano in ambienti montani, rallentano i processi di decomposizione presenti naturalmente nei reflui, e questo può voler dire che lo scarico potrebbe creare odori pungenti anche molto dopo le cinque ore.

Conduttività elettrica. Un altro parametro caratterizzante è la conduttività elettrica (C.E.) dell'acqua reflua, ovvero la misura della sua capacità di condurre corrente elettrica. Siccome in una soluzione la corrente elettrica è trasportata dagli ioni disciolti, un aumento della loro concentrazione equivale ad un aumento di conduttività. Questa grandezza, espressa nel Sistema Internazionale in μS/m, è utilizzabile come misura indiretta dei solidi disciolti totali (TDS).

Densità. Infine, l'ultimo parametro fisico di rilevante importanza è la densità, o peso specifico, dell'acqua reflua, definita come rapporto tra la sua massa ed il volume da essa occupata, espressa in kg/m^3. Per scarichi domestici si presume che la densità del refluo sia uguale a quella dell'acqua distillata alla stessa temperatura.

Nella seguente Tabella 1 vengono riassunti i principali parametri fisici di un'acqua reflua.

Tabella 1 - Parametri fisici nelle acque reflue

Parametro	Sigla	Unità di misura
Solidi Totali	TS	mg/l
Solidi Sospesi Totali	TSS	mg/l
Solidi Disciolti Totali	TDS	mg/l
Solidi Volatili	VS	mg/l
Solidi Fissi	FS	mg/l
Solidi Sedimentabili	SS	ml/l
Temperatura	T	°C
Colore	-	-
Odore	-	-
Conduttività Elettrica	C.E.	μS/m
Densità	ρ	kg/m^3

2.1.2 Parametri chimici

I costituenti chimici delle acque reflue sono tipicamente classificabili come inorganici ed organici: i primi si dividono ancora in metallici e non metallici, mentre i costituenti organici si suddividono in parametri aggregati ed individuali.

pH. La concentrazione dello ione idrogeno [H^+] è un importante parametro chimico di qualità sia delle acque fresche che delle acque reflue, in quanto molte reazioni chimiche e biologiche posso avvenire solo in un determinato range; il modo usuale di esprimere questa concentrazione è il pH, definito come il logaritmo negativo della concentrazione di ioni idrogeno presenti.

$$pH = -log_{10}[H^+]$$

Valori di pH inferiori a 7 definiscono l'acqua acida, valori superiori la definiscono alcalina (o basica). Un refluo fresco è basico, ma con il passare del tempo il pH tende a diminuire a causa della produzione di acidi nei processi anaerobici o di nitrificazione. I valori di pH che possiede un'acqua reflua trattata pronta per essere re-immessa in ambiente variano tipicamente tra 6,5 e 8,5.

Alcalinità. L'alcalinità è una misura totale delle sostanze che in acqua hanno la capacità di neutralizzare gli acidi, e pertanto di tamponare un calo del pH, grazie alla presenza di carbonati, bicarbonati ed idrati. Viene espressa in termini di concentrazione di carbonato di calcio [$CaCO_3$], seppure la sua determinazione rigorosa è:

$$Alc = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [OH^-] - [H^+]$$

Al crescere dell'alcalinità, aumenta la capacità tampone dell'acqua reflua nei confronti della variazione di pH.

Potenziale Redox. Spesso indicato con ORP (*Oxidation Reduction Potential*), è la misura del potenziale assunto da un elettrodo immerso nell'acqua reflua, rispetto ad un altro elettrodo assunto come riferimento; viene misurato in mV. Nel refluo il potenziale redox assume il significato di indice dello stato di ossidazione o riduzione dell'acqua. Se le specie riducenti, ovvero quelle in grado di donare elettroni, aumentano, il potenziale redox cala; se le specie riducenti diminuiscono, il potenziale redox si incrementa. Condizioni aerobiche dell'acqua reflua si traducono in valori del potenziale redox positivi, tipicamente attorno a 100 ÷ 300 mV; in condizioni anaerobiche invece, il refluo presenta valori del potenziale negativi, compresi tra -100 ÷ -400 mV.

Ossigeno Disciolto. La concentrazione di ossigeno molecolare disciolto in soluzione acquosa, indicato con la sigla DO (*Dissolved Oxygen),* è un parametro fondamentale, in quanto la vita di tutti i microrganismi che vivono nell'acqua, in particolare di quelli che presiedono alla depurazione biologica, è da esso fortemente condizionata. La solubilità dell'ossigeno varia in funzione di temperatura, pressione parziale del gas in atmosfera e dalla concentrazione di impurità come ioni disciolti (salinità) o solidi sospesi, come riportato in Tabella 2. Nello specifico la solubilità diminuisce all'aumentare della temperatura e della salinità ed aumenta al crescere della pressione atmosferica.

Anche altri organismi acquatici come i pesci assumono ossigeno sotto forma disciolta. Essi per vivere necessitano certe concentrazioni minime: per le trote, ad esempio, sono necessari almeno 7 mg/l di ossigeno disciolto.

La solubilità dell'ossigeno nell'acqua è piuttosto bassa rispetto ad altri gas, e quindi altrettanto basse sono le quantità di ossigeno disciolto che possono essere presenti nell'acqua. Nei corpi idrici naturali, l'immissione di quantità modeste di sostanza organica degradabile è pertanto sufficiente a consumare tutto l'ossigeno disciolto, creando facilmente un ambiente anossico in cui risulta impossibile la vita degli organismi più complessi. Ciò rende ragione della grande vulnerabilità delle acque naturali, specie quelle montane, nei riguardi delle sostanze inquinanti che consumano l'ossigeno disciolto.

Tabella 2 - Concentrazione di ossigeno a saturazione in funzione di temperatura e quota, a salinità pari a 0 mg/l.

T dell'acqua [°C]	Ossigeno Disciolto a saturazione [mg/l]
0	14,6
5	12,8
10	11,3
15	10,1
20	9,2
25	8,2
30	7,5

Azoto e fosforo. Questi elementi, essenziali per la crescita dei microrganismi e per la vita di specie vegetali ed animali, vengono anche chiamati *nutrienti* e le loro concentrazioni in un'acqua reflua sono di fondamentale importanza per valutarne i processi di depurazione.

L'azoto può presentarsi in diverse forme, in base al proprio stato di ossidazione. Nelle acque reflue le principali forme sono: ammoniaca (NH_3), ione ammonio (NH_4^+), azoto gassoso (N_2), ione nitrito (NO_2^-) e ione nitrato (NO_3^-). La frazione organica dell'azoto, principalmente in forma solubile e particolata, si ritrova in composti come amminoacidi e proteine ed è velocemente convertita in azoto ammoniacale da parte di specifici microorganismi. Viene definito *azoto totale Kjeldahl* (TKN) l'insieme di azoto organico ed ammoniacale, mentre con azoto totale (TN) si fa riferimento alla somma di azoto organico, ammoniacale, nitriti e nitrati.

In un'acqua reflua fresca, l'azoto è presente principalmente sotto forma di materia proteica ed urea, presto convertiti in ammoniaca; successivamente, in ambiente aerobico, i batteri possono ossidare l'azoto ammoniacale in nitriti e nitrati, la cui predominanza rispetto ad altre specie azotate indica la stabilizzazione avvenuta.

Il fosforo, contrariamente all'azoto, non possiede una forma gassosa che può essere scambiata in atmosfera. Si trova nelle acque reflue in frazione particolata e disciolta, per lo più reperibile come fosforo inorganico sotto forma di ortofosfati e polifosfati che derivano principalmente dai detersivi sintetici; una percentuale minore è invece presente come fosforo organico.

Particolare attenzione, dunque è riversata a questi due parametri, in quanto tramite la limitazione delle loro concentrazioni nell'ambiente si possono controllare i fenomeni di eutrofizzazione, alla base del deterioramento di fiumi, stagni, laghi e mari, dovuti alla sovrabbondanza di queste sostanze nutritive.

Metalli pesanti. Sono presenti nelle acque reflue sotto forma di ioni quali ferro (Fe), zinco (Zn), rame (Cu), cadmio (Cd), cromo (Cr), piombo (Pb), manganese (Mn), cobalto (Co), mercurio (Hg) e nichel (Ni). Quasi tutti i metalli, se presenti in concentrazioni nell'ordine dei μg/l, sono indispensabili per lo sviluppo di molti organismi. In concentrazioni eccessive invece, esplicano un'azione tossica ed inibitrice dei processi di depurazione biologica dei liquami e di stabilizzazione dei fanghi.

Quantità elevate di metalli possono verificarsi nelle acque reflue che derivano dal dilavamento di strade, grondaie, tetti metallici e negli scarichi industriali; in un'acqua reflua domestica, perciò, la concentrazione di tali metalli si mantiene solitamente in un intervallo accettabile per un corretto processo depurativo.

Una spiacevole conseguenza dell'abbattimento dei metalli pesanti può essere una loro alta concentrazione nei fanghi allontanati, con inconvenienti nelle successive fasi di stabilizzazione biologica e smaltimento finale.

Sostanza organica. I composti organici sono normalmente una combinazione di atomi di carbonio, idrogeno, ossigeno e, talvolta, azoto. La sostanza organica presente nelle acque reflue consiste tipicamente in proteine (dal 40% al 60%), carboidrati (dal 25% al 50%), oli e grassi (da 8% a 12%). Oltre questi composti derivanti principalmente dal metabolismo umano e dagli scarti di cucina, i reflui contengono anche piccole quantità di un grande numero di molecole organiche sintetiche, derivanti ad esempio dalla pulizia, dall'igiene personale e dall'utilizzo di prodotti medici. Data la molteplicità di composti organici presenti, essi vengono classificati tramite dei parametri aggregati. I più importanti ed utilizzati sono: BOD, COD e TOC.

BOD (Domanda Biochimica di Ossigeno). Indica la quantità di ossigeno richiesta dai microrganismi aerobici per poter degradare e assimilare le sostanze organiche presenti nelle acque reflue, che costituiscono il substrato di cui si nutrono. Esso è quindi un parametro che esprime una misura indiretta del contenuto di materia organica biodegradabile presente nel refluo. È il parametro più importante per definire lo stato di inquinamento organico di un'acqua e si misura in mg O_2/l, in quanto corrisponde all'ossigeno sottratto all'acqua dai batteri per poter decomporre la sostanza organica biodegradabile.

La richiesta di ossigeno aumenta progressivamente nel tempo e dipende fortemente dalla temperatura. Convenzionalmente, si fa riferimento al BOD_5, ossia al BOD a 5 giorni e alla temperatura di riferimento di 20°C. L'andamento nel tempo e alle varie temperature del BOD delle sostanze organiche di tipo carbonioso è descritto analiticamente da una reazione del primo ordine del tipo:

$$BOD_r = BOD_i(1 - e^{-K_T * t})$$

Dove:

- BOD_r è la quantità di BOD degradata (mg/l);
- BOD_i è la quantità di BOD iniziale (mg/l);
- K_T è la costante sperimentale di reazione nella rimozione del BOD, dipendente da temperatura T e diversa biodegradabilità da parte dei microorganismi (s^{-1});
- t è il tempo considerato (s).

Il quantitativo di ossigeno che i microrganismi utilizzano per assimilare e degradare la sostanza organica biodegradabile varia al variare del tempo concesso per il processo di biodegradazione. Maggiore è il tempo, infatti, maggiore sarà il quantitativo di sostanza organica assimilata e degradata e, quindi, maggiore sarà la quantità di ossigeno consumata dai microrganismi stessi. Teoricamente, se si volesse avere una misura indiretta di tutta la sostanza organica presente all'interno del campione, bisognerebbe concedere un tempo infinito ai microrganismi per espletare la loro azione: la misura che si otterrà è il cosiddetto BOD ultimo (BOD_u) che rappresenta il quantitativo di ossigeno complessivamente richiesto per ossidare tutta la frazione organica.

Bisogna però precisare che il BOD non è dovuto solamente alla richiesta di ossigeno da parte della frazione carboniosa delle sostanze organiche, bensì anche alla richiesta della frazione azotata per la cosiddetta nitrificazione; si parla rispettivamente di BOD carbonioso (*CBOD*) e BOD azotato (*NBOD*). Nelle acque reflue civili e domestiche, l'ossidazione della frazione azotata avviene in un secondo momento rispetto alla frazione carboniosa, in un arco temporale maggiore dei cinque giorni riferiti al BOD_5. Per questo motivo la misura di questo parametro si riferisce quasi esclusivamente alla degradazione della frazione carboniosa della sostanza organica biodegradabile. Nella seguente Figura 1 è riportata la curva caratteristica di *Thierault*, in cui si possono distinguere i due stadi successivi teorici di richiesta di ossigeno [7].

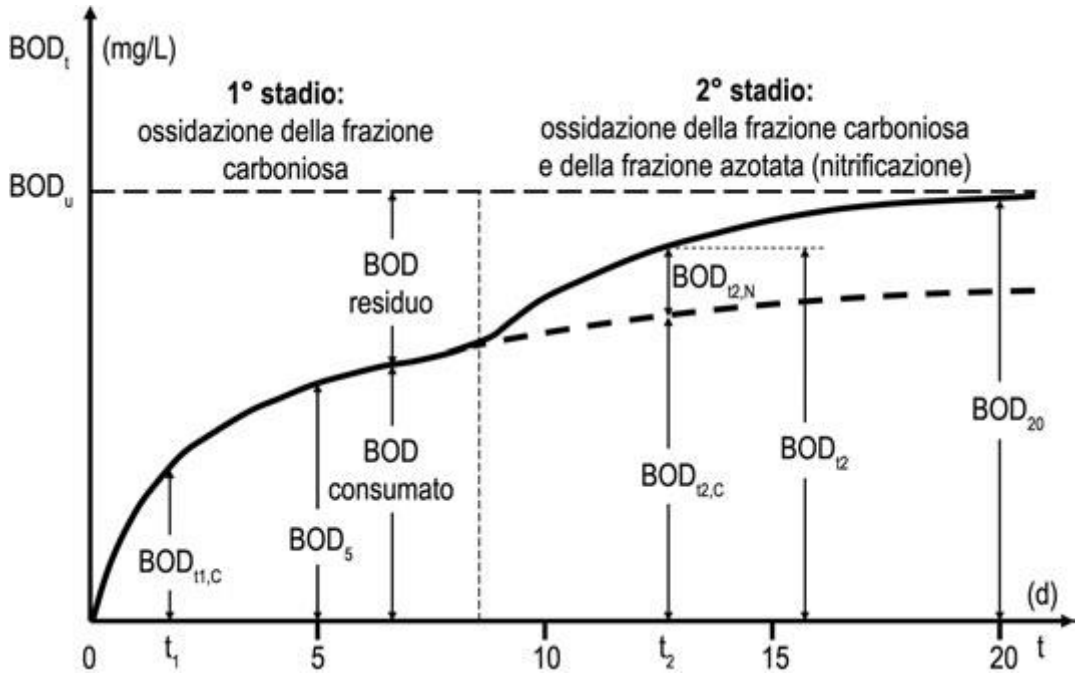


Figura 1- Curva di sviluppo del BOD (curva di Thierault) [7]

COD (Domanda Chimica di Ossigeno). Rappresenta la quantità di ossigeno necessaria per ossidare chimicamente le sostanze organiche ed inorganiche (biodegradabili e non biodegradabili) presenti nel refluo. È anch'esso un indice proporzionale al carico inquinante presente nelle acque e si misura in termini di mg O_2/l.

Il valore del COD risulta sempre maggiore di quello del BOD, in quanto alcune sostanze organiche sono più facilmente ossidabili per via chimica che per via biologica, vengono ossidate anche alcune sostanze inorganiche presenti nell'acqua ed alcune di esse possono essere tossiche per i batteri, causando rallentamenti nell'attività di degradazione biologica.

Il rapporto BOD/COD è un indice della biodegradabilità dell'acqua reflua, e per quanto precedentemente riportato non supera mai l'unità. Nei reflui domestici ed urbani non trattati tale valore varia nell'intervallo 0.3 – 0.8, ed è tanto maggiore quanto il refluo è facilmente biodegradabile.

La prova per la determinazione del COD è molto rapida (richiede circa due ore e mezza) e per questo risulta vantaggiosa rispetto alla determinazione del BOD_5, che richiede appunto cinque giorni.

TOC (Carbonio Organico Totale). È una misura della quantità totale di carbonio legato in un composto organico presente nelle acque reflue, sia in forma particolata che disciolta.

Viene misurato in mg C/l e non dà indicazioni sull'ossidabilità del carbonio rilevato e sul fabbisogno di ossigeno necessario per il suo abbattimento.

Il rapporto BOD/TOC per acque reflue urbane non trattate varia nell'intervallo 1.2 – 2.0 (mg O_2/mg C).

Oli e grassi. Nei reflui domestici essi derivano fondamentalmente dalle acque di scarico delle cucine; a temperatura ambiente i primi si presentano liquidi, i secondi solidi, ed hanno la caratteristica di essere insolubili e più leggeri dell'acqua. Gli oli si possono disperdere in acqua sotto forma di emulsioni, particolari tipi di sospensioni colloidali di particelle liquide.

Queste sostanze tendono a formare un film molto sottile sulle superfici con cui entrano in contatto, interferendo con i processi di degradazione biologica, rallentandoli e inibendoli.

Tensioattivi e detergenti. I detergenti sono sostanze che hanno la funzione di portare in sospensione lo sporco, e vengono chiamati tensioattivi in quanto riducono la tensione superficiale dell'acqua. Quelli più comuni in ambito domestico sono quelli anionici: in acqua subiscono una dissociazione ionica, in cui la parte anionica rappresenta la porzione che ha effetto detergente e possono essere di tipo ramificato, poco biodegradabili, o di tipo lineare, più facilmente biodegradabili.

Essi hanno un'azione disperdente nei confronti delle sostanze colloidali, emulsionando oli e grassi e rendendone in tal modo più difficile la rimozione. Sono anche responsabili della diminuzione della capacità di ossigenazione dell'acqua, formando schiume che ostacolano lo scambio di aria con l'atmosfera.

Composti organici individuali. Rientrano in questa categoria di composti gli inquinanti definiti "prioritari", sulla base dei loro effetti cancerogeni, mutageni e tossici, i composti organici volatili (VOCs), i prodotti usati per la disinfezione, pesticidi e prodotti chimici per uso agricolo. Negli scarichi domestici, solitamente, le concentrazioni di tali sostanze sono trascurabili in quanto legate ad attività per lo più industriali ed agricole; tale discorso vale a maggior ragione per reflui provenienti da attività come i rifugi alpini.

Possono però essere presenti una moltitudine di composti organici derivanti da farmaci, ormoni e prodotti di comune uso domestico.

Nella seguente Tabella 3 vengono riassunti i principali parametri chimici di un'acqua reflua.

Tabella 3 - Principali parametri chimici di un'acqua reflua

Parametro	Sigla	Unità di misura
pH	pH	-
Alcalinità	Alc	mg $CaCO_3$/l
Potenziale redox	ORP	mV
Ossigeno disciolto	OD	mg/l
Azoto totale	TN	mg/l
Azoto organico	N_{ORG}	mg/l
Azoto Kjeldahl totale	TKN	mg/l
Nitrati	$N\text{-}NO_3^-$	mg/l
Nitriti	$N\text{-}NO_2^-$	mg/l
Azoto ammoniacale	$N\text{-}NH_3$	mg/l
Fosforo totale	P	mg/l
Metalli pesanti	es. Fe, Cu, Mn, Pb, Zn…	mg/l
Domanda biochimica di O_2	BOD_5	mg/l
Domanda chimica di O_2	COD	mg/l
Carbonio organico totale	TOC	mg/l
Grassi ed oli	-	mg/l
Tensioattivi	-	mg/l

2.1.3 Parametri biologici

Le acque reflue civili contengono popolazioni ben diversificate di microrganismi come batteri, funghi, protozoi, alghe e virus. Essi derivano principalmente dalle attività del metabolismo umano e moltissimi sono microorganismi patogeni, cioè all'origine di malattie per uomo ed animali, con prevalenza e frequenza di quelli legati alle più diffuse malattie locali, le cui concentrazioni possono variare molto in particolari periodi.

Data la difficoltà di isolamento dei singoli patogeni presenti nei liquami, normalmente si fa riferimento agli indicatori di inquinamento fecale, cioè a particolari batteri del ceppo *Coli, coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi fecali, Escherichia coli*, presenti in elevatissime concentrazioni nei rifiuti umani.

Le determinazioni batteriologiche vengono eseguite individuando il numero di colonie presenti all'interno di apposite colture e si esprime con l'indice MPN *(Most Probable Number*), che indica il numero, in termini probabilistici, di colture presenti in un prefissato volume di soluzione. In reflui civili si riscontrano normalmente concentrazioni di *coliformi totali* dell'ordine di $10^8 – 10^9$ MPN/100 ml. La concentrazione dei *coliformi fecali* è inferiore di 1,5 – 10 volte rispetto a quella dei totali, e lo stesso dicasi per gli *streptococchi fecali*. [8]

I reflui, però, non contengono solamente microorganismi patogeni. Alcuni batteri, infatti, stanno alla base dei molti processi biologici aerobici e anaerobici di depurazione e si tratta di microorganismi molto diffusi anche nel terreno, dove contribuiscono ai processi di depurazione naturale. La loro capacità di sopravvivenza varia notevolmente in funzione della temperatura e delle caratteristiche chimico-fisiche dell'ambiente in cui si trovano.

Certi tipi di batteri sono strettamente aerobici, vale a dire che vivono e si sviluppano in ambienti con presenza di ossigeno disciolto in soluzione, altri sono strettamente anaerobi, cioè vivono e si sviluppano in ambienti privi di ossigeno. La maggior parte sono invece batteri facoltativi, in grado di vivere e svilupparsi sia in presenza che in assenza di ossigeno disciolto.

Un'ulteriore classificazione dei batteri è la distinzione in *parassiti*, che si sviluppano a spese di un altro organismo ospite, e *saprofiti*, cioè esseri unicellulari che tendono a svilupparsi in modo autonomo. Tra i batteri saprofiti, alcuni risultano autotrofi, cioè utilizzano come nutrimento i prodotti chimici inorganici base presenti nell'acqua, e creano come conseguenza del loro metabolismo materiale cellulare complesso.

La maggior parte sono eterotrofi, cioè si nutrono si sostanze organiche complesse presenti in soluzione, causando, come conseguenza del loro metabolismo cellulare, la trasformazione delle suddette sostanze organiche complesse in sostanze più semplici, e come stadio finale in sostanze inorganiche.

Perché le sostanze presenti nelle acque possano essere consumate dai batteri, è necessario che siano biodegradabili; esse passano direttamente dall'ambiente liquido nel batterio, attraverso la membrana cellulare, e le particelle adsorbite dal batterio vengono attaccate da enzimi extracellulari emessi dalla cellula batterica che fungono da catalizzatori nel trasformare le sostanze esterne e renderle appetibili alla cellula. Come illustrato nella seguente Figura 2, attraverso la membrana cellulare avvengono gli scambi tra cellula batterica e il mezzo liquido, non solo di acqua e ossigeno, ma anche delle sostanze residue prodotte dal metabolismo della cellula. Attraverso questi processi, alla base della depurazione biologica, si rendono inerti le sostanze organiche iniziali e se ne riduce notevolmente la quantità in quanto vengono trasformate in sostanze semplici quali H_2O, CO_2, H_2S, CH_4.

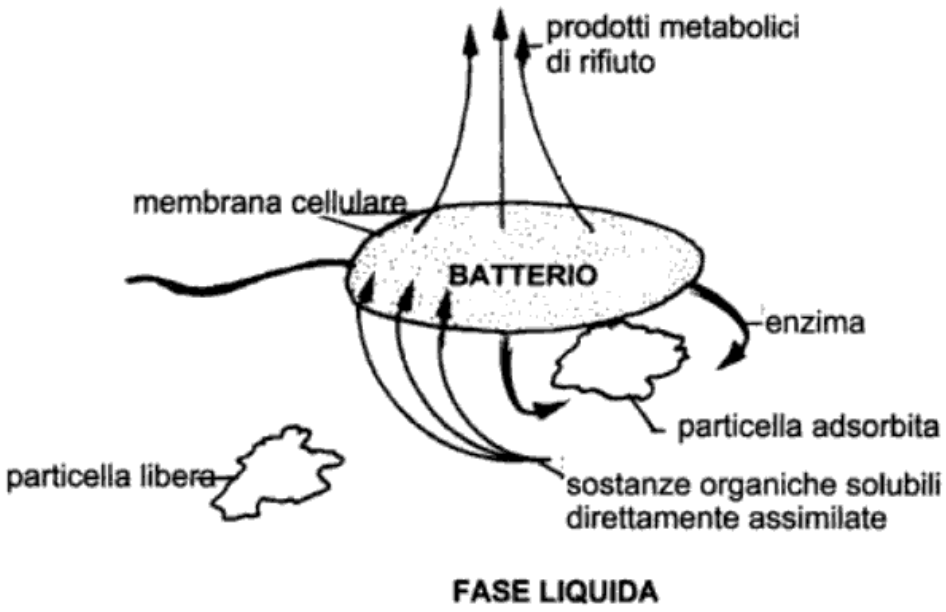


Figura 2 - Assimilazione di sostanze in sospensione da parte dei batteri [6]

2.2 Analisi dei carichi ed abitanti equivalenti

I due parametri principali sui quali si basa il dimensionamento di un qualsiasi sistema di depurazione sono il carico idraulico ed il carico inquinante.

Il primo esprime la portata volumetrica di acque di rifiuto da trattare, normalmente espressa in m^3/d o l/d (*d=giorno*), e determina il dimensionamento di tutta la parte idraulica dell'impianto: dimensioni delle tubazioni, delle vasche e, più in generale, di tutti i manufatti necessari alla corretta depurazione.

Il carico inquinante è riferibile a molteplici sostanze presenti nel refluo, come solidi, azoto totale, fosforo, ma è normalmente rivolto specificatamente alle sostanze organiche, in quanto costituiscono il parametro principale di inquinamento delle acque reflue: si può quindi parlare di carico organico. Quest'ultimo esprime la portata in massa delle sostanze organiche da trattare e determina, in maniera prevalente, il dimensionamento del trattamento biologico dei liquami; viene espresso in g BOD_5/d o g COD/d.

Noti il carico inquinante ed idraulico, facendone il rapporto, si determina la concentrazione di sostanze inquinanti nella corrente in esame.

La determinazione del carico idraulico e del carico inquinante per un sistema di depurazione non è affatto banale, in quanto dipende dalla fonte di approvvigionamento della risorsa idrica, dal suo consumo e dalla natura dell'utilizzo che ne viene fatto. Sarebbe infatti necessario valutare l'effettiva produzione quantitativa e qualitativa del refluo, effettuando delle misure sulla dotazione idrica media giornaliera e sulle concentrazioni medie nello scarico in esame, che nel caso dei rifugi risulterebbero troppo onerose. Un'altra metodologia è quella di provvedere i carichi sulla base delle dimensioni volumetriche degli insediamenti e sul suo numero di vani, valutati sulla base dei criteri tecnici utilizzati per la loro progettazione.

La normativa [1] suggerisce l'utilizzo di un parametro che risulta di riferimento per dimensionare i sistemi di depurazione o confrontare carichi di diverse utenze: l'*Abitante Equivalente* (A.E.), definito come *il carico organico biodegradabile avente una richiesta biochimica di ossigeno a 5 giorni (BOD_5) pari a 60 grammi di ossigeno al giorno*.

Oltre al carico organico, l'abitante equivalente A.E. può essere riferito anche ad altri parametri, per esempio al carico idraulico; alcune regioni italiane fanno riferimento al volume di 200 litri per abitante al giorno [9].

In sintesi, dunque, la normativa prevede un carico organico specifico, pari a $60\ \frac{gBOD_5}{A.E.\ *\ d}$ e un carico idraulico specifico, pari a $200\ \frac{l}{A.E.\ *\ d}$.

2.2.1 Carichi idraulici specifici nei rifugi

Un'utenza come un rifugio alpino, a maggior ragione se situato ad alta quota, registra dei consumi idrici di molto inferiori rispetto a quelli di altre utenze domestiche o commerciali, come alberghi o ristoranti, che si trovano a valle. Questo per via delle scarse comodità, ed in primo luogo, della natura della risorsa idrica impiegata: raramente i rifugi hanno accesso all'acquedotto e molto spesso il loro approvvigionamento è legato a risorse variabili nel tempo come sorgenti, acqua piovana, corsi d'acqua o scioglimenti di ghiacciai e nevai.

Normalmente, infatti, si tende giustamente ad essere parsimoniosi nei confronti della risorsa idrica, il cui consumo specifico è minore rispetto a quello previsto dalla normativa. Esistono in letteratura [5] [6] dei valori medi di consumo idrico specifico (a persona) che tengono conto di un coefficiente di utilizzo, solitamente pari a 0.8, e che dunque restituiscono dei valori tipici di produzione specifica di acqua reflua in funzione dell'utenza considerata. Si riportano alcuni di questi valori nella seguente Tabella 4.

Tabella 4 - Apporti idrici unitari medi (l/d) per diversi tipi di utenza [5] [6]

Natura della comunità	**Utenza**	**Apporto idrico unitario (1/d)**	
		Metcalf & Eddy [5]	***Masotti L.*** [6]
Abitazioni di lusso	Per abitante	-	300÷400
Quartieri a medio livello	Per abitante	150÷300	200÷300
Villette estive	Per abitante	150÷200	150÷200
Centri turistici marini e montani	Per ospite stabile	120÷170	150÷200
	Per ospite giornaliero di passaggio	45÷57	15÷40
Scuole	Per studente	30÷60	35÷65
Prigioni	Per recluso	240÷430	300÷600
Fabbriche (solo reflui sanitari)	Per operaio	45÷98	50÷130
Mense aziendali	Per pasto	11÷28	15÷30
Ospedali	Per posto letto	480÷900	500÷1100
Hotel, motel, pensioni	Per ospite	200÷215	150÷400
Campeggi e villaggi turistici	Per ospite	106÷144	100÷200
Ristoranti	Per cliente	23÷30	10÷12
Caffè, bar	Per cliente	6÷11	4÷20

Risulta interessante confrontare i valori sopracitati con quelli riportati in un documento redatto nell'anno 2000 dall'Associazione Austriaca per le acque ed i rifiuti, dal titolo "*Smaltimento delle acque reflue in zone montane*" [10]. Questa relazione, seppur redatta venti anni fa, è uno dei documenti più specifici sulla materia oggetto di studio.

Nel documento austriaco vengono distinte sei classi di edifici alpini, in funzione delle dotazioni e servizi presenti al loro interno; in base poi alla classe di edificio vengono presentati dei valori indicativi della produzione specifica di acque reflue, in base anche all'utenza che ne fa uso. I dati vengono riportati nelle seguenti Tabella 5 e Tabella 6.

Tabella 5 - Classificazione degli edifici alpini secondo le strutture sanitarie presenti [10]

Tipo	Strutture sanitarie presenti/Tipo di edificio
1	*Nessuna*: bivacchi, ripari di caccia, accampamenti e aree di campeggio transitorio, ecc. senza rifornimento idrico (trasporto con secchi, ecc.), acque grigie scaricate direttamente nell'ambiente, gabinetti secchi.
2	*Scarse*: baite per il fine settimana, capanni di caccia, capanni senza gestione, ecc. solitamente senza acqua corrente interna, gabinetti secchi.
3	*Sufficienti*: rifugi con acqua corrente in cucina, baite per il fine settimana ben attrezzate, servizi ed impianti di lavaggio, dotati di WC e di docce ad uso esclusivo del personale.
4	*Discrete*: rifugi, case semplici, tutti con sufficiente rifornimento idrico, lavandini, docce, lavatrice e lavapiatti, WC.
5	*Buone*: alberghi di montagna e ristoranti, edifici militari e stazioni permanentemente abitate, appartamenti feriali, edifici abitati, ecc. solitamente dotati di buone attrezzature fino al bagno.
6	*Ottime*: Ristoranti di prima categoria ed alberghi, case con appartamenti ben equipaggiati, villaggi alberghieri, località di villeggiatura dislocate in zone montane.

Tabella 6 - Valori indicativi della produzione specifica di acque reflue (l/d) in funzione del tipo di rifugio alpino e di utenza [10]

Tipo di utenza	Classe di edificio					
	1	2	3	4	5	6
Abitante permanente	5÷15	10÷25	25÷75	75÷120	120÷150	150÷225
Utente per 24 ore	5÷15	10÷20	25÷50	50÷75	75÷150	200÷375
Utente pernottante	3÷15	10÷15	20÷40	40÷60	75÷125	125÷300
Sosta giornaliera lunga	2÷3	5÷10	10÷15	10÷15	15÷25	30÷60
Sosta giornaliera breve	1÷2	2÷5	5÷10	5÷15	10÷20	25÷50

Analizzando i dati riportati in Tabella 6, emerge che per un rifugio alpino dotato di servizi igienici e cucina (edificio di classe 3 o 4), si ha un consumo specifico d'acqua che in media ammonta a 50 l/d per ospite. Se l'utente risulta solamente di passaggio, ad esempio utilizza i soli servizi igienici o usufruisce del servizio di ristorazione, il consumo specifico idrico medio si riduce a circa 15 l/d ad utente.

Si sottolinea ancora una volta che i dati riportati costituiscono degli intervalli statistici, variabili da luogo in luogo, nel tempo e con il modificarsi delle abitudini: forniscono dei valori medi, qualora, come nei rifugi alpini, può essere oneroso effettuare delle analisi puntuali e dove difficilmente il consumo idrico è un dato conosciuto.

Di fondamentale importanza è l'aspetto della variazione del carico idrico nel tempo: i rifugi alpini sono caratterizzati da alti carichi solo in particolari periodi dell'anno, come ad esempio nelle stagioni estive, mentre nelle cosiddette "stagioni morte" il carico risulta ridotto o addirittura nullo, secondo il periodo di apertura-chiusura della struttura. Prendendo in considerazione frequenze temporali maggiori, risultano spesso presenti picchi di carico idraulico nei week-end rispetto ai giorni feriali, data la maggiore frequentazione dei rifugi. Esistono anche variazioni orarie di carico idraulico, basti pensare a momenti come mattina e sera in cui statisticamente più utenti adoperano la risorsa idrica per la loro igiene personale e in orario dei pasti, in cui le cucine lavorano maggiormente.

2.2.2 Carichi inquinanti specifici nei rifugi

I carichi inquinanti presenti nei reflui dipendono, come nel caso dei carichi idrici, dal tipo di attività svolta nell'insediamento. Essi, però, non dipendono dalla variabilità della risorsa idrica, bensì in primis dall'attività metabolica umana ed in seguito da altri servizi come quello di ristorazione.

Come precedentemente accennato, il parametro principale di inquinamento delle acque reflue riguarda le sostanze organiche e, nel presente documento, come in letteratura, verrà preso in considerazione il *carico organico* (espresso in $gBOD_5/d$) per il confronto tra diverse utenze, per il dimensionamento del sistema di depurazione e trattamento dei fanghi di supero.

Si riportano in Tabella 7 dei valori medi di riferimento dei principali carichi inquinanti specifici, riferiti ad ambiti domestici in Italia.

*Tabella 7 - Carichi inquinanti specifici medi (g/A.E.*d) in acque reflue domestiche [5] [6]*

Inquinante	**Carico specifico (g/A.E.*d)**	
	Metcalf & Eddy [5]	***Masotti L.*** [6]
BOD_5	49÷60	60÷70
COD	110÷295 (a)	130÷200
TSS	55÷82	~90
TKN – come N	8÷14	10÷14
P_{TOT}	0.6÷1	1.1÷2.5
Oli e grassi	10÷35	12÷18

(a): valore riferito ad ambiti domestici negli Stati Uniti

Analogamente a quanto riportato per i carichi idrici, il documento austriaco [10] propone dei valori stimati di carico organico specifico, espresso in g BOD_5/d, in funzione del tipo di edificio alpino (classificati in Tabella 5) e dell'utenza presente, riportati nella seguente Tabella 8.

Tabella 8 - Valori indicativi di carico organico specifico ($gBOD_5/d$) in funzione del tipo di rifugio alpino e di utenza [10]

Tipo di utenza	**Classe di edificio**					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Abitante permanente	25÷30	25÷30	55÷60	60	60÷75	60÷90
Utente per 24 ore	25÷30	25÷30	55÷60	60	60÷90	90÷150
Utente pernottante	20÷25	25	50÷55	55÷60	60÷90	75÷150
Sosta giornaliera lunga	5÷10	10	15÷20	15÷20	15÷20	20÷30
Sosta giornaliera breve	5	5÷10	10÷15	10÷15	10÷15	10÷15

Un'accurata valutazione del carico organico, e più in generale dei carichi inquinanti, può essere ottenuta attraverso la documentazione sulla frequenza degli utenti durante il giorno e sui pernottamenti. I valori riportati forniscono delle stime plausibili che vengono prese come riferimento progettuale nel momento in cui il calcolo del carico organico non può essere effettuato con sufficiente precisione per mancanza dei dati.

Si può, in sintesi, assumere che il carico organico specifico per un utente pernottante sia di circa 60 g BOD_5/ab*d, valore che coincide con la definizione normativa di abitante equivalente; ciò è verosimile alla luce del fatto che la sostanza organica presente nei reflui deriva sostanzialmente dalle feci, dall'urina e dagli scarti di cucina, sostanze presenti in quantità simile sia nei rifugi che nelle abitazioni a valle. Altri valori di riferimento secondo la relazione austriaca [10], sono rispettivamente per COD e Azoto totale: $130\ gCOD$ e $12\ gN$.

La stima del numero di abitanti equivalenti per una particolare tipologia di struttura come quella del rifugio montano non è ovvia e a livello normativo italiano non esiste un'indicazione univoca e specifica. Ogni Regione, e talvolta Provincia, possiede le proprie linee guida per il calcolo degli abitanti equivalenti in funzione della metratura dei vani dell'edificio e attività, ma in esse non si ritrovano specificatamente i rifugi montani. Si riporta come esempio il metodo di calcolo suggerito dalle linee guida di ARPA Lombardia [11] , preso come riferimento anche da altre Regioni per quanto riguarda la depurazione di acque reflue urbane. Secondo la Tabella 9 presente in questo documento, il calcolo degli abitanti equivalenti porterebbe ad assimilare i rifugi ad alberghi e complessi ricettivi. Tale metodo di stima non sembra ottimale per i rifugi, in quanto la maggior parte di essi presenta un numero elevato di posti letto in uno spazio molto ridotto; inoltre, in aggiunta alla popolazione che pernotta in rifugio andrebbe considerata la popolazione giornaliera che sosta e consuma pasti in rifugio. Il risultato di tale indicazione risulterebbe dunque sottostimato rispetto ai reali abitanti equivalenti di un rifugio.

Tabella 9 - Indicazioni per il calcolo degli abitanti equivalenti in funzione della tipologia di attività [11]

Tipo di edificio	**A.E.**
Casa di civile abitazione	1 A.E. per camera da letto con superficie ≤ a 14 m^2 2 A.E. per camera da letto con superficie > a 14 m^2
Albergo o complesso ricettivo	Come per le case di civile abitazione +1 A.E. ogni qualvolta la superficie di una stanza aumenta di 6 m^2 oltre i 14 m^2
Fabbriche e laboratori artigianali	1 A.E. ogni 2 dipendenti, fissi o stagionali, durante la massima attività
Ditte e uffici commerciali	1 A.E. ogni 3 dipendenti fissi o stagionali, durante la massima attività
Ristoranti e trattorie	1 A.E. ogni 3 posti (massima capacità ricettiva delle sale da pranzo 1,20 m^2 per persona)
Bar, circoli e club	1 A.E. ogni 7 persone
Scuole	1 A.E. ogni 10 posti banco
Cinema, stadi e teatri	1 A.E. ogni 30 posti

In definitiva, la metodologia più efficace per il calcolo degli abitanti equivalenti risulta quella più difficilmente attuabile, in quanto prevede di monitorare i passaggi giornalieri e sommarli alla totalità dei posti letto disponibili nel rifugio, tenendo in considerazione che gli apporti organici (ed idrici) sono ben differenti tra loro. Si può presupporre che gli utenti effettuanti breve soste utilizzino solamente i servizi igienici, mentre gli utenti permanenti possano far uso anche di servizio di ristorazione, docce e servizi igienici per più volte al giorno.

2.2.3 Composizione tipica delle acque

Noti i carichi inquinanti e idrici e facendone il rapporto, si giunge alla concentrazione media di ogni inquinante presente nell'acqua reflua in uscita dall'utenza. In Tabella 10 si riporta il confronto tra la composizione media delle acque reflue domestiche non trattate secondo la letteratura [5] e, a titolo esemplificativo, di quelle campionate nel luglio 2019 in uscita da un rifugio lombardo, sito in Provincia di Lecco: il Rifugio Buzzoni [12].

Tabella 10 - Confronto delle concentrazioni in letteratura ed in campo di acque reflue domestiche

Parametro	**Concentrazioni (mg/l)**	
	Metcalf & Eddy [5] [(a)]	**Rifugio Buzzoni** [12]
TSS	389	11533
Solidi Sedimentabili (30')	23	48
COD	1016	3199
BOD_5	400	1025
P Tot	11	27.3
Azoto Amm.	41	124
Azoto Nitroso	0	0.01
Azoto Nitrico	0	10.8
Azoto Tot Kjeldhal	70	150
Azoto totale	70	160.8
Grassi e oli vegetali/animali	153	1341.8

(a): Valori medi riferiti ad un refluo molto concentrato e basato su un carico idrico pro-capite di 190 l/d

Le analisi delle concentrazioni del Rifugio Buzzoni mostrano dei valori di gran lunga superiori a quelli di letteratura, soprattutto per quanto riguarda i solidi sospesi totali che risultano circa 30 volte superiori. Gli altri parametri, come COD, BOD_5 e Azoto totale, risultano tra le 2.5 e le 4 volte maggiori.

La causa di questa corposa differenza è da ritrovarsi in due possibili cause: il maggior carico inquinante oppure il minor carico idrico dei rifugi rispetto ad altre utenze domestiche. Risulta chiaro che non vi sarebbe motivo di presumere un maggior carico inquinante da parte dei rifugi, bensì come precedentemente discusso, gli apporti idrici unitari reali dei rifugi risultano inferiori anche di 4 volte rispetto ai valori presi come riferimento per le utenze domestiche.

E' bene sottolineare che i valori del Rifugio Buzzoni possono essere soggetti ad errori derivanti dal metodo di campionamento e sono quindi stati riportati per apprezzare le differenze rispetto ad altre concentrazioni tipiche. Inoltre, i valori di concentrazione si riferiscono al refluo totale in entrata al sistema di depurazione.

In generale, si possono infatti distinguere due tipologie di acque provenienti dalle utenze: le *acque grigie* e le *acque nere*.

Le acque grigie, chiamate anche acque di lavaggio, solitamente includono le acque provenienti dai lavelli delle cucine, dalle lavastoviglie, dalle lavatrici, dai lavandini e dalle docce; le acque nere sono quelle che provengono essenzialmente dalle toilette.

Le acque grigie costituiscono un'elevata frazione delle acque reflue domestiche complessive, ma la loro concentrazione di inquinanti è inferiore a quello delle acque nere, sia con riferimento alle caratteristiche chimiche che a quelle microbiologiche.

La percentuale di acque nere varia dal 25% al 35% del volume totale delle acque domestiche [5] [6], facendo quindi attestare tra il 65% ed il 75% la quota parte delle acque grigie.

Vengono riportati in Tabella 11 gli apporti unitari medi giornalieri tipici delle due tipologie di acque domestiche [6]. Sono successivamente state calcolate le rispettive concentrazioni, riferite ad un apporto idraulico giornaliero medio complessivo di 50 l/(ab*d), di cui il 30% di acque nere ed il 70% di acque grigie.

Tabella 11 - Apporti unitari e concentrazioni nelle acque grigie e nelle acque nere

Parametro	**Apporti unitari (g/ab*d)**			**Concentrazioni (mg/l)**		
	Acque grigie	**Acque nere**	**TOT**	**Acque grigie Q_{ab}=35 l/(ab*d)**	**Acque nere Q_{ab}=15 l/(ab*d)**	**TOT Q_{ab}=50 l/(ab*d)**
BOD_5	25	30	55	714	2000	1100
COD	48	72	120	1371	4800	2400
TSS	18	52	70	514	3467	1400
P Tot	0.5	1.6	2.1	14	107	42
TKN	1.1	11	12.1	31	733	242

Si notino le concentrazioni assai più ridotte delle acque grigie, soprattutto in riferimento all'azoto in quanto per lo più presente nei reflui a casa del metabolismo umano. I dati relativi alle acque grigie (elevati apporti idrici unitari, bassi apporti relativi di BOD_5 e soprattutto basso apporto di azoto) mettono in evidenza la più facile trattabilità di quest'acqua e il suo potenziale riuso.

2.3 Fattori che influenzano la gestione in ambienti di alta montagna

La gestione e il trattamento delle acque reflue in ambienti montani dipendono fortemente da aspetti molto spesso trascurabili o non presenti nella depurazione per le zone a valle. Tali fattori possono riassumersi in: raggiungibilità del sito, periodi gestionali, approvvigionamento idrico, approvvigionamento energetico e temperatura.

Questi sono in genere fattori dipendenti dall'altitudine del sito, ed ogni rifugio risente di questi aspetti in modo diverso e specifico: verranno, pertanto, approfonditi di seguito.

2.3.1 Raggiungibilità del sito

La raggiungibilità dell'edificio influenza direttamente il numero delle utenze, le modalità di rifornimento e di smaltimento come pure la costruzione e l'esercizio di impianti di trattamento. Se l'edificio è facilmente raggiungibile, per esempio tramite automezzi, si rende eventualmente superfluo il trattamento dei fanghi sul posto, pompandoli in un'autocisterna autorizzata che li trasporta a valle. Se il rifugio è raggiungibile soltanto tramite un sentiero, trasporti di ridotta entità possono essere effettuati tramite una eventuale teleferica esistente, piuttosto che da mezzi di ridotte dimensioni se il sentiero lo permette. Per rifornimenti/smaltimenti di maggiore entità si rende invece necessario il trasporto tramite elicottero, molto oneroso per la gestione.

Minore è la quota in cui si colloca il rifugio, solitamente più confortevole è la raggiungibilità del sito. Nel caso estremo in cui la localizzazione del rifugio fosse talmente favorevole da permettere l'allacciamento della struttura al sistema fognario, le acque reflue verrebbero direttamente trattate in un depuratore a valle, sollevando i proprietari del rifugio dall'eventuale gestione e trattamento in loco.

La classica decentrazione dei rifugi alpini rispetto a centri abitati, altre utenze e luoghi di servizio, porterebbe a suggerire l'utilizzo di tecnologie depurative semplici, in modo tale da essere quanto più svincolati da una manodopera altamente specializzata e da trasporti e costi ad essa connessi. Inoltre, oltre alla manodopera, la raggiungibilità del sito incide pesantemente sull'installazione dell'impianto depurativo.

2.3.2 Periodi gestionali

Riguardo alla problematica della gestione stagionale di un edificio, è da tenere in considerazione la durata delle pause ed una possibile gestione invernale. Normalmente i rifugi montani sono aperti al pubblico nei mesi estivi, ma è possibile che lo siano anche nei week-end dei restanti mesi dell'anno o addirittura in tutte le stagioni. Se l'edificio viene gestito anche durante l'inverno, l'impianto di trattamento dovrebbe essere accessibile malgrado l'eventuale presenza di neve: ciò significa che esso deve essere coperto o trovarsi all'interno di un edificio.

Se le pause di gestione hanno una lunga durata, ad esempio nei mesi autunnali ed invernali, anche gli impianti di depurazione devono essere messi fuori esercizio e successivamente rimessi in funzione. Come verrà illustrato nel Capitolo 3 del presente documento, i trattamenti depurativi biologici necessitano di specifiche tempistiche di avvio per il loro funzionamento a regime, e si può affermare che un funzionamento continuo dell'impianto porti nel complesso a maggiori rese depurative, in quanto si mantiene costante il tasso di crescita dei microorganismi responsabili della degradazione. Nel caso in cui la biomassa non venisse alimentata dai reflui in ingresso nell'impianto di trattamento per un certo periodo, i rendimenti di depurazione diminuirebbero fino ad arrivare alla totale scomparsa dei batteri.

La scelta del sistema ottimale di depurazione, dunque, deve tener conto del periodo di apertura della struttura: la soluzione adottata per un rifugio aperto tutto l'anno sarà diversa rispetto a quella per un rifugio custodito aperto pochi mesi all'anno

2.3.3 Approvvigionamento idrico e portata delle acque reflue

Il sistema di trattamento dei reflui deve tener conto dell'andamento incostante nella produzione dei reflui: sono infatti presenti importanti variazioni di portata tra i giorni feriali della settimana e quelli del weekend ed inoltre, tra estate e inverno per i rifugi aperti tutto l'anno. Tanto è maggiore il consumo idrico nel rifugio, tanto più grande deve essere il sistema di trattamento delle acque reflue e, a differenza degli impianti di depurazione urbani, sono presenti variazioni di carico molto marcate.

Come precedentemente riportato, la portata idraulica massima di un edificio alpino dipende dalla tipologia di strutture sanitarie presenti e soprattutto dalla modalità di rifornimento idrico: viene frequentemente usata acqua piovana, di fusione delle nevi o di

sorgente per un consumo idrico limitato. L'approvvigionamento infatti non sempre risulta abbondante e la scarsità della risorsa può risultare determinante per la sua gestione. Dato che il carico inquinante non si riduce in modo analogo al consumo d'acqua, si riscontrano concentrazioni notevolmente superiori a quelle riscontrabili in acque reflue domestiche in zone vallive.

La differenza quantitativa e qualitativa precedentemente illustrata tra acque grigie e acque nere può portare poi a differenti scelte impiantistiche: in base alla portata delle due tipologie di refluo si può optare per differenziare le due diverse linee, viste le più modeste concentrazioni ma maggiori quantità delle acque grigie rispetto a quelle nere.

Le acque grigie potrebbero quindi essere trattate tramite processi meno spinti, riducendo i problemi legati ai picchi di carico, con conseguenti giovamenti dal punto di vista gestionale ed economico. In alternativa, le due tipologie possono essere trattate come unico scarico.

