

THE ECO-FRIENDLY WASTEWATER TREATMENT AT MOUNTAIN REFUGES: A SHORT OVERVIEW OF MOST PROMISING TECHNOLOGIES

Introduction

The Alps and Apennines are mountain areas of great natural and landscape value, whose paths are beaten by a considerable number of tourists each year. The particular climatic conditions and the fragility of the mountain ecosystems require special attention in order to minimize the impact of human presence on the environment [1]. Even if the sustainability of a mountain infrastructure is ensured by an integrated management of energy, water and wastes and of cross-relations between them, the wastewater treatment represent one of the biggest challenge. In recent years, great efforts have been made in finding depuration technologies suitable for areas where energy supply, limited water resources, costly transport, unfavorable climate and load variations are only some of the problems to be addressed [1].

In this paper a short overview of eco-friendly technologies proposed and/or used in the wastewater treatment at mountain refuges is here reported, reserving a special focus to some "functional" materials recently used as substrate in phyto-purification systems. A possible up-grade of the wastewater treatment systems based on biofilm reactors, is also proposed.

Phytodepuration

The process

Phytodepuration is well known as one of the most eco-friendly techniques of wastewater treatment [2]. It is, in fact, a natural treatment technique that reproduces natural purification processes in a controlled environment. Phytodepuration process is based on natural or artificial little deep basin (wetland), typically filled with inert material and fed with aquatic plants (macrophytes). These plants reproduce the natural purification processes typical of humid areas.

Constructed wetland treatment systems are artificial engineered systems that have been designed and constructed to utilize the natural processes but do so within a more controlled environment [3]. Constructed wetlands (CWs) may be categorized according to the various design parameters, but the three most important criteria are: hydrology (open water-surface flow or -subsurface flow), flow path (horizontal or vertical) and type of macrophytic growth (emergent, submerged or free-floating) [3]. One of the limits for the application of CWs in mountain regions is associated with the considerable land area requirements. In some mountain areas, the treatment of domestic wastewater is particularly difficult during the summer, when the presence of visitors increases

hydraulic and organic loads. Foladori and co-workers [4] evaluated whether a hybrid CW plant designed on the basis of the resident population only, can treat also the additional load produced by the floating population during the tourist period (summer, when temperatures are favorable for biological treatment), without a drastic decrease of efficiency and without clogging problems. The research was carried out by considering two operational periods: the first one was based on literature indications ($3.2 \text{ m}^2/\text{PE}$ in the VSSF unit)¹ and the second one assumed higher hydraulic and organic loads ($1.3 \text{ m}^2/\text{PE}$ in the VSSF unit). The removal efficiency in the hybrid CW system decreased slightly from 94 to 88% for COD abatement² and from 78 to 75% for total N removal, even after applying a double hydraulic (from 55 to $123 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) and organic load (from 37 to $87 \text{ g COD}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ and from 4.4 to $10.3 \text{ g TKN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)³.

The results showed that in the summer period the application of high loads did not affect the efficiency of the hybrid CW plant significantly, suggesting that it is possible to refer the CW design to the resident population only, with subsequent considerable savings in superficial area.

Recently, Guenter Langergraber [5] of the University of Natural Resources and Life Sciences in Vienna (Austria) published a paper in which analysed the features that make the treatment in CWs a suitable solution in eco-friendly resources-oriented-sanitation systems, the importance of system thinking for sustainability, as well as key

factors for sustainable implementation of CW systems.

In the last years, the treatment of wastewater in mountain refuges has been the subject of several research projects and studies of technical feasibility.

The AquaNova system is an integrated treatment process of wastewaters and organic fraction of municipal solid wastes based on a combination of phytodepuration and anaerobic digestion techniques (see the scheme in Figure 1), which was tested at high altitude at Bruno Boz Refuge (1,718 m a.s.l., Cesio Maggiore, Belluno, Italy) [6]. The AquaNova system has been subsequently implemented by the EnergiaNova project⁴ and successfully tested also at Boscanero Refuge (1,447 m a.s.l., Belluno, Italy) [7].

