

PROCESSI DI FITODEPURAZIONE NELLE AREE DI MONTAGNA

Prof. Gianni Andreottola

DICAM – Università di Trento

Situazione in Italia ed Europa del collettamento degli scarichi

Nel 2017, circa l'**11 % della popolazione dell'UE non era allacciato alla fognatura** (Eurostat, 2019)

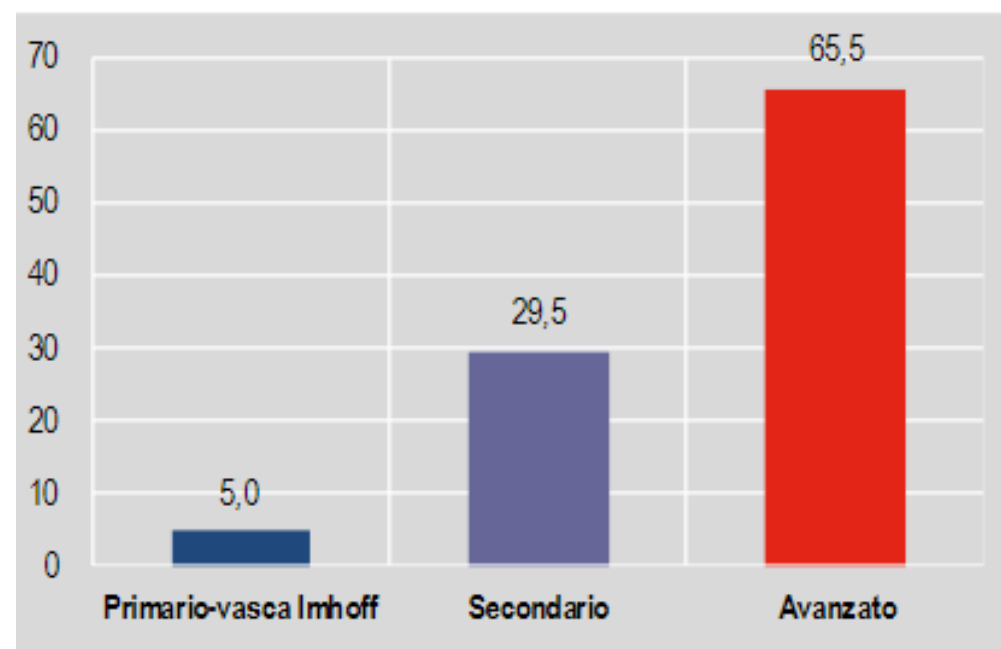
In Italia l'**11,3% degli abitanti (6,7 milioni) non sono allacciati alla rete fognaria pubblica** (ISTAT, 2023).

Gli impianti di depurazione delle acque reflue urbane in Italia sono 18.042 (a servizio del 96,3% dei Comuni italiani).

Il 56,3% degli impianti di depurazione in Italia effettua trattamenti di tipo primario o vasca Imhoff e tratta il 5% del carico inquinante.

Il D.Lgs. 152/06 auspica, per **piccoli insediamenti abitativi** ($P < 2000$ A.E.) il ricorso a **tecniche di depurazione a ridotto impatto ambientale**, quali la fitodepurazione e il lagunaggio.

Carichi inquinanti totali trattati dei depuratori in Italia ($107 \cdot 10^6$ AE)