2.3.4 Approvvigionamento energetico

L'approvvigionamento energetico è fondamentale per la scelta del sistema di depurazione, in quanto l'utilizzo di alcuni sistemi di trattamento presuppone un'alimentazione sufficiente e continua di energia elettrica. La possibilità di un adeguato rifornimento energetico dell'impianto di depurazione dipende dal progetto energetico generale dell'edificio alpino, che a sua volta è profondamente legato alla collocazione e all'altitudine del sito.

I principali utilizzi energetici negli impianti di depurazione riguardano il funzionamento degli organi di movimentazione del refluo, la movimentazione di eventuali parti meccaniche, l'eventuale insufflazione di aria e, soprattutto, la fornitura di calore per mantenere l'ambiente depurativo ad una certa temperatura. Qualora esista un allacciamento alla rete elettrica non sussistono particolari problematiche legate all'approvvigionamento, in quanto l'unico aspetto da tenere in considerazione è quello dei consumi, legati ai costi di gestione del rifugio.

Tipiche fonti di approvvigionamento di energia per i rifugi montani possono essere delle piccole centrali idroelettriche poste in prossimità del sito, lo sfruttamento del cosiddetto mini-eolico ed infine l'utilizzo di pannelli fotovoltaici, ormai molto diffusi. Bisogna tenere in considerazione, oltre al costo d'installazione non indifferente, la variabilità

intrinseca della risorsa energetica rinnovabile. Solitamente, infatti, molti rifugi affiancano all'approvvigionamento da fonti rinnovabili l'utilizzo di generatori a combustione interna, per tamponare i picchi di richiesta energetica non soddisfabili esclusivamente dal rinnovabile. È ovviamente da evitare l'installazione di un rifornimento elettrico proprio per il solo depuratore attraverso l'installazione di un motore a combustione interna, in quanto graverebbe sull'impatto ambientale del rifugio, la cui depurazione delle acque reflue ha come principale scopo quello di ridurlo.

L'assenza di consumi energetici può essere conseguita solamente attraverso trattamenti puramente meccanici e biologici estensivi, con alimentazione dell'impianto a gravità senza necessità di pompaggio. Un eventuale surplus energetico può invece essere utilizzato per incrementare la temperatura dell'acqua, come pure per migliorare la stabilizzazione dei fanghi ed il rendimento dell'impianto.

La richiesta energetica per il funzionamento di un impianto di depurazione è sempre un fattore discriminante per la sua scelta, a maggior ragione in contesti di alta montagna, dove questa risorsa scarseggia ed è spesso solamente sufficiente per garantire l'illuminazione dei locali ed il funzionamento degli elettrodomestici basilari.

2.3.5 Temperatura

Il freddo costituisce il problema principale per la depurazione ad alte quote, in quanto ostacola il funzionamento di un sistema di depurazione biologico, ostacolando o perfino impedendo la vita degli organismi responsabili della depurazione. In particolare, la maggior parte dei trattamenti, per essere efficace ad alte quote, deve essere protetta mediante strutture chiuse ben coibentate, alloggiate in appositi locali termici o interrate ad adeguate profondità quando possibile, in modo tale da assicurarne la protezione contro la rigidità dei climi invernali ed evitare la formazione di ghiaccio.

Per quanto riguarda l'attività dei microorganismi, la temperatura ottimale si aggira tra i 20°C – 35°C: una sua diminuzione influenza il metabolismo della biomassa e la rimozione dei contaminanti dal refluo.

Nello specifico, le basse temperature causano modifiche alle membrane cellulari, facendo diminuire la propria permeabilità nei confronti delle sostanze nutritive [13]. Non solo vengono alterate le caratteristiche fisiologiche, ma anche il tasso di crescita e l'attività.

Il tasso specifico di crescita dei microorganismi μ (d^{-1}), che restituisce un'indicazione dell'andamento della crescita in una popolazione batterica, in media si dimezza ogni riduzione di temperatura pari a 10°C, con un conseguente deterioramento della qualità dell'effluente depurato. Anche l'attività dei batteri viene compromessa, con una riduzione del 50% ogni decremento di temperatura pari a 10°C [14].

Le cinetiche delle reazioni biologiche che avvengono nella depurazione delle acque reflue sono generalmente espresse tramite l'equazione di Arrhenius semplificata:

$$K_T = k \cdot \theta^{(T-20)}$$

In cui

- K_T è la costante cinetica di reazione alla temperatura T, che compare nell'equazione di rimozione del BOD, riportata nel Paragrafo 2.1.2
- k è la costante cinetica a 20°C, pari a 0.23 per liquami domestici
- θ è la costante sperimentale di temperatura, che tiene conto dell'attività microbica.
- T è la temperatura, espressa in °C.

La temperatura, dunque, entra in gioco direttamente nella determinazione della costante cinetica di reazione, ma anche nella costante sperimentale θ. Essa dipende dalla famiglia batterica considerata e il suo valore decresce al diminuire della temperatura [15].

Sono specialmente i batteri che si occupano della rimozione delle sostanze azotate a soffrire maggiormente delle basse temperature, con la conseguenza di basse rese di depurazione. Ad una temperatura di 12°C il tasso di nitrificazione è ridotto al 50% rispetto al range ottimale di temperatura (15°C – 35°C), mentre a 5°C il tasso di nitrificazione si riduce del 100% [16].

Anche il processo di sedimentazione dei fanghi risulta rallentato dalle basse temperature, in quanto con l'aumentare della viscosità del refluo si riduce la velocità di sedimentazione dei fiocchi di fango [17].Si può affermare che al di sotto dei 4°C la depurazione biologica da parte dei microorganismi sia inesistente, anche facendo riferimento a nuove tecniche di trattamento, come quella dei fanghi aerobici granulari [18]. Per temperature maggiori ai 4°C, è possibile ottenere rese di depurazione apprezzabili andando ad agire su altre variabili che entrano in gioco nel processo depurativo, come l'aumento del *tempo di residenza* dell'acqua reflua o della concentrazione di ossigeno disciolto.

Miglioramenti nelle rese di depurazione a basse temperature possono avvenire anche mediante l'aggiunta diretta di colture batteriche nel refluo (*Bioagumentation*) o mediante l'uso di tecnologie basate sul *biofilm* [14], tecniche descritte nel Capitolo 3.

2.4 Normativa di riferimento

Gli scarichi idrici sono disciplinati a livello nazionale dal D.Lgs. 3 aprile 2006 n.152 [1]. Secondo quanto prescrive tale decreto, tutti gli scarichi devono essere preventivamente autorizzati, ad eccezione degli scarichi di acque reflue domestiche (di cui fanno parte anche quelle prodotte nei rifugi) in reti fognarie, che sono sempre ammessi nell'osservanza dei regolamenti fissati dal gestore del servizio idrico integrato territoriale e per cui va fatta domanda di allacciamento.

Il Testo Unico Ambientale riguarda anche le disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento, permette lo scarico sul suolo o negli strati superficiali nel caso di nuclei abitativi isolati, ovvero laddove la realizzazione di una rete fognaria non sia giustificata o perché non presenterebbe vantaggi dal punto di vista ambientale o perché comporterebbe costi eccessivi; questo risulta essere il tipico scenario di un rifugio montano isolato.

In Piemonte, regione in cui si concentra lo studio effettuato, la Legge Regionale n.48 del 17 novembre 1993 [19] identifica le competenze degli scarichi. Nello specifico è il Comune che rilascia le autorizzazioni agli scarichi civili non allacciabili alla pubblica fognatura. Si tratta degli scarichi domestici e assimilati recapitanti in corpi idrici superficiali, suolo e strati superficiali del sottosuolo provenienti da:

- Insediamenti adibiti ad abitazione;
- Insediamenti adibiti allo svolgimento di attività alberghiera, turistica, sportiva, ricreativa, culturale, scolastica e commerciale. In questo elenco rientrano, ovviamente, i rifugi alpini.

Nella richiesta di autorizzazione vanno forniti: generalità del titolare dello scarico (che coincide con la proprietà del rifugio), dati di identificazione dell'insediamento e descrizione dell'impianto di trattamento.

Spettano inoltre ai Comuni di competenza le funzioni amministrative in tema di rilevamento, disciplina e controllo degli scarichi.

Le autorizzazioni allo scarico si intendono, in accordo con la Legge Regionale n.6 del 7 aprile 2003 [20], tacitamente rinnovate ogni quattro anni decorrenti dalla data del rilascio, se non sono intervenute modifiche.

Il Decreto del Presidente della Giunta Regionale n.1/R dell'11 marzo 2011 [3], definisce i requisiti tecnico-edilizi ed igienico-sanitari occorrenti al funzionamento delle strutture ricettive alpinistiche; in particolare nella Parte 1 dell'Allegato A viene riportata l'esigenza di possedere *nei casi in cui la zona non sia servita da pubblica fognatura, adeguati impianti di trattamento delle acque reflue, quali fosse settiche o sistemi alternativi in relazione alla presenza o meno a valle di opere di captazione ad uso civile, della natura geologica dei luoghi, della difficoltà dell'opera e del flusso turistico che insiste sul rifugio.*

Mentre nella Parte 2, riguardante i requisiti di sostenibilità ambientale, viene prescritta l'*installazione di un degrassatore/disoleatore a monte del sistema di trattamento delle acque reflue per gli scarichi provenienti dalla cucina. I grassi accumulati sono smaltiti come rifiuti speciali.*

I valori di concentrazione limite allo scarico urbano sono definiti a livello nazionale dal Testo Unico Ambientale [1], rispettivamente per valori limiti di emissione in acque superficiali ed in fognatura nella Parte Terza, Allegato 5, Tabella 1 e 2, mentre per i valori limiti di emissione sul suolo nella Parte Terza, Allegato 5, Tabella 4. Queste tabelle, però, si riferiscono ad impianti di trattamento delle acque reflue urbane aventi una potenzialità superiore o uguale ai 2000 Abitanti Equivalenti.

La disciplina degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane aventi una potenzialità inferiore ai 2000 Abitanti Equivalenti, casistica in cui sicuramente fanno parte tutti i rifugi montani, è meramente eventuale e di competenza regionale.

Per quanto attiene invece agli agglomerati con popolazione equivalente compresa tra 50 e 2000 A.E., il punto 3 dell'Allegato 5 si limita ad affermare che *si ritiene auspicabile il ricorso a tecnologie di depurazione naturale quali il lagunaggio o la fitodepurazione, o tecnologie come i filtri percolatori o impianti ad ossidazione totale. Peraltro, tali trattamenti possono essere considerati adatti se opportunamente dimensionati, …, anche per tutti gli agglomerati in cui la popolazione equivalente fluttuante sia superiore al 30% della popolazione residente e laddove le caratteristiche territoriali e climatiche lo consentano.*

La Regione Piemonte, a differenza di molte altre Regioni come ad esempio Lombardia [4] [11], Friuli [21], Liguria [22], Emilia Romagna [23], Toscana [24] , Lazio [25], Umbria [26], o Puglia [27], non presenta specifiche linee guida redatte dall' Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale sulla gestione e trattamento di acque reflue domestiche o urbane prodotte da insediamenti minori di 2000 A.E. o addirittura minori di 50 A.E.

Si evidenzia che, oltre alla mancanza di linee guida, l'ultima normativa regionale in materia di scarichi risale al 2003 [20].

Per quanto riguarda i fanghi, essi sono definiti dal D.Lgs 152/2006 come *i fanghi residui, trattati o non trattati, provenienti dagli impianti di trattamento delle acque reflue urbane,* e *sono sottoposti alla disciplina dei rifiuti* (con codice CER 19 08 05), *ove applicabile e alla fine del complessivo processo di trattamento di depurazione. I fanghi devono essere riutilizzati ogni qualvolta il loro impiego risulti appropriato.* [1]

Il Regolamento dell'Autorità d'ambito Torinese A.T.O. 3 del 30 maggio 2005, riguardante i fanghi di utenze che scaricano le acque reflue domestiche in sistemi di raccolta individuali, richiama l'obbligo *di provvedere periodicamente (almeno una volta l'anno) a prelevare i fanghi raccolti nel suddetto sistema individuale e a smaltirli. Le operazioni di prelievo dei fanghi sono svolte a cura e a carico dell'Utente tramite trasportatori privati autorizzati, individuati dall'Utente stesso, e richiedono la compilazione del formulario previsto dalla normativa in materia di rifiuti.* [28]

Infine, la recente Delibera della Giunta Regionale n.13-1669 del 17 luglio 2020 [29], riguardante l'adeguamento della pianificazione regionale all'evoluzione normativa dei fanghi e alle migliori tecnologie disponibili, si pone come obiettivo di *comporre un quadro quantitativo e qualitativo dei fanghi prodotti, per individuare le possibili destinazioni di recupero (di materia e/o energetico) improntato ai principi di tutela ambientale, di prossimità della gestione e di diversificazione delle destinazioni in un'ottica di autosufficienza regionale a costi sostenibili*.

3 Trattamenti depurativi per rifugi alpini

Per avere un'idea del numero di impianti di trattamento presenti in Regione Piemonte è utile far riferimento alla Relazione dell'Osservatorio regionale dei servizi idrici integrati riferita all'anno 2019 [30]. Il documento distingue i grandi impianti dai piccoli in base al numero di abitanti equivalenti serviti, rispettivamente più di 2000 e meno di 2000. Esistono 171 grossi impianti che servono un totale di 5.576.662 abitanti equivalenti e 2.656 piccoli impianti che servono un totale di 417.216 abitanti equivalenti, di cui fanno parte gli impianti autorizzati presenti nei rifugi alpini. La maggior parte del volume dei reflui piemontesi (il 93%) viene dunque trattata in grossi impianti (6% degli impianti esistenti), mentre i restanti impianti (il 94%) trattano solamente il 7% dei reflui. Tale suddivisione viene rappresentata in Figura 3.

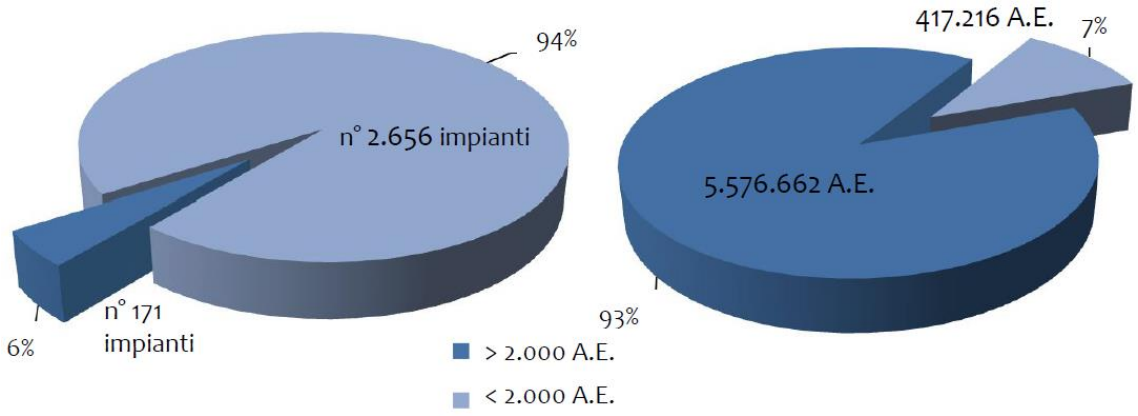


Figura 3 - Numero di impianti e abitanti equivalenti serviti per tipologia di impianto (< 2000 A.E. e > 2000 A.E.) in Piemonte

Le particolari condizioni climatiche e la fragilità degli ecosistemi montani richiedono un'attenzione particolare per minimizzare l'impatto umano sull'ambiente. Ogni rifugio ha una propria situazione specifica con differenti problematiche, e per quanto riguarda il trattamento dei reflui la soluzione ottimale, raramente possibile, consiste nell'allacciare il rifugio alla rete fognaria pubblica, servita al suo termine da appositi impianti di trattamento che permettono di riconsegnare in ambiente il refluo depurato maggiormente rispetto a quanto ottenibile da sistemi di trattamento privati.

Qualora l'allacciamento alla rete fognaria non sia possibile, ovvero nella stragrande maggioranza dei casi, si devono prevedere una serie di trattamenti depurativi in situ, preferibilmente a più stradi, che portino ad avere uno scarico che rispetti i limiti imposti dalla legge e non produca inquinamento ambientale.

In generale, il processo di depurazione ha tre obiettivi fondamentali: la separazione di grassi, oli e tensioattivi, la separazione dei solidi e la riduzione del carico organico ed azotato.

I trattamenti applicabili agli scarichi si distinguono in:

1. *Pre-trattamenti*: una serie di processi fisico/meccanici che vengono applicati prima del trattamento dello scarico vero e proprio. Servono alla separazione di materiali presenti nel refluo che possono comportare problematiche ai successivi stadi di trattamento;
2. *Trattamenti primari*: processi volti soprattutto alla rimozione dei solidi sedimentabili;
3. *Trattamenti secondari*: processi collocati a valle dei primari e volti alla rimozione del carico organico ed eventualmente dei nutrienti (azoto e fosforo);
4. *Disinfezione*: processi attuati al fine di ridurre o rimuovere gli agenti patogeni presenti nel refluo.

Di seguito verranno illustrate e descritte le principali metodologie di trattamento attuabili in particolari utenze come i rifugi montani, sulla base delle loro condizioni d'applicazione, di gestione e delle rese depurative raggiungibili.

3.1 Pre-trattamenti

Dei trattamenti preliminari ideali per una piccola utenza come un rifugio, fanno parte l'utilizzo di degrassatori o disoleatori, i processi di grigliatura fine o grossolana ed infine la cosiddetta *Bioagumentation*, ovvero l'aggiunta artificiale di attivatori biologici nel refluo, in maniera da efficientare il processo di degradazione biologica.

3.1.1 Degrassatori

Un degrassatore, rappresentato schematicamente in Figura 4, è in generale costituito da una vasca che può essere dotata di uno o due setti che la suddividono in comparti differenti, al fine di smorzare la turbolenza del flusso in arrivo, separare per differenza di peso specifico grassi ed oli (per flottazione) ed eventuale materiale grossolano (per sedimentazione) ed infine far defluire l'acqua degrassata. L'installazione di un degrassatore direttamente a valle degli scarichi da cucina dei rifugi rappresenta una scelta vantaggiosa e non troppo complessa nel suo impiego, oltre ad essere uno dei pochi punti espliciti previsti dalla normativa regionale [3].

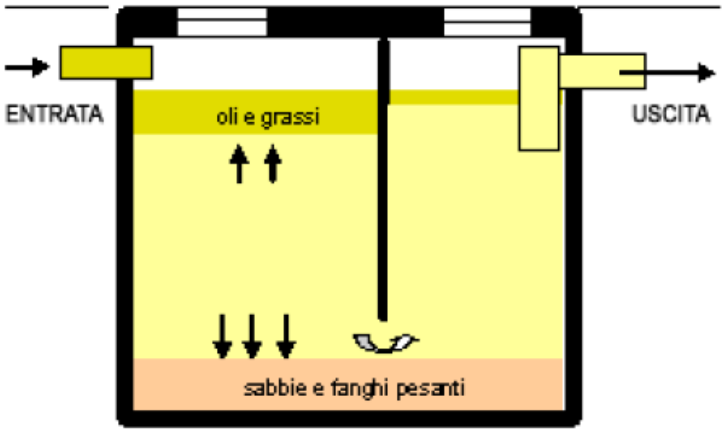


Figura 4 - Schema di funzionamento di un degrassatore [23].

Dato che la temperatura influenza sensibilmente il funzionamento dell'apparecchio, è bene che essa non superi i 30°C: la separazione a gravità ha infatti i suoi maggiori rendimenti (anche l'80%) soltanto quando la temperatura nello scomparto di separazione è inferiore al punto di solidificazione dei grassi, cioè a circa 20°C.

I disoleatori vengono dimensionati in funzione degli abitanti equivalenti serviti; in Tabella 12 vengono riportati i criteri presenti nelle linee guida realizzate dall'ARPA Lombardia.

Tabella 12 - Criteri di dimensionamento degrassatori [11]

Abitanti Equivalenti	**Volume degrassatore (l)**
1-5	250
6-7	350
8-10	550
11-15	1000
16-20	1730
21-35	2500
36-50	3500
80-100	4900

Un altro parametro dimensionale è il tempo di residenza idraulico o tempo di detenzione, ovvero il tempo idoneo a consentire la separazione, da valutarsi sulla portata media e di punta. Un valore ottimale del volume del degrassatore può essere quello ottenuto dalla portata media moltiplicata per un tempo di 15 minuti, che non deve scendere oltre al valore di portata di punta moltiplicato per un tempo di 3 minuti [23].

Le principali operazioni da effettuare per garantire il corretto funzionamento dell'apparecchio sono:

- Verifica periodica che nessun corpo grossolano ostruisca l'ingresso dei liquami o l'uscita delle acque depurate;
- Verifica periodica che lo strato di eventuali solidi decantati nel degrassatore non superi il livello del fondo del tubo di uscita;
- Prelievo periodico (circa una volta ogni 3 mesi) dei grassi presenti in superficie e dei fanghi sul fondo. I grassi raccolti sono poi da smaltire come rifuti.

Esistono vari tipi di degrassatori, da interro o da installare direttamente sotto al lavello. Per questi ultimi occorre far particolare attenzione alla turbolenza dell'acqua che non deve essere eccessiva per evitare di vanificarne l'effetto, ed al fatto che necessitano di pulizia più frequente.

3.1.2 Grigliatura

I processi di grigliatura sono tipici pretrattamenti eseguiti facendo passare l'acqua reflua attraverso una griglia che serve a trattenere dal flusso i materiali solidi di dimensione maggiore rispetto alle aperture presenti; i materiali trattenuti infatti, se non rimossi potrebbero intasare e creare malfunzionamenti al resto dell'impianto di depurazione. La grigliatura è definita grossolana quando i fori hanno dimensione maggiore di 3 cm, è definita fine per dimensioni comprese tra 0.8 cm e 3 cm. Rispetto al grigliato grossolano, quello fine possiede un peso specifico minore ma un contenuto maggiore di umidità (fino al 90%) [5] e può contenere materia putrescibile, grassi e schiume che causano odori molto forti.

La quantità di materiale raccolto dalle griglie è molto variabile e può consistere in residui di cibo, solidi grossolani di varia natura, carta igienica e materiali che non dovrebbero essere gettati negli scarichi come stracci, cotton-fioc, assorbenti ed altri prodotti per l'igiene personale. L'asporto del materiale trattenuto dalle griglie può essere eseguito in modo manuale o automatico in funzione della tipologia della griglia; solitamente la grigliatura fine prevede una rimozione automatica.

Esistono dei dispositivi che effettuano una micro-grigliatura, come i filtri a coclea: consistono in una vite senza fine inclinata ed immersa nel refluo da trattare, avvolta da una griglia cilindrica le cui aperture hanno dimensione prossime al millimetro. Il liquido viene sollevato ed esce dalla griglia, mentre il materiale solido raccolto viene depositato e compattato.

3.1.3 Bioagumentation

Per *bioagumentation* o (bioattivazione) si intende l'aggiunta manuale di miscele di microorganismi ed enzimi selezionati direttamente nello scarico, volta a promuovere ed accelerare il tasso di degradazione dei contaminanti da parte delle colonie batteriche presenti. Questa tecnica può risultare di grande aiuto nei rifugi alpini, in cui solitamente il trattamento biologico è rallentato o inibito dalle basse temperature; i bioattivatori possono infatti compensare le basse rese depurative della rimozione sia della sostanza organica che dell'azoto [14]. Sono state dimostrate ottime rese di rimozione del COD (83% - 90%) per trattamenti biologici di acque reflue domestiche a temperature comprese tra i 4°C e il 10°C [32].

La somministrazione degli attivatori biologici può avvenire tramite soluzioni liquide, polveri o pastiglie solubili direttamente negli scarichi delle toilette o nelle vasche di trattamento. Alcuni bioattivatori hanno anche l'effetto di eliminare i cattivi odori provenienti dalle vasche in cui avviene la degradazione e di rimuovere eventuali accumuli di materia solida che potrebbero ostruire le tubazioni dell'impianto; il loro utilizzo comporta in molti casi un minor numero di pulizie e di asporto dei fanghi dalle vasche di sedimentazione.

In seguito all'aggiunta di colonie batteriche nel refluo le rese di depurazione aumentano significativamente, ma è necessaria una somministrazione periodica affinché i miglioramenti non si verifichino solo per breve tempo, specie a basse temperature [14]. Un aspetto negativo di tale tecnica è infatti il costo dei bioattivatori, che può non essere trascurabile per la gestione di un rifugio.

Figura 5 - Esempio di bioattivatori

3.2 Trattamenti primari

I trattamenti primari hanno come scopo principale quello di separare per decantazione i solidi sospesi e ridurre così parte del carico inquinante contenuto nell'acqua reflua. Per giungere ad un processo di sedimentazione, come avviene anche in impianti di dimensione maggiore, sono necessarie delle vasche in cui il refluo possa trovarsi in condizione di quiete per uno specifico tempo. Nei piccoli impianti di depurazione è solito ritrovare due tipologie di vasche, ovvero le vasche settiche e le vasche Imhoff.

3.2.1 Fosse settiche

Le fosse settiche costituiscono uno dei più antichi impianti di depurazione biologica di liquami domestici, in quanto il loro utilizzo data ormai largamente più di un secolo. Si tratta di una vasca interrata suddivisa in più camere, in cui avvengono la separazione dei solidi sedimentabili, delle sabbie, degli oli e dei grassi presenti in un'unica operazione. Lo schema di funzionamento di una fossa settica è riportato in Figura 6.

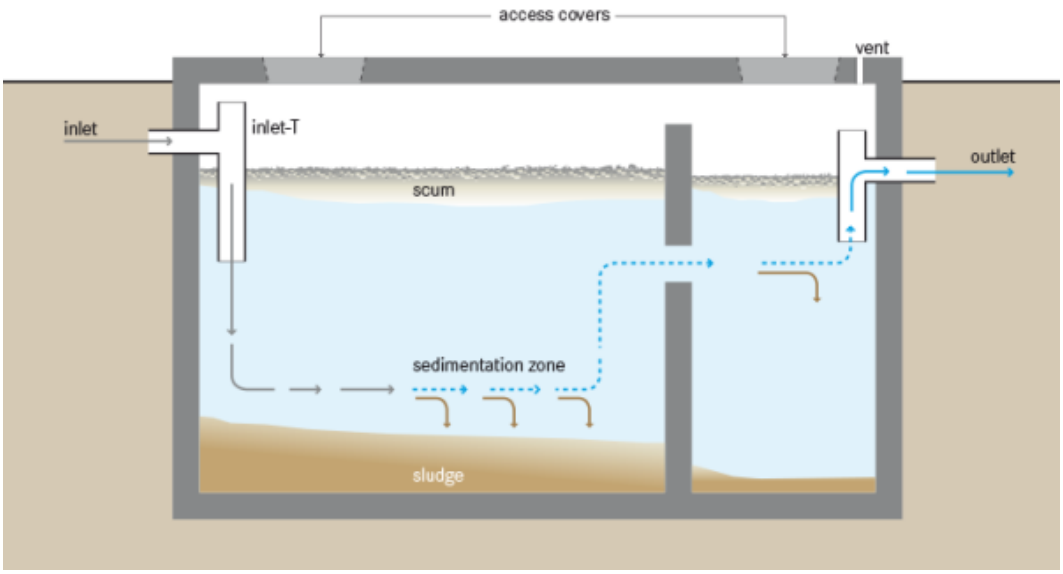


Figura 6 - Fossa settica

All'interno di queste vasche prendono piede processi di fermentazione anaerobica e per questo motivo le fosse settiche sono chiamate anche "fosse biologiche". Si tratta di effetti depurativi piuttosto limitati e parziali, con rese di rimozione dei solidi sospesi e del BOD_5 pari rispettivamente a circa il 40% e il 20% [32]; tali valori possono ridursi notevolmente se non viene attuata un'adeguata manutenzione e non si verificano condizioni ottimali di funzionamento, tra cui una temperatura intorno ai 20°C. Inoltre, i rendimenti sono tanto più elevati quanto maggiore è il volume delle vasche e maggiore il grado di compartimentazione.

I liquami in uscita dalle fosse settiche, seppur dotati di una minore concentrazione di sostanze organiche, si trovano in condizioni di elevata setticità (cioè mancanza di ossigeno), ben peggiori che all'ingresso delle fosse e, quindi, in brevissimo tempo assorbono grandi quantità di ossigeno nell'eventuale corpo d'acqua recettore.

Il fango sedimentato ed estratto è anch'esso caratterizzato da odori molesti e normalmente sarebbe da prevedere un'ispezione ogni mese.

Le vasche settiche non sono più accettabili come trattamento autonomo per nuove installazioni dal 1977 [33] ma permangono in uso per installazioni esistenti a servizio di locali isolati, entrando in funzione come pre-trattamento a monte di sistemi di trattamento naturali, dati i fenomeni di parziale solubilizzazione dei solidi sospesi non sedimentabili indotti dalle trasformazioni anaerobiche.

3.2.2 Vasche Imhoff

Le vasche Imhoff costituiscono un esempio di impianto compatto di tipo combinato nella depurazione delle acque. Nel passato hanno trovato vaste applicazioni anche per le grandi comunità, attualmente sono invece applicate soprattutto per le piccole comunità, andando a sostituire le fosse settiche. Lo schema di funzionamento di una fossa Imhoff (Figura 7) prevede due comparti: uno superiore di sedimentazione dei solidi sospesi ed uno inferiore di accumulo e digestione anaerobica dei fanghi sedimentati. I solidi sedimentabili presenti nei liquami, catturati nel comparto di sedimentazione superiore, scendono attraverso apposite fessure di comunicazione nel comparto inferiore, che consentono ai gas che si liberano dalla fermentazione anaerobica (principalmente CO_2 e CH_4) di allontanarsi senza interferire col processo di sedimentazione.

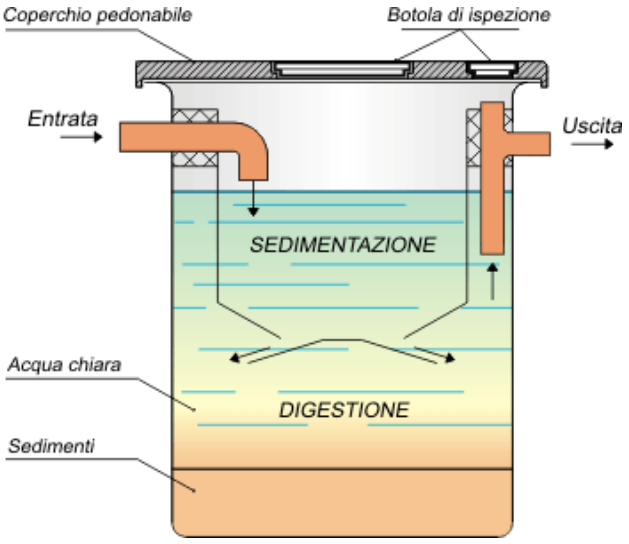


Figura 7 - Fossa Imhoff [34]

A monte delle fosse Imhoff è bene che siano presenti dei trattamenti preliminari che rimuovano materiali grossolani che potrebbero intasare i comparti della vasca. A differenza di quanto avviene nelle fosse settiche, i liquami che attraversano le vasche Imhoff escono chiarificati ma allo stato fresco, senza cioè che si siano determinati fenomeni putrefattivi e dunque con odori meno pungenti; i tempi di residenza del refluo sono infatti minori rispetto a quelli previsti per le fosse settiche.

Nelle seguenti Tabella 13 e Tabella 14 vengono riportati rispettivamente i criteri di dimensionamento e le rese depurative medie per le fosse Imhoff, confrontate con quelle delle fosse settiche: si noti che i rendimenti di queste ultime risultano maggiori.

Tabella 13 - Criteri di dimensionamento di una fossa Imhoff [24] [34]

Potenzialità	**< 50 A.E.**	**50 – 250 A.E.**
Scomparto di sedimentazione		
Tempo di residenza (h)	8 - 10	6
Volume unitario (l/A.E.)	60	40
Volume totale (l)	≥ 300	≥ 3000
Scomparto di digestione		
Volume unitario (l/A.E.)	100 – 200(*)	90

(*) Rispettivamente nel caso di uno o due spurghi all'anno.

Tabella 14 - Rese di depurazione per fosse settiche ed Imhoff [4] [34]

	Rese depurative (%)	
Parametro	**Fossa settica**	**Fossa Imhoff**
BOD_5, COD	20-55	25-30
TSS	48-90	50-60
Solidi sedimentabili	92-100	80-90
N_{TOT}, P_{TOT}	-	5-10
Batteri	25-60	25-50

Le fosse Imhoff sono state sconsigliate dallo stesso ideatore [35] per un numero di abitanti equivalenti inferiore a 30-50, in quanto le punte di portata di utenze più piccole potrebbero creare problemi nella fase di sedimentazione, raccomandando l'utilizzo delle fosse settiche. In luce del fatto che la normativa italiana vieta l'installazione di nuove fosse settiche ma i regolamenti regionali ne promuovono il loro utilizzo o quello di sistemi alternativi, le fosse Imhoff risultano la soluzione impiantistica più utilizzata per piccole utenze, efficaci se seguite da trattamenti secondari naturali come fitodepurazione o dispersione nel terreno per subirrigazione. L'effluente di una vasca Imhoff contiene ancora solidi colloidali e disciolti e le sue caratteristiche possono essere equiparate, nei casi più favorevoli, a quelle di un effluente di sedimentazione primaria.

L'ubicazione esterna delle fosse Imhoff deve risultare a distanza maggiore di 1 metro dalle fondazioni e 10 metri da qualsiasi manufatto destinato all'acqua potabile. I materiali utilizzati sono la vetroresina, il polietilene o il calcestruzzo, ossia materiali resistenti e durevoli nel tempo che ne assicurano la tenuta per scongiurare perdite di liquami. Le acque meteoriche, infine, non devono essere convogliate nelle vasche Imhoff, poiché si andrebbe incontro ad un aumento di acqua parzialmente depurata dispersa in ambiente.

Come riportato nel Paragrafo 2.3.5, il freddo impedisce il corretto funzionamento di questi impianti, in quanto rallenta il processo di digestione dei fanghi, fino al completo gelo del materiale sedimentato. Per questo motivo è consigliabile coibentare la vasca interrata o posizionarla in un ambiente chiuso ad adeguata temperatura. Inoltre, per evitare l'intasamento delle vasche è auspicabile l'utilizzo di detersivi biodegradabili ed evitare prodotti come la candeggina o disinfettanti che rallentano sensibilmente l'attività batterica.

L'unico onere di gestione delle fosse Imhoff consiste nella rimozione del materiale aderente alle pareti e dei fanghi mineralizzati al fondo della vasca una o due volte l'anno, lasciando parte dei fanghi ancora vitali per fungere da inoculo per il successivo processo depurativo. In assenza di un degrassatore, inoltre, è da intensificare la rimozione manuale periodica di schiume e croste superficiali per evitare l'intasamento della fossa.

3.3 Trattamenti secondari

Le acque reflue necessitano della degradazione delle sostanze organiche ed azotate presenti in uscita dalle vasche di sedimentazione: tale compito è svolto dai trattamenti secondari. Essi si possono distinguere in tecniche di depurazione naturale (o morbide) e tecniche di depurazione impiantistiche (o forti). Le tecniche naturali, consigliate dalla normativa per piccole utenze, sono solitamente basate su un'autodepurazione che necessita di ampi spazi ma non di energia elettrica, come ad esempio la dispersione nel terreno per sub-irrigazione o la fitodepurazione. Per contro, le tecniche impiantistiche effettuano depurazione in spazi ridotti, ma necessitano di energia elettrica e maggiore manutenzione; ne sono un esempio gli impianti a fanghi attivi, i biofiltri o i processi a membrana. Unitamente alle rese depurative ottenibili, la semplicità di gestione è di fondamentale importanza per la scelta del trattamento idoneo in un rifugio. Se da un lato le tecniche naturali offrono in media prestazioni più modeste, dall'altro la semplicità operativa diventa un fattore discriminante, e se non sono garantiti periodici controlli ed

interventi appropriati per impianti a tecnologia più complessa, essi sono destinati al rapido degrado e al totale decadimento delle loro prestazioni.

In seguito, vengono descritte con le loro condizioni d'applicazione le principali tecniche di trattamento secondario, naturali ed impiantistiche, attuabili per i rifugi alpini.

3.3.1 Pozzo perdente

I pozzi perdenti o assorbenti consistono essenzialmente in un cilindro interrato e forato in cui sono convogliate le acque uscenti dai trattamenti primari. I fori permettono al refluo di permeare nel sottosuolo, sfruttando la permeabilità del terreno e l'utilizzo di geotessuti, e lì di essere soggetti ad una blanda depurazione biologica da parte dei microorganismi presenti naturalmente nel terreno.

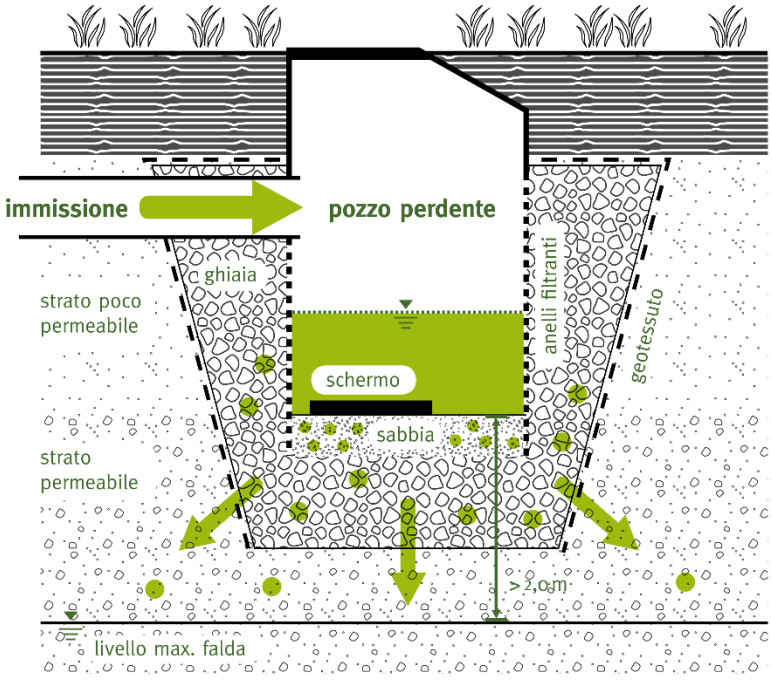


Figura 8 - Schema di installazione di un pozzo perdente [36]

L'installazione di nuovi pozzi perdenti è vietata dal 1977 [33], ma quelli ancora in funzione sono ritenuti idonee se il loro dimensionamento soddisfa le seguente indicazioni: assenza convogliamento di acque meteoriche, integrazione di un degrassatore a monte, differenza tra fondo del pozzo e massimo livello di falda superiore a 2 metri, profondità del manufatto dal piano campagna non superiore ad 1,5 metri, presenza di più pozzi in parallelo qualora il diametro teorico del pozzo fosse maggiore di 2 metri.

Nella seguente Tabella 15 vengono riportati i criteri per il dimensionamento dei pozzi perdenti in funzione della tipologia di terreno.

Tabella 15 - Criteri per il dimensionamento dei pozzi perdenti [11]

Tipologia di terreno	Tempo di percolazione	Superficie unitaria del pozzo (m^2/A.E.)
Sabbia grossa e pietrisco	< 2 min	1
Sabbia sottile	2-3 min	1.5
Argilla sabbiosa o riporto	4-8 min	2.5
Argilla con molta sabbia	9-12 min	4
Argilla con poca sabbia	13-30 min	8
Argilla compatta	> 30 min	Non adatto

3.3.2 Sub-dispersione nel terreno

La degradazione della sostanza organica può avvenire tramite dispersione nel suolo per mezzo di biomasse aerobiche naturalmente presenti nella zona insatura del terreno. La dispersione dell'acqua però, non deve essere troppo repentina in quanto limiterebbe l'azione di assorbimento del suolo e l'attività batterica. Un sistema di dispersione molto più controllata dei pozzi perdenti prevede l'utilizzo di trincee di sub-irrigazione. La dispersione si effettua con l'immissione e la distribuzione del liquame tramite apposite tubazioni in PVC, dal diametro di una decina di centimetri, direttamente sotto la superficie del terreno, dove esso viene assorbito e gradualmente degradato biologicamente da microorganismi che utilizzano come materiale di supporto i granuli del terreno stesso. Le reazioni avvengono senza un contatto diretto con l'atmosfera e senza il rischio di esalazione di cattivi odori.

Per poter essere efficacemente assorbito dal terreno, il liquame deve aver precedentemente subito una rimozione di solidi grossolani e sospesi che altrimenti, in breve tempo, porterebbero ad un decadimento della capacità di assorbimento del terreno. La fase liquida del refluo, una volta immessa nel terreno, può in parte essere dispersa per evapotraspirazione, con il contributo della vegetazione, essere drenata e convogliata verso un corpo idrico ricettore o penetrare in profondità e raggiungere la falda idrica sotterranea.

Il sistema di dispersione è in genere costituito da trincee di limitata larghezza (circa 1 m) e profondità (1 m o poco più), in cui il liquame è alimentato tramite condotte disperdenti, a giunti aperti o perforate, collocate nella parte superiore di uno spessore di pietrisco disposto per una profondità di 60-90 cm sul fondo della trincea. Lo scavo è quindi colmato, disponendo uno strato di terreno vegetale al di sopra del pietrisco, ricostruendo in tal modo l'aspetto originario del terreno. Lo schema impiantistico di sub-dispersione tramite trincee può prevedere condotte disperdenti su una fila, con struttura ramificata o su più file parallele (Figura 9 e Figura 10). [24]

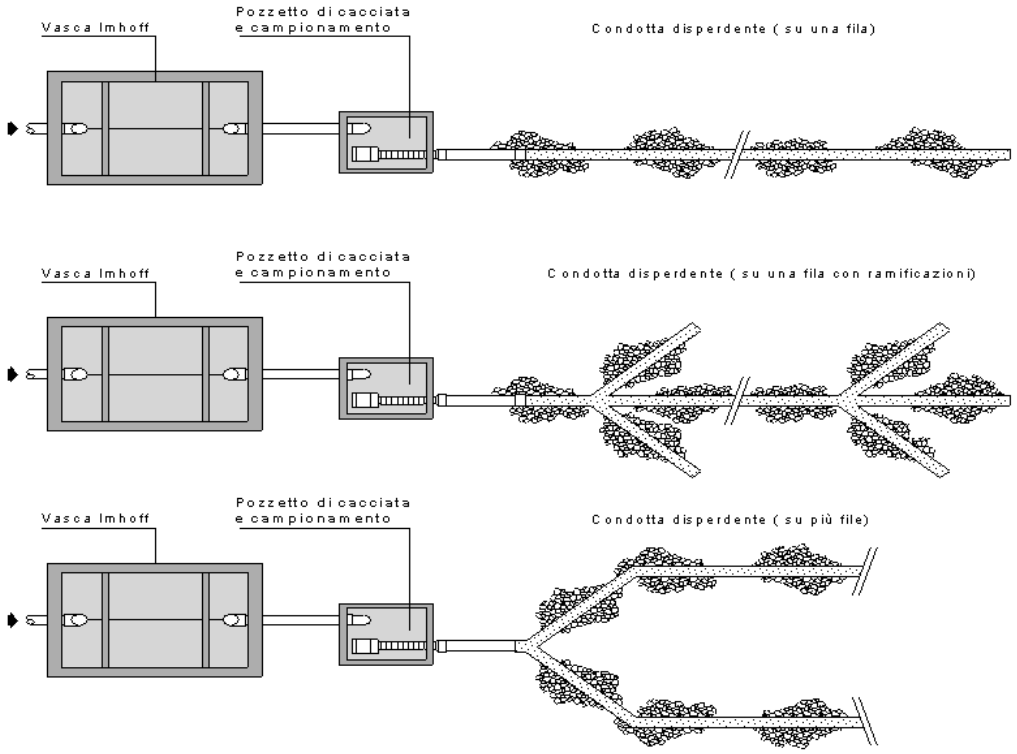


Figura 9 - Schema impiantistico per sub-dispersione nel terreno [37]

La distanza tra il fondo della trincea ed il massimo livello della falda deve essere superiore ad 1 m, e nel caso di suoli impermeabili, non risultando possibile la dispersione e la conseguente depurazione, va disposta una condotta drenante in grado di raccogliere il liquame alla base dello strato di pietrisco, convogliandolo verso un recapito superficiale. Modalità analoghe potrebbero essere adottate nel caso di terreni permeabili che presentino rischi di inquinamento della falda, per il quali è opportuno procedere ad un intervento di impermeabilizzazione artificiale dello scavo.

Le capacità del terreno sono quelle di trasformare le sostanze organiche biodegradabili in composti minerali stabili, di ridurre i microorganismi presenti nel refluo per effetto della competizione con quelli presenti nel terreno e mediante adsorbimento e di trasformare l'azoto organico in ammoniaca, sottoposta poi ad un naturale processo di nitrificazione. L'efficacia della depurazione, e nel contempo della capacità di assorbimento del terreno, viene particolarmente favorita ricorrendo a un'alimentazione del liquame intermittente, così da alternare a periodi di applicazione periodi di riposo, che favoriscono la ri-ossigenazione dell'ambiente e la degradazione delle sostanze organiche applicate. L'immissione delle acque nella condotta disperdente è eseguibile tramite un pozzetto di cacciata dotato di una vaschetta che si capovolge una volta raggiunto un quantitativo di acqua sufficiente ad evitarne l'accumulo nei primi metri della condotta.

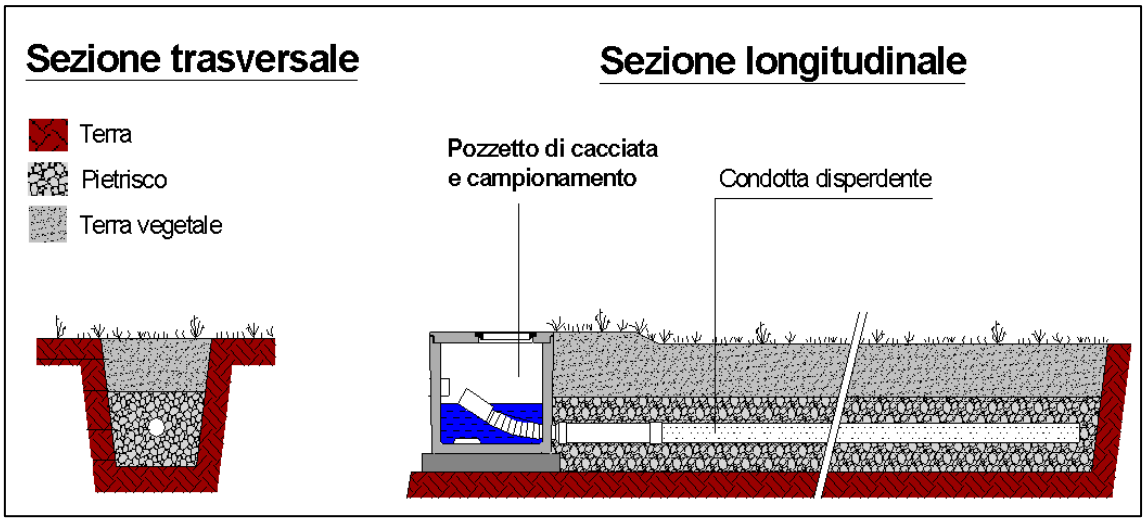


Figura 10 - Sezioni trasversale e longitudinale tipiche per sub-dispersione [37]

Per favorire ulteriormente il mantenimento di condizioni aerobiche nel suolo, è opportuno che il sistema di dispersione sia corredato anche di tubi di aerazione, che possono assolvere anche alla funzione di ispezione per verificare il livello del liquame nella trincea.

Lo sviluppo del sistema dipende molto dalla natura del terreno e aumenta considerevolmente al diminuire della sua permeabilità. Il suo dimensionamento dipende inoltre dalla profondità della falda e dalle caratteristiche morfologiche presenti. In Tabella 16 vengono riportati i criteri di dimensionamento di sistemi a dispersione.

Tabella 16 - Criteri di dimensionamento per sistemi a dispersione [24]

Conducibilità idraulica K_f (m/d)		12÷1.2	1.2÷0.48	0.48÷0.24	0.24÷0.14
Caratteristiche del terreno		Suoli sabbiosi, molto permeabili	Suoli sabbiosi-limosi, permeabili	Suoli limosi, poco permeabili	Suoli argillosi, marnosi, quasi impermeabili
Suolo ben drenato (falda depressa, profondità dal suolo > 1.5 m)					
Trincea di dispersione per 3÷4 A.E.	Area	15 m^2	25 m^2	40 m^2	60 m^2
	Lunghezza	25 m	42 m	70 m	100 m
Incremento per ogni A.E. in più	Area	5 m^2	8 m^2	13 m^2	
	Lunghezza	8 m	14 m	23 m	
Suolo mediamente drenato (profondità della falda dal suolo 1÷1.5 m)					
Trincea di dispersione per 3÷4 A.E.	Area	20 m^2	30 m^2	50 m^2	
	Lunghezza	35 m	50 m	85 m	
Incremento per ogni A.E. in più	Area	6 m^2	10 m^2		
	Lunghezza	12 m	17 m		
Suolo mal drenato (profondità della falda dal suolo 0.5÷1 m): NON APPLICABILE					

I sistemi di sub-dispersione nel terreno, quando attuabili, sono utilizzabili a servizio di insediamenti isolati in ragione dello scarso impegno gestionale, dell'assenza di consumi energetici e del semplice inserimento paesaggistico. Per contro, necessita di spazi non trascurabili e per rifugi ad altissime quote ne è impossibile la realizzazione per la mancanza di suolo. Le caratteristiche idonee dei terreni per la realizzazione dei sistemi di sub-dispersione sono riportati nella Tabella 17.