In the frame of Italo-French project named "Fitodep"⁵ two wastewater treatment plants based on CWs will be designed, realized and monitored [8]. From the Italian side, managed by Marguareis Natural Park (Chiusa di Pesio, Cuneo) and IRIDRA s.r.l. (Firenze), a phytodepuration plant for mixed wastewaters has been realized at the Garelli Refuge (1,970 m a.s.l., Chiusa di Pesio, Cuneo), reaching an average efficiency of treatment up to about 80 % [6].

Use of natural zeolites

Possible improvements in the phytodepuration process may result from the use of natural zeolites⁶ in substitution of traditional inert substrates. Natural zeolites, are porous materials

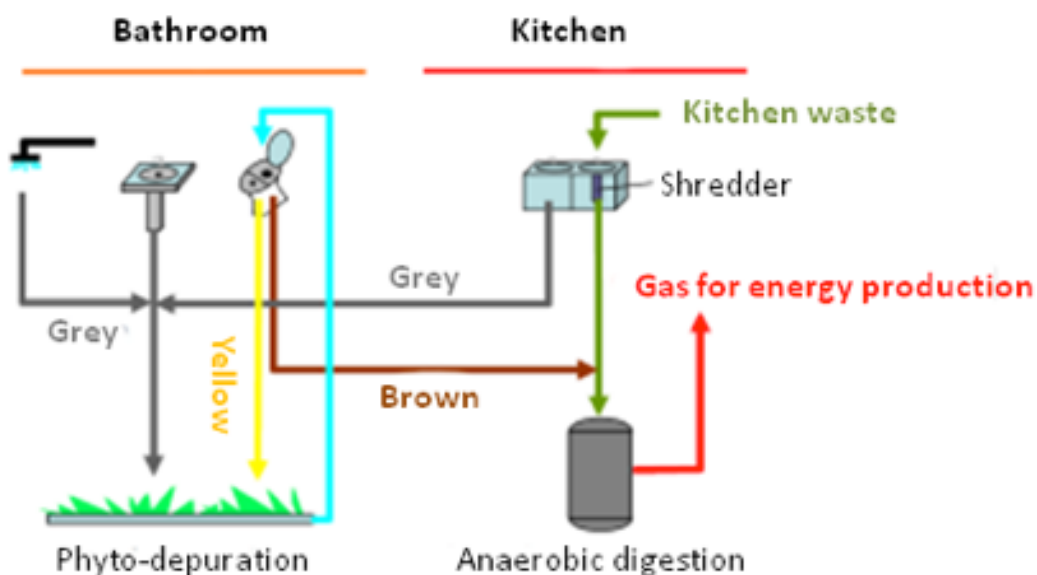


Fig. 1 - Scheme of the plant set-up of the AquaNova system (source:Ref. [6]).

able to interact with the phytodepuration mechanism through their well known adsorption and cation exchange properties which have long been exploited in the field of environmental protection [9-10]. Those materials cover an important role in LIFE+BIOACQUAE⁷, an in progress project having the aim to improve the quality of high-altitude aquatic systems – unique environments of great naturalistic value, but extremely vulnerable [11]. With specific reference to the geomorphologic features of mountain areas, where flat surfaces are scarce, standard configuration phyto-treatment systems cannot always be installed, and therefore alternative solutions, such as, for instance, phyto-pedo-treatment systems, have been sought to get around this problem. In this case, the treatment does not rely on the use of plants that grow in wet environments, but makes use of an efficient substrate bed to remove the contaminants contained in the water [11]. Natural zeolites are used as a substrate that will supplement the action of biological contaminant degradation processes and will also reduce the space taken up by the installation, while plants with spreading roots are used to enhance and maintain the absorbing and purifying capacity of the soil, by removing the pollutants caught in the substrate [11]. The plants are grown in a layer of soil placed above the zeolite bed, and the local climate is taken into account in selecting suitable species, such as *Senecio cordatus*, *Leucanthemopsis alpina*, *Chenopodium bonus henricus*, which are naturally adapted to colonize high altitude alpine meadows [11].