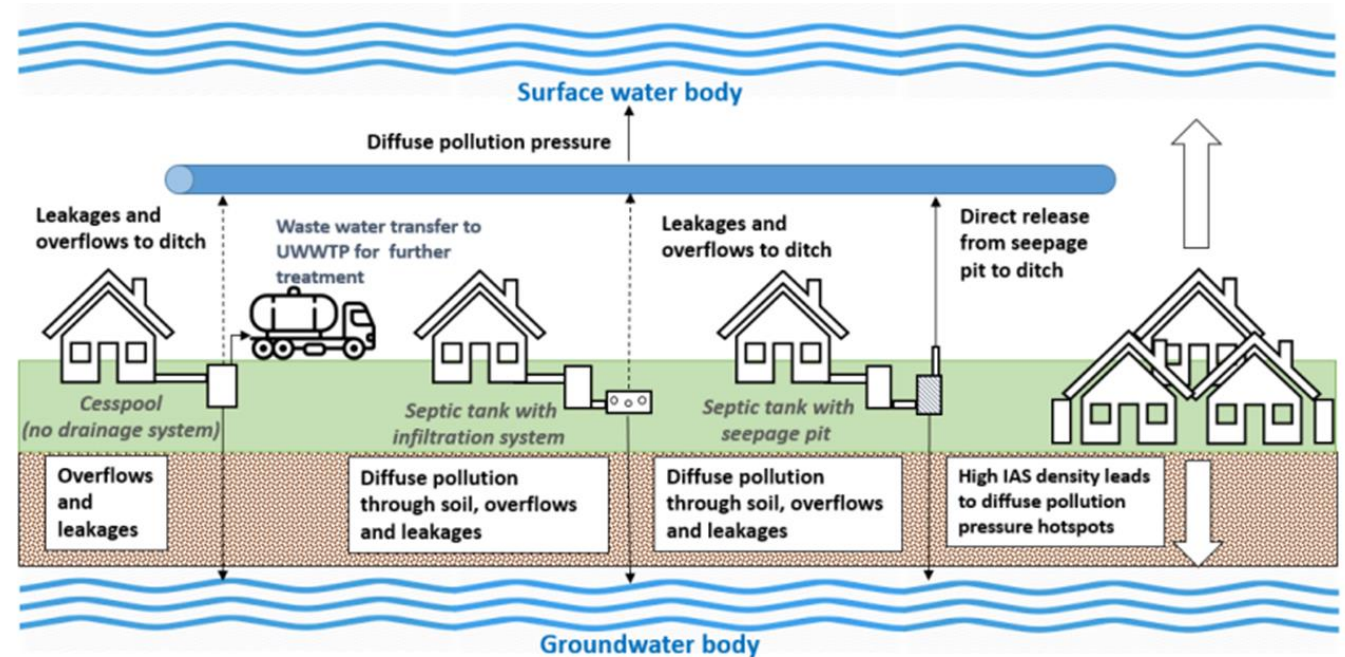
1 Abitante equivalente (AE) è la quantità di sostanza organica biodegradabile immessa in fognatura in 24 ore, equivalente a quella di un abitante allacciato e pari a 60 g BOD5/d

Pressioni ambientali da scarichi di case isolate

Nel 2019 l'Agenzia Europea dell'Ambiente ha rilevato, con un'indagine conoscitiva sugli Stati membri che **le pressioni ambientali provenienti dagli scarichi degli abitanti di insediamenti e case isolate sono significative in almeno 17 Paesi Europei** (EEA, 2019):

- Costituiscono il **10% delle fonti diffuse** di inquinamento delle acque.
- Il **16,7% dei corpi d'acqua superficiali** è interessato da **pressioni ambientali negative** da tali scarichi.
- Il **17,6% delle acque sotterranee** è interessato da **pressioni ambientali negative** da tali scarichi.

L'alterazione della qualità dei corpi idrici è dovuta alle **perdite e/o agli scarsi rendimenti dei sistemi di trattamento adottati**.



Fonte: EEA, 2019

Un **importante contributo all'alterazione delle acque** deriva dagli **apporti di azoto ammoniacale**, che pur rappresentando circa il 20% del carico organico biodegradabile, possono indurre consumi di ossigeno nei corpi recettori comparabili a quelli della s. organica. Non trascurabile anche la **contaminazione microbiologica** e da **microinquinanti**.

Trattamenti appropriati per insediamenti e case isolate

I **Piani di tutela delle acque** delle regioni italiane individuano i trattamenti appropriati a cui sottoporre gli insediamenti non allacciati alle pubbliche fognature.

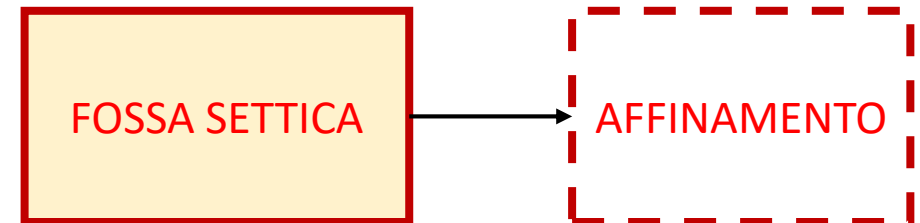
Viene generalmente considerato appropriato, per insediamenti non allacciati con $P < 500$ AE (o talvolta 100 AE per aree sensibili, il ricorso a vasche di tipo Imhoff o tri-camerale, **possibilmente** seguite da **sistemi di affinamento del refluo**, preferibilmente di tipo naturale, quali il lagunaggio e la fitodepurazione.