Tabella 17 - Caratteristiche dei terreni e attitudine alla realizzazione dei sistemi di sub-dispersione [6]

Caratteristiche	Molto favorevoli	Favorevoli	Poco favorevoli	Escluso
Pendenza terreno (%)	<2	2÷8	8÷15	>15
Profondità strato permeabile a elevata vulnerabilità (m)	>2	1.5÷2	1÷1.5	<1
Profondità substrato impermeabile (m)	>2.5	1.5÷2.5	1÷1.5	<1
Livello della falda (m)	>3	3÷1	1÷0.5	<0.5

3.3.3 Fitodepurazione

Con il termine fitodepurazione si identifica un trattamento naturale, le cui componenti sono costituite da suolo, batteri e piante della famiglia macrofite. Le azioni depurative che si verificano sono l'evapotraspirazione con riduzione dell'acqua in ingresso e la degradazione di sostanze organiche e azotate a seguito dell'assorbimento da parte della vegetazione e dall'azione dei batteri presenti nelle radici delle piante.

I sistemi di fitodepurazione, sperimentati e lungamente studiati a livello internazionale, sono classificati in base al tipo di piante utilizzate (galleggianti, radicate sommerse ed emergenti) e alle caratteristiche del percorso idraulico delle acque reflue. Le tecniche più utilizzate sono i sistemi a flusso sub-superficiale, in cui le specie vegetali vengono radicate in letti di materiale permeabile come ghiaia, sabbia o zeolite, isolati dal terreno circostante mediante membrane impermeabili o vasche.

I sistemi di fitodepurazione a flusso sub-superficiale si distinguono a loro volta in sistemi a flusso orizzontale o verticale (Figura 11): nel primo caso il moto dell'acqua avviene per filtrazione orizzontale con una profondità variabile tra 0.6 m ed 1 m dalla superficie, nel secondo caso lo scarico viene distribuito con discontinuità in superficie ed attraversa il letto di granulometrie più fini in direzione verticale fino ad essere raccolto da tubazioni drenanti sul fondo [9].

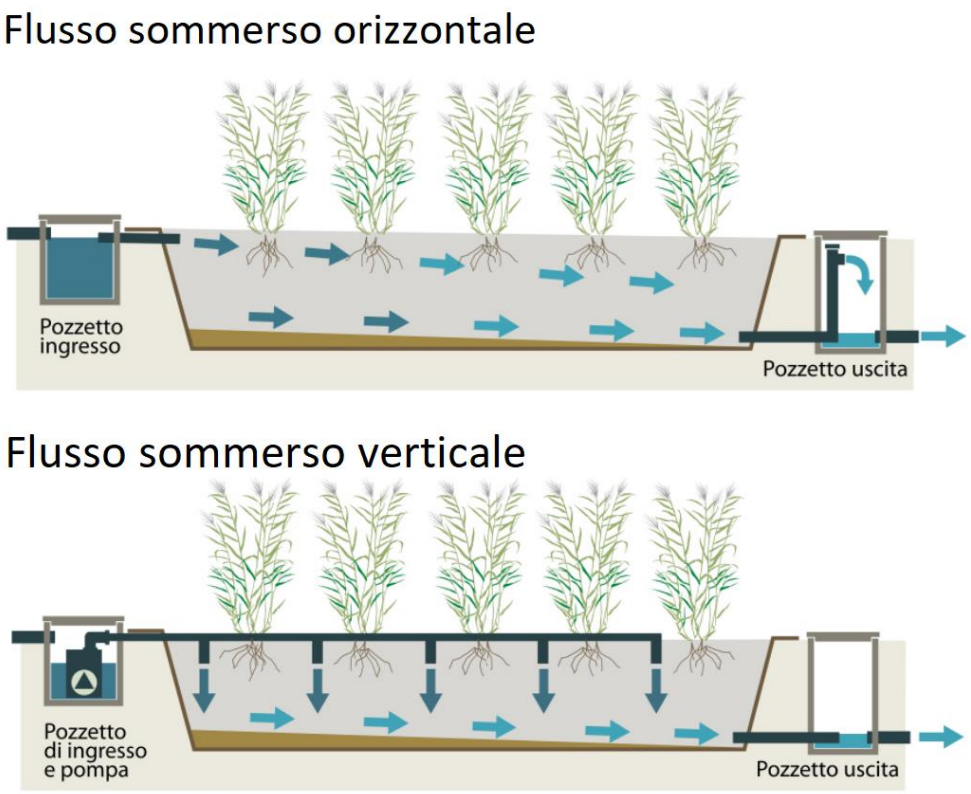


Figura 11 - Rappresentazione di sistemi di fitodepurazione a flusso sommerso orizzontale e verticale [9]

I sistemi a flusso orizzontale permettono di ottenere elevati abbattimenti di carico organico, di solidi sospesi e di carica batterica, ma non è presente un'elevata rimozione dell'azoto, mentre quelli a flusso verticale sono ottimali nel caso in cui sia richiesta anche un'efficace riduzione dell'azoto ammoniacale.

I sistemi presentati possono essere combinati in serie o in parallelo con i rispettivi obiettivi di realizzare un trattamento più spinto e di facilitare le operazioni di manutenzione; in questo caso il sistema di fitodepurazione è definito *ibrido* o *multistadio*. La configurazione impiantistica dipende, oltre che dalle caratteristiche qualitative del refluo da trattare, dalle caratteristiche morfologiche e paesaggistiche dell'area di intervento. L'utilizzo di un sistema ad un solo tipo di flusso è raramente applicato e solitamente si prevede l'impiego di un sistema a flusso orizzontale in serie ad uno verticale. I criteri di base per il dimensionamento di massima dei sistemi di fitodepurazione sono riportati nella Tabella 18.

Tabella 18 - Dimensionamento di massima per impianti di fitodepurazione a flusso sub-superficiale [9]

	Tipologia impiantistica		
	Flusso orizzontale	Flusso Verticale	Sistema ibrido
Superficie specifica (m^2/A.E.)	4 ÷ 5	2 ÷ 4	3 ÷ 5

Uno studio realizzato in ambienti montani della Repubblica Ceca ha dimostrato efficienze di depurazione comprese tra l'88% ed il 94% per il BOD_5, tra il 67% e l'85% per il COD, tra il 74% e il 96% per i TSS, attorno al 53% per l'azoto ammoniacale e circa del 59% per il fosforo totale [38]. La fitodepurazione multistadio è impiegata in regioni alpine, fino a 2000 metri di quota ed anche nel periodo invernale, garantendo notevoli prestazioni depurative in sistemi installati ad Ernsthofen nella Bassa Austria [39] , al Rifugio Garelli in Piemonte (1970 m s.l.m.) e nel centro turistico "Plan des Fontainettes" (2083 m s.l.m.), nei pressi del Lago del Moncenisio [40].

I principali vantaggi della fitodepurazione sono un ridotto impatto ambientale, la possibilità di separare e gestire differentemente i flussi di acque nere e grigie, la semplicità gestionale con ridotti interventi di manutenzione da parte di personale non specializzato e consumi energetici ridotti o addirittura nulli a fronte di livelli di depurazione conseguibili soddisfacenti. Inoltre, contrariamente ai processi biologici impiantistici, il vantaggio principale è l'assenza di fanghi secondari. Per contro è una tecnica che necessita di ampie superfici, tempi piuttosto lunghi affinché si raggiunga un buon sviluppo delle piante (1-2 anni) e basse temperature ed alte quote limitano decisamente il numero delle specie vegetali utilizzabili.

3.3.4 Biofiltri

I biofiltri, o filtri batterici, sono delle soluzioni di trattamento impiantistiche e fanno parte dei processi a biomassa adesa, in cui i microorganismi responsabili della depurazione restano vincolati a dei supporti plastici o ghiaia formando una sottile patina gelatinosa chiamata *biofilm*, dallo spessore di qualche millimetro.

Sono normalmente costituiti da una vasca in calcestruzzo o polietilene all'interno della quale vengono collocati i materiali di riempimento plastici o naturali sui quali si sviluppa la biomassa (Figura 12), e si dividono in filtri batterici anaerobici (*ANF*) e filtri batterici aerobici (*BAF*).

Figura 12 - Esempio di materiale di riempimento plastico dei biofiltri con relativo biofilm sviluppatosi

Filtri batterici anaerobici. In questa tipologia di biofiltro il liquame attraversa la massa filtrante dal basso verso l'alto, dove si instaura lo sviluppo di microorganismi batterici anaerobi che metabolizzano le sostanze organiche. Le colonie batteriche si sviluppano sotto forma di pellicole sui supporti aventi diversa pezzatura, disposti in modo che il materiale più grossolano sia a diretto contatto con una griglia che sta alla base del filtro e il materiale più fine posto fino a pochi centimetri dal tubo di fuoriuscita.

Lo schema di funzionamento di un filtro percolatore anaerobico è illustrato in Figura 13.

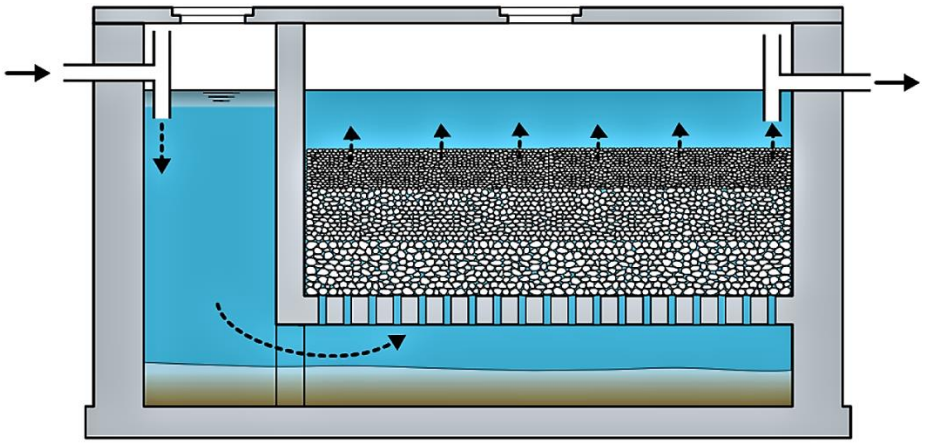


Figura 13 - Filtro batterico anaerobico [41]

Il liquame in arrivo dalla vasca di trattamento primario entra nel filtro e risale attraversando il materiale filtrante dotato di alta superficie specifica, per un'altezza di circa 1.5 metri. I corpi di riempimento plastico, sferoidali o circolari e dal diametro compreso tra 0.5 cm ed 1 cm, sono solitamente i più utilizzati, in quanto caratterizzati da una superficie utile e da un volume dei vuoti superiore a quella dei materiali lapidei. L'elevata percentuale di vuoti garantisce un miglior ricircolo del refluo e diminuisce i rischi di intasamento del letto per eccessivo sviluppo della pellicola.

Col tempo le sostanze organiche, in parte mineralizzate, si raccolgono sul fondo del letto o tra gli interstizi del materiale filtrante (*clogging*), ed il sistema perde in parte la sua funzionalità. Per questo motivo occorre procedere allo svuotamento e al controlavaggio del filtro almeno una volta l'anno attraverso le botole della vasca, da cui deriva l'unico dispendio energetico per il funzionamento del filtro. Esistono in commercio delle vasche monoblocco che contengono una vasca Imhoff accoppiata ad un filtro.

Per il dimensionamento della vasca si tiene solitamente conto di una capacità minima di 200 litri per A.E.

Le rese di depurazione aumentano col crescere della temperatura e del tempo di residenza [42] : si sono ottenute rese di abbattimento del COD pari al 55% per un tempo di residenza di 4 ore a 13°C [43], ma all'aumentare di uno dei due parametri si può giungere a rendimenti accettabili, specie se la filtrazione è eseguita in più stadi in serie. Con un tempo di residenza totale di 12 ore a 13°C in due diversi filtri si giunge infatti ad una resa del 71% [44]. Per questo motivo è opportuno coibentare la vasca di filtrazione o posizionarla in un ambiente caratterizzato da una temperatura almeno superiore ai 10°C, in modo tale da non eccedere con le dimensioni del filtro a causa dei lunghi tempi di residenza, che possono variare da 1 a 3 giorni per una rimozione del COD compresa tra 5 e 20 kg/m^3d per temperature prossime ai 20°C [5].

I vantaggi ottenibili dall'utilizzo di un filtro anaerobico sono quelli di avere bassi costi operativi, ridotti ingombri, resistenza rispetto a variazioni di carico ed assenza di consumi energetici se non quelli necessari al controlavaggio. Gli svantaggi, invece, sono la forte dipendenza dalla temperatura, il rischio di clogging e l'elevato tempo di messa in funzione. Affinchè la biomassa riesca a svilupparsi adeguatamente sono infatti necessarie settimane.

Filtri batterici aerobici. Questo tipo di biofiltro è corredato da uno sfiato che adduce aria, tramite una tubazione forata, al materiale filtrante, favorendo la formazione di un biofilm che instaura un processo aerobico di filtrazione. Il processo depurativo è analogo a quello che avviene nei letti percolatori, ma con ingombri nettamente inferiori e maggiori resistenze nei confronti delle basse temperature. A differenza dei filtri anaerobici, la direzione di flusso è solitamente invertita, proprio come nel caso dei letti percolatori, ma è possibile ritrovarne anche a flusso ascendente. Uno schema di funzionamento è rappresentato in Figura 14.

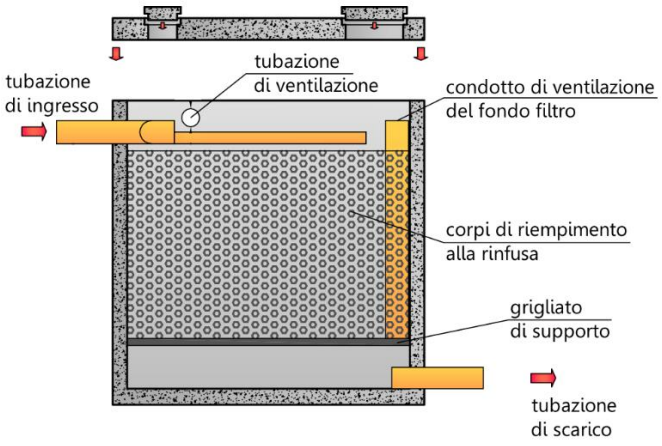


Figura 14 - Schema di funzionamento biofiltro percolatore aerobico [45]

Rispetto al filtro anaerobico, i BAFs riescono ad ottenere rese di depurazione maggiori per quanto riguarda le sostanze azotate, la cui degradazione è fortemente legata alla temperatura, ancor più delle sostanze organiche carboniose. Anche in questo caso le cinetiche di degradazione aumentano all'aumentare del tempo di residenza, della superficie specifica del materiale filtrante, della temperatura e della concentrazione di ossigeno disciolto nel refluo, variabile tra 3 e 5 mg O_2/l [5]. I tassi di rimozione stabiliti dai biofiltri aerobici posti a valle di una sedimentazione primaria per sostanza organica, azoto e solidi sospesi a 10°C, secondo la letteratura in materia [46], sono rispettivamente: $1.5 \div 3\ \frac{kg\ BOD_5}{m^3 * d}$, $0.4 \div 0.6\ \frac{kg\ N}{m^3 * d}$, $1 \div 1.6\ \frac{kg\ TSS}{m^3 * d}$.

A basse temperature l'utilizzo di biofiltri aerobici mostra migliori rendimenti per quanto riguarda la nitrificazione rispetto ai processi a biomassa sospesa come i fanghi attivi [47]. Inoltre, un eventuale ricircolo dell'effluente ha effetti paragonabili all'aumento del tempo di residenza del refluo nel filtro. Uno studio effettuato nel 2010 ha mostrato che alla temperatura di 6.5°C, con un tempo di residenza di 2 ore, si raggiunge una resa di nitrificazione del 95%, mentre dimezzando il tempo di residenza ma facendo ricircolare l'effluente la resa rimane comunque del 92%. Lo stesso studio indica un tasso di rimozione pari a $0.6\ \frac{kg\ N}{m^3 * d}$ ad una temperatura di 13°C [48].

I vantaggi di questa scelta impiantistica si riassumono nella ridotta richiesta di spazi, nella semplicità operativa rispetto ad altri sistemi impiantistici, nella miglior efficienza a basse temperature e nella capacità a sopportare picchi di carico idraulico. Per contro è un sistema che necessita di aerazione e dunque di consumi elettrici non indifferenti, necessita di manutenzione periodica per evitare fenomeni di intasamento dei filtri e per scongiurare eventuali vie preferenziali per il flusso e presenza di zone morte, necessitando di lavaggi controcorrente che fanno innalzare i costi di gestione.

3.3.5 Ossidazione Totale

Per impianto ad ossidazione totale si intende sostanzialmente un impianto a fanghi attivi, basato quindi sull'azione della biomassa aerobica sospesa nel liquame, che ha il compito di ridurre carico organico ed azotato. Il dimensionamento della vasca ospitante il processo è basato sul carico organico in entrata che definisce la quantità di substrato per unità di biomassa presente. Per piccole realtà come i rifugi è usuale che il sistema lavori spesso a basso carico e la soluzione impiantistica prende anche il nome di impianto ad *aerazione*

prolungata, in quanto caratterizzato da tempi di residenza molto lunghi, nell'ordine di 18 – 36 ore sulla portata media [4], in modo da garantire un prolungato stazionamento della miscela areata in vasca e permettere anche la stabilizzazione dei fiocchi di fango che vengono a crearsi.

Nella vasca si mantiene una concentrazione di ossigeno disciolto di almeno 2 mg/l, diffuso all'interno del manufatto tramite aria a bolle fini. I lunghi tempi di aerazione favoriscono la nitrificazione dell'azoto ammoniacale anche a basse temperature. E' possibile, inoltre, ottenere la rimozione dell'azoto nitrico attraverso un processo biologico di denitrificazione che può avvenire nella stessa vasca interrompendo periodicamente l'areazione o, se la vasca è divisa in setti, mantenendo a basse concentrazioni di ossigeno disciolto (< 1 mg/l) un apposito comparto. In alternativa è possibile realizzare opportuni comparti di pre-denitrificazione, verso i quali deve essere previsto il ricircolo della miscela areata ricca di nitrati. A valle del comparto di ossidazione-nitrificazione segue un sedimentatore secondario: il fango sedimentato è in gran parte ricircolato nella vasca, il resto è estratto come supero. Un esempio di vasca ad ossidazione totale è riportato in Figura 15.

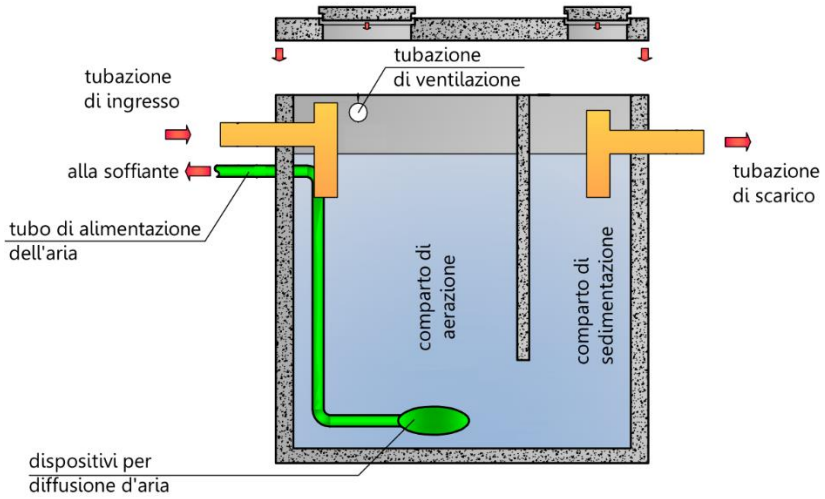


Figura 15 - Impianto ad ossidazione totale [45]

Il processo è teoricamente in grado di assicurare ottimi livelli di depurazione, anche del 90% [5], per quanto riguarda l'inquinamento organico biodegradabile, ma dal punto di vista funzionale, il processo a fanghi attivi non si adatta molto bene alle attività a carattere stagionale. Le operazioni di manutenzione da effettuare durante l'esercizio sono legate principalmente alla rimozione di eventuali ostruzioni e di fango già stabilizzato, ma soprattutto al sistema di diffusione dell'ossigeno, il cui corretto funzionamento è da monitorare specialmente nelle zone a clima molto rigido.

L'insufflazione d'aria comporta consistenti consumi energetici se paragonati a quelli dei sistemi a biomassa adesa: questi ultimi posseggono un consumo energetico specifico medio pari a $4.53\ \frac{kWh}{kg\ COD_{abbattuto}}$ contro i $7.89\ \frac{kWh}{kg\ COD_{abbattuto}}$ dei fanghi attivi [4].

Una versione alternativa all'ossidazione totale è quella dei reattori discontinui sequenziali (*SBR*), che rispetto agli impianti convenzionali opera con le fasi precedentemente descritte che si succedono nel tempo operando in stato non stazionario. Essa consiste in una o più unità che dopo la fase di riempimento, operano come reattori discontinui, in cui le fasi di alimentazione, reazione, sedimentazione e scarico avvengono in sequenza temporale anziché spaziale. Le prestazioni e manutenzioni necessarie sono analoghe, ma possiede il vantaggio di essere molto flessibile rispetto ai picchi di portata.

3.3.6 Reattori biologici a membrana

La tecnologia dei reattori biologici a membrana (*MBR*) consiste nell'unione dei convenzionali processi a biomassa sospesa e della filtrazione su membrane. La biomassa, anziché essere separata dall'acqua per mezzo di sedimentazione, viene separata da una membrana sommersa direttamente nel reattore. Le membrane utilizzate sono principalmente quelle adibite a microfiltrazione ed ultrafiltrazione, con dimensioni dei pori rispettivamente minori di 10 μm e 100 nm. Il permeato è estratto tramite una pompa che opera una depressione di 0.1 – 0.6 bar, e per limitare lo sporcamento della membrana a contatto con il fango attivo, i moduli di filtrazione sono dotati di un sistema d'insufflazione d'aria che crea turbolenza in prossimità della superficie della membrana, rimuovendo il deposito della biomassa sulla stessa. Quest'aria svolge un'azione prevalentemente meccanica e va ad aggiungersi alla normale fornitura necessaria al processo degradativo. Si tratta dunque di una tecnologia piuttosto complessa, che richiede notevoli quantità di energia elettrica per il funzionamento.

I sistemi MBR (Figura 16) hanno il vantaggio di trattenere molta biomassa aggregata, lavorando con concentrazioni di fango maggiori e di elevata età che permettono una mineralizzazione molto spinta della sostanza organica, una nitrificazione con rese elevate ed una limitatissima produzione di fango di supero molto stabilizzato. La scomparsa del sedimentatore si traduce in una notevole riduzione dell'ingombro dell'impianto e, complessivamente, si ottengono effluenti con caratteristiche qualitative ottime, compatibili con il potenziale riuso dell'acqua depurata.

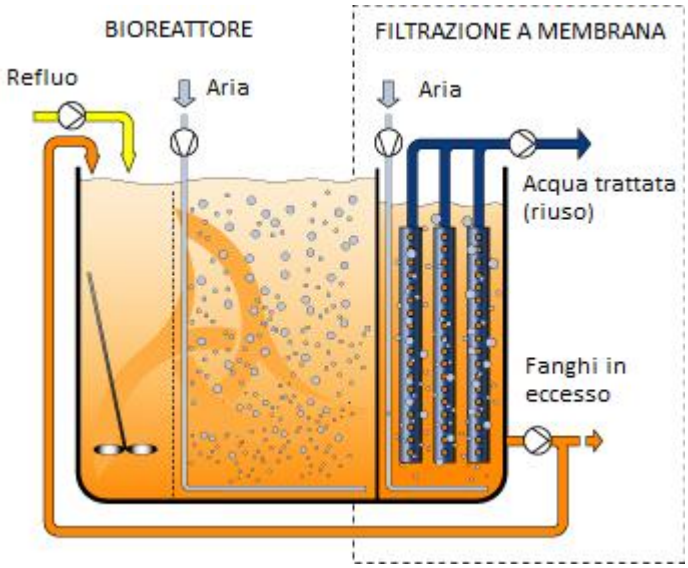


Figura 16 - Schema di funzionamento di un bioreattore a membrana MBR [49]

Un esempio è utilizzato nella stazione sciistica di Zermatt, in Svizzera, posto a quota 3300 m s.l.m., che tramite l'utilizzo della tecnologia MBR, locata in un impianto riscaldato, permette il completo reimpiego del refluo depurato come acqua per lo scarico dei W.C. a fronte, però, di un consumo energetico pari a 11.5 kWh per metro cubo di refluo trattato, ben undici volte superiore a quello di un impianto MBR convenzionale che opera in condizioni favorevoli [50].

Oltre agli elevatissimi costi di gestione e soprattutto d'installazione, il principale problema dei processi a membrana è dato dallo sporcamento o *fouling* della membrana stessa da parte del fango trattenuto, scongiurabile tramite regolari cicli di controlavaggio con acqua permeata o soluzioni specifiche oltre che con l'insufflazione d'aria.

Sebbene questa tecnologia risulti meno sensibile alle basse temperature rispetto ai classici processi biologici, esse hanno l'effetto di intensificare il fenomeno di fouling, ostacolandone il corretto funzionamento [14]. Per questo motivo, il limite di utilizzo di questa tecnologia è correlato anche all'onere gestionale e di manutenzione, oltre che ai costi. I risultati conseguibili rendono adatto tale processo in situazioni in cui si richieda un livello depurativo molto stringente, in zone ove sia richiesto un limitato impegno di spazio, senza problemi di approvvigionamento energetico, ed in generale, per utenze al di sopra di certe potenzialità.

3.4 Disinfezione

La disinfezione è finalizzata all'abbattimento dei microorganismi presenti nei reflui, per non compromettere la qualità del corpo idrico ricettore o nel caso in cui le stesse acque possano essere destinate al riuso, in quanto i trattamenti preliminari, primari e secondari non riescono a garantire rese di rimozione soddisfacenti nei confronti di batteri, virus e protozoi. Questo processo è utilizzato per lo più nei confronti dell'acqua approvvigionata, allo scopo di eliminare gli eventuali patogeni presenti e renderla idonea all'uso umano.

La disinfezione dei reflui non è sempre necessaria, ma se condizioni locali pongono esigenze più restrittive nei confronti della qualità degli scarichi, le alternative possibili di trattamento per i rifugi alpini si riducono sostanzialmente all'utilizzo di composti del cloro, all'impiego di radiazioni *UV*.

Cloro e composti. Il cloro può essere utilizzato direttamente come cloro gassoso (Cl_2), oppure sotto forma di ipoclorito di sodio (NaClO) e ipoclorito di calcio ($Ca(ClO)_2$). Solitamente in tutti i piccoli impianti vengono usati gli ipocloriti per la semplicità e la sicurezza della gestione, sono facili da reperire con costi modesti e possiedono un forte potere battericida; per questo motivo il loro dosaggio deve risultare controllato.

Raggi ultravioletti (*UV*). Per raggi *UV* si intendono quelle radiazioni elettromagnetiche che coprono l'intervallo di lunghezza d'onda da 100 nm e 400 nm. La disinfezione è in questo caso basata su un processo di natura fotochimica e l'azione germicida è legata ad alterazioni del DNA e dell'RNA dei microorganismi, prodotte dall'assorbimento delle radiazioni, in particolar modo di quelle comprese tra i 200 nm ed i 280 nm. Questo trattamento garantisce un'ottima efficienza di rimozione, assenza di prodotti di reazione, necessita di piccoli ingombri e tempi di contatto ridotti con l'acqua di passaggio e le lampade che emanano i raggi *UV* sono di semplice gestione. Gli svantaggi legati all'utilizzo di questa tecnologia sono essenzialmente il costo di installazione, i consumi energetici non indifferenti e soprattutto l'eventuale presenza di solidi sospesi e disciolti che riducono la trasmittanza dell'acqua, rendendo meno efficiente la disinfezione.

La scelta di installare un sistema di disinfezione per il trattamento dei reflui si limita solitamente ai rifugi di medie/grandi dimensioni, mentre sono più comuni le disinfezioni per le acque in ingresso, destinate all'utilizzo.

3.5 Gestione dei fanghi

Le attività di gestione, manutenzione e pulizia degli impianti di trattamento, necessarie a mantenere la corretta funzionalità dei processi ed evitare intasamenti, generano dei fanghi di depurazione, ovvero residui concentrati delle sostanze solide inizialmente presenti nei reflui e poi separate nei vari processi, caratterizzati da un alto contenuto d'acqua.

Nei rifugi alpini i fanghi derivano essenzialmente dalla rimozione del materiale sedimentato nelle fosse settiche ed Imhoff, sebbene possano essere prodotti anche da trattamenti secondari impiantistici basati su depurazione biologica. La produzione percentuale di fango rispetto al volume di liquame trattato dipende dall'apporto idrico unitario, ma vengono assunte produzioni pro capite pari a $55\ \frac{g}{ab * d}$ [6] derivanti da una sedimentazione primaria, con un tenore di secco, definito come il peso di sostanza residua dopo l'allontanamento dell'acqua, tipico del 5% [5].

Come previsto dal D.Lgs. n.152/2006 [1] i fanghi di supero sono classificati come rifiuti speciali, ma solamente al termine del processo di trattamento effettuato nell'impianto di depurazione. Viene quindi legittimata la possibilità di trattare i fanghi in loco direttamente dal gestore, con lo scopo principale di ridurne il contenuto d'acqua in modo da diminuirne i volumi e stabilizzarli per abbattere i costi del trasporto a valle da parte di aziende autorizzate. La disidratazione dei fanghi è solitamente effettuata in un ambiente posto in zone il più possibile lontane dall'utenza in maniera da non favorire il propagarsi di cattivi odori propri dei fanghi non ancora stabilizzati. I processi di disidratazione normalmente eseguiti in loco si riportano in seguito.

3.5.1 Letti essiccatori

I letti di essiccamento consistono in vasche rettangolari cementate, riempite di materiale drenante (sabbia e ghiaia) con il fondo inclinato e dotate di tubazioni per la raccolta dell'acqua presente nel fango posizionato sulla platea a fine stagione. L'acqua si separa inizialmente per gravità e successivamente per effetto dell'evaporazione naturale nei mesi estivi e dei cicli di gelo e disgelo nei mesi invernali. Il letto di cemento deve essere preferibilmente coperto da un tetto per impedire il dilavamento dei fanghi dalle precipitazioni meteoriche, e deve essere favorito il passaggio d'aria e l'apporto di calore da parte del sole.

Si tratta del più semplice sistema di disidratazione, in grado di assicurare elevati livelli di secco, con ottima flessibilità a fronte di punte di carico e senza richiesta di personale specializzato e di consumi energetici. Tuttavia, l'operazione di asporto del fango costituisce un'operazione non gradita al personale addetto alla gestione a causa di cattivi odori e proliferazione d'insetti.

Per scongiurare la sovrapposizione di nuovi apporti a fanghi già disidratati che ostacolerebbero il drenaggio dell'acqua, è buona norma suddividere la superficie di essiccamento in funzione delle successive operazioni di carica dei letti. Le superfici specifiche necessarie per un fango primario sono dell'ordine di $0.12 - 0.15 \frac{m^2}{A.E.}$ e la rimozione del fango residuo essiccato, caratterizzato da tenori di secco del 30% - 35% e con volumi ridotti anche dell'80%, avviene poi manualmente [4]. Al termine della prima stagione di essiccazione, eventualmente, i fanghi possono essere impilati all'aperto in appositi sacchi per favorire un'ulteriore stabilizzazione aerobica.

Essiccamento tramite apporto di energia solare. Al fine di rafforzare il processo di essiccazione dei fanghi sono state sviluppate soluzioni che, grazie a pannelli solari termici e fotovoltaici accoppiati, permettono di innalzare la temperatura della camera di essiccazione ed insufflare forzatamente aria: tali condizioni permettono un trattamento più rapido e completo, riducendo il volume dei fanghi anche dell'80% - 90% [12].

Lo stato dell'arte per quanto riguarda queste soluzioni compatte, ad oggi commercializzato, consiste nel realizzare delle vasche interrate impermeabilizzate, chiuse con un coperchio di acciaio verde per mitigare l'impatto visivo, sul quale è inserito il pannello solare termico e fotovoltaico accoppiato. Il percolato dei fanghi scende per gravità in testa all'impianto di depurazione che si trova a valle della vasca, mentre lo sfiato della camera avviene sottoterra, previo trattamento con filtro a scaglie di corteccia. Un esempio di installazione è riportato in Figura 17.

Figura 17 - Letto di essiccamento ad energia solare [12]

Tale soluzione, sebbene l'iniziale costo di investimento importante, permette di diminuire significativamente i costi di trasporto a valle dei fanghi ed è quindi preferibile in realtà dove il trasferimento di materiale è particolarmente oneroso.

3.5.2 Letti vegetali

I letti vegetali, o di fitodisidratazione, sono simili alle unità di fitodepurazione a flusso sub-superficiale e sono costituiti da scavi impermeabilizzati tramite tessuto di sufficiente resistenza, riempito inizialmente con uno strato di ghiaia e successivamente con materiale sabbioso più fine, che rappresenta il supporto per la vegetazione. I letti vengono dotati di una tubazione di raccolta posta sul fondo drenato. A fine stagione, nel letto così preparato, vengono gettati i fanghi e subito dopo il disgelo vengono seminati i vegetali.

Le piante svolgono la funzione di creare cammini per il continuo drenaggio dell'acqua dallo strato di fango; inoltre, il trasferimento dell'ossigeno verso l'apparato radicale favorisce la stabilizzazione e la mineralizzazione del fango. Tale soluzione permette prestazioni molto elevate ovvero fino al 90% di riduzione del volume del fango e fino al 35% di sostanza secca. Se adeguatamente dimensionato, un letto vegetale può essere riutilizzato per 4 o 5 cicli di essicazione (stagioni), dopodiché necessita di essere svuotato per accettare nuovi carichi di fanghi [12].

3.5.3 Sacchi filtranti

I sistemi di disidratazione a sacco rimuovono l'acqua presente nel fango attraverso una filtrazione a gravità attraverso sacchi filtranti di tessuto plastico resistente. Tale azione meccanica può essere coadiuvata dall'evaporazione del contenuto idrico qualora i sacchi vengano esposti ad una fonte di calore.

Dopo una prima disidratazione, i sacchi possono essere stoccati per vari mesi in attesa del loro allontanamento, ed il fango può raggiungere tenori di secco prossimi al 30% [12].

Presso il rifugio Del Grande-Camerini, sito in Valtellina a quota 2564 m, il trattamento dei fanghi prevede l'utilizzo dei sacchi filtranti posti in un contenitore chiuso metallico esposto alla radiazione solare, riportato in Figura 18.

Figura 18 - Utilizzo di sacchi filtranti per la disidratazione dei fanghi [12]

La disidratazione è favorita dall'esposizione dell'involucro metallico ai raggi solari per un tempo pari a 6 mesi. L'impianto, dotato di tubazioni che trasferiscono i fanghi dal rifugio all'involucro e lo distribuiscono nei sacchi, è in funzione dal 2012 e serve circa 200 ospiti pernottanti, con una produzione di circa 40 kg di fanghi secchi all'anno. L'acqua allontanata è poi trasferita a monte dell'impianto di trattamento. Un trattamento simile è più complesso di quelli precedentemente descritti, ed è adatto a rifugi di grande taglia poiché prevede la gestione e manutenzione dell'impianto di movimentazione dei fluidi.

3.6 Trattamenti idonei in funzione di quota e taglia del rifugio

Le criticità presenti nei trattamenti in loco delle acque reflue per i rifugi montani, già presentate nel Capitolo 2.3, determinano l'adozione di alcune scelte impiantistiche a fronte di altre, in quanto non esiste una tecnologia in assoluto più idonea.

Le soluzioni depurative presentate, pertanto, verranno sinteticamente classificate in base alla loro idoneità in funzione della quota e degli abitanti serviti dall'impianto di depurazione; dalla variazione di questi due parametri derivano poi le criticità riscontrabili, ovvero i limitati spazi di realizzazione e le difficoltà gestionali, legate alla difficile raggiungibilità del sito, i consumi energetici, le forti fluttuazioni temporali dei carichi idrici ed inquinanti e le basse temperature.

Per quanto riguarda i pretrattamenti è sempre buona norma prevederli, indipendentemente dalla quota e dal numero di utenti serviti, in quanto rendono più efficienti i successivi stadi di depurazione e riducono il rischio di malfunzionamenti.

Considerato che per temperature inferiori ai 4°C le depurazioni biologiche sono praticamente inibite [14], a qualunque quota si collochi il rifugio, è bene provvedere alla copertura integrale dell'impianto, in quanto i vantaggi ottenibili superano in generale gli svantaggi legati al maggior costo di realizzazione e di gestione [51]. Per basse quote, fino a 1500-1800 m, potrebbe essere sufficiente interrare le vasche dopo averle ben coibentate, mentre a quote superiori è essenziale il loro alloggiamento in appositi locali tecnici mantenuti ad una temperatura di almeno 10°C [14].

Le tecniche di trattamento naturali quali dispersione nel terreno e fitodepurazione risultano tanto più efficaci quanto basse sono le quote di lavoro. Sono sicuramente le tecniche da preferire per quote minori di 1500-1800 m, in funzione delle temperature raggiungibili, anche se attraverso studi mirati è possibile selezionare specie vegetali che si adattano fino a 2000-2500 m, quota dopo il quale risulta impossibile l'applicazione delle tecniche naturali [12]. L'ulteriore limite di queste tecniche sono le elevate superfici di suolo necessarie al trattamento, che per rifugi localizzati ad alte quote sono spesso non disponibili in quanto siti su roccia viva e ghiacciai.

Per quote superiori ai 2500 m è indispensabile l'utilizzo di sistemi impiantistici, basati per lo più su depurazioni a biomassa adesa, in quanto meno influenzate dalle basse temperature rispetto al processo dei fanghi attivi [14] e meno energivore, sebbene non sia possibile una nitrificazione spinta dei composti ammoniacali se non a fronte di un elevato sviluppo superficiale del reattore ed, in ogni caso, mantenendo le temperature sempre attorno ai 10°C per un adeguata resa di depurazione. Le tecniche a biomassa adesa possono inoltre contare di minori tempi necessari all'avvio, che possono essere accelerate da inoculi sui supporti plastici realizzati a valle a temperature più favorevoli prima dell'inizio della stagione di apertura.

La tecnologia più adatta per altissime quote invece, può essere quella a membrane (MBR), in quanto permette l'estrema riduzione degli spazi necessari e quindi la maggior comodità ad essere allocata in strutture mantenute ad una temperatura adeguata; inoltre, si renderebbe così possibile il riutilizzo dell'effluente depurato come acqua per gli scarichi igienici.

Risulta chiaro che al crescere della quota del rifugio sono necessari maggiori consumi energetici per il mantenimento della temperatura ed il funzionamento degli impianti, proprio dove, paradossalmente, l'approvvigionamento di energia elettrica può risultare più difficoltoso. É però da tenere in considerazione che a quote così elevate, gli afflussi

turistici sono di norma inferiori rispetto ai rifugi più facilmente accessibili: ciò porta inevitabilmente a minori volumi di acqua da trattare, ed anche se le tecnologie utilizzate sono caratterizzate da elevati consumi elettrici specifici, i consumi globali possono risultare comunque gestibili.

Per un numero di utenze rilevante, maggiore ai 50 posti letto, la soluzione più idonea per quanto riguarda le fluttuazioni dei carichi idrici ed inquinanti, qualunque sia la tecnica adottata, sarebbe quella di dotare l'impianto di almeno due linee di trattamento che funzionino in parallelo. Questa scelta permette non solo di ottenere un adattamento graduale alle variazioni di carico, ma anche di migliorare considerevolmente l'affidabilità del sistema in caso di guasti e manutenzione. La separazione degli scarichi delle acque grigie dalle nere permetterebbe di avere per quest'ultima tipologia un'acqua da trattare più ricca di sostanza organica e contestualmente meno fredda, in maniera tale da giovare alle rese depurative biologiche. Inoltre, la minor produzione di acque nere rispetto alle grigie, eviterebbe il sovraccarico idraulico delle vasche nei momenti di maggior afflusso.

Se invece, il numero di abitanti serviti fosse ridotto, all'incirca minore di 30 posti letto, la suddivisione degli scarichi costituirebbe una scelta impiantistica non motivata, visti gli esigui volumi di refluo in gioco, anche dal punto di vista gestionale oltre che economico.

La suddivisone degli scarichi gioverebbe anche nel caso in cui l'utenza presentasse elevate presenze derivanti da brevi soste di passaggio; questo è il caso dei rifugi posti a più bassa quota e più frequentati nei week-end, in cui l'utilizzo di servizi igienici dedicati e conseguentemente di vasche dedicate, ridurrebbe il rischio di sottodimensionamento dei sedimentatori presenti.

Le tecniche di depurazione naturale risultano le più idonee per le utenze che servono un ridotto numero di abitanti o per rifugi poco frequentati; questi ultimi vanno però spesso a coincidere con i rifugi posti ad altissime quote, dove tali tecniche sono irrealizzabili.

Soluzioni impiantistiche più complesse sono giustificate nel caso di strutture molto frequentate: è il caso dei sistemi a biomassa adesa e sospesa, ma anche dei bioreattori a membrana. Se la quota lo permette, possono essere utilizzati sistemi di depurazione naturale per quanto riguarda le acque grigie, presenti in quantità maggiori ma con caratteristiche qualitative superiori, mentre il trattamento delle acque nere, dopo una prima sedimentazione nelle vasche Imhoff, può essere affidato alle tecnologie intensive che attuano una depurazione più spinta.

Nella seguente Tabella 19 sono riassunte le idoneità delle diverse tecnologie atte alla depurazione delle acque reflue nei rifugi montani, in funzione di quota e posti letto disponibili. Il colore verde indica una scelta impiantistica opportuna, il colore rosso una scelta da evitare, mentre il colore giallo rappresenta una scelta non ottimale ma possibile. Come discusso precedentemente, i trattamenti naturali sono preferibili a basse quote, indipendentemente dagli abitanti serviti; con l'aumentare della quota essi diventano inefficaci ed emerge la necessità di utilizzare soluzioni impiantistiche più complesse, costose ed energivore, anche per un numero ridotto di utenti serviti.

Tabella 19 - Valutazione delle tecnologie depurative esistenti in funzione di quota e dimensione del rifugio

Trattamento	Posti letto	Quota (m)			
		< 1000	1000 ÷ 1800	1800 ÷ 2500	> 2500
Fossa settica	< 30				
	30 ÷ 50				
	> 50				
Fossa Imhoff	< 30				
	30 ÷ 50				
	> 50				
Pozzo perdente	< 30				
	30 ÷ 50				
	> 50				
Sub-irrigazione	< 30				
	30 ÷ 50				
	> 50				
Fitodepurazione	< 30				
	30 ÷ 50				
	> 50				
Biofiltri (biomassa adesa)	< 30				
	30 ÷ 50				
	> 50				
Ossidazione totale (biomassa sospesa)	< 30				
	30 ÷ 50				
	> 50				
Bioreattori a membrana	< 30				
	30 ÷ 50				
	> 50				

Legenda	
	Opportuno
	Non ottimale ma possibile
	Da evitare

Per i trattamenti che prevedono l'uso di vasche, queste ultime si intendono coibentate ed interrate o poste in ambiente a temperatura controllata.

4 Casi di studio in Italia e all'estero

Viene ora effettuata un'analisi su alcune realtà italiane ed estere per quanto riguarda la gestione ed il trattamento delle acque reflue allo stato dell'arte, al fine di individuare dei criteri di massima sulla scelta delle tecniche depurative più adatte secondo i vari scenari. L'osservazione trae spunto dal documento "*Progetto reflui 2018-2020*", redatto per la Commissione Regionale Lombardia Rifugi e Opere Alpine dall' Ing. Ilaria Galbiati [12] e tratta dei rifugi: Buzzoni, Sandro Occhi, Franchetti, Lamsenjoch, Monte Rosa e Goûter.

4.1 Rifugio Buzzoni

Il Rifugio Buzzoni (Figura 19) è sito nel territorio del Comune di Introbio, in Lombardia, a quota 1590 m s.l.m. Conta 25 posti letto ed un massimo di circa 80 ospiti passeggeri e 5 addetti. Il locale è aperto dal mese di giugno a settembre e nei weekend invernali [52].

Figura 19 - Rifugio Buzzoni [52]

Il sistema di smaltimento delle acque reflue adottato presso questo rifugio è dimensionato per 12 A.E. ed è basato su una depurazione biologica in vasche interrate. Gli scarichi della cucina sono convogliati in un degrassatore, dopo il quale è presente un raccordo con gli scarichi dei servizi igienici. É quindi presente un'unica linea di trattamento, che prevede una sedimentazione primaria in una vasca Imhoff, la cui uscita è collegata ad un pozzetto di ispezione. Segue un filtro percolatore anaerobico, riempito di corpi filtranti in polipropilene disposti alla rinfusa, ed un successivo stadio di affinamento in una vasca ad ossidazione totale a fanghi attivi, dove un compressore insuffla una portata d'aria fino a 40 l/min, 24 ore su 24. Infine, la dispersione in ambiente del refluo depurato avviene tramite un pozzo perdente. Lo schema impiantistico è riportato in Figura 20.

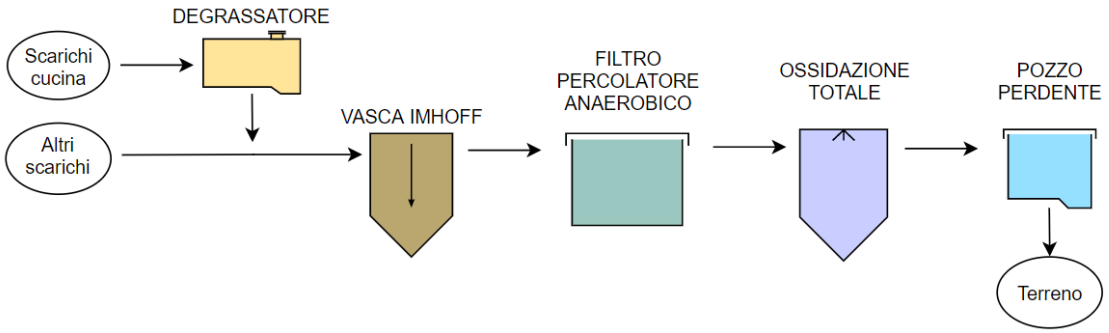


Figura 20 - Schema dell'impianto di trattamento del Rifugio Buzzoni

Da analisi chimiche effettuate nell'ottobre 2018 su dei campioni di refluo in ingresso e in uscita dall'impianto, emergono altissime rese di abbattimento, specie per quanto riguarda solidi, carico organico, grassi e tensioattivi totali. I risultati delle analisi ed i rendimenti di abbattimento dei principali parametri sono riportati nella seguente Tabella 20.

Tabella 20 - Risultati analisi chimiche e rese di abbattimento dell'impianto del Rifugio Buzzoni [12]

Parametro	**U.M.**	**Ingresso vasca Imhoff**	**Entrata al pozzo perdente**	**Abbattimento (%)**
TSS	mg/l	20440	126	99.38
Solidi Sedimentabili (30')	mg/l	165	< 0.1	100
COD	mg O_2/l	9877	279	97.18
BOD_5	mg O_2/l	3555	109	96.93
P_{TOT}	mg P/l	37.5	13.8	63.2
Azoto Ammoniacale	mg NH_4/l	196.3	162.4	17.27
Azoto Nitroso	mg N/l	0.01	<0.01	-
Azoto Nitrico	mg N/l	15.6	4	74.4
Azoto totale Kjeldhal	mg N/l	221.9	136.9	38.3
Azoto totale	mg N/l	237.5	140.9	40.7
Grassi e oli	mg/l	1544	37.6	97.6
Tensioattivi totali	mg/l	86.8	1.3	98.5

La rimozione dei nutrienti, azoto e fosforo, non ha portato risultati elevati come per gli altri parametri: se l'abbattimento del fosforo nei depuratori biologici è normalmente difficoltoso ed una riduzione del 63% per un rifugio alpino può essere soddisfacente, il parametro più critico risulta essere l'azoto totale, ridotto del 40% circa. Dalle analisi risulta che esso sia presente quasi esclusivamente in forma ammoniacale e la sua ossidazione a nitrato nella vasca di ossidazione totale non sia avvenuta. La causa potrebbe ritrovarsi nella scarsa ossigenazione della vasca o dalla presenza di sostanze inibenti nel refluo, entrambi fattori che limitano le cinetiche di degradazione biologica, specialmente per quanto riguarda le specie azotate: l'uso dell'areazione a microbolle (più dispendiosa)

o un eventuale stadio di fitodepurazione a valle della vasca di ossidazione potrebbe portare a maggiori rese di abbattimento per tali sostanze.

I consumi energetici dell'impianto dipendono sostanzialmente dal compressore ad aria installato sulla vasca a fanghi attivi, ed il costo totale per la realizzazione dell'impianto ammonta a circa 20.000 € [12].

La tecnologia installata porta ad una riduzione significativa del carico inquinante entrante, ma parrebbe soffrire dei picchi di carico idraulico dovuto alla maggior affluenza di persone al rifugio. La causa è da ritrovarsi nella sottostima del calcolo teorico degli abitanti equivalenti o in una mancata separazione delle linee per le acque grigie e nere.

4.2 Rifugio Sandro Occhi all'Aviolo

Il Rifugio Sandro Occhi all'Aviolo (Figura 21) sorge a 1930 m s.l.m. in Alta Valle Camonica, sul territorio del Comune di Edolo in Lombardia. Dispone di 54 posti letto, un massimo di 7 addetti ed un'affluenza giornaliera di picco di circa 150 turisti. La struttura, fornita di servizio ristorazione, servizi igienici con acqua calda e docce, è aperta da inizio giugno a fine settembre, ma è presente un locale invernale aperto anche durante il periodo non gestito [53]. Si tratta di un rifugio molto frequentato per via del suo posizionamento all'interno del Parco dell'Adamello, ed insieme al Rifugio Tonolini (2450 m), che possiede un simile sistema di depurazione, fornisce un esempio di riferimento per l'utilizzo della fitodepurazione in materia di trattamento delle acque in alta quota.

