



CONSTRUCTED WETLANDS

# IDEASS

Innovaciones para el desarrollo y la cooperación sur-sur

DEPURACIÓN NATURAL DE LAS AGUAS

Sistema con flujo sumergido horizontal (SFS-h)  
al servicio de una hacienda de turismo rural  
(Florencia Italia)



Texto redactado por Beatrice Pucci,  
Agencia para la protección  
del medio ambiente  
de la Región Toscana

## Presentación

Cualquier proceso de depuración de las aguas tiene como objetivo reducir la concentración de los contaminantes presentes en ellas mediante la acción de agentes biológicos. Este proceso ocurre de forma espontánea en todos los sistemas hídricos naturales y garantiza la capacidad “autodepurativa”.

Las técnicas de depuración natural (Constructed Wetlands) reproducen y aprovechan lo que de forma espontánea, sucede en la naturaleza optimizando los procesos biológicos con el fin de mejorar la efectividad depurativa.

Estos sistemas fueron utilizados por primera vez en Alemania en 1952, después de varias investigaciones llevada a cabo en el Instituto Max Planck. Posteriormente algunos países europeos (Francia, Inglaterra, Austria, Dinamarca, Italia, Holanda y Suiza) iniciaron proyectos de investigación y después de una amplia contratación científica se redactaron las Líneas de Guía Europeas.

Las claras ventajas económicas (bajos costos de gestión y un reducido consumo de energía) y los excelentes rendimientos depurativos han hecho que algunos países hayan adoptado masivamente estos sistemas, en particular para pequeñas y medianas plantas; o bien como tratamiento de refinación de las aguas que salen de sistemas de depuración tradicionales. En ese caso las aguas tratadas pueden ser utilizadas en agricultura, en la industria o para otros fines diferentes del consumo humano.

Reutilizar las aguas servidas, una vez depuradas de forma oportuna, contribuye a reducir notablemente el desperdicio de aguas de buena calidad (agua potable) cuya disponibilidad a un costo razonable es cada vez mas problemática.

Además la excelente inserción ambiental (como se comprueba en la foto de abajo) ha representado otro aspecto positivo en la evaluación de dichos sistemas; de hecho la Comunidad Europea en los últimos años ha favorecido la financiación de estos sistemas en lugar de los sistemas convencionales con mayor contenido tecnológico.

Por otro lado, la aplicación de los sistemas de depuración natural permite escoger un tipo de solución depurativa descentrada en el territorio y que se ajuste a las características ambientales específicas de cada sitio, evitando centralizar el proceso de depuración en grandes plantas de tratamiento siguiendo el enfoque de tutela de los equilibrios hidrogeológicos.



Son particularmente adecuados para solucionar el problema de la depuración de las aguas en áreas rurales y montañosas (con colinas) evitando mayores obras de recolección de las aguas a tratar hacia sistemas centralizados de depuración lo que comportaría costos elevados y un impacto ambiental negativo. En áreas marginales y degradadas la realización de tales sistemas puede representar una oportunidad de recalificación ambiental. La aplicación de los sistemas naturales permite solucionar los problemas higiénico-sanitarios de los vertidos persiguiendo al mismo

tiempo una mejor gestión del recurso hídrico.

Existen varios tipos de depuración natural, pero las utilizadas en Europa son las siguientes:

**Sistemas con Flujo Sumergido Horizontal (SFS-h)**

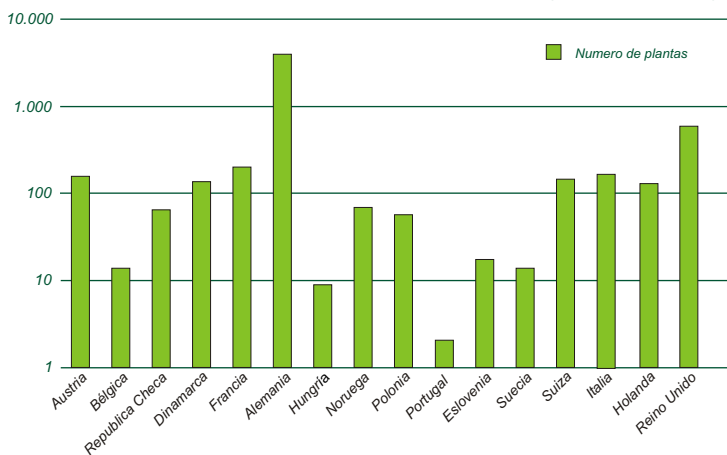
**Sistemas con Flujo Sumergido Vertical (SFS-v)**

**Sistemas con Flujo Superficial (FWS)**

Estas aplicaciones pueden ser implantadas singularmente o de forma combinada entre ellas en sistemas definidos “multi-etapas”.