The ability of zeolites to act as reactive substrate for phytodepuration in wetlands was already assessed in the RERARIA project⁸, focused on the recovery of wastewater for irrigation of crops [12]. Water availability is, in fact, one of the main limitations in agricultural production and this requires immediate search of technical solutions to rationalize the use of water in irrigation practices [13]. Natural zeolites are also successfully used in two phyto-pedo-depuration plants in wetlands sited in the Adamello Park (Brescia, Italy): (i) Tonolini Refuge (2,430 m a.s.l., Sonico, Brescia); (ii) Casa del Parco (1,100 m a.s.l., Cevo, Brescia) [15].

Biofilm reactors

An alternative to the phytodepuration comes from technologies based on the biological process of wastewater treatment.

A number of biofilm reactor techniques have been developed in the last two decades for applications to industrial and municipal wastewater treatment [16].

An extensive use of biofilms is made within the field of environmental biotechnology for three main reasons: (1) compared with most other industrial bio-processes, large volumes of dilute aqueous solutions can be treated; (2) natural mixed populations of microorganisms, which readily form biofilms, are used; (3) the process can be operated at high biomass concentration in the reactor, without the need for settlers for biomass retention and recirculation [16]. Due to these advantages this technology has been proposed and used also for mountain wastewater treatment plants.



Fig. 2 - Different grain size of natural zeolites used in the RERARIA project (source: Ref. [14]).

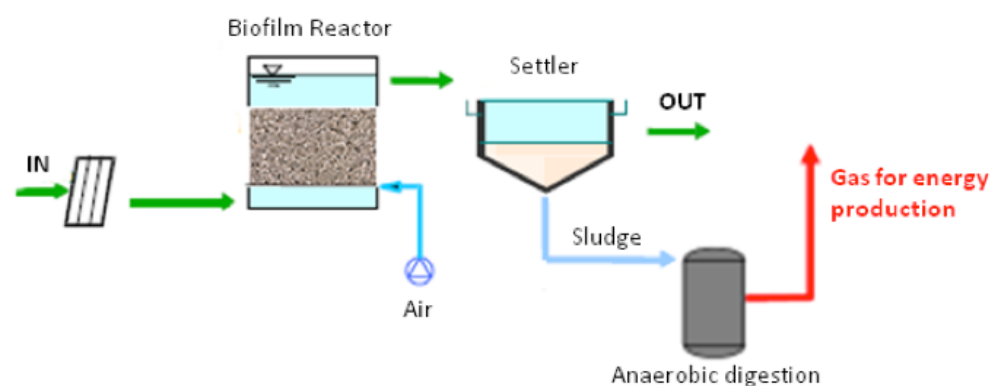


Fig. 3 - Scheme of the WWTP installed at Boè Refuge (source: Ref. [19]) modified by adding an anaerobic digester fed with the out-going excess sludges and sewage sludge from toilets or organic solid wastes from kitchen.

Nardelli [17-18] cited some first experiences in the use of biofilm reactors in refuges located in Bolzano and Trento Provinces (Italy): (i) a percolating biofilm reactor at Sesvenna Refuge (2,255 m a.s.l., Malles Venosta, Bolzano); (ii) a biodisk reactor at Lancia Refuge (1,825 m a.s.l., Trambileno, Trento). Andreottola and co-workers [19] report the results of an intensive monitoring of a wastewater treatment plant (WWTP) located at Boè Refuge (2,981 m a.s.l., Canazei, Bolzano, Italy) and based on two different typologies of biofilm reactors: (a) a Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR); (b) a submerged Fixed Bed Biofilm Reactor (FBBR). The plant was made up by transportable modules and biofilms were supported by plastic elements typically used in biomass reactors. As reported by the authors the main results have been: (i) a quick startup of the biological reactors (about 24-48 hours after installation) obtainable thanks to a pre-colonization of the plastic media before their transportation to the refuge at the beginning of the tourist season; (ii) low volume and area requirement; (iii) significantly higher removal efficiency compared to other biomass systems even if with a higher energy consumption [19]. Such a problem could be solved coupling an anaerobic digester fed by using the excess sludge coming from the plant and/or sewage sludge from toilets as well as organic solid wastes from kitchen (see AquaNova system and EnergiaNova project [6-7]). In fact, the biogas produced by

digesters could be used to meet the higher demand of energy (see Figure 3).