Figura 21 - Rifugio Sandro Occhi all'Aviolo [53]

L'impianto, il cui schema è riportato in Figura 22, prevede l'installazione di un degrassatore immediatamente a valle degli scarichi della cucina, dopo il quale è presente una vasca Imhoff in cui vengono fatti convogliare tutti gli scarichi. Dopo la sedimentazione primaria, il refluo prosegue la sua depurazione in un impianto di fitodepurazione, costituito da 12 vasche in polietilene di forma rettangolare e superficie unitaria di 5 m^2 riempite di zeolite [12].

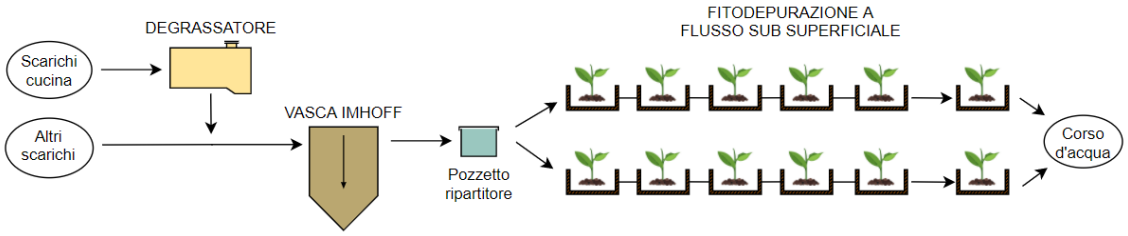


Figura 22 - Schema impiantistico del Rifugio Sandro Occhi all'Aviolo

A valle della vasca Imhoff è presente un pozzetto ripartitore che ha lo scopo di distribuire i reflui su due diverse linee di fitodepurazione, organizzate in parallelo, ciascuna delle quali è formata da 6 vasche in serie. La prima linea di trattamento è composta da 5 vasche posate in orizzontale su un primo piano, dopo il quale un pozzetto di regolazione dei livelli convoglia le acque nella vasca finale della prima serie. La seconda linea di trattamento, posata su di un piano inferiore rispetto al primo a causa della morfologia del terreno, è analoga alla prima. Gli scarichi sono infine recapitati in corso d'acqua superficiale nelle vicinanze. L'intero impianto, dimensionato per 30 A.E., è stato costruito nell'estate del 2015 (Figura 23), con un costo di circa 50.000 € [54].

Figura 23 - Fasi di costruzione e messa in opera delle vasche di fitodepurazione al Rifugio dell'Aviolo [54]

A seguito delle analisi chimiche effettuate su campionamenti svolti nell'estate 2017 (Tabella 21) si evince che l'abbattimento dell'ammoniaca risulta buono anche considerando gli elevati valori in ingresso ma non avviene la sua nitrificazione, in quanto la capacità di trasferimento dell'ossigeno da parte del cotico erboso impiegato a copertura della zeolite è limitato. La riduzione del fosforo risulta variabile dal 60% in agosto al 36% in settembre, mentre l'abbattimento del COD è rispettivamente del 63% e dell'82%. In generale, considerata la prossimità del rifugio ai 2000 m, l'impianto si dimostra performante per la riduzione dei principali contaminanti.

Tabella 21 - Analisi chimiche dei reflui e rese di depurazione dell'impianto al Rifugio dell'Aviolo [12]

Parametro	**Data**	**Uscita Imhoff (mg/l)**	**Scarico alla seconda linea di fitodepurazione (mg/l)**	**Resa di depurazione**
COD	01/08/17	990	363	63.3 %
	24/09/17	866	154	82.2 %
BOD_5	01/08/17	503	227	54.9 %
	24/09/17	497	132	73.4 %
$N\text{-}NH_4^+$	01/08/17	148	61	58.8 %
	24/09/17	47.7	21.5	54.9 %
$N\text{-}NO_3^-$	01/08/17	0.67	0.63	6.0 %
	24/09/17	0.44	0.25	43.2 %
P_{TOT}	01/08/17	29.1	11.6	60.1 %
	24/09/17	6.32	4.03	36.2 %

4.3 Rifugio Carlo Franchetti

Il Rifugio Franchetti (Figura 24), di proprietà della sezione CAI di Roma, si trova sul territorio del Comune di Pietracamela, in Abruzzo, ed è il rifugio più alto situato sul Gran Sasso, vantando una quota di 2433 m s.l.m. La struttura, aperta da inizio giugno a fine settembre e nei weekend invernali su prenotazione, conta 23 posti letto, è dotata di servizio di ristoro e di acqua corrente proveniente dal Ghiacciaio del Calderone. Non sono però disponibili acqua calda e docce, dato che si traduce in minori consumi idrici. In aggiunta, l'energia elettrica è fornita tramite allaccio ad impianto fotovoltaico [55].

Il rifugio è stato oggetto di interventi di adeguamento riguardanti l'impianto di trattamento delle acque reflue, grazie ad un finanziamento ministeriale di 66.381 € [56].

Figura 24 - Rifugio Carlo Franchetti [55]

Le acque in uscita dalla cucina incontrano un dissabbiatore, per eliminare i sedimenti, ed un separatore di grassi. A valle di tali trattamenti si uniscono gli scarichi provenienti dai servizi igienici ed i reflui effettuano un ulteriore trattamento di grigliatura, entrando all'interno di una filtrococlea rotativa che provvede alla separazione delle parti solide con dimensioni superiori a 3 mm e alla loro compattazione. I solidi compattati sono poi essiccati per il loro trasferimento a valle, destinati allo smaltimento in discariche autorizzate. Successivamente il flusso grigliato entra in una vasca Imhoff dimensionata per 40 A.E. per la sedimentazione finale e digestione anaerobica; infine è presente un impianto di dispersione nel terreno per sub-irrigazione nell'adiacente zona declive [12] [56]. Uno schema riassuntivo del processo è rappresentato in Figura 25.

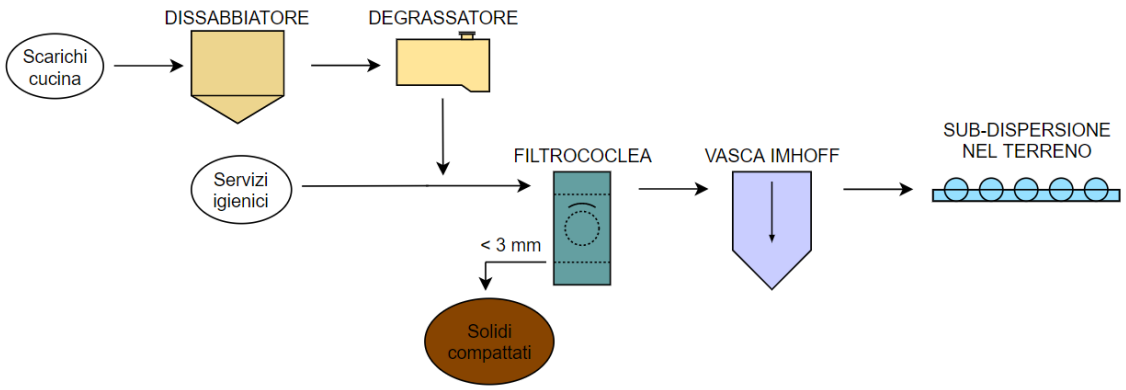


Figura 25 - Schema impiantistico presso il Rifugio Franchetti

Gli spinti pretrattamenti che caratterizzano questo impianto, specie l'utilizzo di una filtrococlea, rendono i successivi stadi di depurazione sufficientemente performanti. In questo modo viene eliminato il rischio di intasamenti per la fossa Imhoff, la cui gestione risulta più favorevole anche a fronte del dimensionamento cautelativo di 40 A.E. Non vi è inoltre la necessita di trattamenti secondari impiantistici per ridurre il carico inquinante, sebbene l'impianto si trovi ad una quota piuttosto elevata. La compattazione dei solidi trattenuti dalla grigliatura fine è di fondamentale importanza per la riduzione del volume dei fanghi, rendendo in tal modo meno oneroso il trasporto a valle, anche a fronte del dispendio energetico necessario per il funzionamento del macchinario.

4.4 Rifugio Lamsenjoch (*Lamsenjochhütte*)

Il Rifugio Lamsenjoch (Figura 26) si trova nel cuore del Parco Alpino tirolese del Karwendel, in Austria, a 1.983 m di altezza. La struttura è aperta da inizio giugno a metà ottobre, conta 126 posti letto ed è una meta molto frequentata dai turisti. È anche presente un locale invernale di emergenza di 6 posti, sprovvisto però di approvvigionamento idrico. Nel 2018 è stato assegnato al rifugio il sigillo di qualità ambientale da parte delle autorità austriache, in quanto esso soddisfa alcuni criteri nei settori dell'efficienza ed approvvigionamento energetico, del trattamento delle acque reflue e dalla prevenzione e smaltimento dei rifiuti [57].

Figura 26 - Rifugio Lamsenjoch [57]

L'impianto di trattamento reflui è stato installato nell'ambito del progetto "*Confronto di tecnologie e bilancio ecologico per impianti di depurazione in zone alpine accidentate*"

[58] finanziato nel 2001 dal programma EU-Life, dalla regione Tirolo, dal Ministero dell'Ambiente austriaco e dall'associazione alpina tedesca.

L'impianto, schematizzato in Figura 27, è basato su un trattamento meccanico-biologico che può trattare una portata massima di reflui di 15 m^3 al giorno.

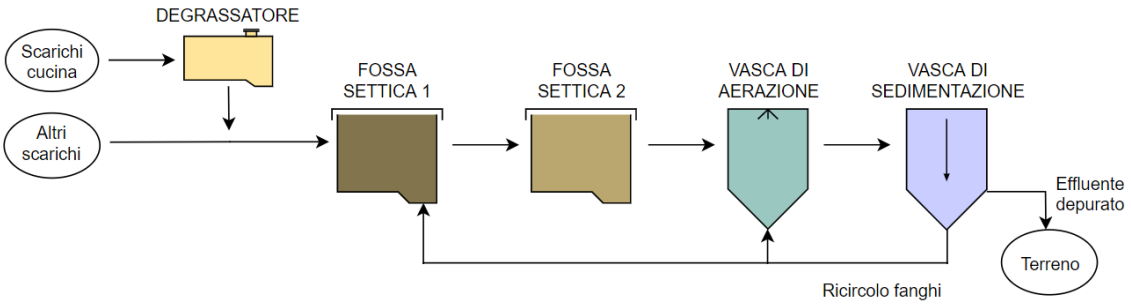


Figura 27 - Schema dell'impianto presso il Rifugio Lamsenjoch

A valle di un separatore di grassi per le acque di cucina, i reflui sono convogliati in due fosse settiche interrate, poste a 7 metri dal rifugio; successivamente sono presenti due vasche basate sul principio dei fanghi attivi che provvedono alla rimozione biologica del carico organico. La prima delle due vasche funge da reattore di aerazione, mentre nella seconda avviene prima una circolazione meccanica del refluo, poi la sedimentazione dei fanghi. Una quota parte dei fanghi viene pompata nuovamente nelle vasche precedenti, mentre quelli in eccesso vengono aspirati e a fine stagione, dopo una disidratazione meccanica, vengono sparsi in maniera controllata su apposite aree in loco. Tutte e quattro le vasche hanno un diametro di 2.5 m ed un volume di 11,8 m^3; viene in tal modo sfruttato il principio dei reattori discontinui sequenziali (SBR) che permette al sistema di risultare molto stabile a fronte di forti variazioni di carico idraulico, tipiche del rifugio molto frequentato. Il refluo depurato viene infine ciclicamente riversato nei primi strati del terreno tramite delle tubazioni che fuoriescono dall'ultima vasca [12] [58] [59].

I consumi energetici dell'impianto, legati ai due compressori dimensionati per fornire 0.63 kg di ossigeno all'ora alla vasca di aerazione, ammontano ad un massimo di 22 kWh al giorno. Le rese depurative riportate sul sito del progetto sono molto buone per le sostanze organiche, arrivando fino ad una rimozione del 98% per il COD, mentre i rendimenti di rimozione dell'azoto sono inferiori, attestandosi al 20%. Anche in questo caso, la causa consiste molto probabilmente nella difficoltà dell'abbattimento delle specie azotate a bassa temperatura, in quanto le vasche sono interrate e non poste in locali riscaldati a causa delle loro grandi dimensioni [59].

4.5 Monte Rosa Hütte

Monte Rosa Hütte è un rifugio di proprietà del Club Alpino Svizzero, situato nel territorio di Zermatt nel Canton Vallese svizzero a 2883 m s.l.m. La struttura, frutto di un recente progetto ed inaugurata nel 2010, ospita 120 posti letto e rappresenta un grande esempio di ecosostenibilità ad alta quota. Il nuovo rifugio (Figura 28) sostituisce l'edificio preesistente, non più idoneo a reggere i circa 8000 pernottamenti annuali; la sua realizzazione è stata effettuata mediante elementi prefabbricati in legno portati in loco in elicottero, isolati con fibra minerale e rivestiti in alluminio [60].

É dotato di servizio ristorazione per 180 ospiti, moderne strutture sanitarie a basso consumo idrico, docce ed acqua calda ed è gestito da metà marzo a metà settembre, ma sono disponibili 12 posti letto anche nel locale invernale, sprovvisto di utenze [60].

Figura 28 - Monte Rosa Hütte [60]

Grazie ad un impianto fotovoltaico e ai pannelli solari termici integrati nella facciata dell'edificio esposta a sud, il rifugio riesce a recuperare circa il 90% dell'energia consumata, mentre il restante 10% è fornita da un'unità di cogenerazione alimentata ad olio di colza. L'approvvigionamento idrico deriva invece dallo scioglimento dei ghiacciai; la risorsa viene stoccata in una vasca sotterranea di circa 200 m^3, posta 40 metri a nord del rifugio ed una volta microfiltrata e trattata con raggi UV viene utilizzata per alimentare bagni e cucina [61].

La depurazione delle acque reflue viene effettuata in un complesso impianto basato sulla microfiltrazione a membrana, scelta progettuale giustificata dall'elevata quota e dal numero di posti letto, che permette il riutilizzo delle acque grigie depurate come

alimentazione delle vaschette dei wc e delle lavatrici. L'impianto, schematizzato in Figura 29, è dimensionato per 55 A.E. e per trattare fino a 3.5 m^3 di acqua al giorno [62].

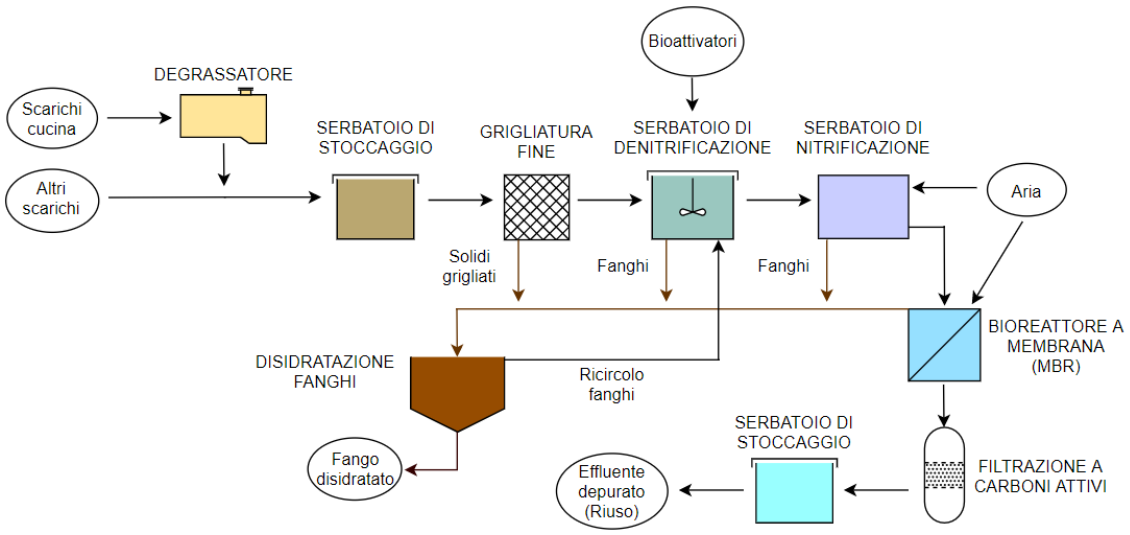


Figura 29 - Schema dell'impianto di trattamento della Monte Rosa Hütte

I reflui provenienti dai servizi igienici incontrano quelli in uscita dal degrassatore che ha trattato gli scarichi della cucina, ed insieme vengono inviati ad un serbatoio di stoccaggio da 3 m^3, dotato di un rilevatore di livello che aziona l'intera linea di trattamento solamente una volta raggiunto il valore prestabilito, in maniera tale da ridurre i consumi energetici già molto elevati. Le acque vengono quindi sottoposte ad un trattamento di grigliatura fine ed inviate ad un serbatoio miscelato di denitrificazione che opera in condizioni di anossia, con l'aggiunta di bioattivatori specifici. Successivamente il refluo attraversa un serbatoio di nitrificazione da 5.5 m^3, in cui è presente l'insufflazione di aria sotto forma di microbolle; a questo punto è presente il cuore di tutto l'impianto, ovvero un bioreattore con membrana sommersa, avente una superficie di filtrazione pari a 50 m^2 e con dimensione dei pori pari a 10 µm. Una volta effettuata la microfiltrazione, l'effluente attraversa ancora un filtro a carboni attivi e viene stoccato in un serbatoio pronto per essere riutilizzato come acqua per sciacquoni ed alimentazione per le lavatrici.

Parallelamente, il materiale trattenuto dalla grigliatura fine, i fanghi delle vasche di denitrificazione ed areazione ed il filtrato della membrana vengono inviati al comparto di disidratazione dei fanghi. Il permeato viene rinviato nella vasca di denitrificazione, mentre il residuo solido è trasportato a valle tramite elicottero [62] [63] [64].

La messa in opera di questo complesso impianto di trattamento è da considerarsi parte integrante della ricostruzione del rifugio, costata complessivamente 6.500.000 € [63], e rappresenta uno dei più grandi esempi di ecosostenibilità dell'intero arco alpino.

4.6 Rifugio del Goûter (*Refuge du Goûter*)

Il Rifugio del Goûter (Figura 30) è situato nel territorio di Saint-Gervais-les-Bains, sul massiccio del Monte Bianco a 3835 m s.l.m. di quota. Si tratta del rifugio più alto di Francia ed uno dei più alti d'Europa. Di proprietà del Club Alpino Francese, è stato inaugurato nel 2013 dopo tre anni di lavori dal costo totale di 6.500.000 € e sorge a 200 metri a sud del rifugio preesistente [65].

Figura 30 - Rifugio del Goûter [66]

La struttura, in grado di accogliere 120 persone a notte ed aperto da giugno a settembre, presenta una forma ovoidale per poter resistere alle raffiche di vento da oltre 300 km/h e per far scivolare la neve sulle pareti laterali; è costituito da elementi prefabbricati in legno d'abete locale, rivestiti di pannelli in fibra di legno riciclato e in acciaio inox [66].

Esposto a sud si trova un impianto fotovoltaico con superficie di 95 m^2 che, insieme ad un gruppo di cogenerazione ad olio combustibile ed olio di colza da 13.3 kW, fornisce l'energia elettrica necessaria al rifugio. Sono presenti anche 50 m^2 di pannelli solari termici che contribuiscono all'apporto di calore dell'edificio, producono acqua calda ed alimentano uno sciogli-neve in acciaio inox che fornisce l'approvvigionamento idrico del rifugio. L'acqua recuperata dalla fusione nivale, successivamente trattata con raggi UV, viene stoccata in 8 vasche da 3m^3 ciascuna, per un totale di 24 m^3 di potenziale stoccaggio. Nel 2013 sono stati registrati 8330 pernottamenti ed un consumo d'acqua di 158.8 m^3, per un carico idrico specifico di circa 19 litri a persona; tali numeri sono stati resi possibili anche grazie all'utilizzo di wc ad aspirazione che consumano 1.2 litri per scarico [67].

In riferimento allo stesso anno, l'energia termica necessaria è stata coperta all'86% dai pannelli solari termici e per il 14% dalla cogenerazione, mentre il fabbisogno elettrico è stato soddisfatto rispettivamente per il 59% dai pannelli fotovoltaici e per il 41% dal gruppo cogenerativo; quest'ultimo ha consumato un totale di 3.7 m^3 di olio combustibile. La produzione di acqua per fusione nivale rappresenta mediamente il 55% del fabbisogno termico, mentre il trattamento delle acque reflue rappresenta il 43% del fabbisogno annuo di elettricità [67].

L'impianto di trattamento delle acque reflue consiste in un reattore biologico a membrana dal ridotto ingombro planimetrico (6 m^2) e contenuto in un compatto apparecchio trasportato in elicottero, come illustrato in Figura 31 [68].

Figura 31 - Reattore biologico a membrana e relativo posizionamento al Rifugio Goûter [68]

I reflui provenienti dalla cucina vengono degrassati e successivamente triturati assieme alle restanti acque grigie ed acque nere provenienti dai wc a vuoto. Il liquame viene destinato ad un serbatoio di equalizzazione, in cui vengono separati i fanghi primari, ed inviato alla vasca contenente la membrana sommersa che effettua l'ultrafiltrazione grazie all'insufflazione di aria ad alta pressione. Viene infine eseguito un passaggio in un filtro ai carboni attivi ed un trattamento a raggi UV: questi trattamenti di affinamento consentono il riciclo dell'effluente depurato in wc e orinatoi e la successiva l'evacuazione di acqua priva di microorganismi all'esterno. I fanghi di depurazione, derivanti dalla triturazione, dalla vasca di equalizzazione e dal trattenuto della membrana, vengono trasportati a valle con elicottero [67] [68] [69] .

L'impianto, il cui schema di funzionamento è riportato nella seguente Figura 32, è dimensionato per trattare fino a 5.9 m^3 di acqua al giorno ed effettuare una rimozione giornaliera di sostanza organica pari a 4.58 kg BOD_5. Le rese di depurazione raggiunte si attestano al 99.5% per i TSS, al 99% per il BOD_5, al 97% per il COD, all'88.6% per l'azoto totale ed al 98% per il fosforo totale [69].

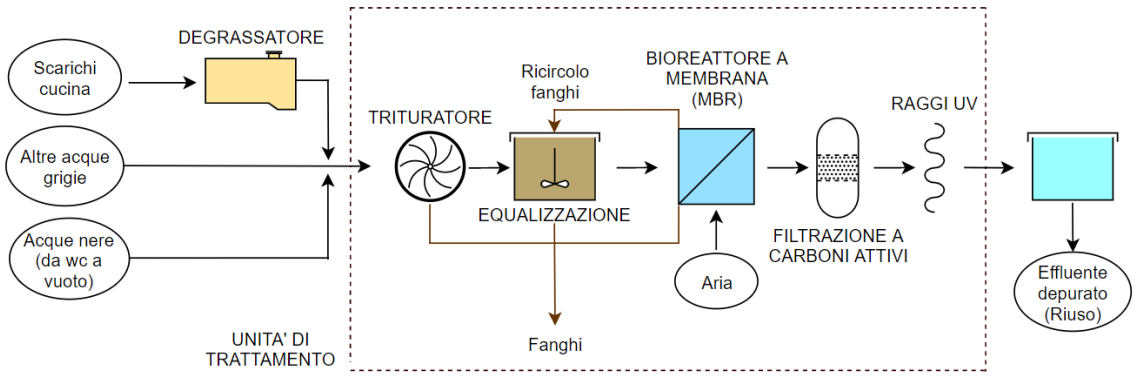


Figura 32 - Schema di funzionamento dell'impianto di trattamento del Rifugio Goûter

Anche in questo caso il trattamento delle acque reflue trova luogo in un impianto complesso, molto energivoro ma dal ridotto ingombro per poter essere ospitato all'interno dei locali, pensato per il riutilizzo dell'effluente caratterizzato da un'ottima qualità, considerata la rarità della risorsa idrica ad una quota prossima ai 4000 metri.

5 Gestione e trattamento dei reflui nei rifugi del Piemonte

Viene in seguito descritto ed illustrato il lavoro di analisi svolto nell'estate 2020, atto ad indagare lo stato della gestione e dei trattamenti delle acque reflue nei rifugi piemontesi. L'indagine è avvenuta raccogliendo i dati per mezzo di un questionario elettronico, somministrato ai gestori dei rifugi e, talvolta, alle sezioni CAI proprietarie. I loro contatti sono stati reperiti tramite tre diverse fonti: il sito internet del Club Alpino Italiano – Piemonte [70], il testo "*70 Rifugi del CAI Piemonte*" [71] ed il numero di giovedì 30 luglio 2020 del Corriere di Saluzzo [72].

Le 36 domande presenti sono state suddivise in sezioni, mirate a raccogliere informazioni riguardanti:

- Aspetti generali e gestionali del rifugio, tra cui posizionamento territoriale, quota altimetrica, periodo di apertura, posti letto disponibili ed una stima del numero di ospiti di passaggio in alta stagione;
- Approvvigionamenti idrici ed energetici della struttura;
- Sistemi di trattamento preliminare, primario e secondario delle acque reflue;
- Gestione dei fanghi residui dal trattamento;
- Costi di installazione e manutenzione degli impianti.

È bene precisare che l'indagine è stata svolta nei mesi estivi, coincidenti con il periodo di maggior carico di lavoro per i gestori dei rifugi. La richiesta di compilazione, inoltre, è stata effettuata solo in minima parte di persona, mentre la maggior parte delle strutture sono state contattate tramite posta elettronica e telefono. Questi fattori hanno sicuramente giocato un ruolo importante sulla percentuale di risposte, ed è quindi bene sottolineare la gentile collaborazione di quanti hanno partecipato al presente studio.

I risultati emersi dalla compilazione del questionario, riportato in forma completa negli allegati, sono descritti in seguito, mentre in Appendice sono presenti delle brevi schede di presentazione dei rifugi che hanno partecipato all'indagine, in cui sono riportate una ad una le rispettive tecniche di trattamento utilizzate. Nei successivi paragrafi, invece, le risposte raccolte sono trattate come dati aggregati, al fine di eseguire una lettura trasversale del contesto di studio e trarre conclusioni su interdipendenze tra i vari parametri che entrano in gioco nella scelta di un trattamento delle acque opportuno per un'utenza come quella del rifugio alpino.

5.1 Risposte al questionario

Il questionario sopracitato, riportato negli allegati del presente documento, è stato somministrato ad 86 rifugi montani situati in Regione Piemonte. La maggior parte di essi risulta essere gestita dal Club Alpino Italiano, mentre solamente 19 sono gestiti da privati.

Le risposte al questionario sono state 32, ovvero il 37% del totale, a fronte di 54 richieste senza riscontro (Figura 33).

Figura 33 - Percentuale di risposte ottenute al questionario

Tutte le risposte provengono da rifugi del CAI, nello specifico si tratta di: 1 rifugio sito in Provincia di Biella, 10 rifugi nella Provincia di Cuneo, 16 rifugi in Città Metropolitana di Torino, 4 rifugi siti nel Verbano-Cusio-Ossola ed 1 rifugio nella Provincia di Vercelli. La distribuzione geografica dei rifugi contattati è riportata in Figura 35.

Si nota, come riportato nel grafico in Figura 34, l'alta percentuale di risposta (73%) dei rifugi della Città Metropolitana di Torino, mentre per le altre Provincie le percentuali di risposta sono piuttosto basse.

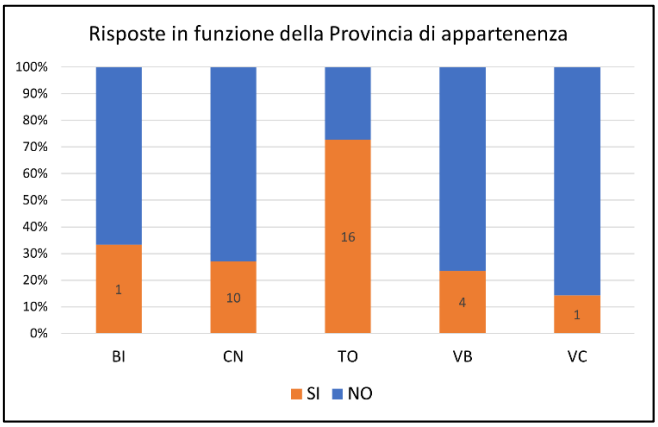


Figura 34 - Percentuale di risposte in funzione della Provincia di appartenenza

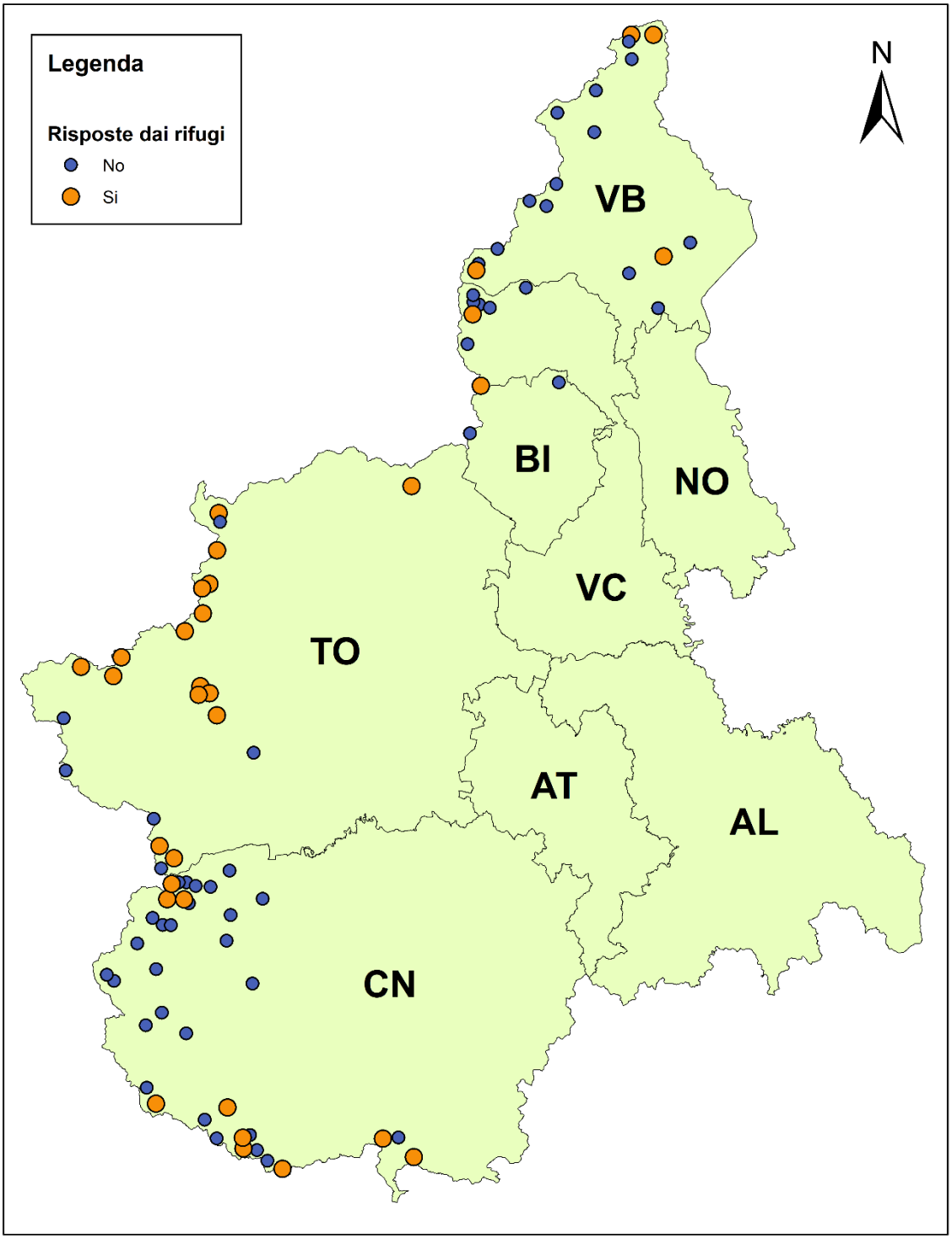


Figura 35 - Distribuzione geografica dei rifugi piemontesi intervistati

Per quanto riguarda la distribuzione altimetrica delle risposte, è possibile dire che il campione preso in considerazione risulta omogeneo, con maggiori risposte (70%) da parte dei rifugi posti più in alta quota, tra i 2500 m s.l.m. ed i 3000 m s.l.m. Un valido motivo potrebbe essere l'elevata affluenza di turisti nelle strutture poste più a bassa quota e dunque più facilmente raggiungibili, che coincide con un maggiore carico di lavoro per i gestori che non hanno trovato il tempo necessario per rispondere al questionario.

In Figura 36 sono raffigurate le percentuali di risposta in funzione della quota altimetrica, quest'ultima suddivisa in 4 intervalli da 500m a partire da 1000m fino a 3000m.

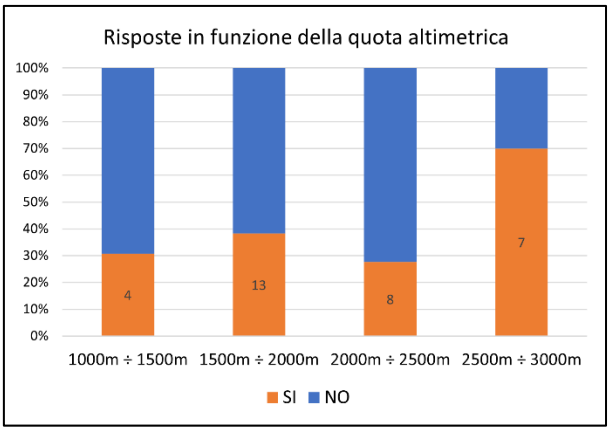


Figura 36 - Percentuale di risposte in funzione della quota altimetrica

Il rifugio nel campione posto più a bassa quota è il Rifugio Fantoli Antonio, mentre quello a più alta quota è il Rifugio Luigi Vaccarone, rispettivamente posti a 1000 m s.l.m. e 2747 m s.l.m. Nella seguente Figura 37 è rappresentata la distribuzione altimetrica delle risposte ottenute, in cui ogni barra verticale rappresenta un rifugio a cui è stato proposto il questionario.

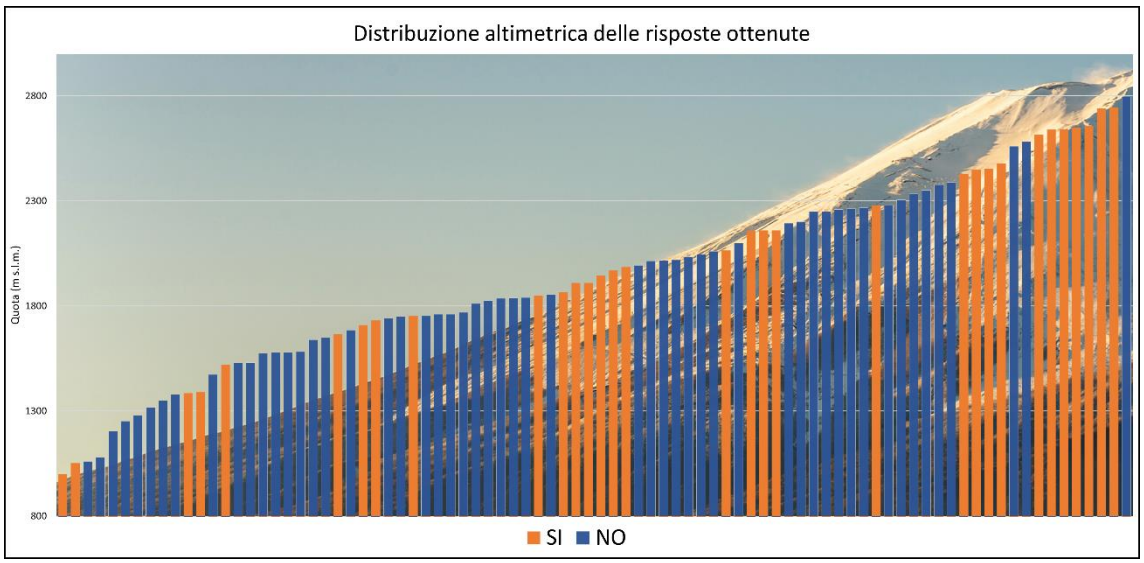


Figura 37 - Distribuzione altimetrica delle risposte ottenute

5.2 Gestione ed approvvigionamenti delle strutture

A dimostrazione di quanto sostenuto in precedenza, si è valutata la correlazione lineare esistente tra i posti letto dei rifugi e la quota della loro ubicazione. Come emerge dal grafico riportato in Figura 38, i due parametri sono piuttosto indipendenti tra loro, con una correlazione lineare approssimativa del solo 3.4%. Si nota, inoltre, che la maggior parte dei rifugi, a qualunque quota, possiede tra i 20 ed i 50 posti letto, mentre solo 5 rifugi hanno a disposizione più di 60 posti letto, con un massimo di 100 ospiti pernottanti per il Rifugio Jervis Willy al Prà, a 1732 m s.l.m. Contrariamente alla tendenza evidenziata dell'aumento di posti letto al crescere della quota, la struttura di più piccola taglia risulta essere quella più ad alta quota (2747 m s.l.m.), il Rifugio Luigi Vaccarone.

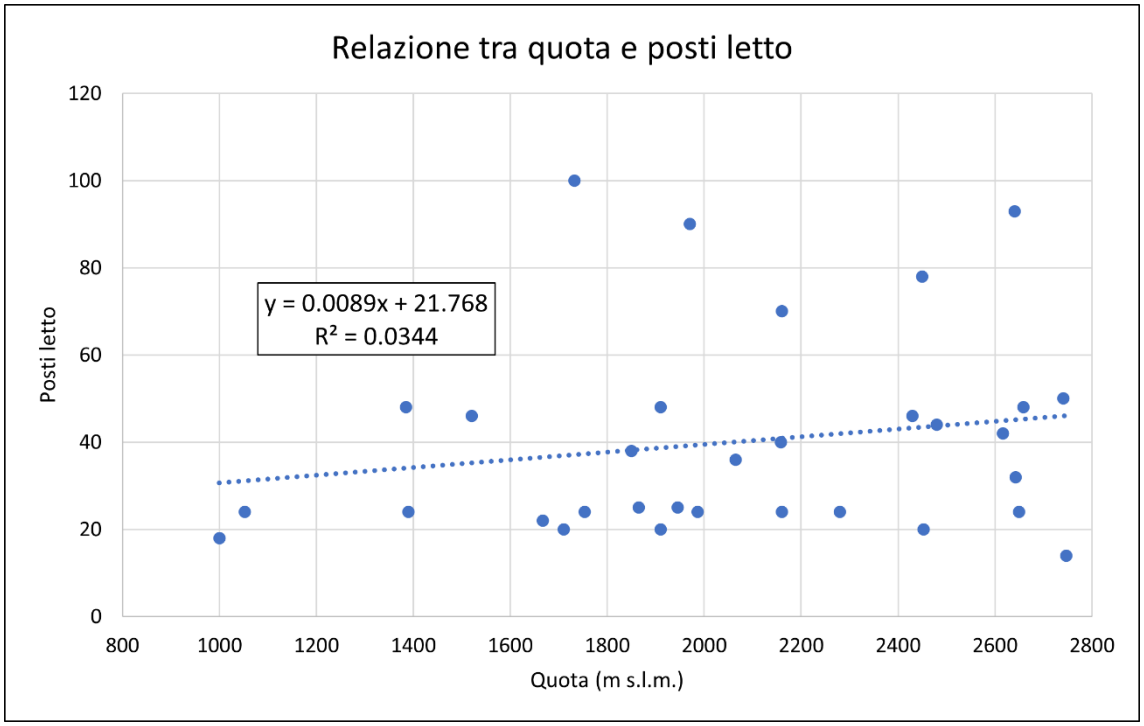


Figura 38 - Correlazione tra quota e posti letto

Una visualizzazione simile permette di correlare i vari aspetti che caratterizzano il rifugio ed il loro sistema di depurazione, in quanto ogni punto sperimentale, che rappresenta una diversa struttura, viene identificato da due parametri piuttosto indipendenti tra di loro, ovvero quota e posti letto.

Relativamente al numero di ospiti di passaggio giornalieri in alta stagione, esso risulta più legato alla quota che al numero di posti letto. Sebbene le presenze giornaliere siano molto legate a fattori quali la presenza di attrazioni naturalistiche, itinerari e paesaggi, all'aumentare della quota si nota loro diminuzione progressiva, legata alla maggiore

difficoltà di accesso legata ai luoghi più isolati. Il legame è mostrato nel grafico di Figura 39.

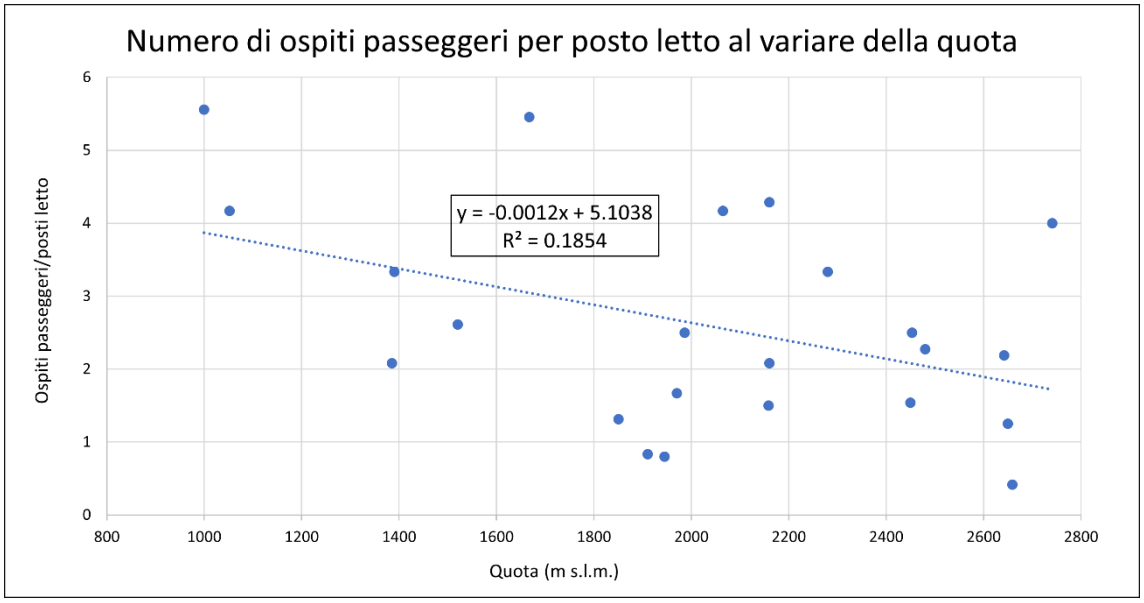


Figura 39 - Numero di ospiti passeggeri per posto letto al variare della quota

Sebbene la correlazione lineare tra questa grandezza e la quota risulti ancora molto bassa (19%), è comunque un ordine di grandezza superiore a quella esistente tra i soli posti letto e la quota. Il calcolo di tale parametro permette inoltre di svincolarsi dalla superficie disponibile nel rifugio e nei suoi dintorni, elemento di grande importanza per quanto riguarda gli afflussi di passaggio. Emerge il fatto che con l'aumentare dell'altitudine sono presenti sempre meno ospiti di passaggio per posto letto: si passa dai circa 4 passaggi per letto a 1000 m per arrivare ai 2 passaggi per letto dei 2500 m, con una media (indipendente dalla quota) di 2.6 passaggi ogni posto letto. Appare evidente come i criteri progettuali, per quanto riguarda gli utenti passeggeri, debbano essere differenziati per quota.

Relativamente al periodo gestionale riferito all'apertura dei rifugi piemontesi, emergono in sintesi quattro diversi scenari: rifugi aperti nella sola stagione estiva, rifugi aperti in estate ed in tutti i week-end dell'anno, strutture gestite in maniera continuativa da inizio primavera a fine autunno ed infine rifugi aperti 365 giorni l'anno. Come illustrato in Figura 40, 17 strutture facenti parte del campione sono aperte solamente nel periodo estivo, 9 anche nei week-end dell'anno e solamente 3 rifugi sono gestiti in maniera continuativa da primavera ad autunno, come quelli aperti tutto l'anno. Questo fattore influenza sicuramente la scelta del sistema di trattamento: un rifugio aperto solamente da luglio a settembre difficilmente opterà per una scelta impiantistica che implica aspetti gestionali e manutentivi relativamente pesanti.

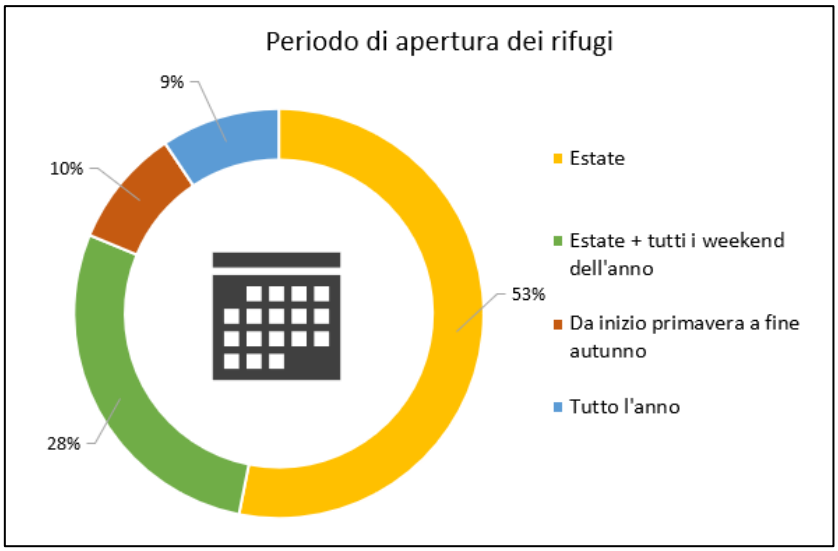


Figura 40 - Periodo di apertura dei rifugi

Valutando invece tale fattore in funzione di quota e posti letto (Figura 41), emerge una situazione piuttosto chiara: i rifugi posti più ad alta quota hanno la tendenza ad essere gestiti solamente nei mesi estivi, mentre al diminuire dell'altitudine e all'aumentare dei posti letto la gestione tende a spalmarsi anche nei weekend e, nel caso del rifugio di taglia più grossa, addirittura su tutto l'anno.

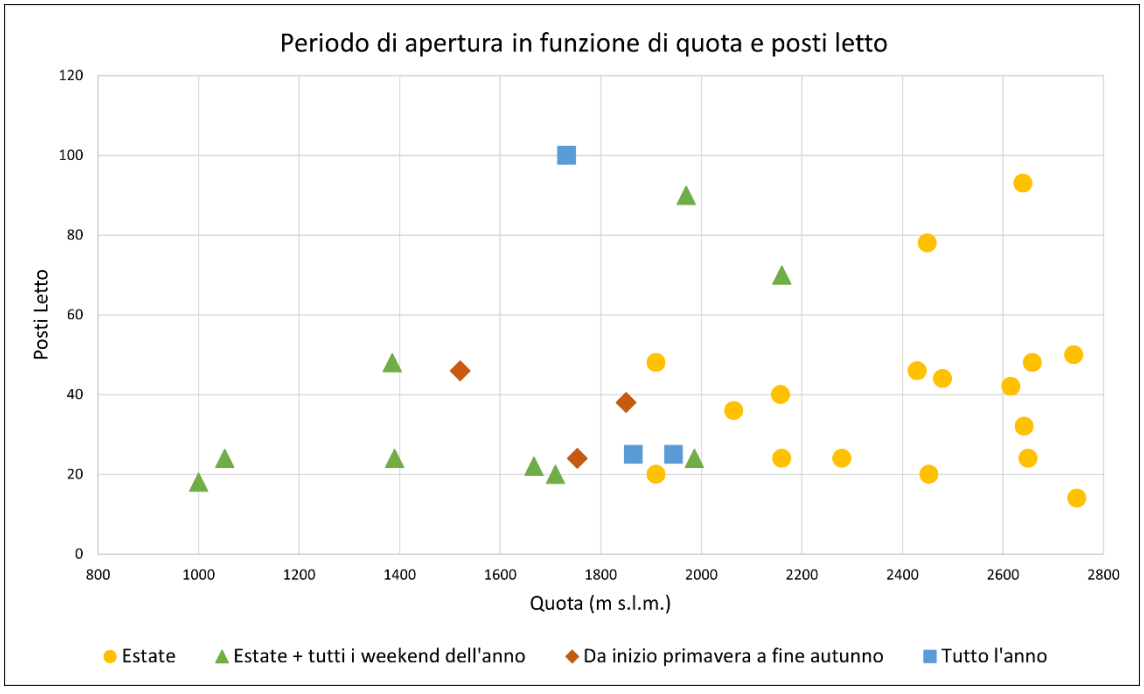


Figura 41 - Periodo di apertura in funzione della quota e dei posti letto

I periodi di apertura, oltre ad influenzare la modalità di trattamento dei reflui, sono dettati dalla variazione dei flussi turistici e specialmente da esigenze e difficoltà gestionali; basti pensare all'approvvigionamento di beni e servizi per le strutture più isolate.

In primo luogo, l'approvvigionamento della risorsa idrica dei rifugi intervistati (Figura 42) deriva in maggioranza da sorgenti presenti nelle zone limitrofe. Ben 23 strutture sulle 32 del campione prelevano acqua da sorgente, 6 rifugi dalla fusione nivale, 3 rifugi da corsi d'acqua superficiali, altrettanti sono allacciati all'acquedotto e solamente uno, il rifugio più alto, è rifornito da un lago posto nelle vicinanze.