Viene richiesto il rispetto di un **rendimento** atto a garantire una percentuale minima di riduzione rispetto al refluo in ingresso, assunto in genere pari al **50% per i Solidi Sospesi Totali** ed al **25% per il BOD5 ed il COD**.

Nessun rendimento viene in genere richiesto per l'azoto ammoniacale e la carica batterica (misurata mediante gli indicatori microbiologici, Escherichia Coli per le acque reflue urbane)



Fonte: Edilimpianti



Trattamenti appropriati per insediamenti e case isolate

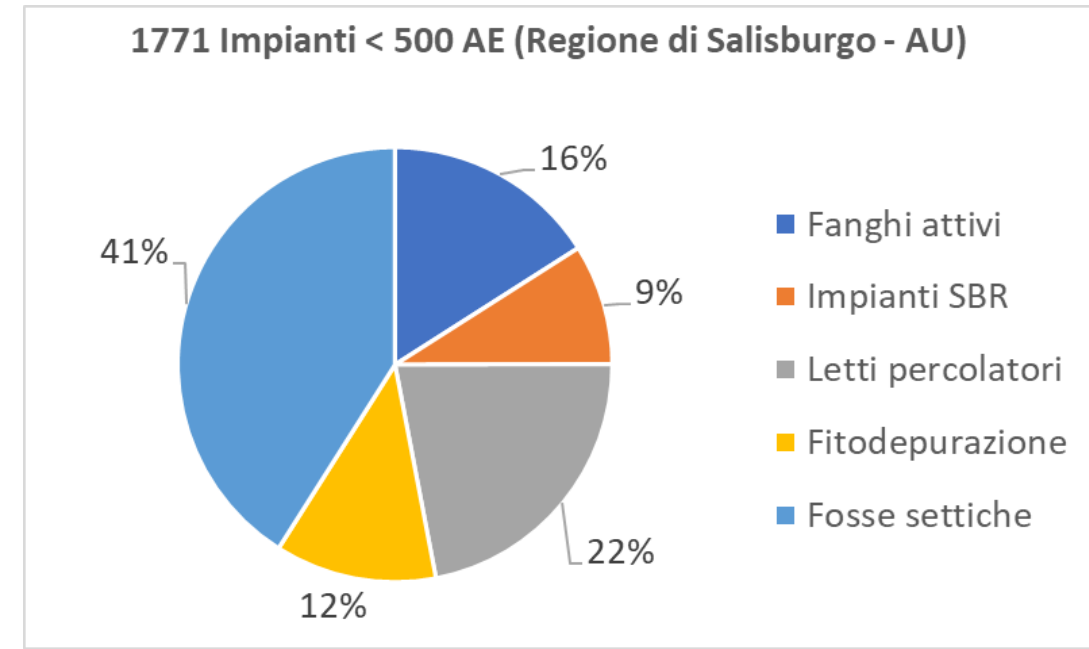
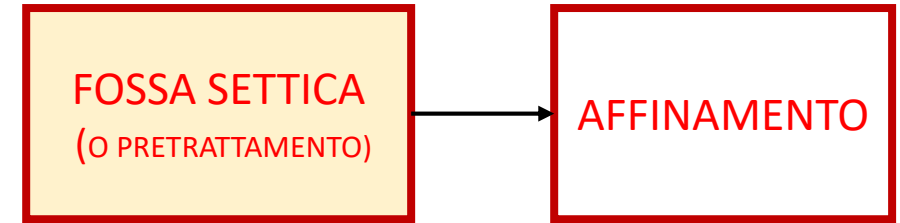
Caso di studio: Austria

Un terzo della popolazione in Austria (2,8 milioni) vive in **zone rurali e montuose**. Il **4-5% della popolazione** (circa 400.000 ab.) **vive in case singole e piccoli insediamenti (< 50-500 AE)** che richiedono tecnologie di trattamento delle acque reflue in loco e decentralizzate.