Conclusions and future perspectives

In this paper a short overview of eco-friendly technologies proposed and/or used in the wastewater treatment at mountain refuges has been reported. Nowadays constructed wetlands plants guarantee the respect of the limits in the concentrations of pollutants in the discharge stream fixed by Law requirements, but large areas are needed. The use of zeolitic materials seems to improve the abatement efficiency and consequently allow to reduce the large size of wetlands which is still a major limitation for their application at high altitude. On the contrary biofilm reactors are characterized by much smaller dimensions and values purifying efficiency rather high such as to respect the Law limits of concentration at the downstream, but in most cases they provide an energy consumption much higher than constructed wetlands. Such an increased energy demand could be likely satisfied by using the biogas produced through an anaerobic digestion of the sludges produced in loco.

NOTES

1. PE: Population Equivalent; VSSF: Vertical Sub-Surface Flow.
2. HSSF: Horizontal Sub-Surface Flow.
3. COD: Chemical Oxygen Demand.
4. TKN: Total Kjeldhal Nitrogen.

5. A project managed by the University of Padua (Italy) in collaboration with Fondazione "Giovanni Angelini"-Centro Studi sulla Montagna (Belluno, Italy), Municipality of Forno di Zoldo (Belluno, Italy), Club Alpino Italiano (CAI) - Section of Val di Zoldo (Italy) and founded by Fondazione "Cassa di Risparmio di Verona, Vicenza, Belluno e Ancona" (Italy) [7].

6. A project funded by the European Regional Development Fund (ERDF) within the Alcotra program "Latin Alps Cross-border Cooperation" Italy-France 2007-2013.

7. Sedimentary natural zeolites are typically found in various concentrations in some pyroclastic rocks of volcanic origin, named zeolites [9].

8. A project funded by the Italian Ministry of Agriculture, Food and Forestry Policies and realized by Laore (Regional Agency for Agriculture and Rural Development, Sardinia Region, Italy) in collaboration with the Municipality of San Sperate (Cagliari, Italy) and the University of Sassari (Italy).

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to Dr. Marida Fasano for her great support in obtaining a copy of the published references cited in this paper.

REFERENCES

[1] N. Weissenbacher, E. Mayr, T. Niederberger, C. Aschauer, S. Lebersorger, G. Steinbacher, R. Haberl, "Alpine infrastructure in Central Europe: integral evaluation of wastewater treatment systems at mountain refuges", *Water Science and Technology* 57(12), 2017-2022 (2008).

[2] S. Dhote, S. Dixit, "Water quality improvement through macrophytes—a review", *Environmental Monitoring and Assessment* 152, 149–153 (2009).

[3] J. Vymazal, "Constructed wetlands for wastewater treatment: five decades of experience", *Environmental Science and Technology* 45, 61–69 (2011).

[4] P. Foladori, A.R. Ortigara, J. Ruaben, G. Andreottola, "Influence of high organic loads during the summer period on the performance of hybrid constructed wetlands (VSSF + HSSF) treating domestic wastewater in the Alps region", *Water Science and Technology* 65(5), 890-897 (2012).

[5] G. Langergraber, "Are constructed treatment wetlands sustainable sanitation solutions?", *Water Science and Technology* 67(10), 2133-2140 (2013).

[6] M. Gallo, "Innovativa gestione integrata delle acque di scarico e dei rifiuti solidi di un rifugio alpino del Parco delle Dolomiti Bellunesi", Tesi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Università degli Studi di Padova, 2003.

[7] "Progetto Energianova: Gestione integrata di liquami e rifiuti organici nei rifugi alpini per la produzione di bioenergia", Fondazione Giovanni Angelini-Centro Studi sulla Montagna, Università degli Studi di Padova, Club Alpino Italiano-Sezione Val di Zoldo, published by Evidenzia, Belluno (Italy), 2012.

[8] R. Bresciani, N. Martinuzzi, F. Masi, B. Gallino, T. Forte "Guidelines on constructed wetland for wastewater treatment in the alpine environment", Marguareis Natural Park and IRIDRA s.r.l., printed by Tipolito Europa, Cuneo, Italy (Publication co-financed by the 2007-2013 Alcotra Program).