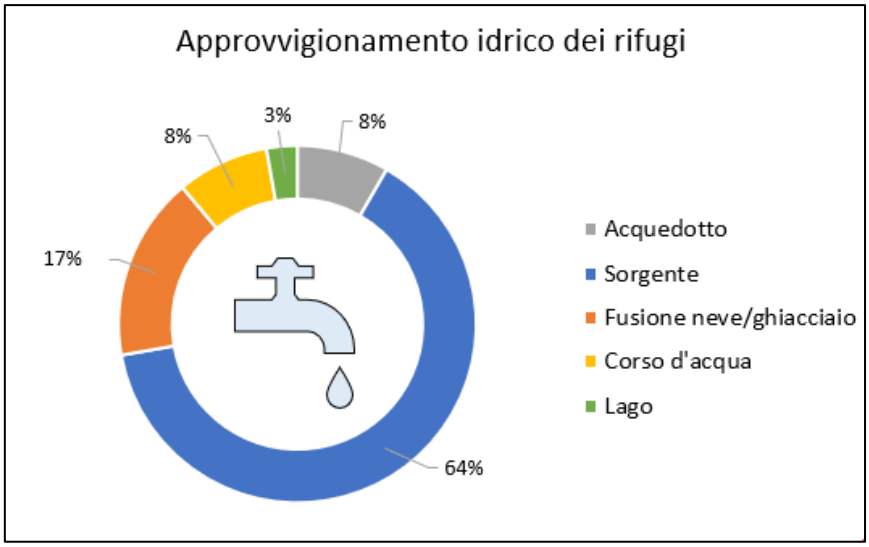


Figura 42 - Modalità di approvvigionamento idrico dei rifugi

Si precisa che alcuni rifugi utilizzano più fonti per il loro approvvigionamento, ad esempio servendosi sia della fusione nivale che di sorgenti presenti nelle vicinanze; in tal caso è stata conteggiata la doppia modalità di approvvigionamento.

In Figura 43 viene mostrata la distribuzione di queste classi in funzione della quota e dei posti letto delle strutture. Indipendentemente da questi parametri, l'approvvigionamento da sorgente trova luogo nella maggior parte dei casi. I rifugi che hanno la fortuna di essere allacciati all'acquedotto sono i due posti più a bassa quota ed il Rifugio Guido Muzio, a 1667 m s.l.m., mentre confrontando i grafici di Figura 41 e Figura 43, emerge che le strutture poste ad alta quota, gestite esclusivamente nei periodi estivi, usufruiscono della fusione nivale.

L'acqua approvvigionata, per il successivo utilizzo da parte degli utenti, viene molte volte trattata, in maniera da garantirne l'allontanamento di vari sedimenti e la rimozione di eventuali patogeni.

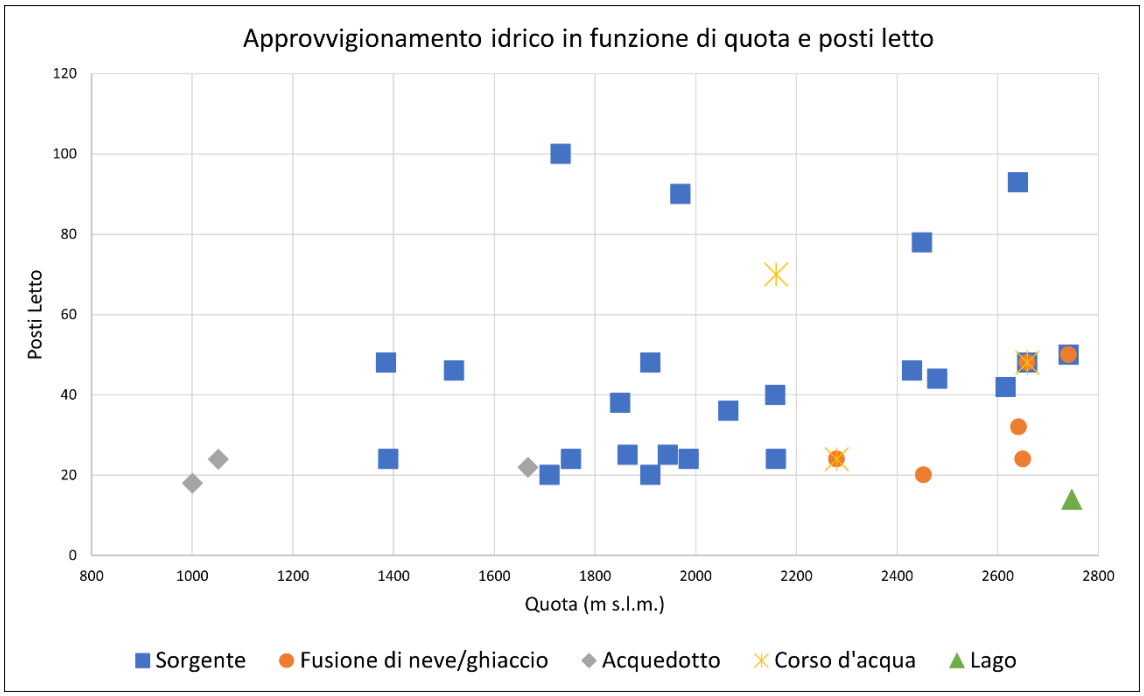


Figura 43 - Approvvigionamento idrico dei rifugi in funzione della quota e dei posti letto

Tra le modalità di trattamento dell'acqua approvvigionata si elenca l'utilizzo dei raggi UV per 14 rifugi, la clorazione per 4 rifugi, la sedimentazione per 9 rifugi e 2 rifugi eseguono una filtrazione. Il 26% dei rifugi intervistati, invece, non effettua alcun trattamento (Figura 44).

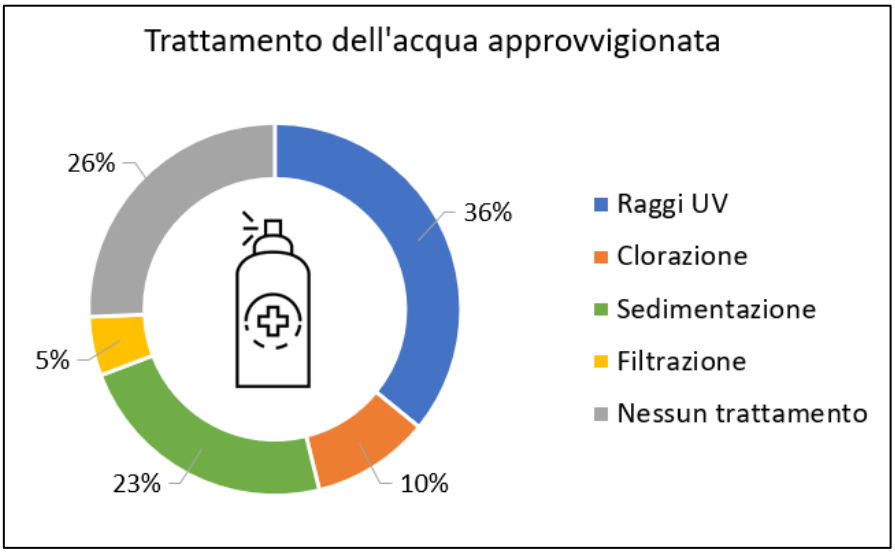
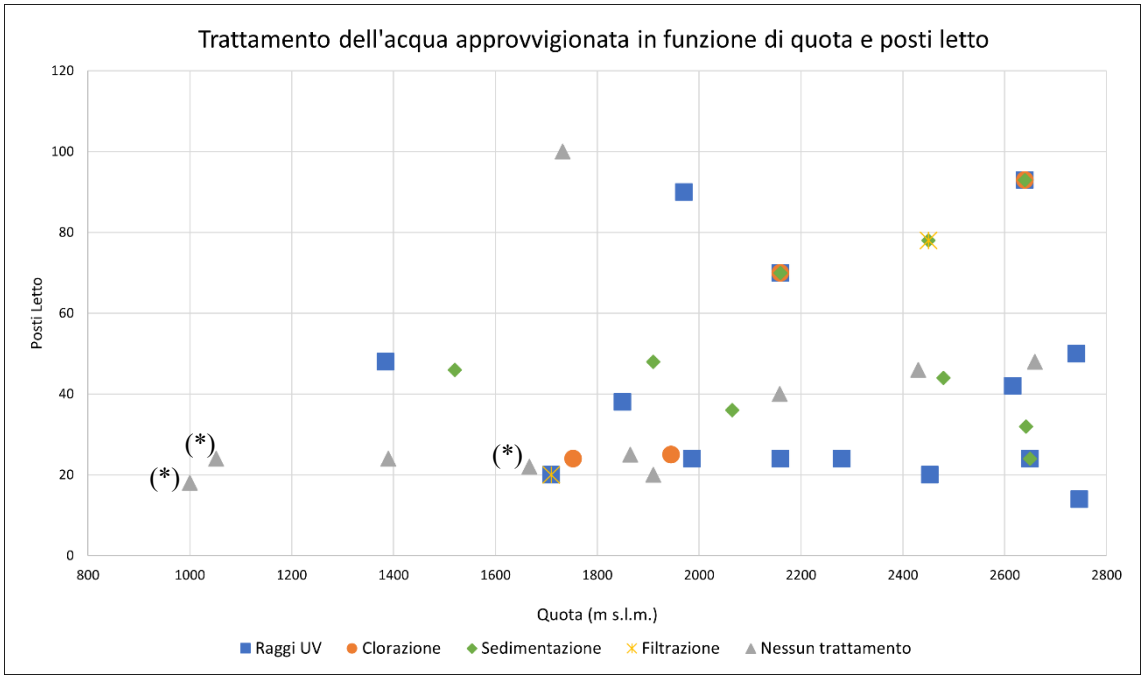


Figura 44 - Trattamento dell'acqua approvvigionata

Anche per quanto riguarda il trattamento dell'acqua approvvigionata alcune strutture utilizzano più sistemi di trattamento in serie, ed essi sono dunque stati conteggiati più volte.

Come emerge dal confronto del grafico in Figura 43 e in Figura 45, una quota parte dei rifugi che non effettuano alcun trattamento sono ovviamente tutti quelli che si riforniscono da acquedotto. Le altre tecniche di trattamento invece appaiono distribuite piuttosto eterogeneamente al variare di quota e posti letto e non sembrano essere presenti delle correlazioni tra i parametri in gioco.



(*) Approvvigionamento idrico da acquedotto

Figura 45 – Trattamento dell'acqua approvvigionata in funzione di quota e posti letto

L'ultimo fattore che dipende dall'ubicazione e dalla taglia dell'impianto, da prendere in considerazione per le diverse tecniche di trattamento, è la modalità di approvvigionamento energetico.

Dall'analisi effettuata emerge che 16 rifugi traggono energia tramite idroelettrico, 14 tramite pannelli fotovoltaici e 6 dispongono di allaccio alla rete. Ancora una volta, anche la modalità di approvvigionamento energetico non è univoca; esistono infatti 6 rifugi che parallelamente alle risorse rinnovabili (5 fotovoltaici ed 1 idroelettrico) affiancano l'utilizzo di un generatore a gasolio, probabilmente per compensare i picchi di utilizzo e sopperire alla mancanza dell'energia non programmabile. É da evidenziare come non esistano strutture che si riforniscano esclusivamente da generatore a combustibile.

Inoltre, 4 rifugi utilizzano sia la risorsa idroelettrica che quella derivante da fotovoltaico. In Figura 46 sono illustrate le percentuali di modalità di approvvigionamento, mentre in Figura 47 è riportato il grafico che descrive la variabilità di questo parametro in funzione di quota e posti letto.

Da quest'ultima analisi risulta che i rifugi più a bassa quota sono quelli serviti dalla rete elettrica; nella fascia tra i 1700 m ed i 2200 m si concentra il più largo uso dell'idroelettrico, mentre i rifugi più ad alta quota (che coincidono con quelli aperti esclusivamente nel periodo estivo) sono serviti essenzialmente dal fotovoltaico, sebbene non esista un trend così rigido.

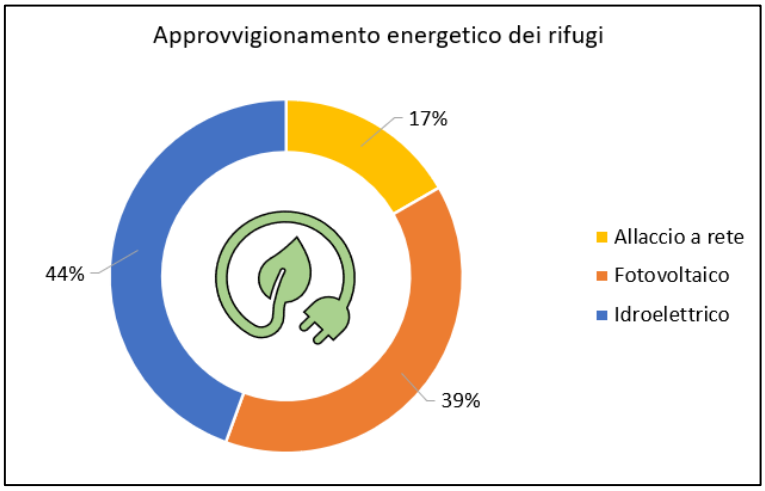


Figura 46 - Approvvigionamento energetico dei rifugi

Per quanto riguarda gli edifici con più di 50 posti letto, si nota un utilizzo preponderante dell'idroelettrico (in un caso accoppiato al fotovoltaico) ed un caso di allacciamento alla rete di distribuzione.

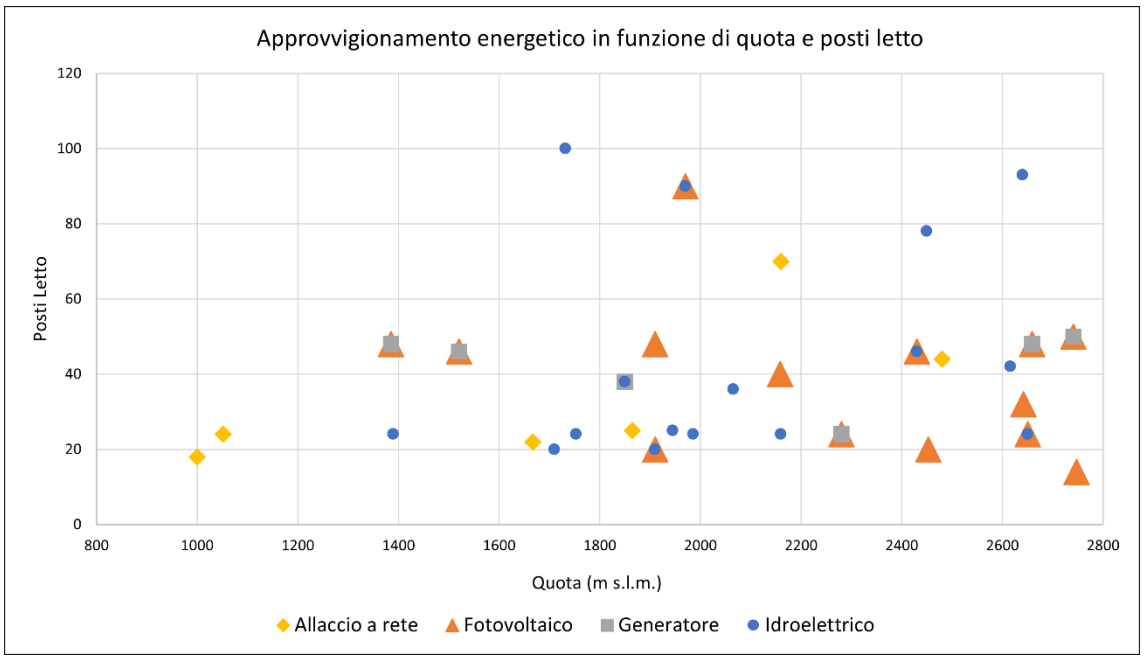


Figura 47 – Distribuzione delle modalità di approvvigionamento energetico in per quota e posti letto

Nei paragrafi successivi vengono invece analizzate le tecniche di trattamento delle acque reflue utilizzate dai rifugi piemontesi oggetto dello studio.

5.3 Analisi dei trattamenti preliminari

Per quanto riguarda i trattamenti preliminari utilizzati dai rifugi piemontesi, emergono cinque diversi scenari: 20 rifugi hanno a disposizione un sistema di rimozione dei grassi, 4 dei quali accoppiati ad una grigliatura per la rimozione dei corpi grossolani; 2 rifugi posseggono invece il solo processo di grigliatura e solamente uno, quello posto più a bassa quota, si avvale dell'utilizzo di una grigliatura spinta tramite l'utilizzo di una filtro-coclea. Infine, sono presenti 9 rifugi che non operano nessun pretrattamento, uno dei quali motivato dal fatto di scaricare in fognatura. Nelle Figura 48 e 49 sono illustrate rispettivamente le percentuali di utilizzo delle tecniche e la loro distribuzione per quota e posti letto.

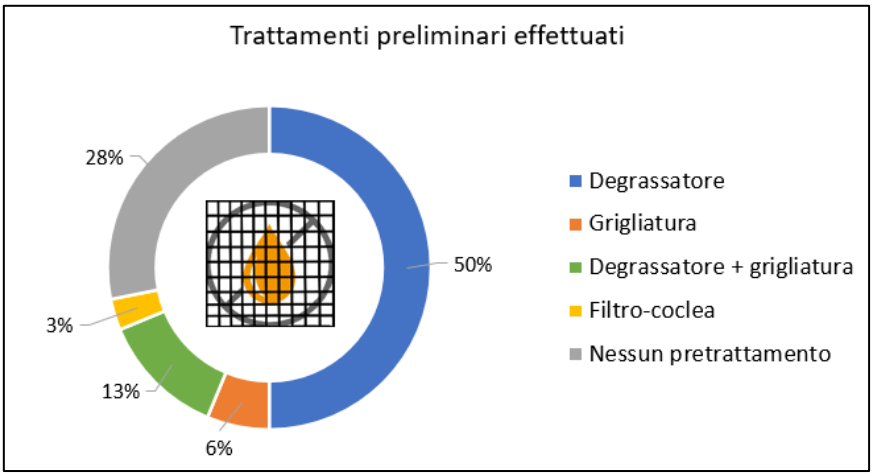
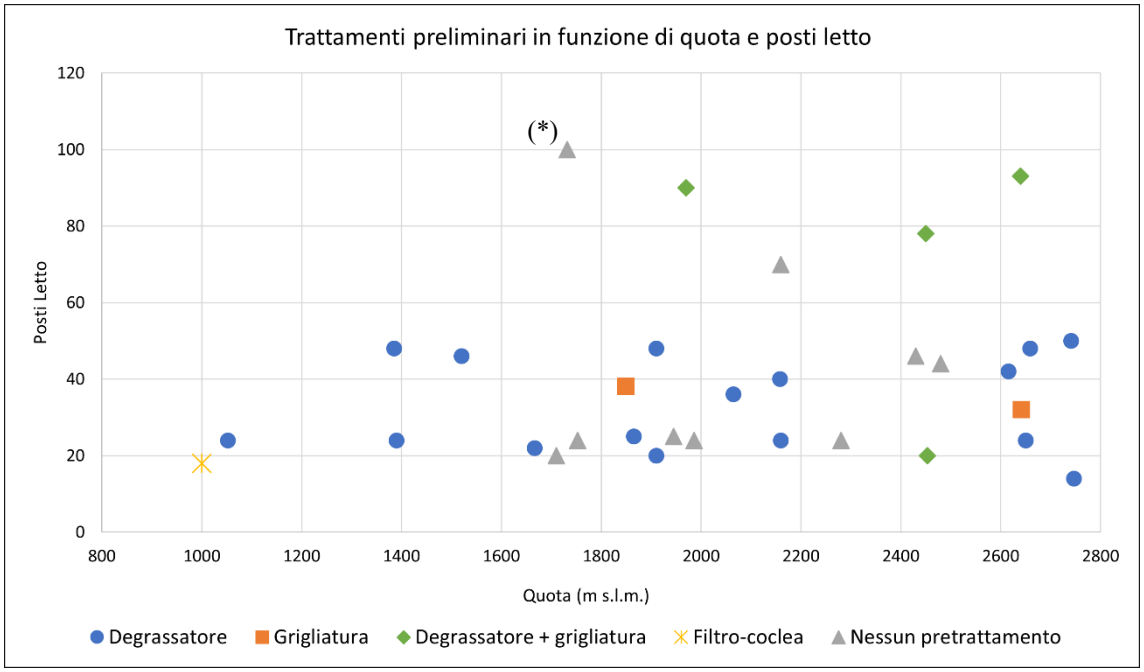


Figura 48 - Trattamenti preliminari effettuati



(*) Rifugio allacciato a fognatura

Figura 49 – Distribuzione dei trattamenti preliminari eseguiti per quota e posti letto

Dalla lettura dei dati emerge che i rifugi di grande taglia adoperano sia una disoleatura che una grigliatura, molto probabilmente in funzione dell'elevato carico idrico che caratterizza i loro reflui, mentre altri non effettuano alcun pretrattamento. L'utilizzo del degrassatore è presente a tutte le quote e per tutte le taglie di edificio, essendo, tra le altre cose, previsto per normativa [3]. L'unico utilizzo di grigliatura spinta avviene per il rifugio posto più a bassa quota, allacciato alla rete di distribuzione elettrica, e dunque possibilitato ad alimentare un macchinario del genere.

Relativamente al periodo di gestione dei rifugi (Figura 50), emerge che l'utilizzo del degrassatore, solitamente installato sotto i lavabi delle cucine, non risente particolarmente delle variazioni dei periodi gestionali. Inoltre, più dell'80% dei rifugi aperti solamente di estate effettua dei pretrattamenti.

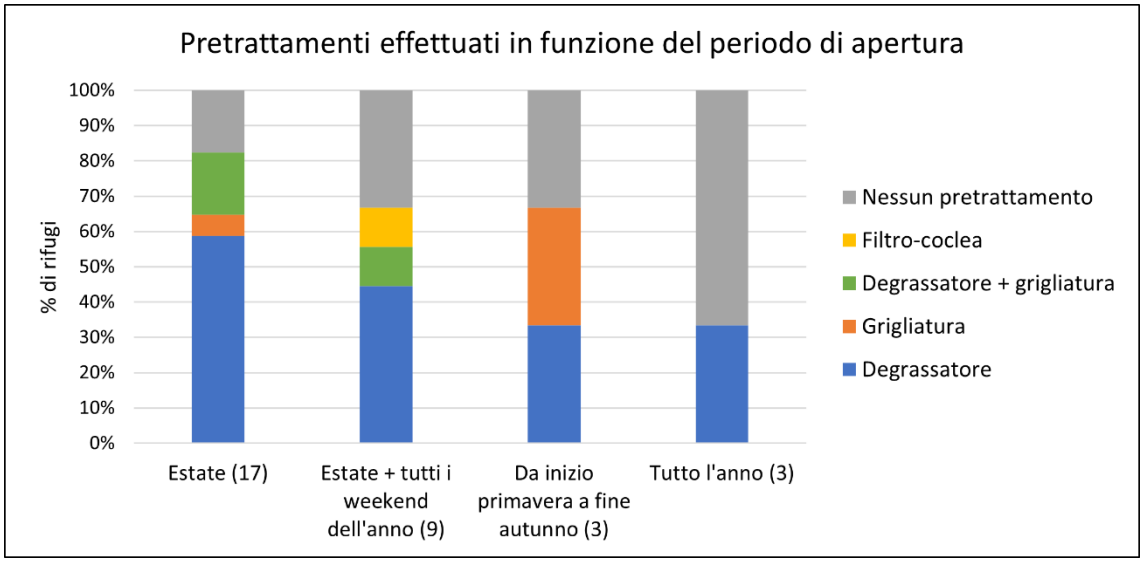


Figura 50 - Pretrattamenti effettuati in funzione del periodo di apertura

Come riportato precedentemente, il pretrattamento più energivoro risulta essere quello effettuato con la filtro-coclea, ma il rifugio che se ne serve è allacciato alla rete di distribuzione dell'energia. Per quanto riguarda tutte le altre tecniche di trattamento preliminare, esse sono caratterizzate dall'assenza di energia elettrica, poiché necessitano della sola rimozione di grasso e materiale grossolano da parte dell'operatore per il corretto funzionamento. L'utilizzo del solo degrassatore è più comune ai rifugi che vengono serviti dal fotovoltaico (64%) rispetto a quelli che si servono dell'idroelettrico (38%); questi ultimi però posseggono una maggiore percentuale di assenza di pretrattamenti. Come rappresentato nel grafico di Figura 51 non emerge dunque una netta correlazione tra l'approvvigionamento energetico ed il tipo di pretrattamento effettuato, eccezion fatta per l'unico caso di utilizzo di filtro-coclea.

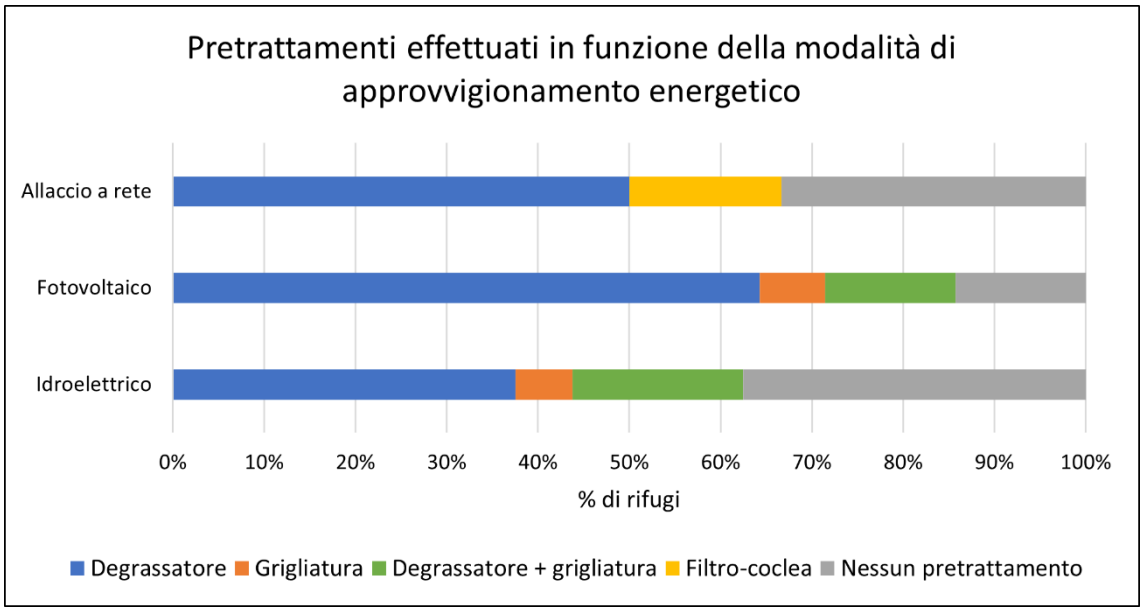


Figura 51 - Pretrattamenti effettuati in funzione della modalità di approvvigionamento energetico

La trattazione dell'utilizzo di bioattivatori per migliorare le prestazioni di depurazione biologica viene eseguita a parte rispetto agli altri pretrattamenti, in maniera da semplificare la visione d'insieme. Come illustrato in Figura 52, sui 32 rifugi totali presi a campione, 18 fanno uso dei bioattivatori (56%), mentre 14 non se ne servono (44%).

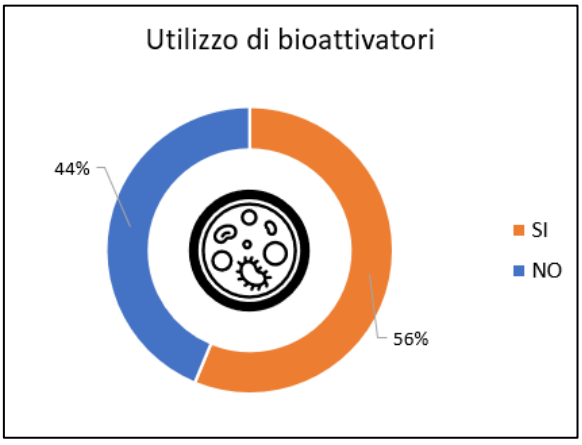


Figura 52 - Percentuale di utilizzo dei bioattivatori

Se viene poi valutato il loro utilizzo in funzione della quota e dei posti letto (Figura 53), appare evidente come i rifugi di grossa taglia e quelli posti ad alte quote, paradossalmente non si servano di tale tecnica, apprezzata invece nei rifugi caratterizzati da 20-30 posti letto a qualsiasi altitudine. Una spiegazione di tale contrasto potrebbe ritrovarsi nel costo di utilizzo dei bioattivatori: sarebbero infatti necessarie maggiori spese per trattare efficacemente gli abbondanti reflui prodotti dai rifugi dotati di molti posti letto, spesa che i gestori di piccoli rifugi possono invece sostenere.

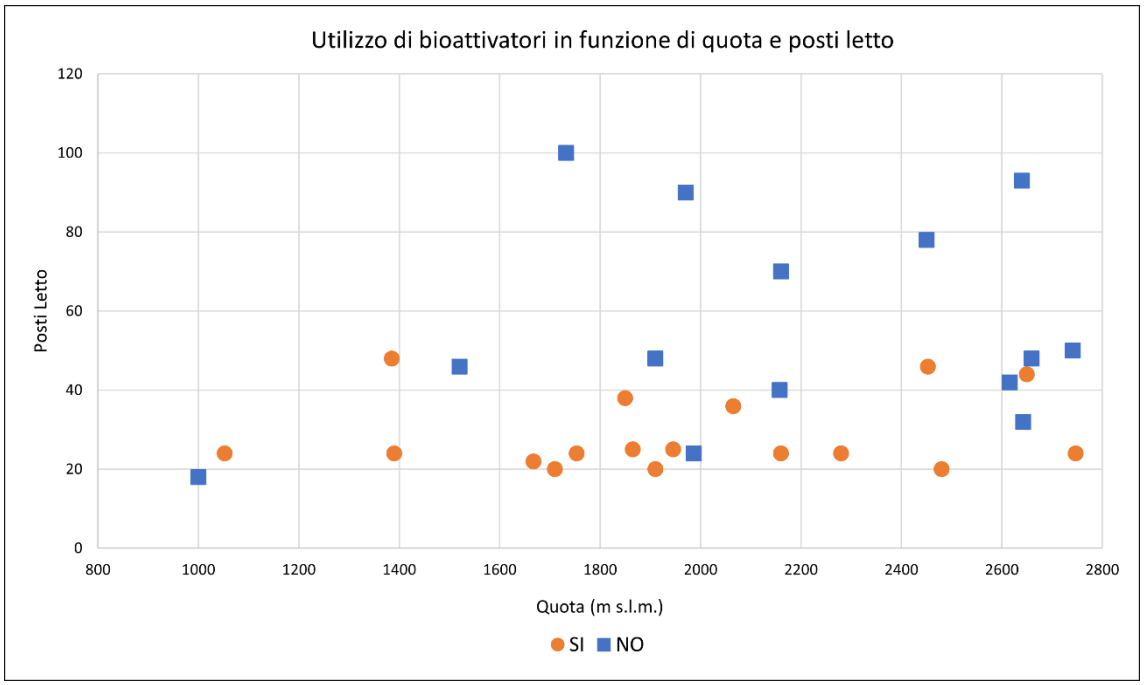


Figura 53 – Distribuzione dell'utilizzo di bioattivatori in funzione di quota e posti letto

Per ciò che riguarda il loro utilizzo in funzione della stagione di apertura dei rifugi (Figura 54), emerge come le strutture gestite nel solo periodo estivo attuino comportamenti contrastanti, dovuti quindi essenzialmente alla maggiore o minore portata dei reflui secondo i posti letto disponibili. Estendendo i periodi di attività dei rifugi, incrementano gradualmente quelli che fanno uso dei bioattivatori, poiché molto probabilmente viene ritenuta una tecnica efficace soprattutto nelle stagioni più fredde, dove le basse temperature influiscono sulle rese depurative. Non sono invece presenti correlazioni con l'approvvigionamento energetico.

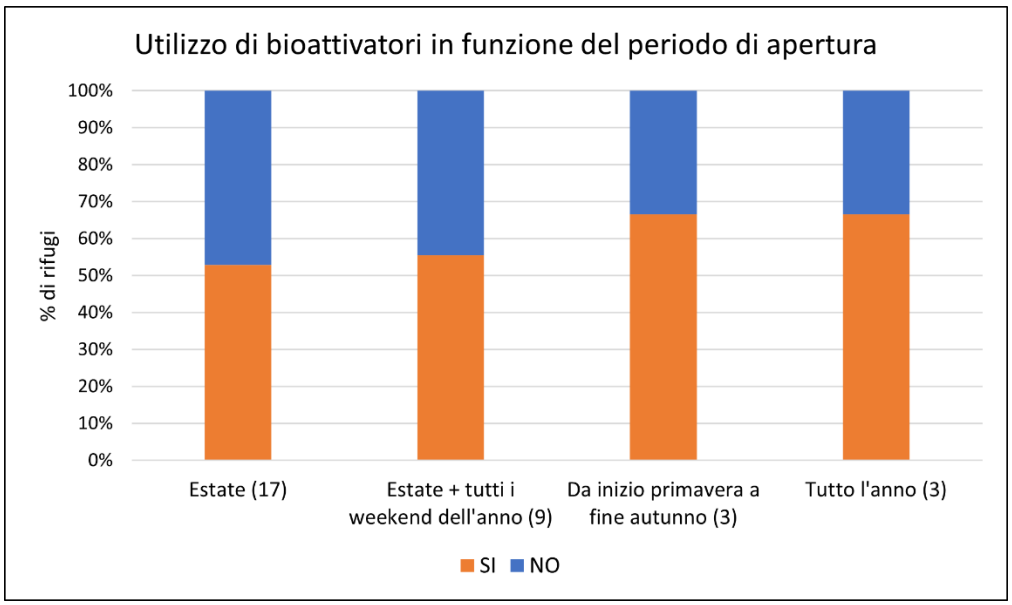


Figura 54 - Utilizzo di bioattivatori in funzione del periodo di apertura

5.4 Analisi dei trattamenti primari

Sulla base dei dati raccolti si presentano tre diversi scenari per quanto riguarda l'utilizzo di trattamenti primari nella depurazione dei reflui. In Figura 55 sono illustrate le percentuali di utilizzo di ciascuna tecnica: non viene previsto alcun trattamento per 3 rifugi, è presente una fossa Imhoff in 27 strutture ed una fossa settica in 3 edifici. Il Rifugio Quintino Sella è l'unico che prevede due diversi trattamenti primari in serie, in quanto i reflui vengono dapprima recapitati in una fossa settica che poi li invia ad una Imhoff. Appare evidente come le fosse Imhoff siano il trattamento primario più utilizzato, adottato per l'82% dei rifugi: ciò risulta in accordo con le diverse linee guida e normative nazionali, che promuovono l'utilizzo di questo tipo di vasca per le piccole utenze.

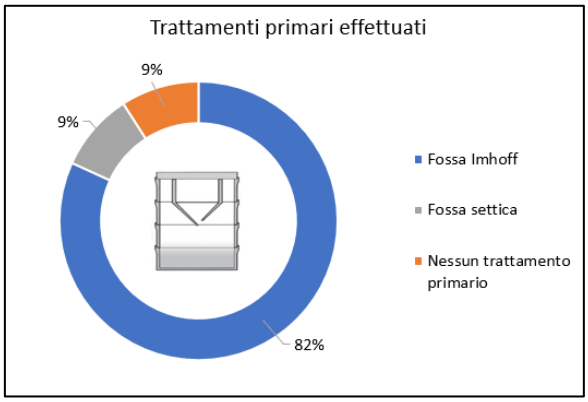
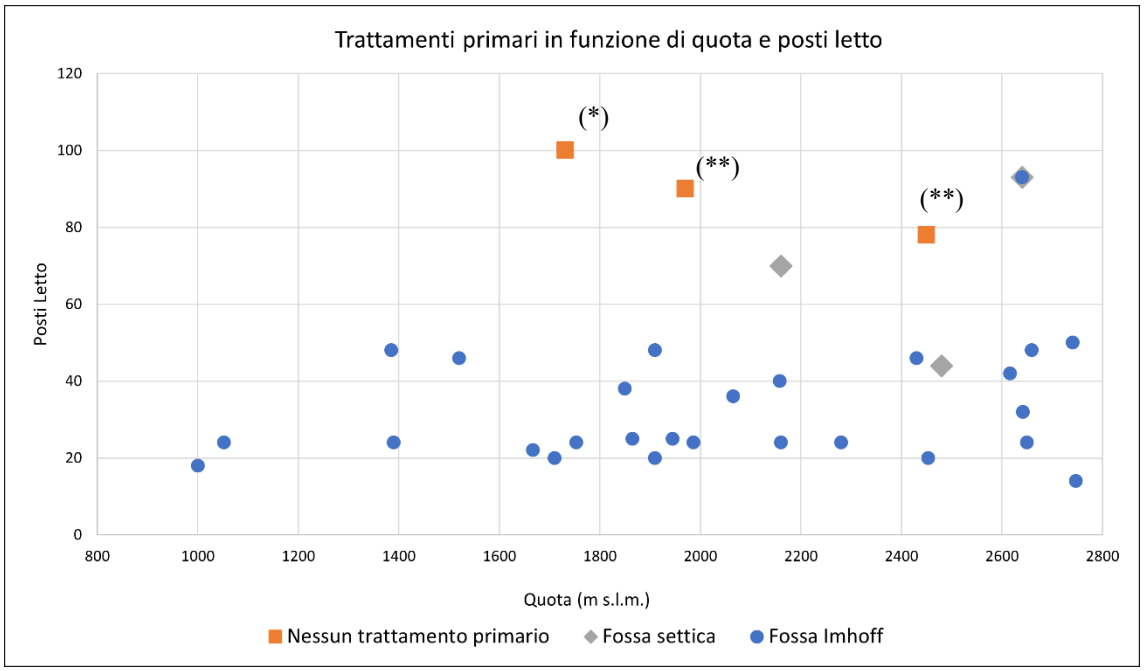


Figura 55 - Percentuale di trattamenti primari effettuati



(*) Rifugio allacciato a fognatura; (**) Rifugio dotato di sistema di fitodepurazione

Figura 56 – Distribuzione dei trattamenti primari eseguiti per quota e posti letto

Qualunque sia la quota considerata, per strutture caratterizzate da meno di 60 posti letto, vi è la predominanza delle fosse Imhoff come unico trattamento primario. Risulta però interessante notare come per i rifugi dotati di un numero maggiore di posti sia più comune l'utilizzo di fosse settiche o l'assenza di trattamenti primari; in quest'ultimo caso il motivo è da riscontrare per due rifugi nell'utilizzo della fitodepurazione, per il terzo rifugio dallo scarico in fognatura che rende superfluo un trattamento primario.

Così come per i trattamenti preliminari e secondari, la modalità di approvvigionamento idrico non influenza le scelte di trattamento. I trattamenti primari non vengono nemmeno influenzati dalla modalità di approvvigionamento energetico, in quanto il loro corretto funzionamento è basato sui principi di sedimentazione e sulla rimozione da parte degli operatori dei materiali depositati e surnatanti almeno una volta l'anno. Non è infatti previsto in nessuno dei rifugi intervistati il posizionamento delle vasche in ambienti riscaldati poiché esse risultano tutte interrate, eccezion fatta per il Rifugio Giacoletti, a quota 2741 m s.l.m., che ha a disposizione un locale non riscaldato nelle vicinanze per ospitare la vasca Imhoff. Solo il Rifugio Zamboni effettua il riscaldamento interrato.

Come illustrato nella Figura 57, neanche il periodo di apertura influenza in maniera significativa la scelta del trattamento primario, in quanto l'utilizzo della Imhoff in valore percentuale è predominante in tutte le classi di apertura definite. I rifugi che restano aperti anche nei periodi invernali, in maniera continuativa o solamente nei weekend, sono quelli che hanno sviluppato maggiormente dei sistemi alternativi alle fosse Imhoff a causa della loro inefficacia o dei problemi di gestione causati dalle basse temperature.

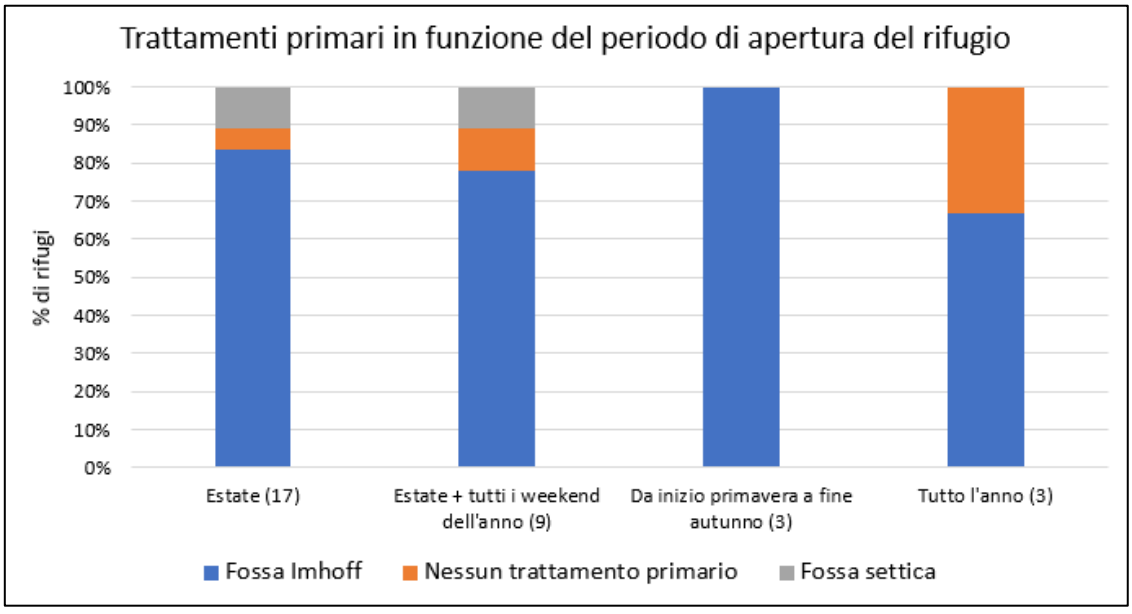


Figura 57 - Trattamenti primari eseguiti in funzione del periodo di apertura

5.5 Analisi dei trattamenti secondari

Gli scenari emersi dalle risposte al questionario sui trattamenti secondari effettuati sono molteplici. Esistono due rifugi che si servono di più trattamenti in serie, ed essi sono quindi stati conteggiati doppiamente, ovvero sul campione di 32 rifugi sono presenti un totale di 34 trattamenti effettuati. In Figura 58 vengono rappresentate le percentuali delle varie tipologie di trattamento secondario. Ben 12 strutture si affidano all'utilizzo del pozzo perdente, 11 rifugi alla dispersione nel terreno per sub-irrigazione, di cui uno prevede a monte un biofiltro ed un altro una filtrazione su tessuto. Solamente 2 rifugi posseggono un impianto di fitodepurazione, una struttura si serve di un letto percolatore naturale ed è presente un solo impianto a fanghi attivi ad ossidazione totale. I restanti 5 rifugi non dispongono di trattamento secondario, due dei quali scaricano in fognatura.

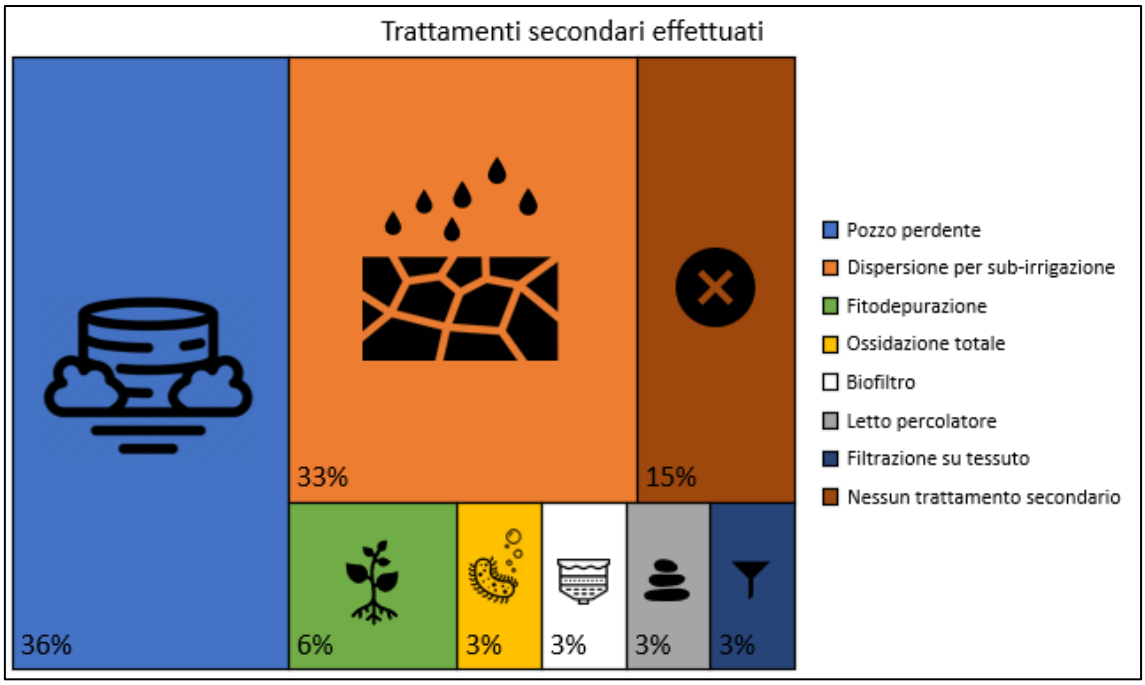
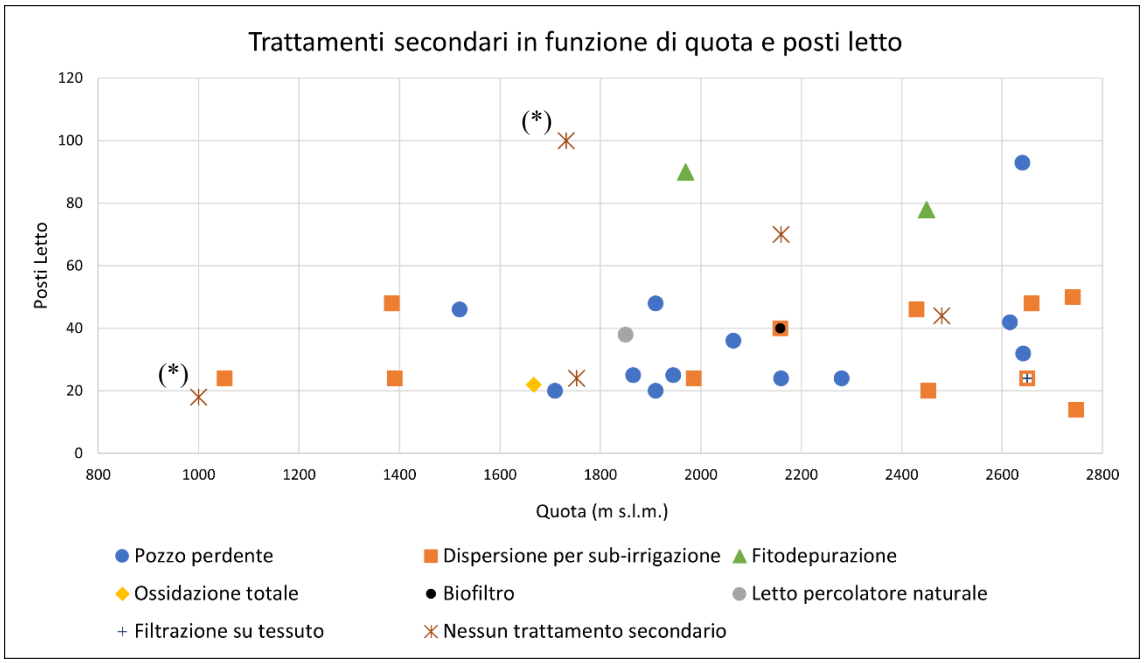


Figura 58 - Percentuale di trattamenti secondari effettuati

La presenza di tecniche di depurazione impiantistiche è ridottissima, attestandosi a soli 4 casi su 32, mentre prevalgono le tecniche di depurazione naturali, basate principalmente sulla dispersione nel terreno tramite pozzo perdente o sub-irrigazione nel migliore dei casi.

Confrontando la distribuzione di tali tecniche per quota e posti letto (Figura 59) con le distribuzioni dei trattamenti preliminari e primari emergono degli interessanti particolari.



(*) Rifugio allacciato a fognatura

Figura 59 - Distribuzione dei trattamenti secondari eseguiti per quota e posti letto

L'utilizzo della dispersione nel terreno per sub-irrigazione è concentrato per i rifugi dotati di meno di 60 posti letto, mentre la fitodepurazione caratterizza i rifugi di grande taglia. Gli stessi rifugi che adoperano la fitodepurazione di tipo sub-superficiale a flusso orizzontale sono quelli che non utilizzano alcun trattamento primario ma effettuano degli spinti pretrattamenti dotandosi sia di degrassatore che di grigliatura.

Analizzando il grafico riportato in Figura 60, risulta che il rifugio che applica il trattamento più energivoro, ovvero l'ossidazione totale, ha la fortuna di essere allacciato alla rete di distribuzione elettrica. Si evince, inoltre, che i rifugi dotati di pannelli fotovoltaici fanno più uso della dispersione per sub-irrigazione (50%) che dei pozzi perdenti (31%); la tendenza inversa, invece, caratterizza le strutture allacciate ad impianto idroelettrico, con un 25% di utilizzo della sub-irrigazione ed il 44% di pozzi perdenti. Trattandosi comunque di una situazione caratterizzata dalla quasi totalità di soluzioni depurative naturali, emerge come l'approvvigionamento energetico sia vincolante per le scelte impiantistiche. L'energia da rinnovabile, non programmabile per definizione, può in molti casi non essere sufficiente ad alimentare anche i sistemi di trattamento dei reflui, in quanto viene data la priorità ai vari comfort dei rifugi.

Dal punto di vista del periodo di apertura invece (Figura 61) emerge l'assenza della dispersione per sub-irrigazione nei rifugi aperti tutto l'anno e da inizio primavera a fine autunno. Nei rifugi aperti solamente nel periodo estivo vi è una sostanziale parità del

numero di utilizzi di pozzi perdenti e sub-irrigazione. Inoltre, gli unici due rifugi che prevedono l'utilizzo di biofiltro e filtrazione su tessuto a monte della dispersione per sub-irrigazione fanno parte di quelli gestiti solamente in estate.