Impianto (P < 500 AE)	COD	BOD5	N-NH4*	SST
Limiti scarico (mg/L)	90	25	10	30

(*) T >12°C

Nel caso di corpi recettori sensibili e con limitata diluizione, le autorità possono introdurre ulteriori limiti i nutrienti (N_{tot} e P_{tot}) e per la carica batterica.



Fonte: Langergraber, 2013)

Trattamenti appropriati per insediamenti e case isolate

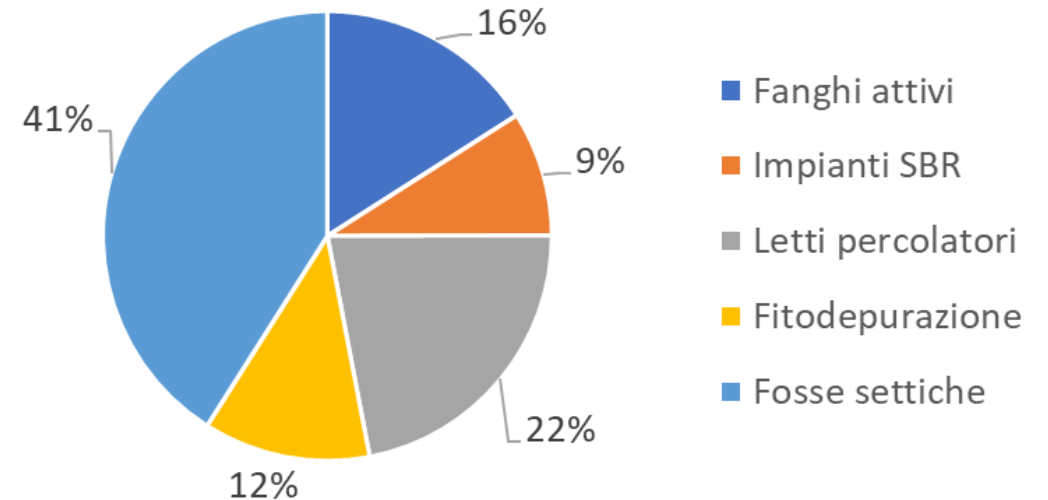
Caso di studio: regione di Salisbury

Il **41% degli impianti (solo fosse settiche)** non è in grado di rispettare i limiti e devono essere potenziate.

Le tecnologie che meglio rispondono ai limiti sono:

- gli **SBR** (perché impianti tutti recenti, ma richiedono manutenzione, sono energivori e producono fanghi)
- I **sistemi di fitodepurazione** (tutti a flusso verticale, minimo consumo energetico per la distribuzione pulsante del refluo, nessuna produzione di fanghi)
- I sistemi di fitodepurazione (a letto verticale) sono risultati in grado di rispettare i limiti dell'azoto anche per $T < 12^{\circ}\text{C}$

1771 Impianti < 500 AE (Regione di Salisbury - AU)



Type of WWTP	COD	BOD ₅	NH ₄ -N ¹⁾	NH ₄ -N ²⁾	TSS	Meet all requirements
Legal requirement (mg/L)	90	25	10 (> 12°C)		30	
Activated sludge	4	5	8	3	5	2
SBR	10	10	9	9	8	8
Trickling filter	6	5	7	6	5	2
Constructed wetland	10	10	10	9	10	10

¹ considering only measured data for effluent water temperatures > 12°C

² considering all measured data.

Classificazione dei sistemi di fitodepurazione

Sistema idoneo per
aree montane

Piante galleggianti libere
(per es. Lenticchia
d'acqua)

Piante a foglia
galleggiante
(per es. giacinto
d'acqua, Lemna)

Piante
emergenti

Piante sommerse

Sistemi a flusso superficiale
(FSW: Free Water Surface Wetland)

Sistemi a flusso sub-superficiale
(SSF: Sub-Surface Flow Wetland)

A flusso orizzontale
(HSSF)

A flusso verticale
(VSSF)

Sistema a flusso orizzontale
(HSSF)

Sistema a flusso verticale
(VSSF)

Qualsiasi combinazione dei sistemi di cui sopra è chiamata
Sistema «ibrido»