[9] C. Colella, "Natural zeolites in environmentally friendly processes and applications". In "Porous Materials in Environmental Friendly Processes", I. Kiricsi, G. Pál-Borbély, J. B. Nagy and H. G. Karge, Eds., *Studies in Surface Science and Catalysis* 125, 641-655 (1999).

[10] D. Caputo, F. Pepe, "Experiments and data processing of ion exchange equilibria involving Italian natural zeolites: a review", *Microporous and Mesoporous Materials* 105, 222–231(2007).

[11] LIFE+BIOACQUAE project: <http://www.bioaquae.eu/index.php/en/the-project>

[12] RERARIA project: http://www.sardegnaagricoltura.it/documenti/14_43_20080207120019.pdf

[13] "Towards efficient use of water resources in Europe", EEA Report No 1/2012, European Environmental Agency, Copenhagen, 2012 - ISBN: 978-92-9213-275-0.

[14] RERARIA project: <http://www.sardegnaagricoltura.it/index.php?c=3509&s=71090&v=2&xsl=443>

[15] M. Sartorelli, "Monitoraggio ambientale impianti di fitodepurazione", a technical report by Parco dell'Adamello, Breno-Brescia, Italy, 2014.

[16] C. Nicoletta, M.C.M. van Loosdrecht, J.J. Heijnen, "Wastewater treatment with particulate biofilm reactors", *Journal of Biotechnology* 80, 1–33 (2000).

[17] P. Nardelli, "Gli impianti di depurazione pubblica nella Provincia Autonoma di Trento. Caratteristiche, dati di funzionamento e rendimenti", Servizio Opere Igienico-Sanitarie, Provincia Autonoma di Trento, Italy, 1999.

[18] P. Nardelli, "Il trattamento delle acque reflue dei rifugi", Servizio Opere Igienico-Sanitarie, Provincia Autonoma di Trento, Italy, 2002.

[19] Andreottola, G., Damiani, E., Foladori, P., Nardelli, P., Ragazzi, M., "Treatment of mountain refuge wastewater by fixed and moving bed biofilm systems", *Water Science and Technology* 48(11-12), 169-177 (2003).

IL TRATTAMENTO ECOSOSTENIBILE DELLE ACQUE REFLUE NEI RIFUGI DI MONTAGNA: UNA BREVE PANORAMICA DELLE TECNOLOGIE PIÙ PROMETTENTI

Le Alpi e gli Appennini sono aree di grande valore naturalistico e paesaggistico, i cui sentieri sono ogni anno battuti da un considerevole numero di turisti di montagna. Le particolari condizioni climatiche e la fragilità degli ecosistemi montani richiedono particolare attenzione al fine di minimizzare l'impatto della presenza umana sull'ambiente [1]. Anche se la sostenibilità di una infrastruttura di montagna è garantita da una gestione integrata di energia, acqua e rifiuti e di relazioni incrociate tra di essi, il trattamento delle acque reflue rappresenta una delle più grandi sfide. Negli ultimi anni, grandi sforzi sono stati fatti nella ricerca di tecnologie di depurazione adeguate per le aree in cui i problemi di approvvigionamento energetico, le limitate risorse idriche, i costi elevati di trasporto, il clima sfavorevole e la variabilità nel carico inquinante, sono solo alcuni dei problemi da affrontare [1].

In questa memoria si riporta una breve panoramica delle tecnologie ecocompatibili proposte e / o utilizzate nel trattamento delle acque reflue di rifugi di montagna, riservando una particolare attenzione ad alcuni materiali "funzionali" usati di recente come substrato per sistemi di fitodepurazione. Viene inoltre proposto un possibile miglioramento per i sistemi di trattamento delle acque reflue basati su reattori a biofilm.