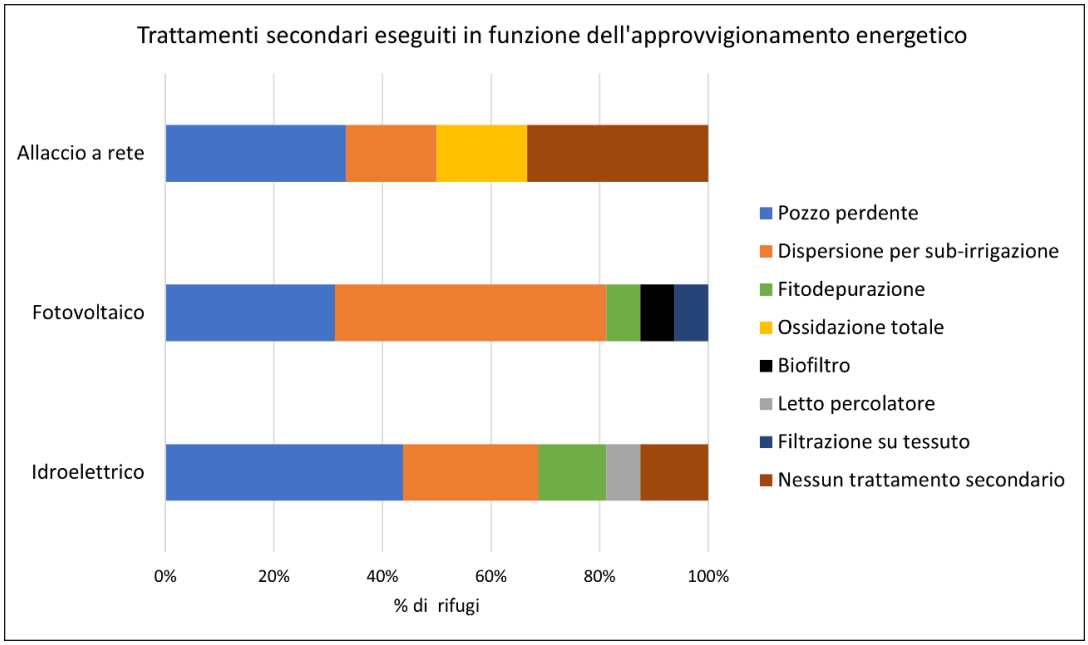


Figura 60 - Trattamenti secondari eseguiti in funzione dell'approvvigionamento energetico

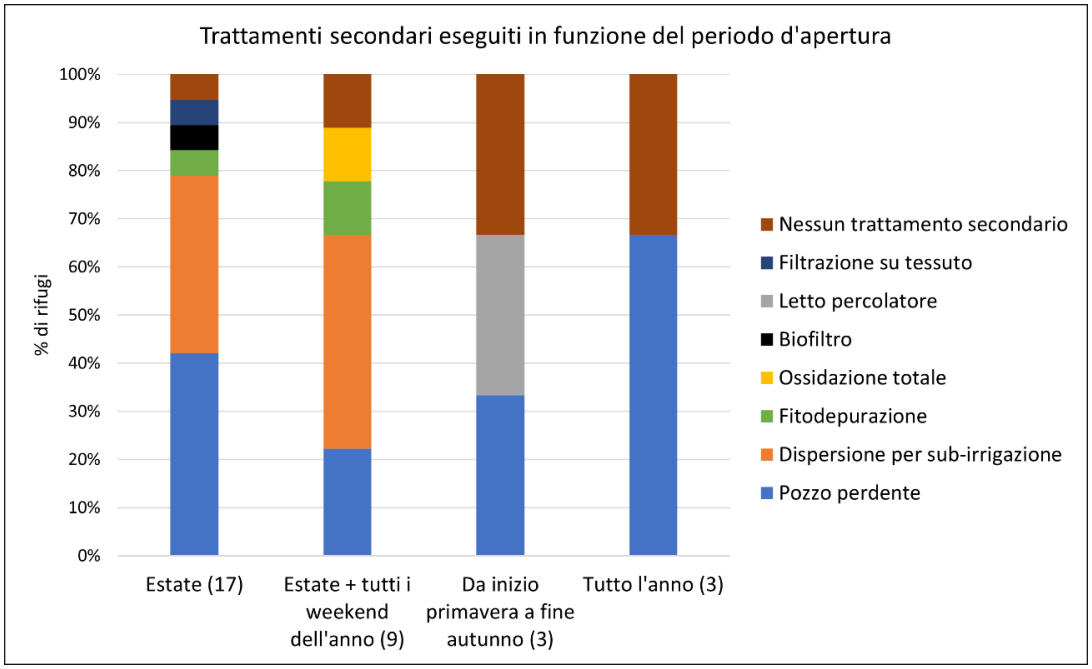


Figura 61 - Trattamenti secondari eseguiti in funzione del periodo di apertura

La tendenza dei rifugi piemontesi, dunque, confrontando le diverse distribuzioni dei trattamenti per quota e posti letto, è quella di servirsi di un degrassatore, inviare i reflui in una Imhoff ed infine disperderli nel terreno o tramite pozzo perdente o, nel migliore dei casi, tramite sub-irrigazione.

5.6 Analisi dei ricettori degli scarichi

Il ricettore più frequente degli scarichi dei rifugi considerati è il suolo, con 27 strutture che qui recapitano i propri reflui; in corso d'acqua superficiale rilasciano i propri effluenti 3 rifugi mentre solamente in due casi è presente l'allaccio a fognatura (Figura 62).

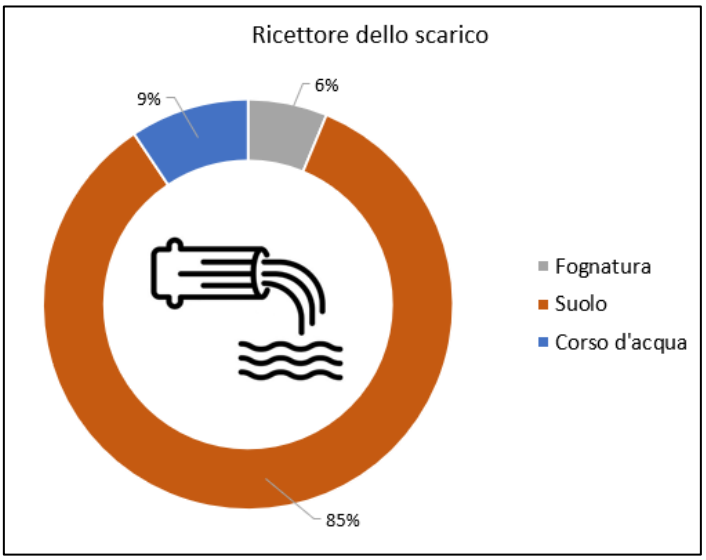


Figura 62 - Percentuale dei ricettori degli scarichi

Come illustrato nel grafico di Figura 63, lo scarico al suolo è la modalità più utilizzata, indistintamente da quota e posti letto: ciò è intrinsecamente legato alla quantità di pozzi perdenti e sub-irrigazioni presenti. Si nota che oltre al rifugio posto più in basso, anche quello di taglia maggiore è allacciato a fognatura, motivo per cui, comparando le precedenti distribuzioni, non effettua alcun trattamento in loco.

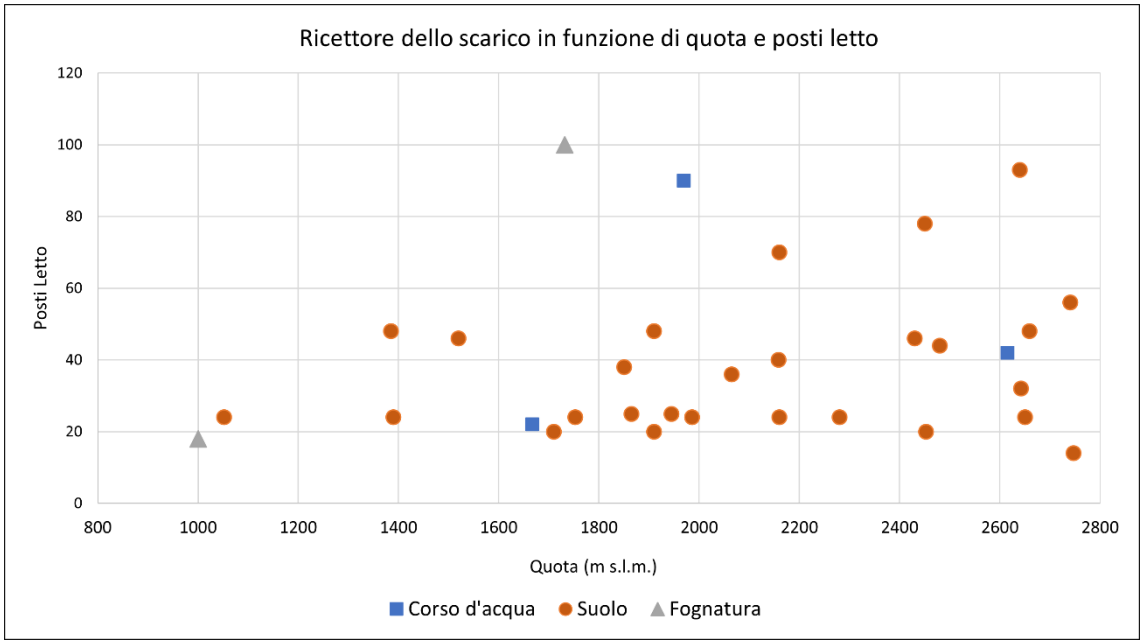


Figura 63 - Distribuzione della modalità di scarico per quota e posti letto

5.7 Analisi della gestione dei fanghi di supero

La delicatezza della questione riguardante la gestione dei fanghi in ambienti di alta montagna emerge anche dalle risposte al questionario proposto. Su ben 8 rifugi non vi sono dati disponibili riguardo alla gestione e smaltimento dei fanghi, mentre 18 rifugi, dunque la maggior parte delle strutture contattate, non effettua alcun trattamento in loco dei fanghi di supero provenienti dalle vasche di sedimentazione. Solamente un rifugio è provvisto di letto essiccatore e due di sacchi filtranti. Vi è assenza di fanghi residui solo in 3 casi: nei due rifugi che utilizzano la fitodepurazione e nel rifugio di più grossa taglia, che non opera alcun trattamento dei reflui in quanto è collegato a fognatura. La ripartizione percentuale delle modalità di gestione dei fanghi è riportata in Figura 64.

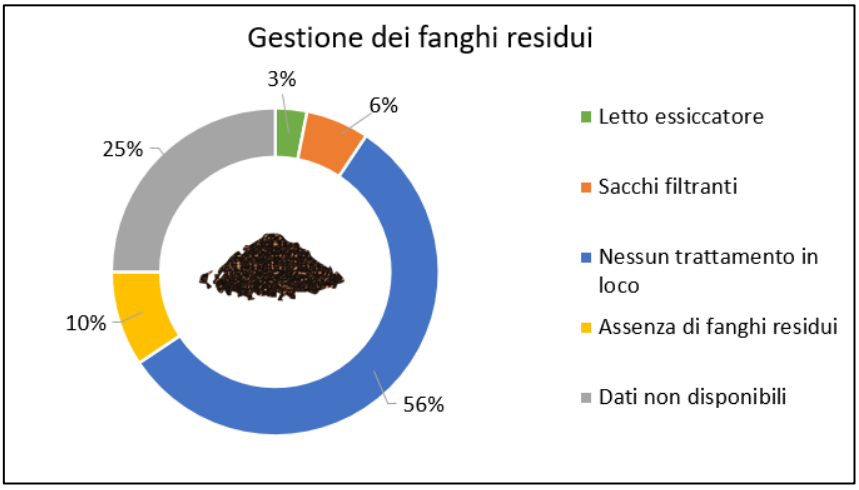


Figura 64 - Percentuale delle modalità di gestione dei fanghi

In Figura 65 è invece illustrata la distribuzione altimetrica e di taglia della gestione dei fanghi. Non sono presenti dati soprattutto per quanto riguarda i rifugi posti più ad alta quota, mentre, per quelli di grande taglia, essi sono caratterizzati da assenza di fanghi (per merito della fitodepurazione e dell' allaccio a fognatura) oppure è presente la disidratazione tramite sacchi filtranti: in questi ultimi due casi, considerata anche l'elevata altitudine dei rifugi, il trasporto dei fanghi a valle sarebbe risultato piuttosto oneroso qualora essi non fossero stati trattati. Appare invece evidente, per strutture di medie/piccole dimensioni, la tendenza a non trattare i fanghi estratti dalle vasche.

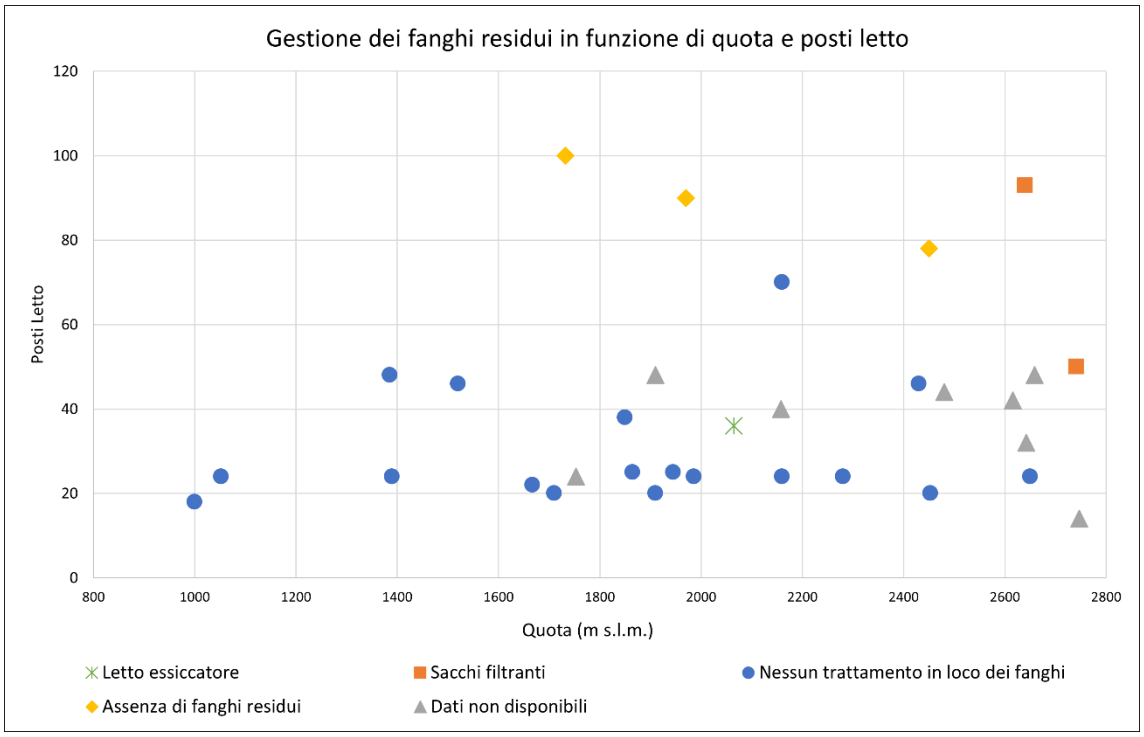


Figura 65 - Distribuzione per quota e posti letto della modalità di gestione dei fanghi

È stata infine analizzata la modalità di trasporto dei fanghi verso valle (Figura 66 e Figura 67) in maniera tale da correlarla alla loro gestione. Molti rifugi non hanno fornito dati riguardo il trasporto, 8 rifugi vengono serviti dall'autospurgo, 6 rifugi tramite elicottero e due sono raggiungibili con trattore.

L'accessibilità al rifugio è un fattore fondamentale per la determinazione della modalità di trasporto: se non vi è accesso ai mezzi è necessario ricorrere all'utilizzo di elicotteri anche a quote non così elevate, mentre questo risulta praticamente necessario per altitudini maggiori di 2500 m s.l.m.

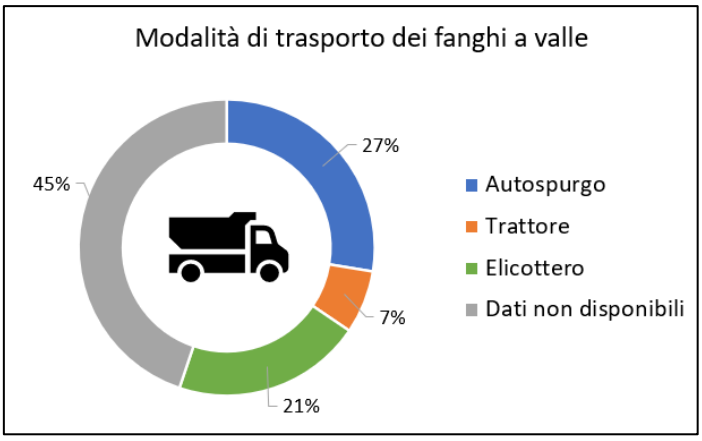


Figura 66 - Percentuale delle diverse modalità di trasporto dei fanghi a valle

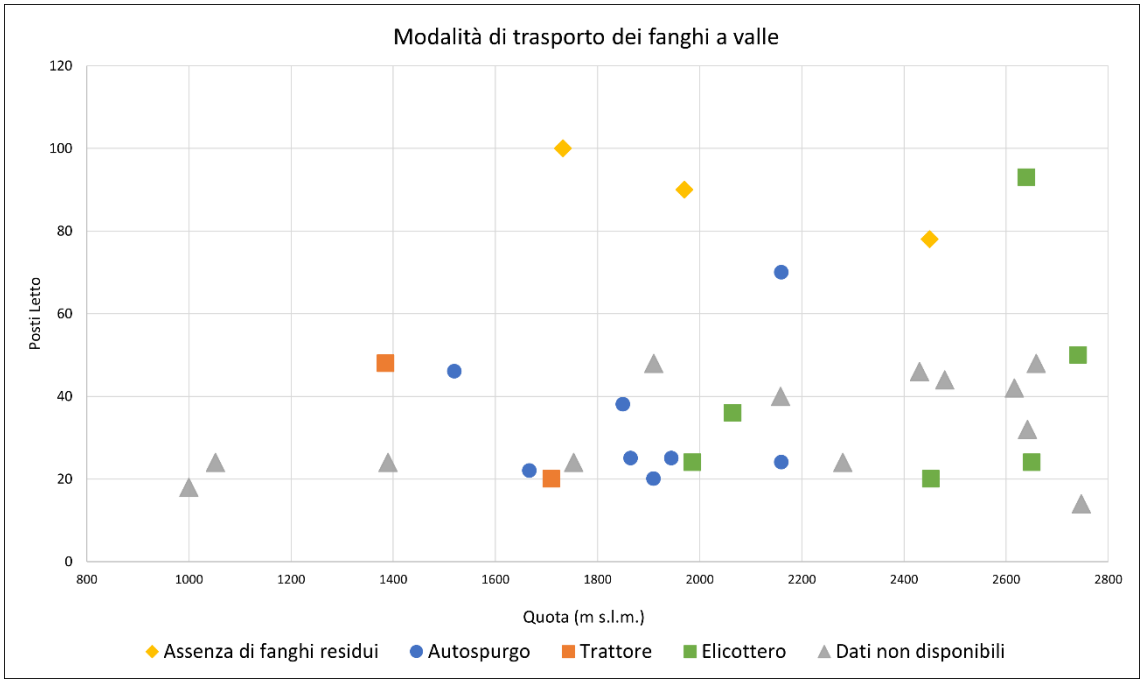


Figura 67 - Distribuzione delle modalità di trasporto dei fanghi per quota e posti letto

5.8 Analisi dei criteri di dimensionamento delle vasche

Analizzando le risposte del questionario è emerso un aspetto interessante relativo al dimensionamento dei trattamenti primari. Sebbene la quasi totalità delle compilazioni non abbia dato risultati in merito alla stima dei consumi idrici medi, dato che necessiterebbe di censimenti e studi approfonditi al di fuori della portata del presente lavoro, alcuni gestori hanno saputo fornire con precisone la dimensione volumetrica delle loro vasche di sedimentazione. Queste ultime, come riportato nel Capitolo 3.2, vengono dimensionate sulla base degli abitanti equivalenti, altro parametro di difficile stima per i rifugi alpini e sconosciuto dai gestori. Se, però, vengono comparati i posti letto ai volumi dichiarati nel questionario, emerge una correlazione piuttosto forte tra i due parametri (Figura 68).

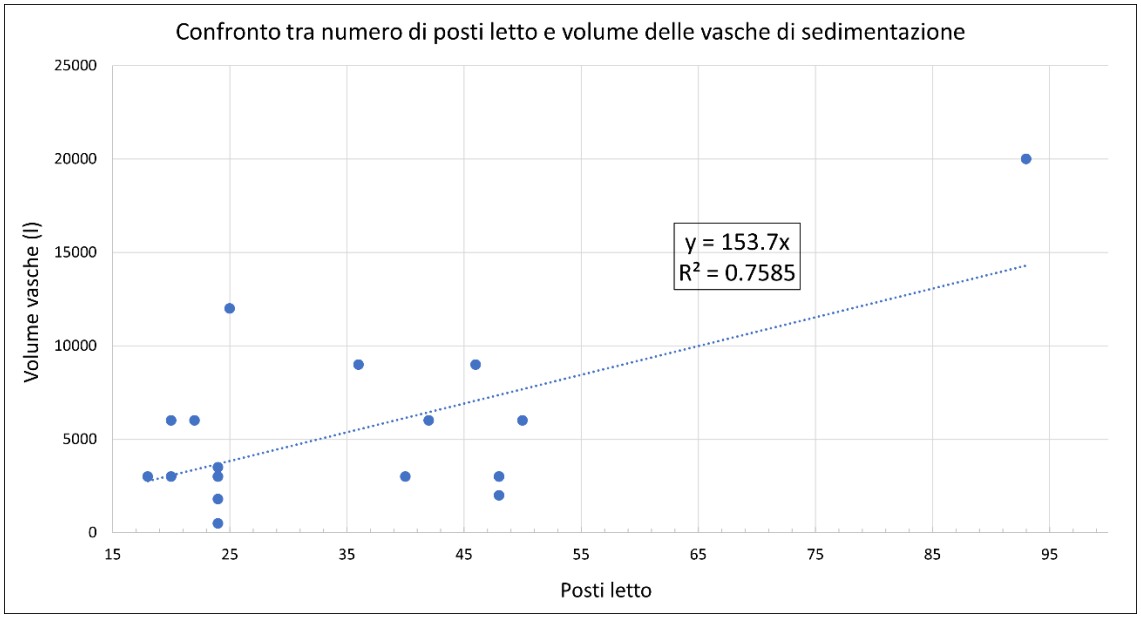


Figura 68 - Confronto tra posti letto e volume delle vasche di sedimentazione

Effettuando una regressione lineare tra i dati risulta che per ogni posto letto vi siano circa 154 litri disponibili nelle vasche, con un coefficiente di correlazione tra i valori del 76%.

Se si suppone che le vasche siano state dimensionate secondo i criteri normativi per piccole utenze, ovvero con un volume specifico di 250 l/A.E., ciò vorrebbe dire che il 62% del volume specifico della vasca (154 litri su 250 totali) è occupato da reflui proveniente dai soli posti letto. Questo sta anche a significare che, per i rifugi presi in considerazione, l'abitante equivalente è mediamente "formato" per il 62% da apporti di refluo provenienti da ospiti pernottanti, mentre il restante 38% da apporti di turisti di passaggio. Ciò che invece appare più probabile è che i progettisti abbiano considerato come massimo volume quello generato dai rifugi al colmo dei propri posti letto, tralasciando quindi il calcolo degli utenti di passaggio vista la sua complessità. Il risultato

ottenuto dalla regressione infatti (154 litri ogni posto letto) rientra perfettamente nel range dei consumi idrici pro capite per utenze montane riportate in Tabella 4, considerando un coefficiente di afflusso pari ad 1.

A tal proposito, partendo dai dati sperimentali raccolti, è stato calcolato il volume che ogni vasca dovrebbe possedere tenendo conto dei consumi idrici pro capite di Tabella 4, per poi confrontarlo con il volume installato nei 21 rifugi che hanno fornito tale dato quantitativo.

Si è considerato un apporto idrico per utente pernottante di 150 l/d, analizzando la struttura al colmo della propria capacità, a cui è stato sommato l'apporto degli utenti passeggeri pro capite, pari a 15 l/d (Tabella 6) nel caso di consumi più ridotti e di 40 l/d (Tabella 4) nel caso di maggiori consumi idrici.

Il numero di utenti passeggeri è stato calcolato tramite la regressione effettuata in Figura 39, cioè facendo dipendere dalla quota altimetrica espressa in metri il numero di ospiti passeggeri normalizzato agli utenti pernottanti massimi, indicati come N_{Letti}:

$$N_{Passaggi} = (-0.0012 * Quota + 5.1038) * N_{Letti} \textbf{ (I)}$$

Secondo tale formulazione il numero di passaggi risulta decrescere all'aumentare della quota altimetrica, ma direttamente proporzionale al numero di posti letto disponibili; così facendo si tiene conto della verosimile minore frequentazione dei rifugi ad alta quota, derivante dalla maggiore difficoltà di raggiungimento, ma anche della taglia della struttura, in quanto un rifugio dotato di grandi spazi attira plausibilmente anche un maggior numero di ospiti di passaggio. Successivamente, considerando un arco temporale di un giorno, sono stati calcolati i volumi idrici derivanti dai due scenari ipotizzati: lo scenario A (che indica consumi più ridotti) prevede 15 l/d per ospite di passaggio, lo scenario B (caratterizzato da maggiori consumi) ne prevede 40 l/d.

$$Vol_A = N_{Letti} * 150\ l + \ N_{Passaggi} * 15\ l \textbf{ (II)}$$

$$Vol_B = N_{Letti} * 150\ l + \ N_{Passaggi} * 40\ l \textbf{ (III)}$$

In tal modo la frazione di apporto idrico derivante dai soli posti letto risulta crescente all'aumentare della quota, attestandosi tra il 72% e l'85% per lo scenario A, mentre per lo scenario B varia tra il 49% ed il 67%, rispettivamente per il rifugio posto a quota più bassa e più alta.

I risultati dei calcoli effettuati, confrontati con gli attuali volumi installati, sono riportati nella seguente Tabella 22 ed illustrati in Figura 69: da essi emerge che 3 rifugi rientrano nel range identificato dai due scenari, 4 strutture risultano sovradimensionate e le restanti 14 sottodimensionate secondo i criteri scelti.

Tabella 22 - Volumi delle vasche calcolati secondo Scenario A e B

Rifugio	Quota (m)	N_Letti	N_Passaggi	Vol_A (l)	Vol_installato (l)	Vol_B (l)
1	1000	18	70	3754	3000	5511
2	1385	48	165	9678	3000	13808
3	1390	24	82	4837	3000	6898
4	1520	46	151	9163	9000	12935
5	1667	22	68	4324	6000	6031
6	1753	24	72	4680	3000	6480
7	1865	25	72	4825	20000	6616
8	1910	20	56	3844	3000	5249
9	1910	48	135	9224	2000	12599
10	1945	25	69	4789	12000	6520
11	1986	24	65	4579	500	6212
12	2065	36	95	6818	9000	9181
13	2158	40	101	7509	3000	10023
14	2160	70	176	13137	20000	17533
15	2280	24	57	4452	1800	5873
16	2453	20	43	3648	6000	4728
17	2616	42	83	7538	6000	9601
18	2640	93	180	16650	20000	21151
19	2650	24	46	4293	3500	5447
20	2659	48	92	8577	3000	10873
21	2741	50	91	8861	6000	11129

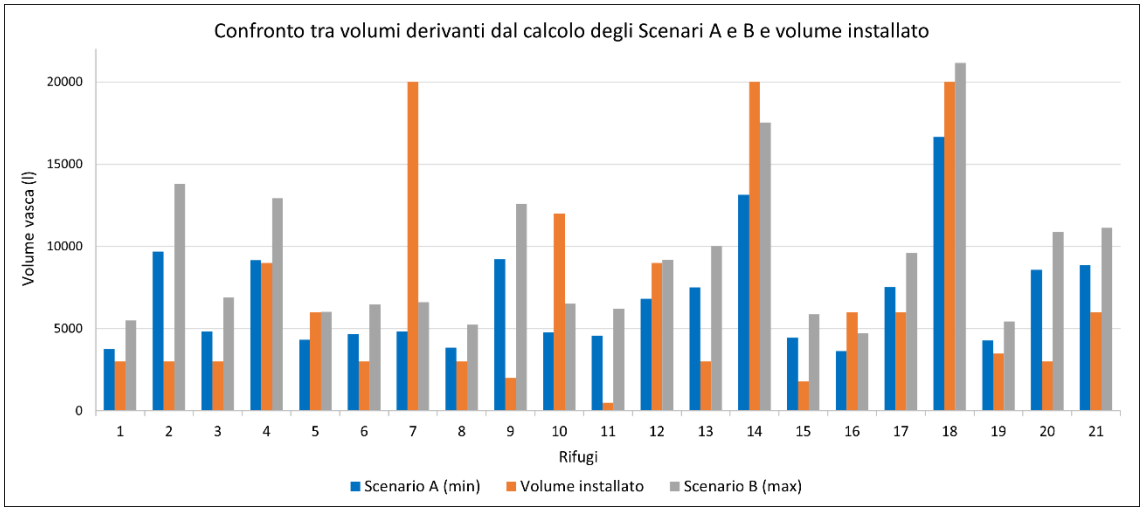


Figura 69 - Confronto tra volumi derivanti dal calcolo degli scenari A, B e volumi installati

Un'ultima interessante caratterizzazione viene effettuata sulla base dei due scenari definiti secondo i valori riportati in letteratura (Tabella 4, Tabella 5, Tabella 6): lo Scenario A che implica consumi idrici più ridotti per gli utenti di passaggio (15 l/d) e lo Scenario B, che comporta invece maggiori consumi idrici (40 l/d) e di conseguenza necessita di più elevati volumi di sedimentazione. I punti sperimentali dei volumi virtuali risultanti dal calcolo dei due scenari sono stati interpolati linearmente al fine di ritrovare le leggi che esprimessero tali grandezze in funzione del numero di posti letto della struttura: la rappresentazione grafica è riportata in Figura 70.

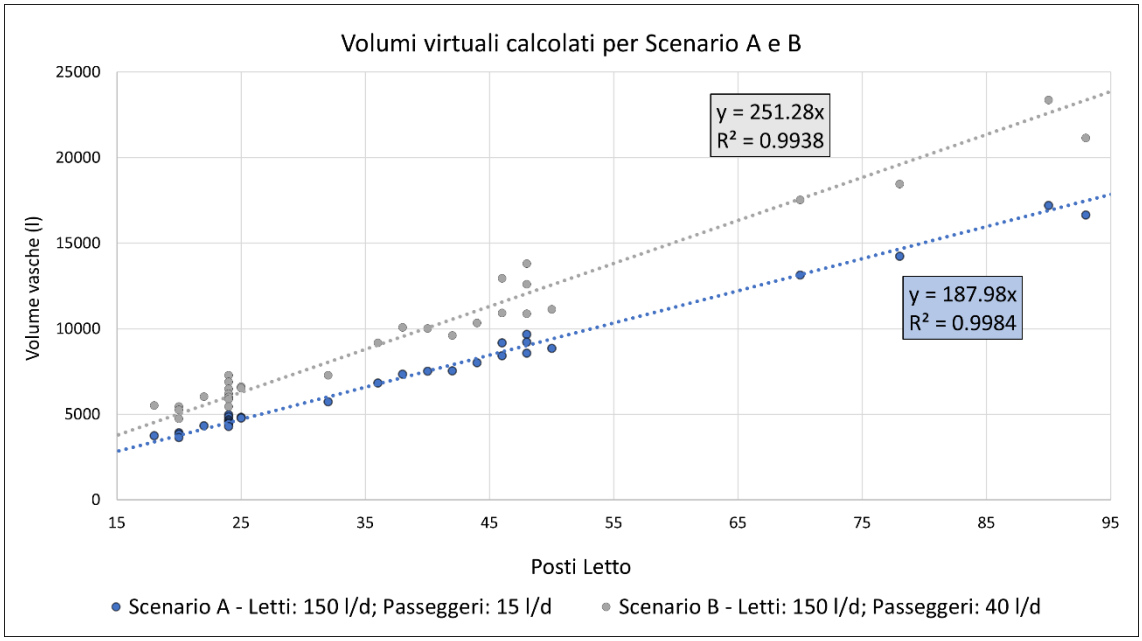


Figura 70 - Volumi virtuali delle vasche calcolati per Scenario A e B

Lo scenario A è caratterizzato da un volume di reflui di circa 188 l/d per ogni posto, lo scenario B ne conta invece circa 251 l/d.

L'aspetto fondamentale di tale processo calcolativo consiste nel conteggio intrinseco dei contributi degli ospiti di passaggio nella determinazione dei due scenari. Le equazioni (II) e (III) infatti dipendono dal numero di ospiti di passaggio, che a loro volta sono espressi in funzione della quota e dei posti letto nell'equazione (I). In tale modo viene by-passato il complicato conteggio degli ospiti passeggeri e l'apporto idrico giornaliero della struttura, che coincide con i volumi di reflui prodotti ospitati nelle vasche di sedimentazione, risulta stimabile in prima approssimazione dal solo numero di posti letto e dalla quota altimetrica.

Le due leggi sono state ricavate a partire da tutti e 32 i rifugi, in quanto per la loro determinazione sono sufficienti i dati di quota e posti letto, disponibili per ogni caso. A questo punto, per visualizzare il comportamento delle vasche realmente installate nei confronti degli scenari calcolati, sono stati riportati in Figura 71 i punti sperimentali e confrontati con le rette di regressione ricavate dallo Scenario A e dallo Scenario B.

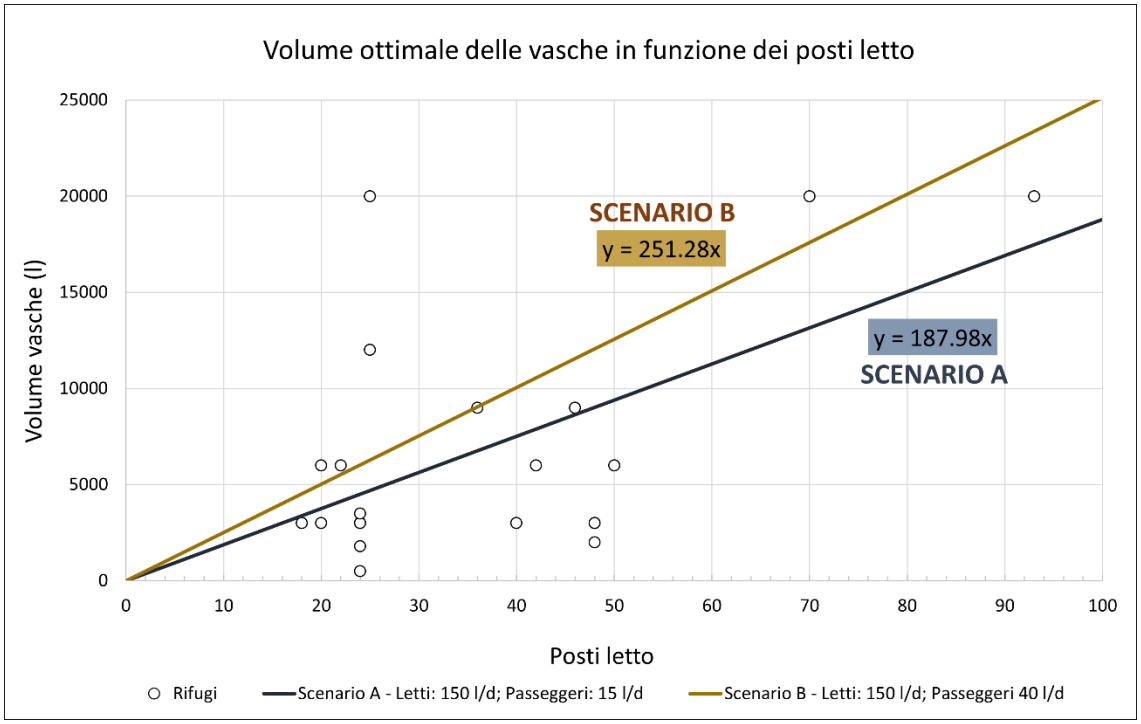


Figura 71 - Volume ottimale delle vasche in funzione dei posti letto

Così facendo vengono create tre distinte aree grafiche: i rifugi posizionati al di sotto della retta "Scenario A" risultano possedere vasche di sedimentazione sottodimensionate secondo tale verifica di calcolo, i rifugi posizionati al di sopra della retta "Scenario B" dispongono invece di vasche sovradimensionate. Il settore compreso tra le due rette indica infine la zona grafica che include le vasche dimensionate secondo i criteri riportati in letteratura [5] [6] [10] e nel presente paragrafo.

La verifica di calcolo appena eseguita è però indipendente dalla variabile temporale. I flussi turistici sono facilmente variabili nel corso degli anni e dei periodi, basti pensare all'aumento di frequentazione delle montagne ai tempi della pandemia Covid-19. Se infatti alcune vasche possono apparire dimensionate correttamente in un certo istante, a fronte dell'aumento di turisti negli anni esse possono risultare sottodimensionate.

5.9 Analisi delle componenti principali dello studio

Nello svolgere l'analisi dei dati raccolti è necessario sottolineare che i parametri da cui dipendono le scelte di trattamento sono interdipendenti tra di loro. La descrizione di questi ultimi e del loro legame è stata effettuata nel Capitolo 2.3 del presente documento, ma per semplificare la discussione dei risultati ottenuti è necessario distinguere quali sono i parametri o componenti principali, da cui dipendono tutti gli altri.

Per effettuare tale distinzione si è fatto riferimento alla tecnica dell'Analisi delle Componenti Principali (*PCA*), propria della statistica multivariata. Lo scopo principale di questa tecnica è la riduzione del numero di variabili che caratterizza un dataset, al fine di ridurne la dimensionalità.

La *PCA* porta alla creazione di nuove variabili, dette appunto *Componenti Principali*, combinazioni lineari delle originarie che risultano tra loro indipendenti ed ordinate in ordine decrescente di varianza. La variabile con maggiore varianza viene proiettata sul primo asse, la seconda sul secondo asse e così via. La riduzione della complessità avviene dunque limitandosi ad analizzare le principali (per varianza) tra le nuove variabili. Ovviamente, nel momento in cui si semplifica il problema riducendo la dimensione dello spazio di rappresentazione, si ha allo stesso tempo una perdita dell'informazione contenuta nei dati originali; per questo motivo è importante scegliere le componenti principali che massimizzino la varianza dei dati contenuta al loro interno [73].

Le componenti analizzate nel presente studio, però, non sono solamente di tipo quantitativo, ma anche qualitativo, basti pensare alla modalità di approvvigionamento energetico o alla stagione di apertura del rifugio. Si ricorre quindi all'utilizzo dell'Analisi delle Componenti Principali Mista (*PCAmix*), ovvero un'analisi fattoriale di dati misti in cui le osservazioni sono descritte sia da variabili quantitative che qualitative, sviluppata da *Chavent et al. (2014)* [74].

Tramite l'ausilio del software *XLSTAT* è stato dunque utilizzato questo metodo, che può essere visto come una miscela dell'Analisi delle Componenti Principali (*PCA*), che consente di studiare una tabella di variabili quantitative, e l'Analisi a Corrispondenza Multipla (*MCA*), che consente di studiare variabili qualitative. Proprio come la *PCA*, il metodo *PCAmix* mira a ridurre la dimensionalità dei dati, nonché ad identificare la prossimità tra variabili ed informazioni [75].

In questo caso le componenti quantitative prese in considerazione sono tre: la quota, i posti letto ed il numero di utenti di passaggio dichiarati, normalizzato sul numero di posti letto; le classi qualitative considerate sono invece due, ovvero la modalità di approvvigionamento energetico (tramite allaccio a rete elettrica, fotovoltaico o idroelettrico) ed il periodo di apertura della struttura (estate, estate e tutti i weekend, da primavera ad autunno e per tutto l'anno).

Dai risultati dell'analisi *PCAmix* eseguita con *XLSTAT,* sono stati trovati gli autovettori, che consistono negli assi derivanti dalle trasformazioni lineari eseguite: da esse sono stati estratti come componenti principali gli assi F1 ed F2, caratterizzati rispettivamente da una varianza del 31.11 % e 16.84%, che complessivamente rappresentano il 47.95% del dataset iniziale. Seppur inferiore al 50%, la combinazione tra F1 ed F2 è tale da massimizzare la conservazione dei dati inizialmente presenti. Nelle seguenti Tabella 23 e Figura 72 vengono rispettivamente riportati e raffigurati gli apporti di varianza puntuale e cumulata dei diversi assi.

Tabella 23 - Valori di varianza puntuale e cumulata degli assi trasformati dalla PCAmix

	F1	**F2**	**F3**	**F4**	**F5**	**F6**	**F7**	**F8**
Varianza (%)	31.11	16.84	15.04	11.91	9.50	7.95	5.38	2.28
Cumulata (%)	31.11	47.95	62.98	74.89	84.39	92.34	97.72	100

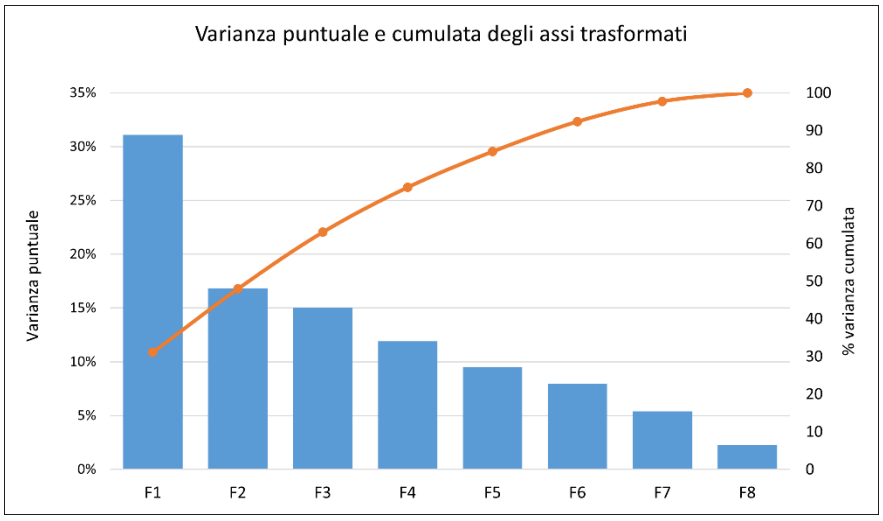


Figura 72 - Varianza puntuale e cumulata degli assi trasformati dalla PCAmix

Per ciascuna variabile sono stati successivamente calcolati i *carichi quadrati* sulle componenti F1 ed F2; essi rappresentano i contributi o le correlazioni tra le variabili originali con i componenti in scala unitaria e sono riportati in Tabella 24. Al fine di visualizzare i risultati ottenuti è utile far riferimento al cerchio di correlazione ed alla mappa fattoriale, rispettivamente riportati in Figura 73 e Figura 74.

Tabella 24 - Carichi quadrati delle diverse variabili

		F1	F2
Variabili quantitative	**Quota**	0.724	0.002
	P_letto	0.047	0.474
	Pass/letti	0.410	0.000
Variabili qualitative	**App_en**	0.540	0.521
	Periodo	0.768	0.350

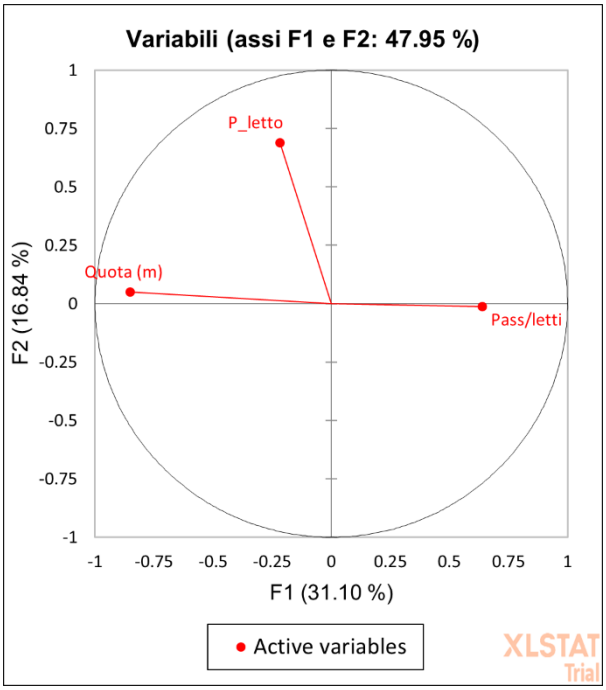


Figura 73 - Cerchio di correlazione

Il cerchio di correlazione esamina la relazione tra le variabili; l'asse orizzontale rappresenta la prima dimensione F1 della *PCA*, che contiene il 31.10% delle informazioni iniziali, l'asse verticale la seconda dimensione F2, che contiene il 16.84% delle informazioni; come precedentemente riportato, le due componenti principali contengono insieme circa il 48% del dataset iniziale. L'analisi viene effettuata in termini di angoli compresi tra le componenti F1, F2 ed i vettori rossi, che rappresentano le variabili quantitative. Angoli acuti riflettono una correlazione positiva tra variabili, angoli ottusi una correlazione negativa e tanto più l'angolo tende ad essere retto, più le variabili considerate non solo tra loro correlate.

In questo caso, le variabili meno correlate tra loro sono la quota ed i posti letto, mentre a fronte di un aumento di quota, diminuisce linearmente il numero di utenti di passaggio normalizzato. L'asse principale F1 è molto correlato a quota e numero di passaggi, mentre l'asse principale F2 è correlato quasi esclusivamente al numero di posti letto.

La lunghezza dei vettori, infatti, rappresenta la qualità della rappresentatività nelle dimensioni studiate dalla *PCA*; in parole povere maggiore è la lunghezza rispetto ad una dimensione, maggiore è l'apporto fornito da quella variabile alla componente principale.

Un discorso analogo vale per le categorie delle variabili qualitative, riportate nel grafico di Figura 74.

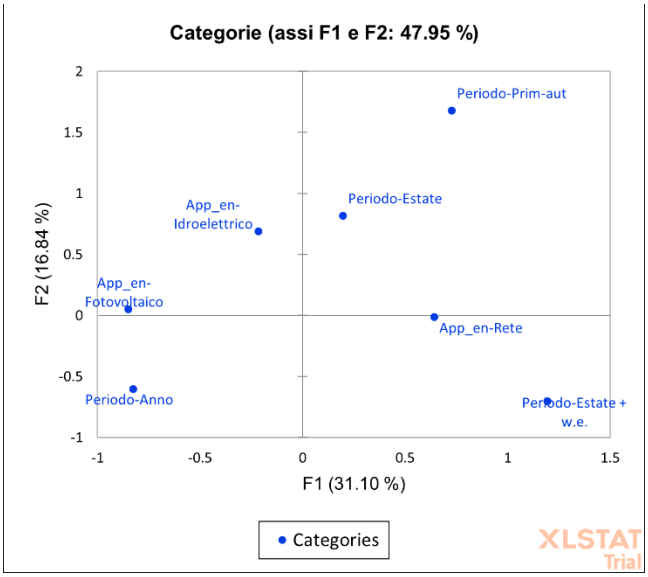


Figura 74 - Mappa fattoriale delle categorie

La correlazione tra variabili quantitative e qualitative è invece ben evidente nella seguente Figura 75, riportante i carichi quadrati di ogni variabile nei confronti delle componenti F1 ed F2.

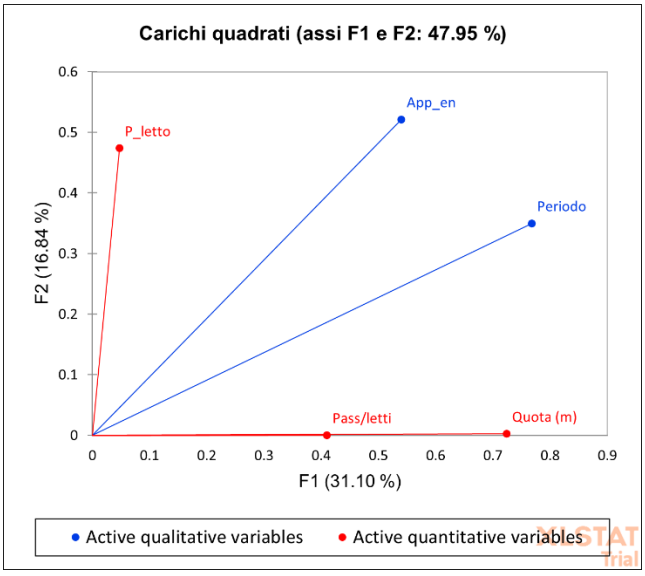


Figura 75 - Carichi quadrati

Dal grafico emerge che periodo di apertura e modalità di approvvigionamento energetico sono tra loro rispettivamente più correlate che alla quota; inoltre, la correlazione meno presente è quella tra posti letto e quota. Sia dalla lettura di questo grafico che dalla Tabella 24 risulta che la componente principale F1 è "caricata" in primo luogo dalla variabile qualitativa *Periodo di apertura*, mentre F2 dalla variabile qualitativa *Approvvigionamento energetico.* Se invece fossero prese in considerazione le due variabili quantitative *Quota* e *Posti letto,* tra esse poco correlate per quanto appena dimostrato, gli apporti a F1 ed F2 sarebbero leggermente inferiori.

Sebbene l'analisi puramente statistica suggerisca come parametri principali le due variabili qualitative, esse rappresentano nel dataset quelle meno affidabili. Avendo infatti utilizzato un questionario al fine della raccolta delle informazioni, nelle variabili qualitative considerate è presente una maggiore incertezza dei dati, in quanto i gestori dei rifugi potrebbero ad esempio aver indicato solamente la modalità principale di approvvigionamento energetico e la classe attribuita ai rifugi riguardo al periodo di apertura contiene all'interno una variabilità non indifferente: nella classe "*Estate*" infatti, vi sono presenti strutture aperte da giugno a settembre ed altre solamente da metà luglio ad agosto. Per contro, le variabili quantitative *Quota* e *Posti letto* costituiscono un dato certo e puntuale, decisamente più affidabile.