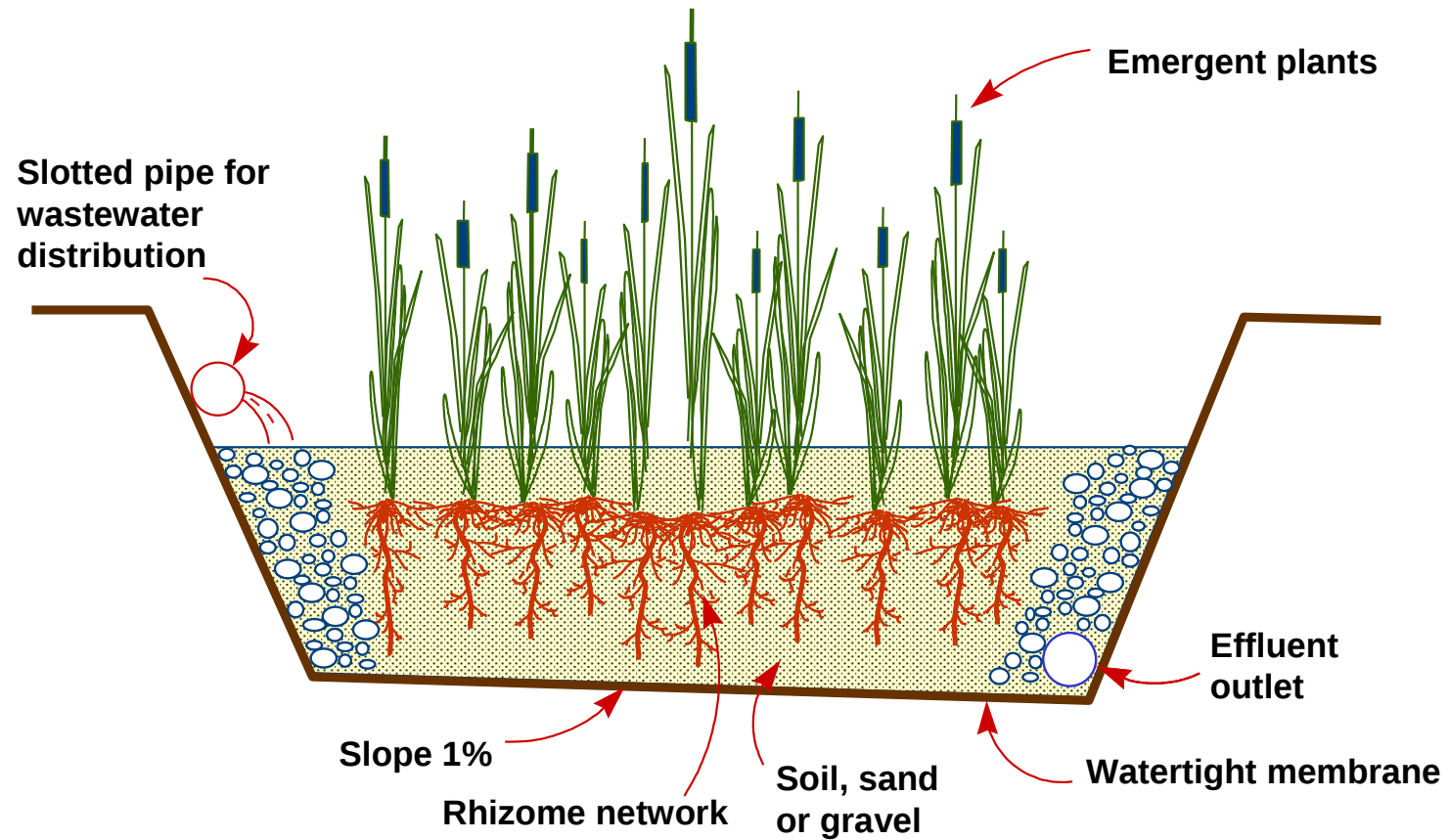
Che cos'è un sistema di fitodepurazione a flusso sub-superficiale

- ❑ I sistemi di fitodepurazione a flusso sub-superficiale sono costituiti da un letto con diversi strati di ghiaia e sabbia in cui sono piantumate **macrofite**
- ❑ Si verificano tre tipologie di processi:
 - **Processi fisici** di filtrazione (in parte anche di sedimentazione) degli inquinanti in forma particolata e della biomassa batterica prodotta.
 - **Processi biologici** di rimozione del carbonio biodegradabile, dell'azoto ammoniacale ed in parte dell'azoto totale e del fosforo, ad opera della biomassa batterica che colonizza il letto filtrante, in sinergia con le macrofite.
 - **Processi chimici e chimico-fisici** di precipitazione del fosforo in seguito a reazioni con ioni di Fe, Al, Ca eventualmente presenti nel refluo e/o nel materiale del letto filtrante, processi di adsorbimento.