Fitodepurazione

Il processo

La fitodepurazione è ben nota per essere una delle tecniche di trattamento delle acque reflue più eco-compatibili [2]. Essa è, infatti, una tecnica di trattamento che riproduce processi di purificazione naturali in un ambiente controllato. Il processo di fitodepurazione è basato sull'uso di bacini naturali o artificiali poco profondo (wetland), tipicamente riempito di materiale inerte e popolati con piante acquatiche (macrofite) che riproducono i processi di depurazione naturali tipici delle zone umide. I sistemi di trattamento con bacini artificiali sono progettati e costruiti per utilizzare processi naturali ma in un ambiente molto più controllato [3]. I bacini artificiali o constructed wetland (CW) possono essere classificati in base ai vari parametri di progettazione, tra i quali, quelli più importanti sono: la idrologia (bacino a flusso superficiale o sottosuperficiale), il tipo di flusso (orizzontale o verticale) e il tipo di crescita macrofitica (emersa, sommersa o galleggiante) [3].

Uno dei limiti di applicazione delle CW nelle regioni montane è la necessità di estese superfici di suolo. In

alcune zone montane, il trattamento delle acque reflue domestiche risulta particolarmente difficile durante l'estate, in quanto l'afflusso di visitatori aumenta il carico idraulico ed organico. Foladori e collaboratori [4] hanno valutato se un impianto CW ibrido progettato sulla base della popolazione residente, può trattare anche il carico supplementare prodotta dalla popolazione fluttuante nel periodo turistico (in estate, quando le temperature sono favorevoli per il trattamento biologico), senza una drastica diminuzione di efficienza e senza problemi di intasamento. La ricerca è stata condotta considerando due diverse condizioni operative: la prima basata su indicazioni letteratura (3.2 m²/PE nella unità VSSF)¹ e la seconda assumendo carichi idraulici ed organici superiori (1.3 m²/PE nella unità VSSF). L'efficienza di rimozione del sistema ibrido CW è risulta solo leggermente diminuita, da 94 a 88% per l'abbattimento di COD² e da 78 a 75% per la rimozione N totale, anche raddoppiando il carico idraulico (da 55 a 123 L·m⁻²·d⁻¹) ed organico (da 37 a 87 g COD·m⁻²·d⁻¹ e da 4.4 a 10.3 g TKN·m⁻²·d⁻¹)³.

I risultati hanno quindi mostrato che l'applicazione di carichi più elevati nel periodo estivo non influenzava l'efficienza dell'impianto CW ibrido in modo significativo, suggerendo che, in fase di progettazione, è possibile dimensionare la CW in base alla popolazione residente, con un risparmio notevole in termini di estensione superficiale del bacino. Di recente, Guenter Langergraber [5] della University of Natural Resources and Life Sciences di Vienna (Austria) ha pubblicato un articolo in cui analizza le caratteristiche che rendono le CW una soluzione adatta a sistemi di depurazione eco-compatibili, l'importanza di sistema pensati per la sostenibilità, così come i fattori chiave per la implementazione sostenibile dei sistemi di fitodepurazione.

Negli ultimi anni, il trattamento delle acque reflue in rifugi di montagna è stato oggetto di numerosi progetti di ricerca e studi di fattibilità tecnica.

Il sistema AquaNova è un processo integrato di trattamento di reflui e frazione organica dei rifiuti solidi urbani basato su una combinazione di tecniche di fitodepurazione e di digestione anaerobica (vedi schema in Figura 1), testato ad alta quota presso il Rifugio Bruno Boz (1.718 m s.l.m., Cesio Maggiore, Belluno, Italy) [6]. Il sistema AquaNova è stato successivamente implementato con il progetto EnergiaNova⁴ e testato con successo presso il Rifugio Boscanero (1.447 m s.l.m., Belluno, Italy) [7]. Nell'ambito del progetto Italo-Francese "FITODEP"⁵, è stata prevista la progettazione, realizzazione e monitoraggio di due impianti di trattamento delle acque reflue basati su un processo di fitodepurazione [8]. Per la parte italiana, a cura del Parco Naturale Marguareis (Chiusa di Pesio, Cuneo) e della IRIDRA srl (Firenze), è stato realizzato un impianto di fitodepurazione per reflui misti presso il Rifugio Garelli (1.970 m s.l.m., Chiusa di Pesio, Cuneo), il cui rendimento medio nell'abbattimento del carico inquinante ha raggiunto valori di circa 80% [6].