Cada tipo de sistema tiene características constructivas distintas y ofrece rendimientos depurativos específicos según el tipo de contaminante a eliminar. Esto permite lograr un tratamiento apropiado para cada caso específico y la combinación de estos sistemas permite tratar aguas servidas con características de contaminación muy distintas entre ellas.

Los sistemas de fitodepuración en Europa



Por ejemplo una casa aislada en una zona rural o un caserío podrán ser servidos por el sistema mas sencillo, es decir un sistemas con flujo sumergido horizontal, mientras que una industria quesera o zootécnica necesitará un sistema combinado en que los distintos sistemas serán seleccionados en función de los objetivos depurativos y de las características cuantitativas y cualitativas de las descargas.

Hoy día en Europa resultan ser operativos un aproximado de 11,370 plantas de fitodepuración oficialmente censados y monitoreados por distintos institutos de investigación científica.



# ¿Qué problema soluciona?

Como se ha expresado anteriormente, la aplicación de los sistemas naturales “construidos” (denominados “Constructed Wetlands”) para el tratamiento de las aguas servidas representa una elección ampliamente difundida en la mayoría de los países de la Comunidad Europea.

En varios Institutos Universitarios y Entes de Investigación se están llevando al cabo múltiples actividades de investigación científica a fin de verificar los modelos y las cinéticas de proceso elaboradas en el curso de los años para distintos tipos de aguas servidas, para distintas condiciones climáticas y ambientales en comparación a las distintas elecciones de diseño del sistema. A lo largo de los años eso ha

Particularidades de un sistema con flujo superficial libre (FWS) que sirve a una Empresa vinícola (Siena Italia)

permitido utilizar con éxito estos sistemas para tratar aguas con una elevada carga contaminante como el líquido producido por los rellenos sanitarios de uso civil y las aguas servidas de plantas zootécnicas.

Los sistemas de depuración natural pueden ser utilizados como tratamiento terciario (afinamiento) de las aguas servidas, caracterizados por una gestión sencilla y poco onerosa son capaces de excelentes rendimientos depurativos (especialmente para parámetros cuales DCO, DBO<sub>5</sub>, sólidos suspendidos, carga bacteriana y Nitrógeno) y con un impacto ambiental y un consumo energético reducido en comparación con otros sistemas de depuración.

En varios casos las aguas servidas se mueven por gravedad y las plantas de tratamiento no necesitan energía eléctrica para su funcionamiento. Además de eso, los sistemas de fitodepuración no sufren de las variaciones en la carga hidráulica, contrariamente a lo que pasa con los sistemas tradicionales que necesitan una carga constante: esto significa que para instalaciones productivas o comunidades con fuertes variaciones en el caudal de aguas servidas a lo largo del año, por ejemplo empresas productoras de vinos, industrias agroalimentarias, hoteles, asentamientos o ciudades con vocación turística, el empleo de los sistemas de fitodepuración no implica una reducción de los rendimientos depurativos.

## ALGUNAS VENTAJAS EN LA UTILIZACION DE LA FITODEPURACION

- Excelente rendimiento depurativo
- Costes de gestión limitados
- Funcionamiento sencillo
- Adaptabilidad a las variaciones de carga
- Óptima oxigenación del agua tratada
- Óptima integración paisajística
- Oportunidad de reutilización de las aguas tratadas y de los subproductos
- Recalificación ambiental de los sitios degradados

# Las “Constructed Wetlands” en la practica

En el ámbito de la depuración natural se pueden diferenciar varios tipos de sistemas utilizados según las distintas exigencias y en función del objetivo que se tiene con respecto a los niveles de depuración.

Los modelos que han sido mas satisfactorios en términos de rendimientos depurativos, impacto higiénico-sanitario, simplicidad de gestión y adaptabilidad a las diferentes condiciones ambientales son los siguientes:

- **Sistemas con flujo sumergido horizontal**
- **Sistemas con flujo sumergido vertical**
- **Sistemas con flujo superficial**



Sistema con flujo libre superficial (FWS) para el tratamiento y el almacenamiento de aguas lluvias destinadas al reutilizo (Grosseto Italia)

## **Los sistemas con flujo sumergido horizontal (SFS-h)**

Se presentan como fosas excavadas en el terreno, con un hoyo de aproximadamente un metro y selladas mediante membranas sintéticas en el fondo. El material de relleno de la fosa esta construido por materiales inertes: grava fina y piedras, cuya granulometría viene escogida oportunamente para permitir la difusión optima de las aguas servidas en la fosa.

Las aguas se introducen en el sistema a través de una tubería cuyo tamaño corresponde a la longitud trasversal de la fosa y despacio fluyen a través del sistemas a raíz de una ligera pendiente del fondo de la cama (entre 1% y 5%), manteniéndose siempre bajo el nivel de la superficie, hasta alcanzar una tubería de drenaje que permite a las aguas salir del sistema.