Richiedono un pretrattamento fisico di rimozione dei SST (grigliatura fine, microfiltrazione a tamburo o tela, sedimentazione primaria, fossa settica)

Sistema a flusso orizzontale (HSSF)



Fonte: UNESCO-IHE

Vasca in terra impermeabilizzata con membrana in PEAD; altezza del letto (60-80 cm).
superficie occupata (4-8 m² per AE). Pendenza del fondo: 1%

Sistema a flusso orizzontale (HSSF)



Sistema a flusso orizzontale (HSSF)

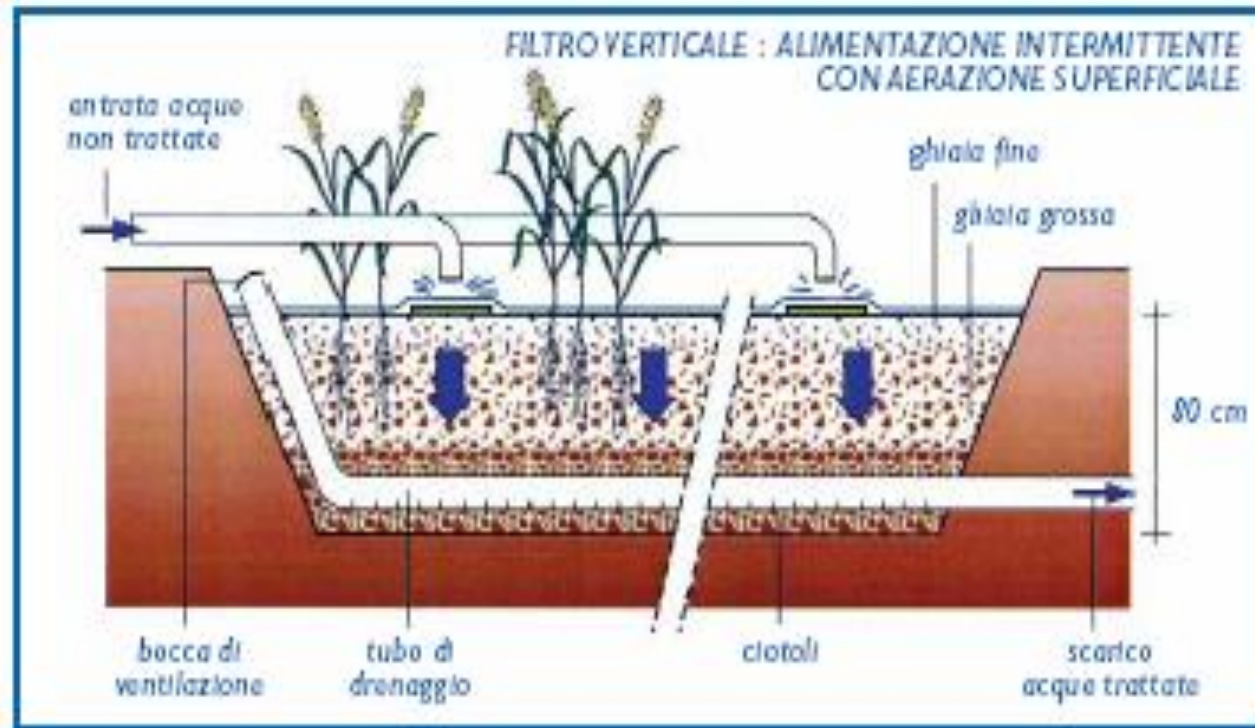
Fossa settica



Un pretrattamento adeguato è estremamente importante per evitare l'intasamento (riduzione del volume dei pori per accumulo di solidi).