Considerando che da questa visione bidimensionale solo il 47.95% del dataset iniziale è stato conservato, se venissero scelte le due variabili quantitative a fronte delle qualitative, le informazioni perse nelle componenti principali F1 ed F2 sarebbero rispettivamente:

$$F1\colon (C_{Periodo} - C_{Quota}) * \%Varianza = (0.768 - 0.724) * 47.95\% = 2.1\%$$

$$F2\colon (C_{App_en} - C_{Posti\ letto}) * \%Varianza = (0.521 - 0.474) * 47.95\% = 2.3\%$$

Poichè su 32 rifugi analizzati, un dato corrisponde al 3.2% del dataset completo, la scelta di *Quota* e *Posti letto* come variabili principali appare giustificata, specialmente a fronte della loro bassa correlazione e soprattutto a fronte del fatto che costituiscono variabili quantitative di natura più affidabile che consentono una trattazione più robusta.

Si può quindi affermare che, derivando da quota e posti letto i "carichi" maggiormente caratterizzanti per le componenti principali F1 ed F2, ed essendo l'unione di queste componenti la migliore rappresentazione bidimensionale possibile che massimizza la rappresentatività del dataset iniziale, la trattazione dell'analisi è correttamente eseguita prendendo in considerazione i parametri sopracitati.

I risultati raggiunti dall'analisi delle componenti principali miste sono peraltro in accordo con quelli che, a primo impatto, sembrerebbero essere i parametri di maggior vincolo per quanto riguarda la caratterizzazione di un rifugio e la scelta dell'idoneo sistema di trattamento delle acque reflue.

Dalla quota altimetrica, infatti, dipendono le temperature in gioco, la raggiungibilità, i periodi di apertura e le modalità di approvvigionamento idrico ed energetico della struttura.

Ad esempio, un rifugio posto a 1500 m s.l.m. è di norma facilmente raggiungibile da mezzi di trasporto e turisti, ha buone probabilità di usufruire di corrente elettrica proveniente dalla rete di distribuzione e di conseguenza è dotato di maggiori comfort per quanto riguarda il trattamento delle acque; per contro un rifugio sito a 2700 m s.l.m. ha modalità di approvvigionamento energetico e flussi turistici completamente differenti.

Un altro parametro fondamentale per la scelta dell'idoneo trattamento è la taglia del rifugio. Il dimensionamento degli impianti viene effettuato sul numero di Abitanti Equivalenti della struttura: esso, come riportato in precedenza, deve tener conto degli utenti pernottanti, di coloro che consumano pasti e del numero di utenti passeggeri. Proprio quest'ultimo apporto è di fondamentale importanza tanto quanto di difficile stima per un rifugio, in quanto sarebbero necessari degli studi approfonditi di affluenza alla struttura, effettuati per un periodo di tempo piuttosto ampio.

Data la difficoltà ad individuare il numero medio di utenti passeggeri, sebbene nel questionario i gestori abbiano indicato una stima di affluenza nei periodi di alta stagione, anche l'analisi delle componenti principali suggerisce di basare lo studio sul numero di posti letto disponibili, dato oggettivo, puntuale e poco correlato alla quota rispetto ad altri fattori come l'affluenza, che dalla quota dipende in maniera robusta.

6 Conclusioni

Dallo studio dello stato di fatto della gestione del ciclo dell'acqua, ed in particolare dei trattamenti di depurazione, operati nei rifugi alpini piemontesi, emergono in sintesi i seguenti scenari.

Vengono effettuati pretrattamenti combinati di rimozione di grassi e corpi grossolani con grigliatura per i rifugi di grossa taglia, mentre quelli di dimensioni più modeste prevedono l'utilizzo del solo degrassatore, indipendentemente dalla quota di ubicazione, in quanto il trattamento di separazione dei grassi e degli oli avviene negli ambienti riscaldati delle cucine.

L'82% dei casi considerati utilizza la fossa Imhoff quale trattamento di depurazione primario, ad eccezione dei rifugi che successivamente utilizzano sistemi di fitodepurazione o sono fortunatamente provvisti di allaccio a fognatura; in entrambi i casi si tratta di rifugi dotati di numerosi posti letto. La restante parte delle strutture è caratterizzata dalla predominanza del trattamento Imhoff che avviene in tutti i casi in vasche interrate, esterne al rifugio, ad esclusione di un solo caso in cui la vasca è posta in una struttura non riscaldata. L'utilizzo delle vasche interrate, non coibentate o riscaldate per rifugi posti a più alta quota, risulta critico nelle stagioni più fredde.

Per quanto riguarda i trattamenti secondari vi sono molteplici scenari; i più comuni prevedono l'utilizzo di un pozzo perdente o della dispersione nel terreno per sub-irrigazione. Essi sono trattamenti utilizzati per rifugi di piccola taglia, anche se al crescere della quota risulta sempre più comune la sub-irrigazione. Come precedentemente riportato, la fitodepurazione esiste solo nei contesti legati ad un alto afflusso di ospiti pernottanti, mentre sono rare le soluzioni impiantistiche o più stadi di trattamento in serie. Data la natura dei trattamenti secondari applicati, la maggior parte degli scarichi avviene al suolo, e solamente il rifugio posto più a bassa quota e quello di taglia maggiore sono collegati a fognatura. Non è presente, inoltre, alcun caso di disinfezione dell'effluente, eccezion fatta per il Rifugio Guido Muzio, l'unico rifugio dotato di impianto ad ossidazione totale, che utilizza il cloro per disinfettare il refluo immesso successivamente in corso d'acqua.

Considerato il largo uso di fosse Imhoff, quello della gestione dei fanghi risulta la difficoltà più grande a cui i gestori devono far fronte, ad esclusione delle strutture collegate a fognatura o che utilizzano la fitodepurazione. In numerosi casi i fanghi non vengono trattati in loco, poiché le vasche vengono svuotate annualmente con autospurgo.

L’utilizzo dei sacchi filtranti è limitato a sole due strutture con un numero di posti medio/alto e poste ad alta quota, con la necessità di smaltimento tramite elicottero. Non è stato rilevato il riutilizzo delle acque, nemmeno a scopo irriguo, e purtroppo non sono stati ricevuti dati sufficienti per quanto riguarda i costi di installazione e manutenzione per riuscire ad effettuare un’analisi economica. Ciò che però emerge è il fatto che i costi di manutenzione sono essenzialmente legati allo smaltimento dei fanghi di supero.

Confrontando i risultati ottenuti con le soluzioni più idonee presenti in letteratura e nei casi studio più all’avanguardia, è chiaro come solamente alcune realtà attuino i trattamenti più opportuni; essi sono tendenzialmente i rifugi più frequentati. Le restanti realtà, considerati gli afflussi più ridotti, i brevi periodi di apertura, il benestare normativo in materia di scarichi in ambiente e soprattutto i costi non indifferenti di ammodernamento o realizzazione degli impianti ex novo, seguono spesso la via della gestione più semplice rispetto alla più efficace.

Non esiste, per un’utenza come il rifugio alpino, una soluzione impiantistica adatta ad ogni contesto. Ogni struttura, infatti, è immersa in un diverso scenario, caratterizzato da differenti problematiche e punti di forza che rendono necessario uno studio specifico per la scelta del sistema di trattamento più idoneo. Tuttavia, alcune indicazioni possono essere ricavate dall’analisi svolta in questo documento. La separazione delle acque grigie da quelle nere è una scelta che molti rifugi, specie quelli caratterizzati da maggiori afflussi turistici, dovrebbero prendere in considerazione, in maniera tale da creare due linee di trattamento parallele, con differenti scopi depurativi e soprattutto con lo scopo di sopportare meglio le forti variazioni di carico, tipiche delle strutture considerate. Un’ulteriore accortezza consisterebbe nel riscaldare le vasche di processo, specialmente nei rifugi ad alta quota, in maniera da incentivare le rese depurative compromesse dalle basse temperature. È peraltro auspicabile per i rifugi a basse e medie quote, dotati di sufficienti spazi liberi, l’utilizzo della fitodepurazione come trattamento di affinamento, specialmente in sostituzione ai pozzi perdenti. In futuro la normativa nazionale in materia di gestione dei fanghi dovrebbe tener conto delle complessità verificabili in realtà come i rifugi alpini, agendo su modalità alternative di trasporto o smaltimento. Un’importante raccomandazione è infine quella di efficientare l’uso della risorsa idrica e favorirne il riuso, dove possibile. Tale considerazione non può però prescindere dall’ auspicabile sensibilità ambientale di gestori e visitatori dei rifugi, valore che ancor più dei trattamenti di depurazione preserva la bellezza naturale della montagna.

7 Appendice: schede dei rifugi intervistati

7.1 Rifugio Fantoli Antonio

Figura 76 - Rifugio Fantoli Antonio [76]

Tabella 25 - Dati generali del Rifugio Fantoli

Comune	San Bernardino Verbano (VB)
Proprietà	Sezione CAI Pallanza
Quota (m s.l.m.)	1000
Periodo di apertura	Weekend da aprile a novembre; tutti i giorni da giugno a settembre
Posti letto	18
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	100
Approvvigionamento energetico	Allaccio a rete elettrica
Approvvigionamento idrico	Acquedotto

Tabella 26 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Fantoli

Anno di ultima modifica all'impianto	2017
Trattamenti preliminari	Filtro-coclea
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata da 3000 litri
Trattamenti secondari	No
Recapito effluente	Fognatura
Potenza necessaria all'impianto	6 kW

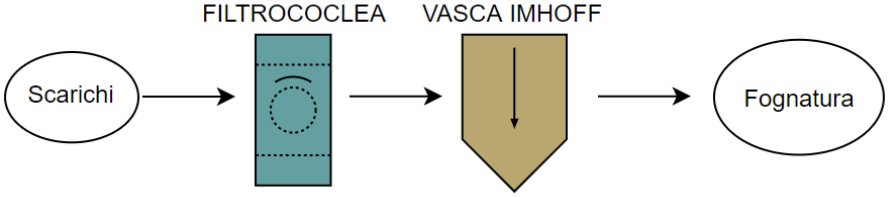


Figura 77 - Rifugio Fantoli: schema di trattamento reflui

7.2 Rifugio Bruno Piazza

Figura 78 - Rifugio Bruno Piazza [77]

Tabella 27 - Dati generali del Rifugio Bruno Piazza

Comune	Traversella (TO)
Proprietà	Sezione CAI Ivrea
Quota (m s.l.m.)	1052
Periodo di apertura	Weekend da aprile a novembre; tutti i giorni dal 15 Giugno al 15 Settembre
Posti letto	24
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	100
Approvvigionamento energetico	Allaccio a rete elettrica
Approvvigionamento idrico	Acquedotto

Tabella 28 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Bruno Piazza

Anno di ultima modifica all'impianto	2015
Trattamenti preliminari	Degrassatore, Bioattivatori
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata
Trattamenti secondari	Dispersione per sub-irrigazione
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No

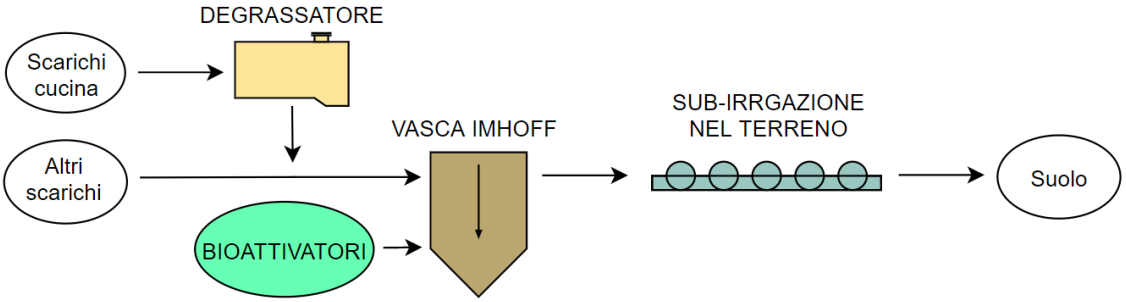


Figura 79 - Rifugio Bruno Piazza: schema di trattamento reflui

7.3 Rifugio Onelio Amprimo

Figura 80 – Rifugio Onelio Amprimo [78]

Tabella 29 - Dati generali del Rifugio Onelio Amprimo

Comune	Bussoleno (TO)
Proprietà	Sezione CAI Bussoleno
Quota (m s.l.m.)	1385
Periodo di apertura	1 Giugno – 15 Settembre; tutti i weekend escluso Novembre
Posti letto	48
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	100
Approvvigionamento energetico	Fotovoltaico, generatore
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 30 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Onelio Amprimo

Anno di ultima modifica all'impianto	2008
Trattamenti preliminari	Degrassatore, Bioattivatori
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata da 3000 l
Trattamenti secondari	Dispersione per sub-irrigazione
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No, trasporto con trattore
Potenza necessaria all'impianto	100 W

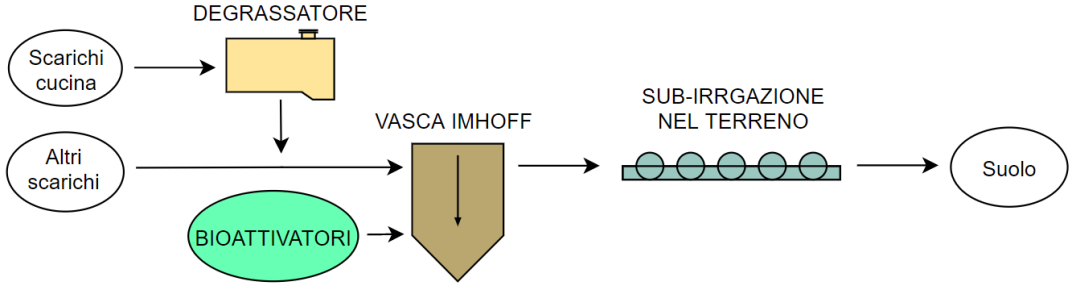


Figura 81 - Rifugio Onelio Amprimo: schema di trattamento reflui

7.4 Rifugio GEAT – Val Gravio

Figura 82 - Rifugio GEAT - Val Gravio [79]

Tabella 31 - Dati generali del Rifugio GEAT – Val Gravio

Comune	San Giorio di Susa (TO)
Proprietà	Sezione CAI Bussoleno
Quota (m s.l.m.)	1390
Periodo di apertura	1 Luglio – 30 Agosto, tutti i weekend
Posti letto	24
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	80
Approvvigionamento energetico	Idroelettrico
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 32 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio GEAT – Val Gravio

Anno di ultima modifica all'impianto	2009
Trattamenti preliminari	Dregrassatore, Bioattivatori
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata da 3000 l
Trattamenti secondari	Dispersione per sub-irrigazione
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No

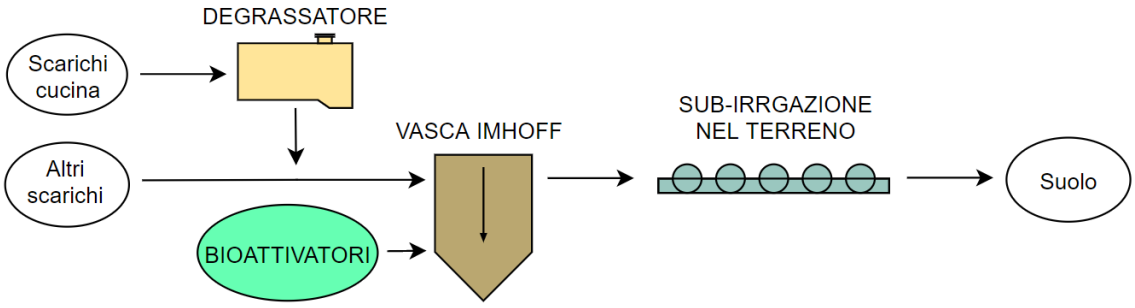


Figura 83 - Rifugio GEAT – Val Gravio: schema di trattamento reflui

7.5 Rifugio Mongioie

Figura 84 - Rifugio Mongioie [80]

Tabella 33 - Dati generali del Rifugio Mongioie

Comune	Ormea (CN)
Proprietà	Sezione CAI Albenga
Quota (m s.l.m.)	1520
Periodo di apertura	15 Aprile – 15 Ottobre
Posti letto	46
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	120
Approvvigionamento energetico	Fotovoltaico, generatore
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 34 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Mongioie

Anno di ultima modifica all'impianto	1997
Trattamenti preliminari	Degrassatore
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata da 9000 l
Trattamenti secondari	Pozzo perdente
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No, trasporto con autospurgo
Note:	400€ per aspirazione e trasporto fanghi

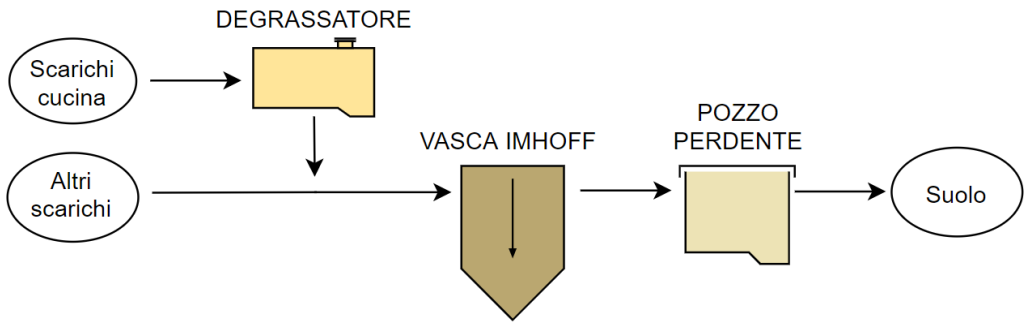


Figura 85 - Rifugio Mongioie: schema di trattamento reflui

7.6 Rifugio Guido Muzio

Figura 86 - Rifugio Guido Muzio [81]

Tabella 35 - Dati generali del Rifugio Guido Muzio

Comune	Ceresole Reale (TO)
Proprietà	Demanio militare – Sez. CAI Chivasso
Quota (m s.l.m.)	1667
Periodo di apertura	Estate; tutti i weekend e feste natalizie
Posti letto	22
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	130
Approvvigionamento energetico	Allaccio a rete elettrica
Approvvigionamento idrico	Acquedotto

Tabella 36 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Guido Muzio

Anno di ultima modifica all'impianto	1993
Trattamenti preliminari	Degrassatore, Bioattivatori
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata da 6000 l
Trattamenti secondari	Ossidazione totale
Trattamenti di disinfezione	Clorazione
Recapito effluente	Corso d'acqua
Gestione Fanghi	No, trasporto con autospurgo
Note:	Circa 9000 kg di fanghi l'anno

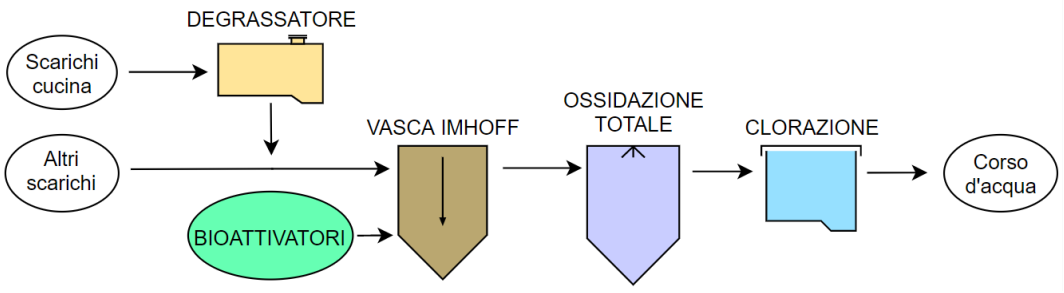


Figura 87 - Rifugio Guido Muzio: schema di trattamento reflui

7.7 Rifugio Toesca

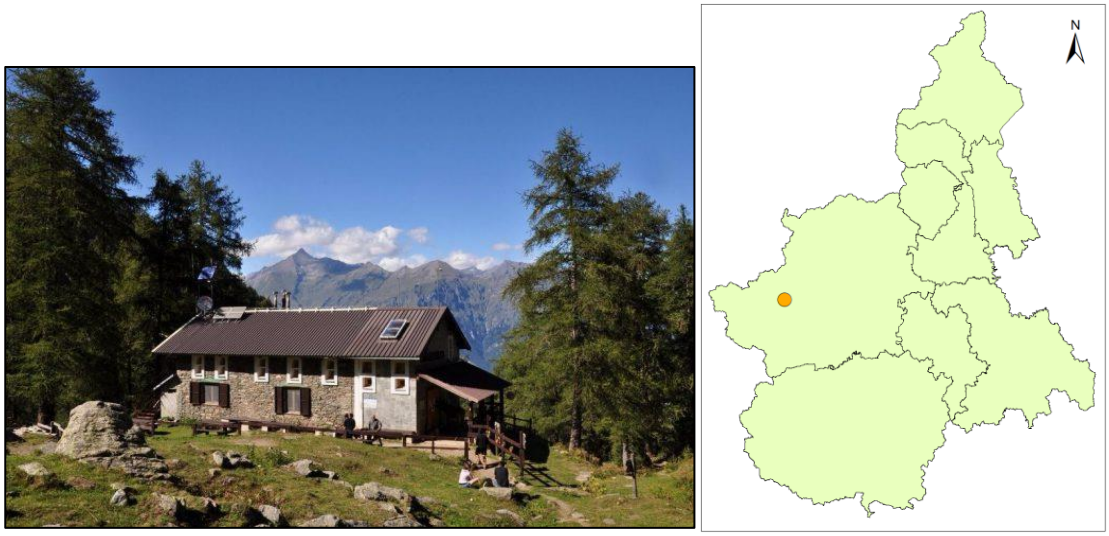


Figura 88 - Rifugio Toesca [82]

Tabella 37 - Dati generali del Rifugio Toesca

Comune	Bussoleno (TO)
Proprietà	Sezione CAI Torino
Quota (m s.l.m.)	1710
Periodo di apertura	1 Giugno – 30 Settembre; tutti i weekend e festività dell'anno
Posti letto	20
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	250
Approvvigionamento energetico	Idroelettrico
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 38 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Toesca

Trattamenti preliminari	Bioattivatori
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata
Trattamenti secondari	Pozzo perdente
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No, trasporto con trattore

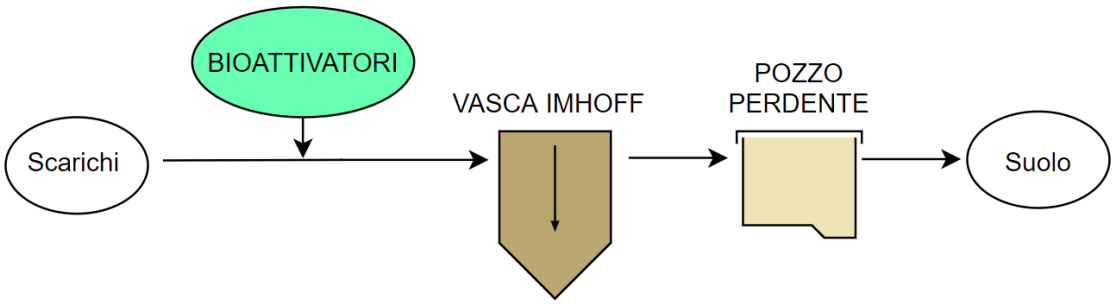


Figura 89 - Rifugio Toesca: schema di trattamento reflui

7.8 Rifugio Jervis Willy al Prà

Figura 90 - Rifugio Jervis Willy al Prà [83]

Tabella 39 - Dati generali del Rifugio Jervis Willy al Prà

Comune	Bobbio Pellice (TO)
Proprietà	Sezione CAI Torre Pellice
Quota (m s.l.m.)	1732
Periodo di apertura	Tutto l'anno
Posti letto	100
Approvvigionamento energetico	Idroelettrico
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 40 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Jervis Willy al Paà

Recapito effluente	Allaccio a fognatura

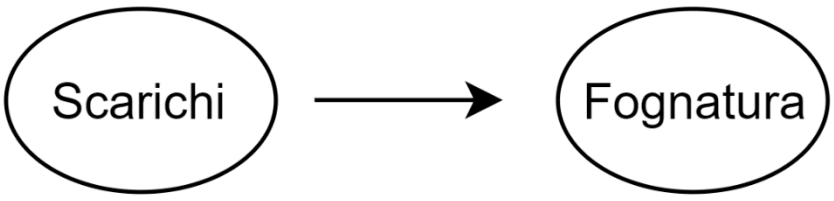


Figura 91 - Rifugio Jervis Willy al Prà: schema di trattamento reflui

7.9 Rifugio Barbara Lowrie

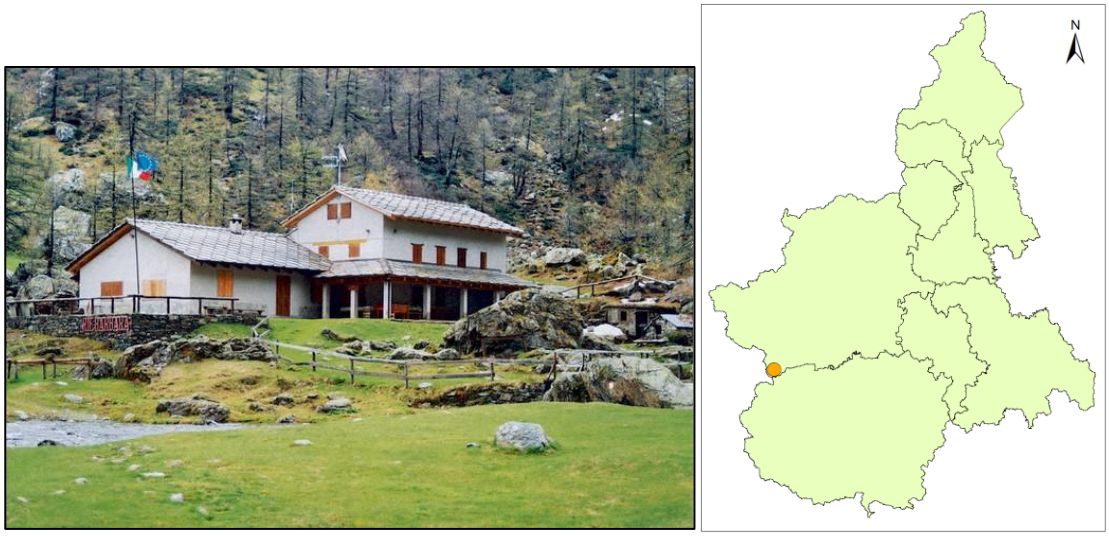


Figura 92 - Rifugio Barbara Lowrie [84]

Tabella 41 - Dati generali del Rifugio Barbara Lowrie

Comune	Bobbio Pellice (TO)
Proprietà	Sezione CAI Torre Pellice
Quota (m s.l.m.)	1753
Periodo di apertura	Maggio – Ottobre
Posti letto	24
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	300
Approvvigionamento energetico	Idroelettrico
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 42 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Barbara Lowrie

Anno di ultima modifica all'impianto	2007
Trattamenti preliminari	Bioattivatori
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata da 3000 l
Recapito effluente	Suolo

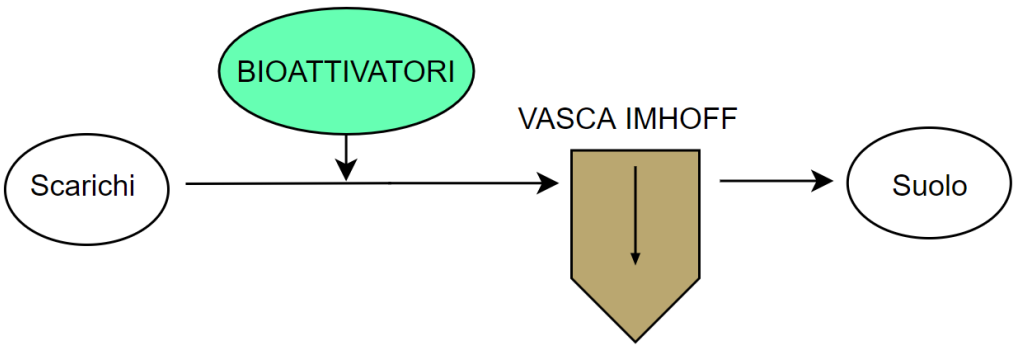


Figura 93 - Rifugio Barbara Lowrie: schema di trattamento reflui

7.10 Rifugio Levi - Molinari

Figura 94 - Rifugio Levi – Molinari [85]

Tabella 43 - Dati generali del Rifugio Levi - Molinari

Comune	Exilles (TO)
Proprietà	Sezione CAI Torino
Quota (m s.l.m.)	1850
Periodo di apertura	Maggio – Ottobre
Posti letto	38
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	50
Approvvigionamento energetico	Idroelettrico, generatore
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 44 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Levi - Molinari

Anno di ultima modifica all'impianto	2001
Trattamenti preliminari	Grigliatura, Bioattivatori
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata
Trattamenti secondari	Letto percolatore naturale
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No, trasporto con autospurgo

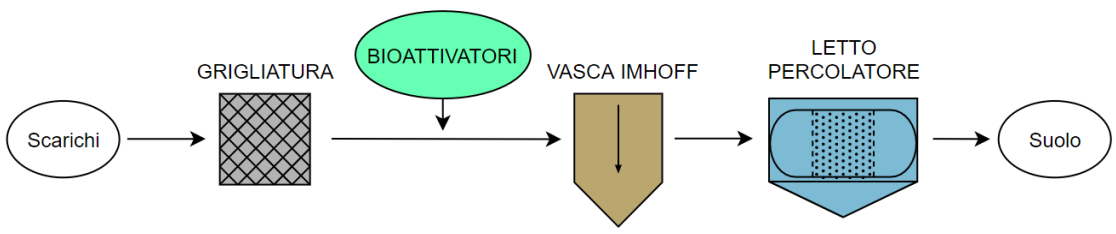


Figura 95 - Rifugio Levi - Molinari: schema di trattamento reflui

7.11 Rifugio Città di Ciriè

Figura 96 - Rifugio Città di Ciriè [86]

Tabella 45 - Dati generali del Rifugio Città di Ciriè

Comune	Balme (TO)
Proprietà	Sezione CAI Lanzo
Quota (m s.l.m.)	1865
Periodo di apertura	Tutto l'anno
Posti letto	25
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	250
Approvvigionamento energetico	Allaccio a rete elettrica
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 46 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Città di Ciriè

Anno di ultima modifica all'impianto	2019
Trattamenti preliminari	Degrassatore, Bioattivatori
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata da 20000 l
Trattamenti secondari	Pozzo perdente
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No, trasporto con autospurgo 2 volte l'anno

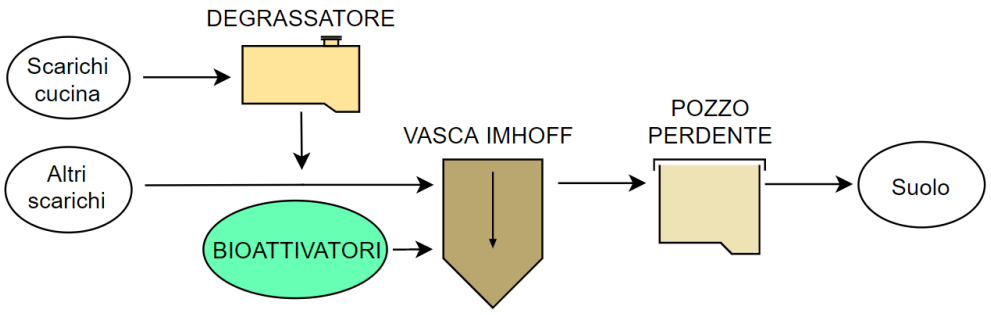


Figura 97 - Rifugio Città di Ciriè: schema di trattamento reflui

7.12 Rifugio De Alexandris - Foches al Laus

Figura 98 - Rifugio De Alexandris - Foches al Laus [87]

Tabella 47 - Dati generali del Rifugio De Alexandris - Foches al Laus

Comune	Vinadio (CN)
Proprietà	Sezione CAI Savona
Quota (m s.l.m.)	1910
Periodo di apertura	15 Giugno – 20 Settembre
Posti letto	20
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	400
Approvvigionamento energetico	Fotovoltaico, idroelettrico
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 48 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio De Alexandris-Foches al Laus

Anno di ultima modifica all'impianto	2016
Trattamenti preliminari	Degrassatore, Bioattivatori
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata da 3000 l
Trattamenti secondari	Pozzo perdente
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No, trasporto con autoveicolo

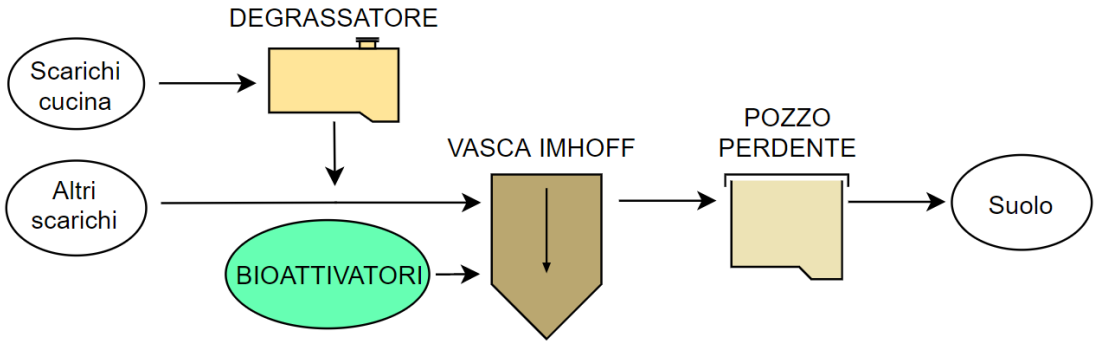


Figura 99 - Rifugio De Alexandris - Foches al Laus: schema di trattamento reflui

7.13 Rifugio Dante Livio Bianco

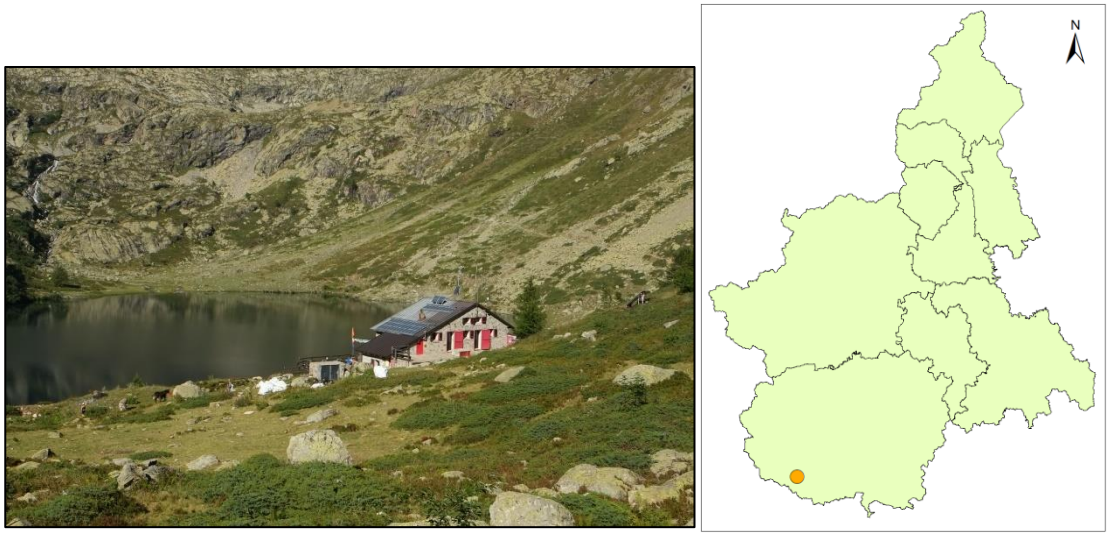


Figura 100 - Rifugio Dante Livio Bianco [88]

Tabella 49 - Dati generali del Rifugio Dante Livio Bianco

Comune	Valdieri (CN)
Proprietà	Sezione CAI Cuneo
Quota (m s.l.m.)	1910
Periodo di apertura	15 Giugno – 15 Settembre
Posti letto	48
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	40
Approvvigionamento energetico	Fovoltaico
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 50 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Dante Livio Bianco

Anno di ultima modifica all'impianto	2007
Trattamenti preliminari	Degrassatore
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata da 2000 l
Trattamenti secondari	Pozzo perdente
Recapito effluente	Suolo

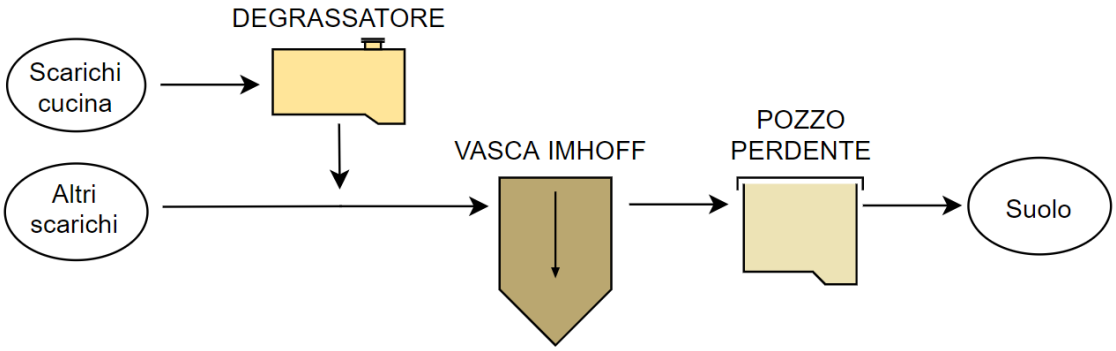


Figura 101 - Rifugio Dante Livio Bianco: schema di trattamento reflui

7.14 Rifugio Città Di Mortara - Grande Halte

Figura 102 - Rifugio Città di Mortara – Grande Halte [89]

Tabella 51 - Dati generali del Rifugio Città di Mortara – Grande Halte

Comune	Alagna Valsesia (VC)
Proprietà	Sezione CAI Mortara
Quota (m s.l.m.)	1945
Periodo di apertura	Agosto, weekend di Luglio, 26 Dicembre – 30 Marzo
Posti letto	25
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	20
Approvvigionamento energetico	Idroelettrico
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 52 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Città di Mortara–Grande Halte

Anno di ultima modifica all'impianto	1989
Trattamenti preliminari	Bioattivatori
Trattamenti primari	Due Imhoff interrate per 12000 l totali
Trattamenti secondari	Pozzo perdente
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No, trasporto con autoveicolo
Note:	1500€ per smaltimento fanghi

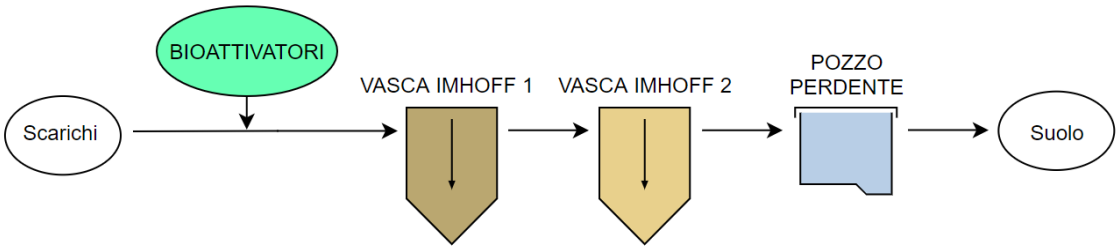


Figura 103 - Rifugio Città di Mortara – Grande Halte: schema di trattamento reflui

7.15 Rifugio Garelli Piero

Figura 104 - Rifugio Garelli Piero [90]

Tabella 53 - Dati generali del Rifugio Garelli Piero

Comune	Chiusa di Pesio (CN)
Proprietà	Sezione CAI Mondovì
Quota (m s.l.m.)	1970
Periodo di apertura	1 Giugno – 30 Settembre; weekend da Maggio ad Ottobre
Posti letto	90
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	150
Abitanti Equivalenti noti (A.E.)	85
Approvvigionamento energetico	Fotovoltaico, idroelettrico
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 54 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Garelli Piero

Anno di ultima modifica all'impianto	2013
Trattamenti preliminari	Degrassatore, grigliatura
Trattamenti secondari	Fitodepurazione
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	Non presenti
Note:	Ridotta manutenzione

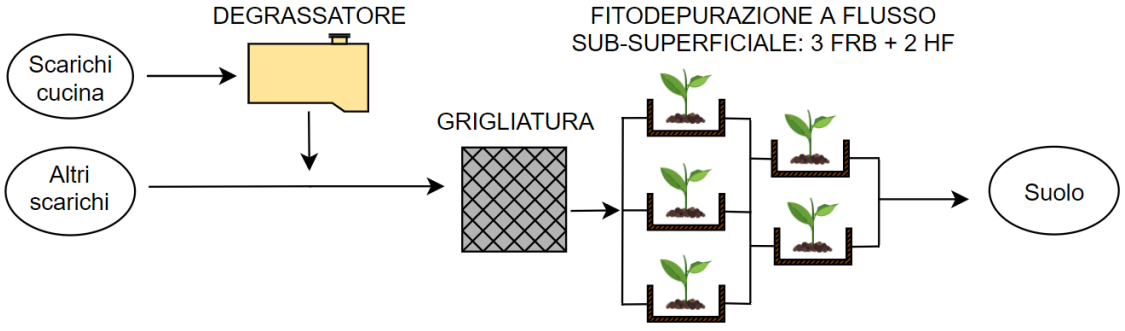


Figura 105 - Rifugio Garelli Piero: schema di trattamento reflui

7.16 Rifugio Della Balma

Figura 106 - Rifugio Della Balma [91]

Tabella 55 - Dati generali del Rifugio Della Balma

Comune	Coazze (TO)
Proprietà	Comune – Sezione CAI Coazze
Quota (m s.l.m.)	1986
Periodo di apertura	Luglio – Agosto, weekend da Giugno a Settembre
Posti letto	24
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	60
Approvvigionamento energetico	Idroelettrico
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 56 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Della Balma

Anno di ultima modifica all'impianto	2004
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata da 500 l
Trattamenti secondari	Dispersione per sub-irrigazione
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No, trasporto con elicottero
Note:	Riscontro problemi con Imhoff a basse temperature

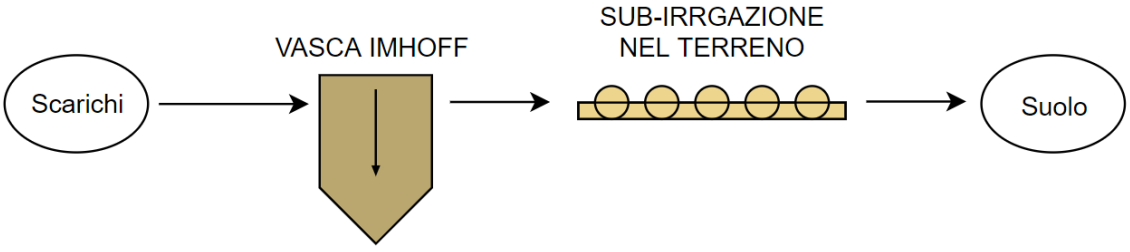


Figura 107 - Rifugio Della Balma: schema di trattamento reflui

7.17 Rifugio Zamboni - Zappa

Figura 108 - Rifugio Zamboni – Zappa [92]

Tabella 57 - Dati generali del Rifugio Zamboni - Zappa

Comune	Macugnaga (VB)
Proprietà	Sezione CAI SEM – Milano
Quota (m s.l.m.)	2065
Periodo di apertura	15 Giugno – 15 Settembre
Posti letto	36
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	150
Approvvigionamento energetico	Idroelettrico
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 58 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Zamboni Zappa

Anno di ultima modifica all'impianto	1998
Trattamenti preliminari	Degrassatore, Bioattivatori
Trattamenti primari	3 Vasche Imhoff interrate e riscaldate per un totale di 9000 l
Trattamenti secondari	Pozzo Perdente
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	Letto essiccatore, trasporto con elicottero

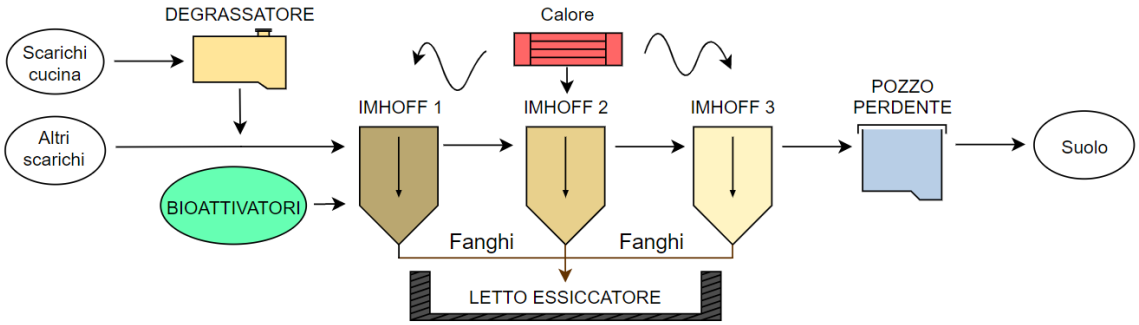


Figura 109 – Rifugio Zamboni - Zappa: schema di trattamento reflui

7.18 Rifugio Alfredo Rivetti

Figura 110 - Rifugio Alfredo Rivetti [93]

Tabella 59 - Dati generali del Rifugio Alfredo Rivetti

Comune	Andorno Micca (BI)
Proprietà	Sezione CAI Biella
Quota (m s.l.m.)	2158
Periodo di apertura	1 Giugno – 30 Settembre
Posti letto	40
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	60
Approvvigionamento energetico	Fotovoltaico
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 60 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Alfredo Rivetti

Anno di ultima modifica all'impianto	2018
Trattamenti preliminari	Degrassatore
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata da 3000 l
Trattamenti secondari	Biofiltro da 3000 l, dispersione per sub-irrigazione
Recapito effluente	Suolo

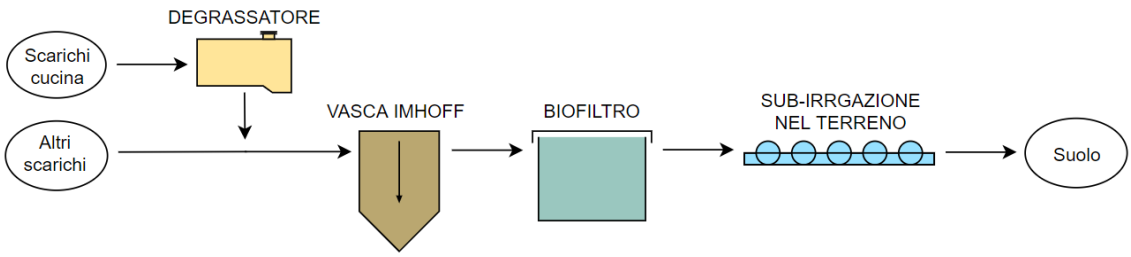


Figura 111 - Rifugio Alfredo Rivetti: schema di trattamento reflui

7.19 Rifugio Maria Luisa

Figura 112 - Rifugio Maria Luisa [94]

Tabella 61 - Dati generali del Rifugio Maria Luisa

Comune	Formazza (VB)
Proprietà	Sezione CAI Busto Arsizio
Quota (m s.l.m.)	2160
Periodo di apertura	Luglio – Settembre, tutti i weekend
Posti letto	70
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	300
Approvvigionamento energetico	Allaccio rete elettrica
Approvvigionamento idrico	Corso d'acqua

Tabella 62 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Maria Luisa

Anno di ultima modifica all'impianto	2001
Trattamenti primari	Fossa settica interrata da 20000 l
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No, trasporto con autospurgo

Figura 113 – Rifugio Maria Luisa: schema di trattamento reflui

7.20 Rifugio Scarfiotti

Figura 114 - Rifugio Scarfiotti [95]

Tabella 63 - Dati generali del Rifugio Scarfiotti

Comune	Bardonecchia (TO)
Proprietà	Sezione CAI Torino
Quota (m s.l.m.)	2160
Periodo di apertura	Giugno - Settembre
Posti letto	24
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	50
Approvvigionamento energetico	Idroelettrico
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 64 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Scarfiotti

Trattamenti preliminari	Degrassatore, Bioattivatori
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata
Trattamenti secondari	Pozzo perdente
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No, trasporto con autospurgo

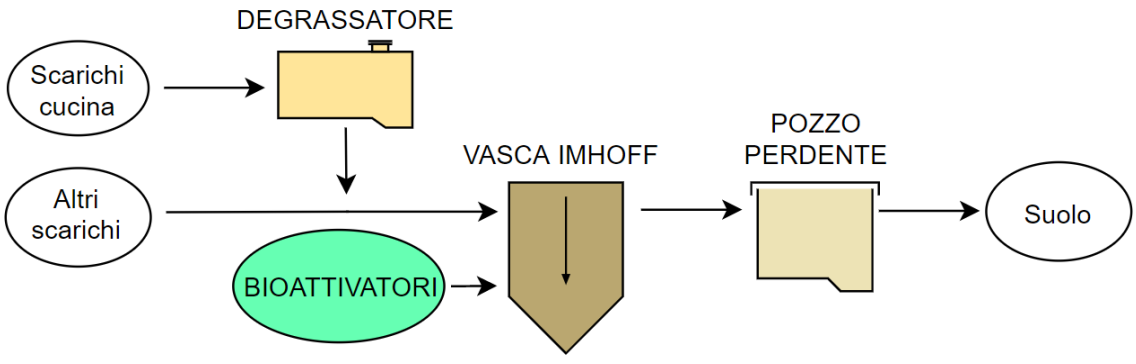


Figura 115 - Rifugio Scarfiotti: schema di trattamento reflui

7.21 Rifugio Paolo Daviso

Figura 116 - Rifugio Paolo Daviso [96]