Uso di zeoliti naturali

Possibili miglioramenti nel processo di fitodepurazione possono derivare dall'uso di zeoliti naturali⁶ in sostituzione dei substrati inerti tradizionali. Le zeoliti naturali, sono materiali porosi in grado di interagire con il meccanismo di fitodepurazione attraverso le loro ben note proprietà di adsorbimento e scambio cationico, da tempo sfruttate nel campo della protezione ambientale [9-10]. Questi materiali ricoprono un ruolo importante in LIFE+BIOACQUAE⁷, progetto in corso avente come obiettivo quello di migliorare la qualità dei sistemi acquatici di alta quota - ambienti unici di grande valore naturalistico ma estremamente vulnerabili [11]. Le specifiche caratteristiche geomorfologiche delle zone di montagna, in cui rare sono le aree pianeggianti, non sempre permettono l'installazione di sistemi standard di fito-trattamento. Pertanto, si è alla ricerca di soluzioni alternative come ad esempio i sistemi di fito-pedo-depurazione. In tal caso il processo depurativo non si basa solo sull'azione depurativa delle piante ma anche sull'uso

congiunto di un substrato capace di rimuovere specie contaminanti presenti nell'acqua [11]. Le zeoliti naturali sono utilizzate come proprio come substrato reattivo per integrare il processo di degradazione dei contaminanti biologici e ridurre al contempo lo spazio occupato dall'impianto, mentre le piante (con radici diffuse nel substrato) sono utilizzate per migliorare e mantenere nel tempo la capacità di rimozione e di depurazione del suolo attraverso la eliminazione degli inquinanti catturati dal substrato [11]. Le piante vengono coltivate in uno strato di terreno posto al di sopra del letto di zeolite e la scelta delle specie erbacee, quali, ad esempio, *Senecio Cordatus*, *Leucanthemopsis Alpina*, *Bonus Chenopodium Henricus*, è fatta tenendo conto del clima locale e della loro naturale capacità di adattamento per colonizzare i prati alpini ad alta quota [11].

La capacità delle zeoliti di agire come substrato reattivo nella fitodepurazione è stata già valutata nel progetto RERARIA[®], incentrato sul recupero delle acque reflue per l'irrigazione di colture [12]. La disponibilità di acqua è, infatti, uno dei principali limiti nella produzione agricola e questo richiede la ricerca immediata di soluzioni tecniche per razionalizzare l'uso dell'acqua nella pratica irrigua [13].

Le zeoliti naturali sono state utilizzate con successo anche in due impianti fito-pedo-depurazione situati nel Parco dell'Adamello (Brescia, Italy): (i) Tonolini Rifugio (2.430 m s.l.m., Sonico, Brescia); (ii) Casa del Parco (1.100 m s.l.m., Cevo, Brescia) [15].

Reattori a biofilm

Un'alternativa alla fitodepurazione deriva dalle tecnologie basate su processi biologici di depurazione. Diverse tipologie di reattori a biofilm sono state sviluppate negli ultimi due decenni per applicazioni nel trattamento delle acque reflue industriali e municipali [16]. I motivi per i quali si è fatto ampio uso di biofilm nel campo delle biotecnologie ambientali sono essenzialmente tre: (1) rispetto alla maggior parte degli altri bioprocessi industriali, possono essere trattati grandi volumi di soluzioni acquose diluite; (2) possono essere utilizzate popolazioni miste di microrganismi naturali che danno facilmente luogo alla formazione di biofilm; (3) il processo può essere condotto con un'elevata concentrazione di biomassa nel reattore, senza la necessità di una fase di sedimentazione per il recupero della biomassa ed il suo successivo ricircolo [16]. Grazie a questi vantaggi i reattori a biofilm ben si adattano ad essere utilizzati anche per impianti di trattamento delle acque reflue in alta quota. Nardelli [17-18] cita alcune delle prime esperienze nell'uso dei reattori biofilm in rifugi situati nelle province di Bolzano e Trento (Italia): (i) un reattore a biofilm filtrante presso il Rifugio Sesvenna (2.255 m s.l.m., Malles Venosta, Bolzano); (ii) un reattore a biodisco presso il Rifugio Lancia (1.825 m s.l.m., Trambileno, Trento). Andreottola e collaboratori [19] riferiscono circa i risultati ottenuti da un monitoraggio intensivo di un impianto di trattamento delle acque reflue del Rifugio Boè (2.981 m s.l.m., Canazei, Bolzano, Italy) basato su due diverse tipologie di reattori a biofilm: (a) un Reattore a Biofilm a Letto Mobile (MBBR); (b) un Reattore a Biofilm a Letto Fisso (FBBR) a immersione.