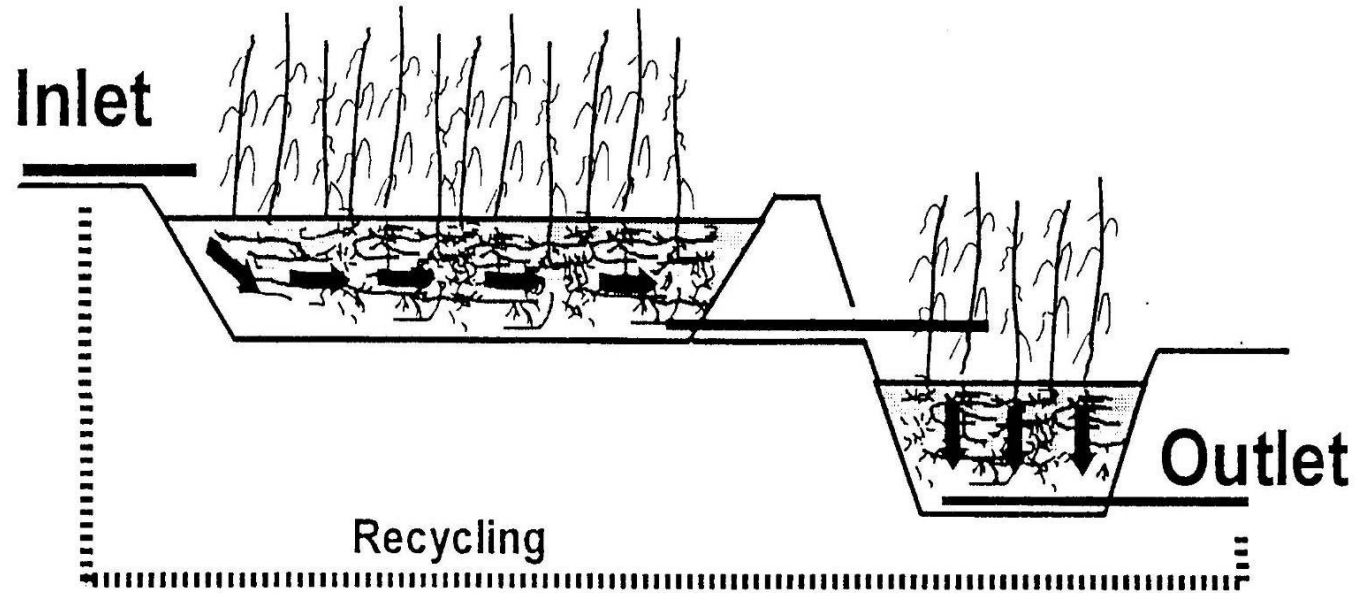
Fonte: UNESCO-IHE

Sistema a flusso verticale (VSSF)



L'acqua viene pompata sulla superficie ogni 3-6 ore e quindi drena attraverso lo strato filtrante costituito da sabbia grossolana o ghiaia fine. La quantità di terreno è minima (2-3 m² per AE), ma in zone montane è opportuno fare riferimento alle linee guida austriache (5 m² per AE).

Esempio di sistema ibrido (HSSF+VSFF+ricircolo)



- Zona umida costruita a due fasi costituita da un letto di flusso HSSF e VSFF.
- I sistemi ibridi sono generalmente più efficienti (in particolare per la rimozione dell'azoto)
- Il flusso di riciclo serve a migliorare la denitrificazione nel primo compartimento orizzontale (anossico)
- Prevalgono le condizioni aerobiche nel compartimento verticale
- Il ricircolo ottimizza la rimozione dell'azoto totale.

Sistemi a flusso orizzontale (SSF- H)

Sistemi prevalentemente anaerobici

$\eta = 70-90\%$ COD

$\eta = 80\%$ SST

$\eta = 35\%$ TKN

$\eta = 70\%$ P

**Superficie sistema a
singolo stadio
 $4-8 \text{ m}^2 \text{ A.E}^{-1}$**

Sistemi a flusso verticale (SSF- V)

Sistemi prevalentemente aerobici

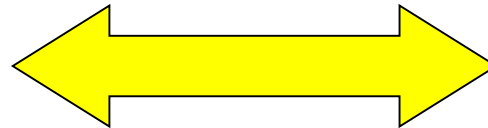
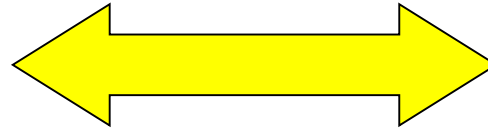
$\eta = 90\%$ COD