Tabella 65 - Dati generali del Rifugio Paolo Daviso

Comune	Groscavallo (TO)
Proprietà	Sezione CAI Venaria Reale
Quota (m s.l.m.)	2280
Periodo di apertura	15 Luglio – 15 Agosto, weekend da giugno a settembre
Posti letto	24
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	80
Approvvigionamento energetico	Fotovoltaico, generatore
Approvvigionamento idrico	Corso d'acqua, fusione nivale

Tabella 66 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Paolo Daviso

Trattamenti preliminari	Bioattivatori
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata
Trattamenti secondari	Pozzo perdente
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No

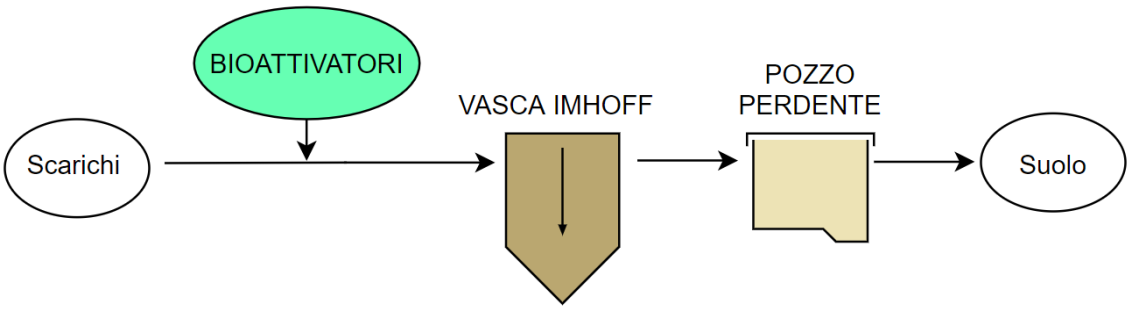


Figura 117 - Rifugio Paolo Daviso: schema di trattamento reflui

7.22 Rifugio Franco Remondino

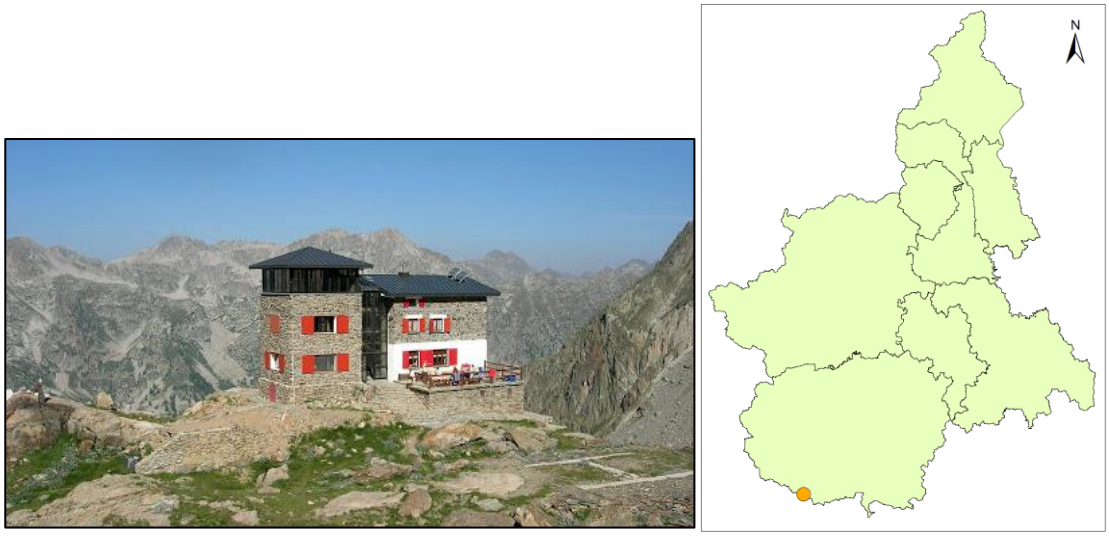


Figura 118 - Rifugio Franco Remondino [97]

Tabella 67 - Dati generali del Rifugio Franco Remondino

Comune	Valdieri (CN)
Proprietà	Sezione CAI Cuneo
Quota (m s.l.m.)	2430
Periodo di apertura	15 Giugno – 15 Settembre
Posti letto	46
Approvvigionamento energetico	Fotovoltaico, idroelettrico
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 68 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Franco Remondino

Trattamenti preliminari	Bioattivatori
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata
Trattamenti secondari	Dispersione per sub-irrigazione
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No

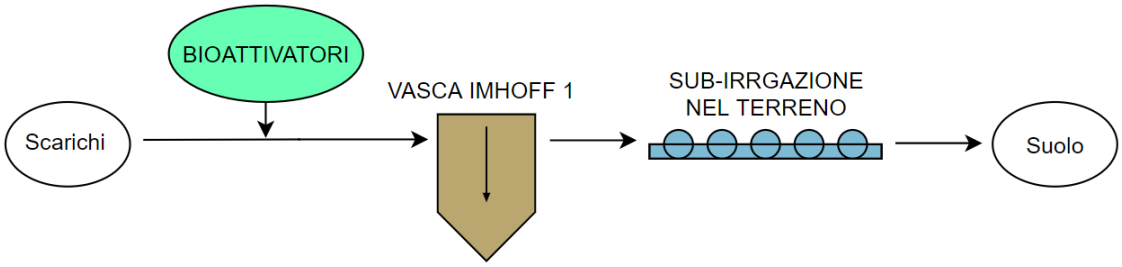


Figura 119 - Rifugio Franco Remondino: schema di trattamento reflui

7.23 Rifugio Vallanta

Figura 120 - Rifugio Vallanta [98]

Tabella 69 - Dati generali del Rifugio Vallanta

Comune	Pontechianale (CN)
Proprietà	Sezione CAI Saluzzo
Quota (m s.l.m.)	2450
Periodo di apertura	15 Giugno – 15 Settembre
Posti letto	78
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	120
Approvvigionamento energetico	Idroelettrico
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 70 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Vallanta

Anno di ultima modifica all'impianto	2019
Trattamenti preliminari	Degrasatore, Grigliatura
Trattamenti secondari	Fitodepurazione
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	Non presenti
Note:	Consumo idrico giornaliero stimato di 120 l/ospite; 2 vasche di fitodepurazione da 80m^2

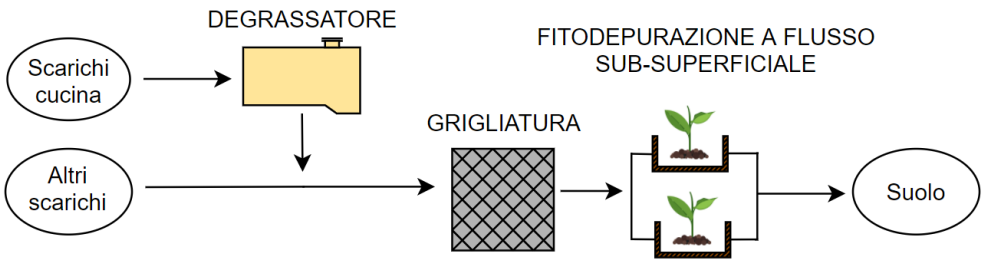


Figura 121 - Rifugio Vallanta: schema di trattamento reflui

7.24 Rifugio Lorenzo Bozano

Figura 122 - Rifugio Lorenzo Bozano [99]

Tabella 71 - Dati generali del Rifugio Lorenzo Bozano

Comune	Valdieri (CN)
Proprietà	Sezione CAI Ligure – Genova
Quota (m s.l.m.)	2453
Periodo di apertura	15 Giugno – 30 Settembre
Posti letto	20
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	50
Approvvigionamento energetico	Fotovoltaico
Approvvigionamento idrico	Fusione nivale

Tabella 72 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Lorenzo Bozano

Trattamenti preliminari	Degrassatore, Grigliatura, Bioattivatori
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata da 6000 l
Trattamenti secondari	Dispersione per sub-irrigazione
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No, trasporto con elicottero
Note:	Suddivisione linee acque nere e grigie, trattamento con sacchi perdenti per i fanghi previsto per il 2021

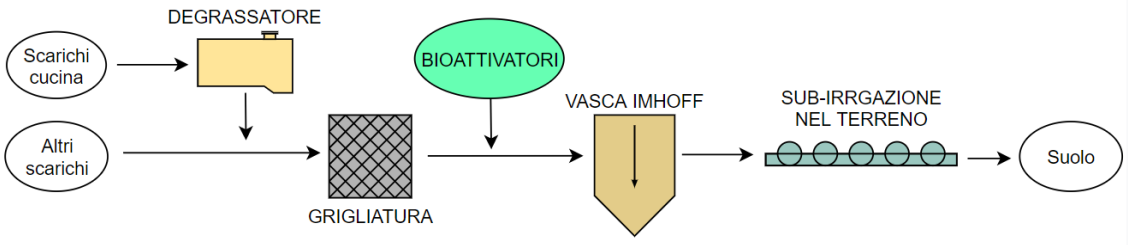


Figura 123 - Rifugio Lorenzo Bozano: schema di trattamento reflui

7.25 Rifugio Città di Busto

Figura 124 - Rifugio Città di Busto [100]

Tabella 73 - Dati generali del Rifugio Città di Busto

Comune	Formazza (VB)
Proprietà	Sezione CAI Busto Arsizio
Quota (m s.l.m.)	2480
Periodo di apertura	15 Giugno – 30 Settembre
Posti letto	44
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	100
Approvvigionamento energetico	Allaccio a rete elettrica
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 74 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Città di Busto

Trattamenti preliminari	Bioattivatori
Trattamenti primari	Fossa settica interrata
Recapito effluente	Suolo

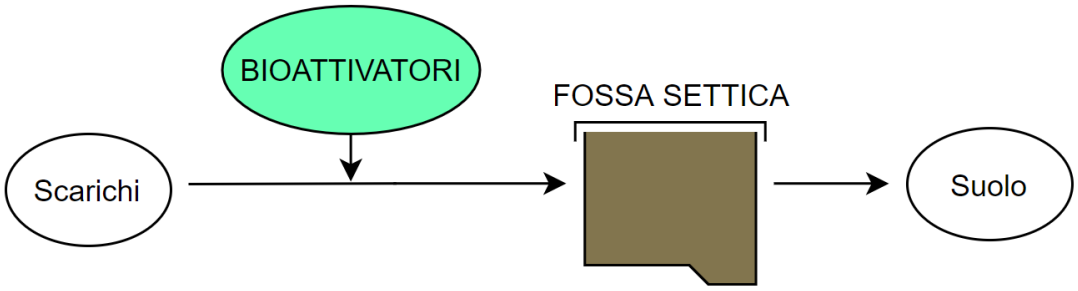


Figura 125 - Rifugio Città di Busto: schema di trattamento reflui

7.26 Rifugio Luigi Cibrario

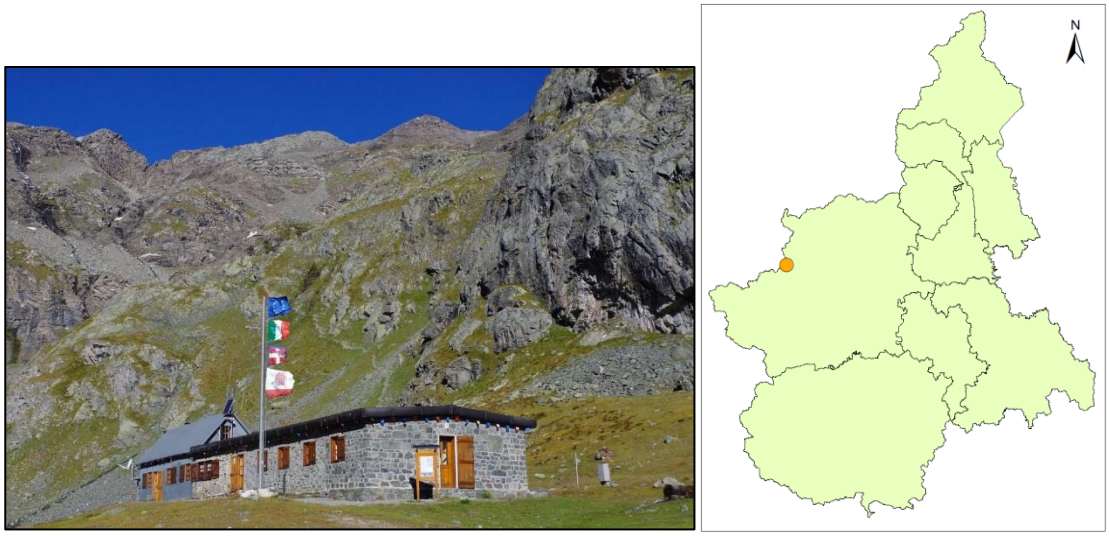


Figura 126 - Rifugio Luigi Cibrario [101]

Tabella 75 - Dati generali del Rifugio Luigi Cibrario

Comune	Usseglio (TO)
Proprietà	Sezione CAI Torino
Quota (m s.l.m.)	2616
Periodo di apertura	1 Luglio – 15 Settembre
Posti letto	42
Approvvigionamento energetico	Idroelettrico
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 76 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Luigi Cibrario

Anno di ultima modifica all'impianto	1990
Trattamenti preliminari	Degrassatore
Trattamenti primari	Fossa Imhoff Interrata da 6000 l
Trattamenti secondari	Pozzo perdente
Recapito effluente	Corso d'acqua
Gestione Fanghi	No

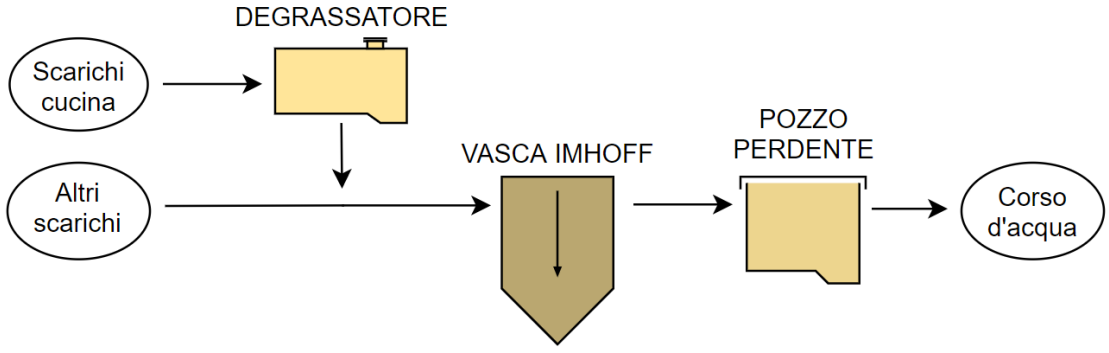


Figura 127 - Rifugio Luigi Cibrario: schema di trattamento reflui

7.27 Rifugio Quintino Sella

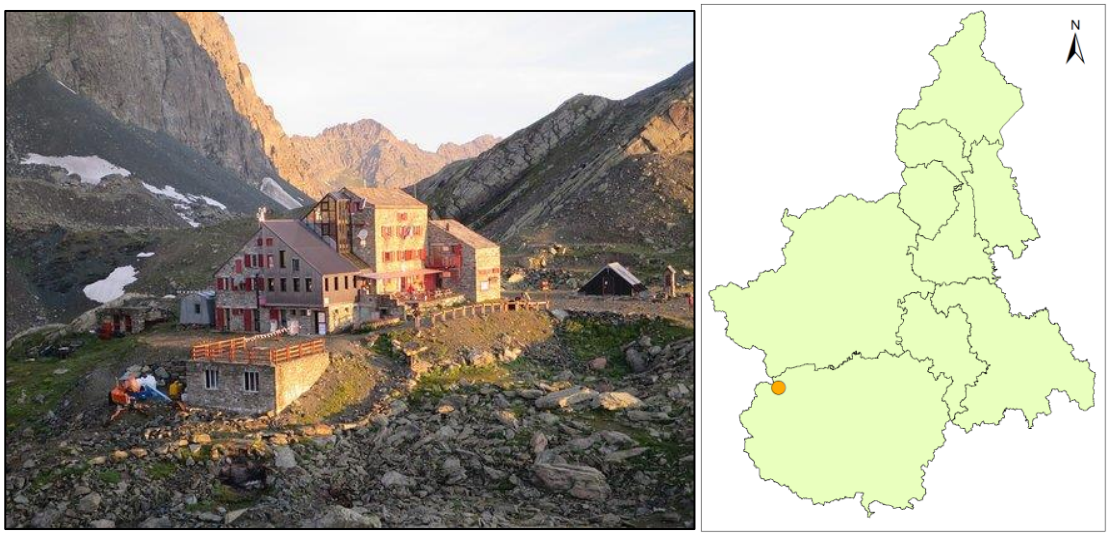


Figura 128 - Rifugio Quintino Sella [102]

Tabella 77 - Dati generali del Rifugio Quintino Sella

Comune	Crissolo (CN)
Proprietà	Sezione CAI Saluzzo
Quota (m s.l.m.)	2640
Periodo di apertura	15 Giugno – 30 Settembre
Posti letto	93
Approvvigionamento energetico	Idroelettrico
Approvvigionamento idrico	Sorgente

Tabella 78 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Quintino Sella

Anno di ultima modifica all'impianto	2016
Trattamenti preliminari	Degrassatore, Grigliatura
Trattamenti primari	Fosse Imhoff e settica interrate per 20000 l totali
Trattamenti secondari	Pozzo perdente
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	Sacchi filtranti, trasporto con elicottero

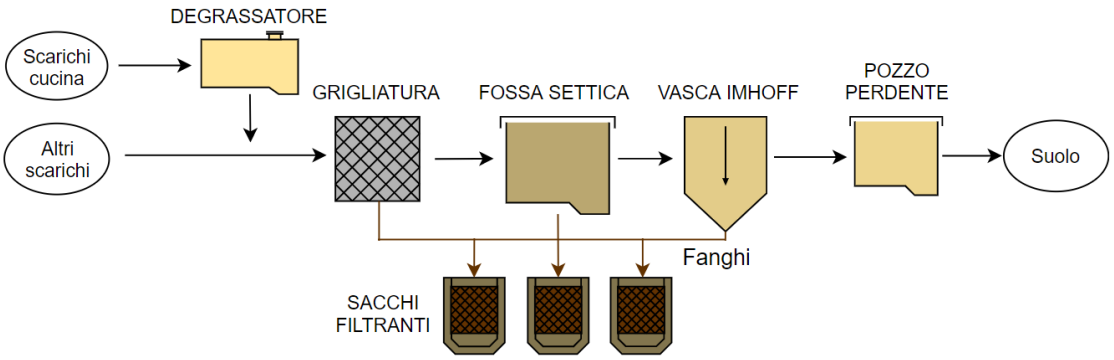


Figura 129 - Rifugio Quintino Sella: schema di trattamento reflui

7.28 Rifugio Ernesto Tazzetti

Figura 130 - Rifugio Ernesto Tazzetti [103]

Tabella 79 - Dati generali del Rifugio Ernesto Tazzetti

Comune	Usseglio (TO)
Proprietà	Sezione CAI Torino
Quota (m s.l.m.)	2642
Periodo di apertura	15 Luglio – 30 Agosto, weekend estivi
Posti letto	32
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	70
Approvvigionamento energetico	Fotovoltaico
Approvvigionamento idrico	Fusione nivale

Tabella 80 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Ernesto Tazzetti

Trattamenti preliminari	Grigliatura
Trattamenti primari	Fossa Imhoff interrata
Trattamenti secondari	Pozzo perdente
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No

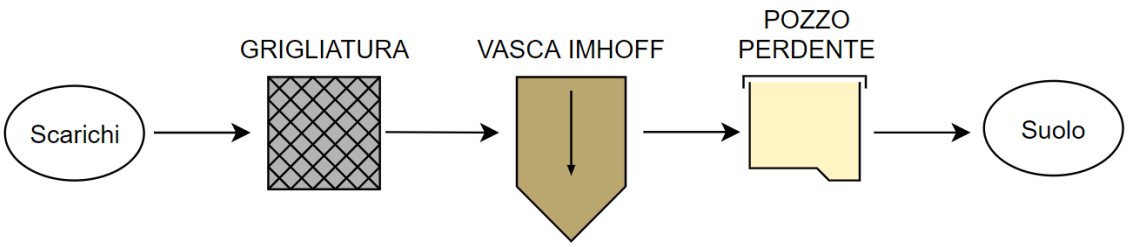


Figura 131 - Rifugio Ernesto Tazzetti: schema di trattamento reflui

7.29 Rifugio Federici - Marchesini - al Pagari

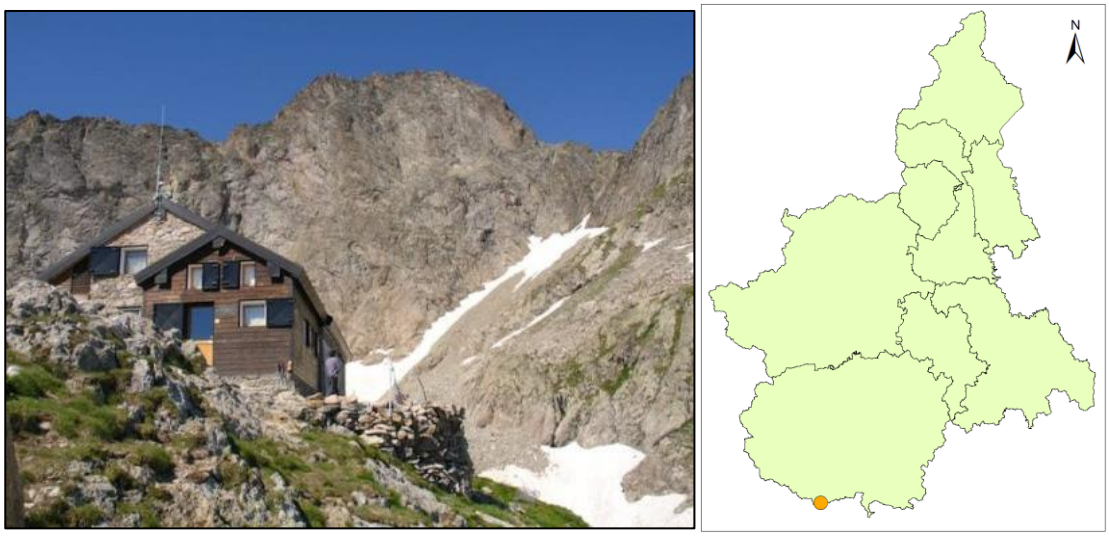


Figura 132 - Rifugio Federici - Marchesini - al Pagari [107]

Tabella 81 - Dati generali del Rifugio Federici - Marchesini - al Pagari

Comune	Entracque (CN)
Proprietà	Sezione CAI Ligure - Genova
Quota (m s.l.m.)	2650
Periodo di apertura	15 Giugno – 30 Settembre
Posti letto	24
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	30
Approvvigionamento energetico	Fotovoltaico, idroelettrico
Approvvigionamento idrico	Fusione nivale

Tabella 82 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Federici-Marchesini-al Pagari

Anno di ultima modifica all'impianto	2014
Trattamenti preliminari	Degrassatore, Bioattivatori
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata da 3500 l
Trattamenti secondari	Filtrazione, dispersione per subirrigazione
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No, trasporto con elicottero
Consumi energetici	1.92 kW

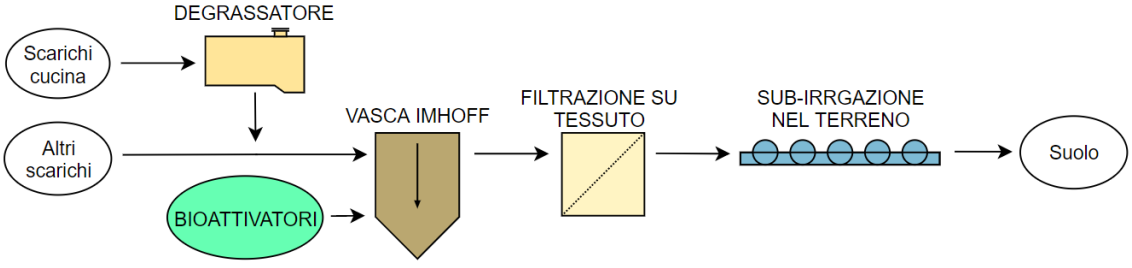


Figura 133 - Rifugio Federici - Marchesini - al Pagari: schema di trattamento reflui

7.30 Rifugio Gastaldi Bartolomeo

Figura 134 - Rifugio Gastaldi Bartolomeo [104]

Tabella 83 - Dati generali del Rifugio Gastaldi Bartolomeo

Comune	Balme (TO)
Proprietà	Sezione CAI Torino
Quota (m s.l.m.)	2659
Periodo di apertura	15 Giugno – 15 Settembre
Posti letto	48
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	20
Approvvigionamento energetico	Fotovoltaico, generatore
Approvvigionamento idrico	Sorgente, corso d'acqua, fusione

Tabella 84 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Gastaldi Bartolomeo

Anno di ultima modifica all'impianto	2019
Trattamenti preliminari	Degrassatore
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata da 3000 l
Trattamenti secondari	Dispersione per sub-irrigazione
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	No

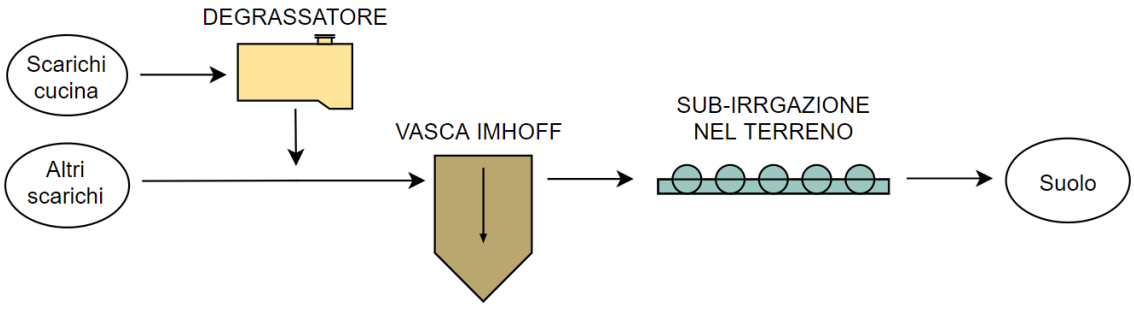


Figura 135 - Rifugio Gastaldi Bartolomeo: schema di trattamento reflui

7.31 Rifugio Vitale Giacoletti

Figura 136 - Rifugio Vitale Giacoletti [105]

Tabella 85 - Dati generali del Rifugio Vitale Giacoletti

Comune	Crissolo (CN)
Proprietà	Sezione CAI Barge
Quota (m s.l.m.)	2741
Periodo di apertura	15 Giugno – 15 Settembre
Posti letto	50
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	200
Approvvigionamento energetico	Fotovoltaico, generatore
Approvvigionamento idrico	Sorgente, fusione

Tabella 86 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Vitale Giacoletti

Anno di ultima modifica all'impianto	2018
Trattamenti preliminari	Degrassatore
Trattamenti primari	Vasca Imhoff in locale esterno, 6000l
Trattamenti secondari	Dispersione per sub-irrigazione
Recapito effluente	Suolo
Gestione Fanghi	Sacchi filtranti, trasporto in elicottero

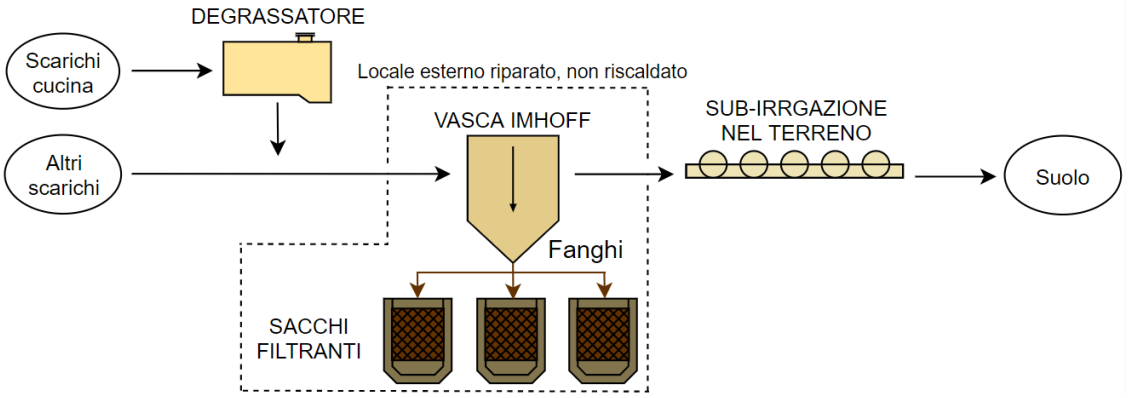


Figura 137 – Rifugio Vitale Giacoletti: schema di trattamento reflui

7.32 Rifugio Luigi Vaccarone

Figura 138 - Rifugio Luigi Vaccarone [106]

Tabella 87 - Dati generali del Rifugio Luigi Vaccarone

Comune	Giaglione (TO)
Proprietà	Comune di Giaglione
Quota (m s.l.m.)	2747
Periodo di apertura	15 Giugno – 15 Settembre
Posti letto	14
Passaggi giornalieri medi in alta stagione	30
Approvvigionamento energetico	Fotovoltaico
Approvvigionamento idrico	Lago

Tabella 88 - Dati sull'impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Luigi Vaccarone

Anno di ultima modifica all'impianto	2012
Trattamenti preliminari	Degrassatore, Bioattivatori
Trattamenti primari	Vasca Imhoff interrata
Trattamenti secondari	Dispersione per sub-irrigazione
Recapito effluente	Suolo

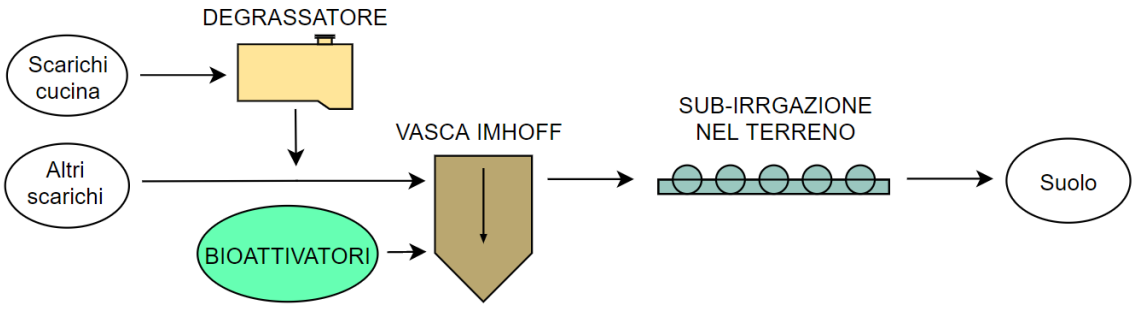


Figura 139 - Rifugio Luigi Vaccarone: schema di trattamento reflui

Bibliografia

[1] *D.Lgs. 152/2006 - "Norme in materia ambientale",* 2006.

[2] Regione Valle d'Aosta, *"Legge Regionale 14 aprile 2015, n.8",* 2015.

[3] Regione Piemonte, *Decreto del Presidente della Giunta Regionale 11 marzo 2011, n.1/R - "Requisiti e modalità per l'attività di gestione delle strutture ricettive alpinistiche nonchè requisiti tecnico-edilizi ed igienico-sanitari occorrenti al loro funzionamento",* 2011.

[4] Regione Lombardia, *Regolamento Regionale 29 marzo 2019, n.6 - " Disciplina e regimi amministrativi degli scarichi di acque reflue domestiche e di acque reflue urbane, disciplina dei controlli degli scarichi...",* 2019.

[5] Metcalf and Eddy e AECOM, Wastewater Engineering - Treatment and Resource Recovery, Fifth ed. a cura di, McGraw-Hill, 2014.

[6] L. Masotti e P. Verlicchi, Depurazione delle acque di piccola comunità - Tecniche naturali e tecniche impiantistiche, Hoepli, 2005.

[7] D. G. S. G. M. De Feo Giovanni, Acque Reflue. Progettazione e gestione di impianti per il trattamento e lo smaltimento, Dario Flaccovio, 2012.

[8] C. Sigmund, Teoria e pratica della depurazione delle acque reflue, Flaccovio Dario, 2005.

[9] ISPRA, «Guida Tecnica per la progettazione e gestione dei sistemi di fitodepurazione per il trattamento delle acque reflue,» ISPRA, 2012.

[10] Associazione Austriaca per le acque ed i rifiuti, «Smaltimento delle acque reflue in zone montane,» Vienna, 2000.

[11] ARPA Lombardia, «Linee Guida per lo scarico di acque reflue domestiche sul suolo e negli strati superficiali del sottosuolo, per carichi organici inferiori a 50 AE,» 2010.

[12] I. Galbiati, «Relazione di sintesi "Progetto Reflui 2018-2020",» Club Alpino Italiano - Commissione Regionale Lombardia OTTO-ROA, 2020.

[13] G. Adams et al., «Temperature controls on aquatic bacterial production and community dynamics in arctic lakes and streams,» *Environmental Microbiology,* n. 12, pp. 1319 - 1333, 2010.

[14] Hexi Zhou et al., «Overview of strategies for enhanced treatment of municipal/domestic wastewater at low temperature,» *Science of the Total Environment,* n. 643, pp. 225 - 237, 2018.

[15] A. Young et al., «Low Temperature MBBR nitrification: microbone analysis,» *Water Resoucres,* n. 111, pp. 224-233, 2017.

[16] Ducey et al., «Characterization of a microbial community capable of nitrification at cold temperature,» *Bioresource Technology,* n. 101, pp. 491 - 500, 2010.

[17] Y. Guo et al., «The regulation and control strategies of a sequencing batch reactor for simultaneous nitrification and denitrification at different temperatures.,» *Bioresource Technology,* n. 133, p. 59 6, 2013.

[18] Gonzalez-Martinez e Gonzales-Martinez R. et al., «Performance and microbial community structure of a polar Arctic circle aerobic granular sludge system operating at low temperature.,» *Bioresource Technology,* n. 256, pp. 22 - 29, 2018.

[19] Consiglio Regionale del Piemonte, *Legge regionale 17 novembre 1993, n. 48,* 1993.

[20] Consiglio Regionale del Piemonte, *Legge regionale 7 aprile 2003, n. 6,* 2003.

[21] ARPA Friuli Venezia Giulia, «Trattamento delle acque reflue domestiche e assimilate,» 2019.

[22] ARPA Liguria, «Linee guida per l'istruttoria autorizzativa dei sistemi di trattamento delle acque reflue domestiche ed assimilate,» 2015.

[23] ARPA Emilia, «Linee guida ARPA per il trattamento delle acque reflue domestiche,» 2004.

[24] ARPA Toscana, «Trattamento degli scarichi di acque reflue: Norme tecniche,» 2010.

[25] Regione Lazio - Direzione Generale Ambiente, «Caratteristiche tecniche degli impianti di fitodepurazione, degli impianti a servizio di installazioni, di insediamenti ed edifici isolati minori di 50 abitanti equivalenti e degli impianti per il trattamento dei reflui di agglomerati minori di 2000 ab...,» 2017.

[26] Regione Umbria, «Direttiva tecnica regionale - Disciplina degli scarichi delle acque reflue,» 2007.

[27] Regione Puglia, «Regolamento Regionale n.26 del 12 dicembre 2011 - Disciplina degli scarichi di acque reflue domestiche o assimilate alle domestiche di insediamenti di consistenza inferiore ai 2.000 A.E., ...,» 2011.

[28] Autorità d'Ambito Torinese - A.T.O. 3, «Regolamento d'utenza del servizio idrico integrato - Utenze che scaricano le acque reflue domestiche in sistemi di raccolta indivituali,» 2005.

[29] Regione Piemonte, «Deliberazione della Giunta Regionale 17 luglio 2020, n. 13-1669. Approvazione dell'Atto di indirizzo relativo alla gestione dei fanghi prodotti dal trattamento delle acque reflue urbane (CER 190805), al fine di adeguare la pianificazione regionale ...,» 2020.

[30] Regione Piemonte, «Relazione dell'Osservatorio regionale dei servizi idrici integrati (Anno 2019) - Quadro conoscitivo sull'avanzamento della riforma e lo stato dei servizi idrici,» 2020.

[31] Xu Z. et Al., «Application and microbial ecology of psychotrophs in domestic wastewater treatment at low temperature.,» *Chemosphere,* n. 191, pp. 946 - 953, 2018.

[32] M. L. Verlicchi P., «Trattamenti delle acque di scarico per piccole comunità - Pretrattamento di acque reflue domestiche: fosse settiche o fosse Imhoff?,» in *Protocollo*

di intesa per la realizzazione di trattamenti individuali di depurazione delle acque reflue domestiche, Ferrara, 2014.

[33] Comitato dei Ministri, *Deliberazione del Comitato dei ministri per la tutela delle acque dall'inquinamento del 4 febbraio 1977,* 1977.

[34] S. Fiore, *Piccoli impianti di depurazione - Corso di Ingegneria Sanitaria Ambientale,* Politecnico di Torino, 2017.

[35] Imhoff K.R., Manuel de l'assainissement urbain, Parigi: Dunond, 1970.

[36] Provincia di Bolzano, «Agenzia provinciale per l'ambiente e la tutela del clima - Gestione sostenibile delle acque meteoriche,» [Online]. Available: https://ambiente.provincia.bz.it/acqua/gestione-sostenibile-acque-meteoriche.asp.

[37] Edil-centro, «edil-centro.com,» [Online]. Available: https://www.edil-centro.com/subirrigazione-linee-guida-per-progettazione-e-installazione/.

[38] T. B. Jan Vymazal, «Long term treatment performance of constructed wetlands for wastewater treatment in mountain areas: Four case studies from the Czech Republic,» *Ecological Engineering,* n. 71, pp. 578 - 583, 2014.

[39] Langergraber G. et Al., «Comparison of single-stage and a two-stage vertical flow constructed wetland systems for different load scenarios,» *Water science and technology,* n. 61, pp. 1341 - 1348, 2010.

[40] Regione Piemonte, Val Cenis Vanoise, Parco Naturale del Marguareis, «Programma ALCOTRA, Alpi latine cooperazione transfrontaliera Italia-Francia: Fitodepurazione in ambiente alpino» 2013.

[41] Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, «Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2nd Revised Edition,» [Online]. Available: https://sswm.info/es/factsheet/anaerobic-filter.

[42] R.V. T. Viraraghavan, «Low-temperature kineticks of anaerobic-filter wastewater treatment,» *Bioresource Technology,* n. 57, pp. 165 - 171, 1996.

[43] T.A. Elmitwalli et Al., «Low temperature pre-treatment of domestic sewage in anaerobic hybrid or an anaerobic filter reactor,» *Bioresource Technology,* n. 82, pp. 233 - 239, 2001.

[44] T.A. Elmitwalli et Al., «Treatment of domestic sewage in a two-step anaerobic filter/anaerobic hybrid system at low temperature,» *Water Research,* n. 36, pp. 2225 - 2232, 2001.

[45] S. Prefabbricati, «Sistiprefabbricati - Filtri percolatori aerobici,» [Online]. Available: https://www.sistiprefabbricati.it/index.php?option=com_content&view=article&id=139:filtri-percolatori&catid=41&Itemid=1113.

[46] R.G. R.Droste, Theory and pratice of water and wastewater treatment - 2nd edition, Wiley, 2019.

[47] R. Hansen et Al., «Comparing cost and process performance of activated sludge (AS) and biological areated filters (BAF) over ten years of full scale operation,» *Water Science and Technology,* vol. 55, n. 8, pp. 99 - 106, 2007.

[48] J.H.Ha et Al., «Temperature effects on nitrification in polishing biological areated filters (BAFs),» *Environmental Technology,* vol. 31, n. 6, pp. 671 - 680, 2010.

[49] Lenntech, «lenntech.com,» [Online]. Available: https://www.lenntech.com/images/mbr_submerged_scheme.png. [Consultato il giorno 2020].

[50] M. Boelher et al., «Treatment of toilet wastewater for re-use in an MBR,» 2007.

[51] Andreottola G. et al., «Treatment of mountain refuge wastewater by fixed and moving bed biofilm systems,» *Water science and technology,* n. 48, pp. 169 - 177, 2003.

[52] R. Buzzoni, «Rifugio Buzzoni,» [Online]. Available: www.rifugiobuzoni.it. [Consultato il giorno 2020].

[53] Rifugio Sandro Occhi all'Aviolo. [Online]. Available: https://www.rifugioaviolo.com/.

[54] Barenghi B., «Parco dell'Adamello - Ammodernamento dei rifugi alpini: gestione delle acque e fitodepurazione, aspetti tecnici e lezioni apprese dagli impianti realizzati,» 2018.

[55] R. Franchetti, «Rifugio Franchetti,» [Online]. Available: https://rifugiofranchetti.it. [Consultato il giorno 2020].

[56] Guidetti S. - Ufficio Tecnico Ambiente CAI, «Buone pratiche di risparmio e trattamento delle acque nei rifugi,» 2010.

[57] «Lamsenjochhütte - Deutcher Alpenverein Munchen % Oberland,» [Online]. Available: https://www.alpenverein-muenchen-oberland.de/lamsenjochhuette.

[58] E.-L. Project, «Comparison of technology, costs and environmental benefit of wastewater treatment plants in mountainous areas in the Alps,» 2002.

[59] hydro-it, «Technologievergleich und Ökobilanz von Abwasserreinigungsanlagen in alpinen Extremlagen,» 2002. [Online]. Available: http://www.hydro-it.com/extern/life/lamsenjoch/lamsenjoch.html.

[60] M. R. H. Zermatt. [Online]. Available: https://monterosahuette.ch/.

[61] ZHAW - Zurich University of Applied Sciences, «New Monte Rosa Hut, Switzerland,» 2019. [Online]. Available: https://www.zhaw.ch/storage/lsfm/institute-zentren/iunr/oekotechnologie/zebistis/casestudies/new-monte-rosa-hut-switzerland.pdf.

[62] M. S. AG, «MBR Neue Monte Rosa Hütte, Schweiz,» 2010. [Online]. Available: https://terralink.ch/wp-content/uploads/SAC-Hu%CC%88tte-Monte_Rosa.pdf.

[63] V. E. u. K. U. Eidgenössisches Departement für Umwelt, «Monte Rosa Hütte: Integrierte Haussysteme für optimale Energie- und Stoffbewirtschaftung,» 2012.

[64] Karel Plotěný, Jakub Hála, «Wastewater Treatment in Protected Landscape Areas,» Brno, 2017.

[65] Build up.eu, «Refuge du Goûter: Rifugio di montagna autonomo ad alta efficienza energetica,» [Online]. Available: https://www.buildup.eu/en/practices/cases/refuge-du-gouter-highly-energy-efficient-autonomous-mountain-hut.

[66] Triplewood, «Rifugio del Goûter,» [Online]. Available: https://www.triplewood.eu/it/progetti/rifugio-del-gouter_it.

[67] Stremsdoerfer P., Strem C., «Refuge du Goûter : solutions techniques mises en oeuvre et problèmes de pollution rencontrés,» 2016.

[68] Evac, «Refuge du Goûter - Mont Blanc,» 2016.

[69] Evac, «Advanced wastewater treatment and reuse,» 2012.

[70] Club Alpino Italiano - Piemonte, «Rifugi custoditi del CAI Piemonte,» [Online]. Available: https://www.caipiemonte.it/categoria-rifugi/rifugi-custoditi/.

[71] Club Alpino Italiano - Piemonte, 70 Rifugi del CAI Piemonte - Accessi, itinerari e sentieri, Susa: Susalibri, 2010.

[72] Corriere di Saluzzo, 30 Luglio 2020. [Online]. Available: https://www.corrieredisaluzzo.it.

[73] D'Andria - Università degli Studi della Basilicata, «Analisi delle componenti principali,» 2006.

[74] Chavent M. et al., «Multivariate analysis of mixed type data: The PCAmixdata R package,» 2014.

[75] Addinsoft, «Factorial Analysis of mixed data (PCAmix) in XLSTAT,» [Online]. Available: https://help.xlstat.com/s/article/factorial-analysis-of-mixed-data-pcamix-in-excel?language=en_US.

[76] C. Pallanza, «Rifugio Fantoli,» [Online]. Available: https://www.cai-pallanza.it/rifugio-fantoli/.

[77] Rifugi del Piemonte, «Rifugio Bruno Piazza,» [Online]. Available: https://www.rifugidelpiemonte.it/lista-rifugi/rifugio-bruno-piazza/.

[78] Mountbnb, «Rifugio Onelio Amprimo,» [Online]. Available: https://www.mountbnb.com/uploads/Rifugio-Amprimo-2_051919_2139326347_b.jpg.

[79] Rifugio Mongioie, «Rifugio Mongioie,» [Online]. Available: https://www.rifugio-mongioie.com/site/wp-content/uploads/2017/01/IMG_6866.jpg.

[80] Cai Piemonte, «Rifugio GEAT Val Gravio,» [Online]. Available: https://www.caipiemonte.it/wp-content/uploads/2019/10/Rifugio-Geat-Val-Gravio.jpg.

[81] E. bnb, «Rifugio Guido Muzio,» [Online]. Available: https://img.ecobnb.net/media/cache/wide_8/media/uploads/1629711a5ba692eddb88f80db5a85c12ecb0eab7.jpeg.

[82] Escursionando_trekking, «Rifugio Toesca,» [Online]. Available: https://www.escuriosandotrekking.it/wp-content/uploads/2008/12/toesca-e1527077392373.jpg.

[83] Mountbnb, «Rifugio Willy Jervis,» [Online]. Available: https://www.mountbnb.com/it/105/rifugio-willy-jervis-4.

[84] Piemonteexpo, «Rifugio Barbara Lowrie,» [Online]. Available: https://www.piemonteexpo.it/wp-content/uploads/2017/06/lowrie_.jpg.

[85] Rifugio Levi - Molinari, «Rifugio Levi - Molinari,» [Online]. Available: http://www.rifugiolevimolinari.it/.

[86] Rifugio Città di Ciriè, «Rifugio Ciriè,» [Online]. Available: https://www.rifugiocirie.eu/.

[87] R. Laus, «Rifugio Laus De Alexandris,» [Online]. Available: http://www.rifugiolaus.it/Default.aspx.

[88] Cuneo Trekking, «Rifugio Dante Livio Bianco,» [Online]. Available: https://cuneotrekking.com/wp-content/uploads/2017/05/rifugio-livio-bianco.jpg.

[89] Alagna, «Rifugio Grande Halte,» [Online]. Available: https://www.alagna.it/wp-content/uploads/2014/03/st_rifgrandehalte11.jpg.

[90] Rifugi del Piemonte, «Rifugio Piero Garelli,» [Online]. Available: https://www.rifugidelpiemonte.it/wp-content/uploads/2017/07/rifugio-garelli.jpg.

[91] Vivere Avigliana, «Rifugio Balma,» [Online]. Available: https://www.vivereavigliana.info/wp-content/uploads/2020/02/Rifugio-Balma.jpg.

[92] Rifugio Zamboni - Zappa, «Rifugio Zamboni - Zappa,» [Online]. Available: https://www.rifugiozamboni.com/il-rifugio-zamboni-zappa/.

[93] CAI Biella, «Rifugio Alfredo Rivetti,» [Online]. Available: https://www.caibiella.it/wptemp/wp-content/uploads/2018/04/rivetti-1.jpg.

[94] Mountbnb, «Rifugio Maria Luisa,» [Online]. Available: https://www.mountbnb.com/uploads/Rifugio-Maria-Luisa-25_031418_1209226596_b.jpg.

[95] Rifugio Scarfiotti, «Rifugio Scarfiotti,» [Online]. Available: https://www.mountbnb.com/uploads/14329326_1073390669442600_480403223_o_092016_1242083944_b.jpg.

[96] CAI Venaria, «Rifugio Paolo Daviso,» [Online]. Available: https://www.caivenaria.it/sito/images/stories/rifugio_daviso_new_resize.jpg.

[97] R. F. Remondino, «Rifugio Franco Remondino,» [Online]. Available: http://www.rifugioremondino.it/il_rifugio.html.

[98] Targato Cuneo, «Rifugio Vallanta,» [Online]. Available: ps://www.targatocn.it/fileadmin/archivio/targatocn/RIFUGIO_VALLANTA.jpg.

[99] Wikimedia, «Rifugio Lorenzo Bozano,» [Online]. Available: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/af/Rifugio_Lorenzo_Bozano%2C_2453_mt_-_panoramio.jpg.

[100] Montagne Nostre, «Rifugio Città di Busto,» [Online]. Available: https://www.montagnenostre.net/montagnenostre/wp-content/uploads/2016/02/Rifugio_Citta_di_busto.jpg.

[101] Rifugi del Piemonte, «Rifugio Luigi Cibrario,» [Online]. Available: https://www.rifugidelpiemonte.it/wp-content/uploads/2017/12/Rifugio-Luigi-Cibrario-1200x804.jpg.

[102] Tripadvisor, «Rifugio Quintino Sella,» [Online]. Available: https://media-cdn.tripadvisor.com/media/photo-s/10/07/d9/57/rifugio-quintino-sella.jpg.

[103] Gulliver, «Rifugio Ernesto Tazzetti,» [Online]. Available: https://www.gulliver.it/hub/wp-content/uploads/2015/07/09/tazzetti-ernesto-rifugio-da-malciaussia_5f11.jpg.

[104] Rifugio Gastaldi, «Rifugio Gastaldi,» [Online]. Available: https://www.rifugiogastaldi.com/sitowp/wp-content/uploads/2015/05/rifugio-gastaldi-marco-favero-800x534.jpg.

[105] Rifugi del Piemonte, «Rifugio Giacoletti,» [Online]. Available: https://www.rifugidelpiemonte.it/wp-content/uploads/2017/06/rifugio-giacoletti.jpg.

[106] Cai Piemonte, «Rifugio Vaccarone,» [Online]. Available: https://www.caipiemonte.it/wp-content/uploads/2019/10/Rifugio-Vaccarone.jpg.

[107] Comune di Entracque, «Rifugio Federici - Marchesini - al Pagari,» [Online]. Available: http://www.comune.entracque.cn.it/.