L'impianto, composto da moduli trasportabili, prevede l'uso di un riempimento con elementi in plastica, tipicamente usati nei reattori a biomassa, come supporto per i biofilm. Come riportato dagli autori i risultati finora ottenuti possono essere così riassunti: (i) rapido avvio dei reattori biologici (circa 24-48 ore dopo l'installazione) grazie alla pre-colonizzazione con biofilm del supporto in plastica prima del loro trasporto al rifugio all'inizio della stagione turistica, (ii) basso volume e bassa estensione superficiale; (iii) efficienza di rimozione significativamente più alta rispetto ad altri sistemi a biomassa, anche se con un consumo di energia più elevato [19]. Tale problema potrebbe essere risolto accoppiando un digestore anaerobico alimentato con i fanghi di esubero provenienti dall'impianto e/o i liquami

provenienti dai servizi igienici e/o i rifiuti solidi organici della cucina (vedi sistema AquaNova e progetto EnergiaNova [6-7]). Infatti, il biogas prodotto dai digestori potrebbe essere utilizzato per soddisfare la maggiore richiesta di energia (vedere Figura 3).

Conclusioni e prospettive future

Il presente contributo traccia una breve panoramica delle tecnologie eco-compatibili proposte e/o utilizzate per il trattamento delle acque reflue nei rifugi di montagna. Al giorno d'oggi gli impianti di fitodepurazione garantiscono certamente il rispetto dei limiti di Legge fissati per le concentrazioni di inquinanti negli scarichi, ma richiedono estese aree per l'installazione. L'utilizzo di materiali zeolitici come substrato sembra che possa migliorare l'efficienza di abbattimento e quindi consentire di ridurre la notevole estensione dei bacini, che al momento risulta essere ancora la maggiore limitazione per l'utilizzo della fitodepurazione in alta quota. I reattori a biofilm, invece, sono caratterizzati da dimensioni molto più contenute e da valori dell'efficienza depurativa piuttosto elevati ma, rispetto alla fitodepurazione, sono caratterizzati da consumi energetico decisamente più elevati. Una tale domanda di energia potrebbe essere probabilmente soddisfatta dal biogas prodotto attraverso una digestione anaerobica dei fanghi prodotti in loco.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano la D.ssa Marida Fasano per la preziosa collaborazione nel reperire copia delle pubblicazioni citate nel presente contributo.

NOTE

1. PE: Popolazione Equivalente; VSSF: Vertical Sub-Surface Flow.
2. COD: Chemical Oxygen Demand.
3. TKN: Total Kjeldhal Nitrogen.
4. Progetto condotto dall'Università di Padova (Italy) in collaborazione con la Fondazione "Giovanni Angelini"- Centro Studi sulla Montagna (Belluno, Italy), Comune di Forno di Zoldo (Belluno, Italy), Club Alpino Italiano (CAI) - Sezione di Val di Zoldo (Italy) e finanziato dalla Fondazione "Cassa di Risparmio di Verona, Vicenza, Belluno e Ancona" (Italy) [7].
5. Progetto finanziato dal Fondo di Sviluppo Regionale Europeo (ERDF) nell'ambito del programma Alcotra "Alpi Latine COoperazione TRAnsfrentaliera" Italia-Francia 2007-2013.
6. Le zeoliti sedimentarie sono tipicamente presenti, con tenori variabili, in alcune rocce piroclastiche di origine vulcanica [9].
7. Progetto finanziato dall'Unione Europea e promosso dal Parco Nazionale del Gran Paradiso (Italy).
8. Progetto finanziato dal Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali e realizzato dal Laore (Agenzia Regionale per l'Agricoltura e lo Sviluppo Rurale, Regione Sardegna, Italy) in collaborazione con il Comune di San Sperate (Cagliari, Italy) e l'Università di Sassari (Italy).