$\eta = 90\%$ SST

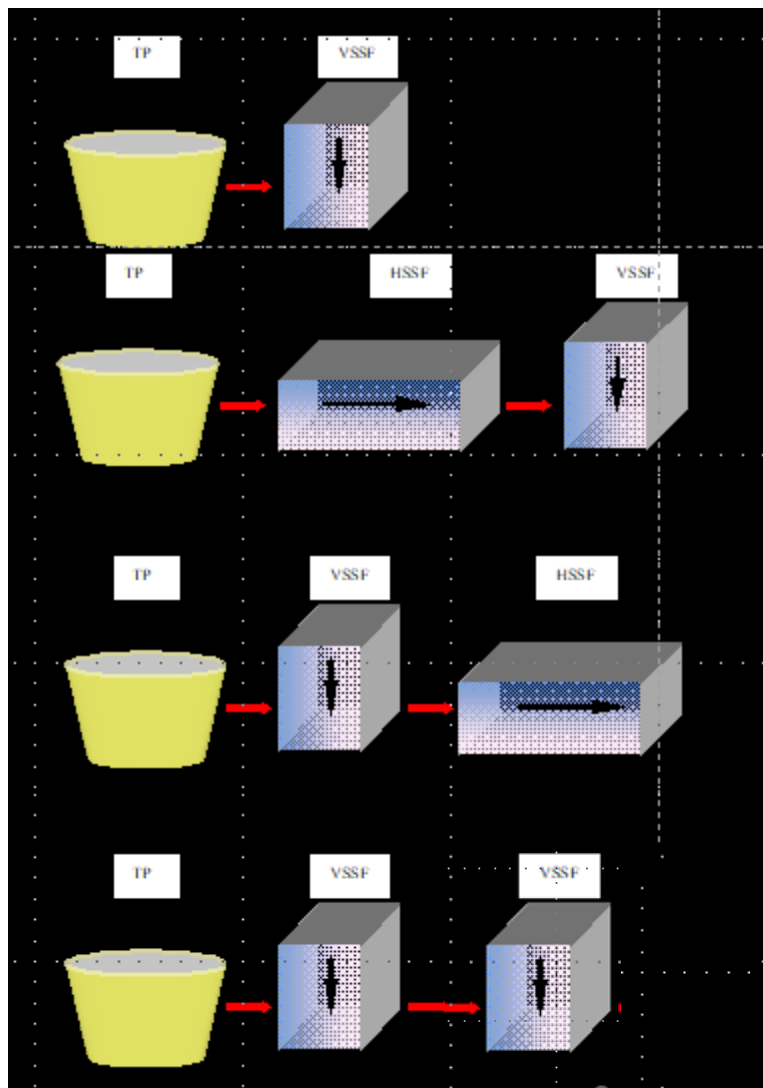
$\eta = 75\%$ TKN

$\eta = 60\%$ P

**Superficie sistema a
singolo stadio
 $2-5 \text{ m}^2 \text{ A.E}^{-1}$**



Possibili configurazioni sistemi di fitodepurazione in aree montane



Considerazioni conclusive

- I sistemi di fitodepurazione a flusso subsuperficiale sono la soluzione ottimale di finissaggio di sistemi di pretrattamento fisico/meccanico
- L'opportuna scelta delle macrofite, l'isolamento con pacciamatura dello strato superficiale consentono di applicare tali sistemi in aree montane, anche al di sopra di 1000 m s.l.m. (sopra i 1500 m è necessario valutare le tipologie di macrofite idonee per lo specifico ambiente).
- I sistemi di fitodepurazione a letto verticale sono la scelta ottimale, pur essendo leggermente più complessi, per garantire la massima protezione della risorsa idrica.
- E' essenziale utilizzare consolidate linee guida progettuali consolidate, che possono essere richiamate nei capitolati.
- I costi di gestione sono molto bassi, ma è necessario avere un buon pretrattamento ed una buona progettazione anche del comportamento idraulico del sistema.
- L'uso di sistemi innovativi di progettazione del letto filtrante (con aliquote di carbone attivo o biochar) possono incrementare anche la rimozione di microinquinanti emergenti.