En el interior del sistema generalmente se siembran plantas acuáticas pertenecientes a los géneros Phragmites, Typha, Scirpus; cuyas raíces se desarrollan en el relleno. Estas plantas funcionan como bombas naturales capaces de transferir oxígeno atmosférico al interior del médium de relleno de las fosas adonde viven colonias de bacterias capaces en condiciones aerobias de descomponer la materia orgánica y de nitrificar. En las zonas más lejanas de las raíces se da un ambiente anaeróbico perfecto para el proceso de desnitrificación.

Estos sistemas pueden eliminar hasta el 99% de la carga bacteriana y en particular de las bacterias patógenas. Además de eso, las plantas absorben los metales presentes en el líquido a tratar, mientras que los materiales inertes de relleno permiten la remoción del fósforo por absorción.



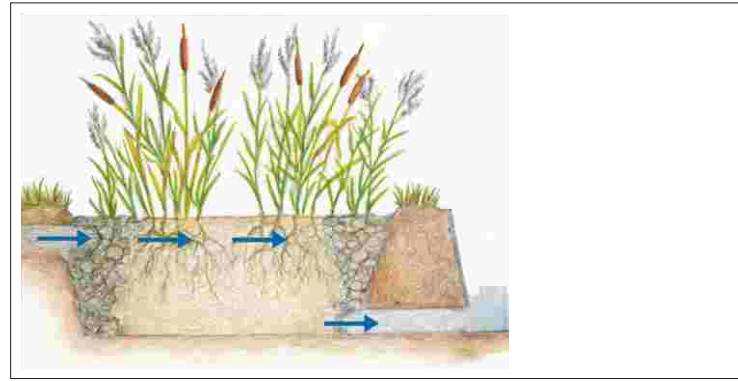
Sistemas con flujo sumergido horizontal (utilizado como sistema terciario)

### **Los Sistemas con flujo sumergido vertical (SFS-v)**

Se diferencian de los sistemas con flujo sumergido horizontal por la modalidad de distribución del líquido al interior de las fosas, que ocurre de forma intermitente, y por el flujo hidráulico que en este caso es preferentemente vertical.

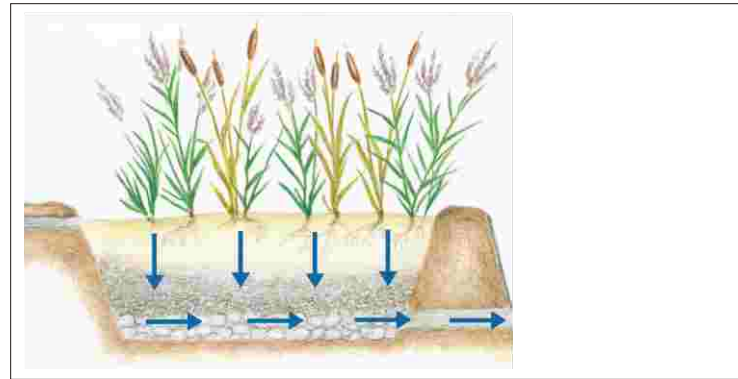
Una ulterior diferencia consiste en las distintas características del médium de relleno que está compuesto por algunas capas de gravas y arenas de diámetro variable; desde una capa de arena en la superficie hasta llegar a una capa de pedrisco sobre el sistema de drenaje del fondo.

La modalidad de alimentación del sistema vertical permite una mayor oxigenación del líquido y luego una mayor capacidad de degradación de la materia orgánica. Incluso en estos sistemas las aguas se mantienen bajo la superficie del sistema y las plantas son las mismas utilizadas en los sistemas con flujo horizontal.

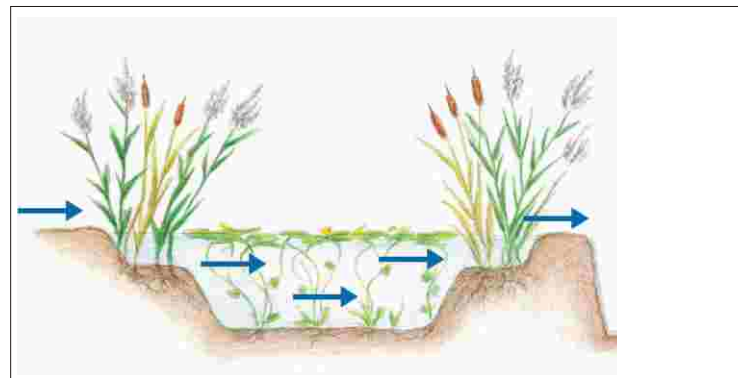


### Los Sistemas con flujo superficial libre (FWS)

Los sistemas con flujo superficial libre (FWS) consisten en un embalse poco hondo (entre pocos centímetros y hasta un metro), sellado con membranas sintéticas, donde el agua fluye libremente.



El sistema está diseñado de modo que se creen los ambientes adecuados para diferentes tipos de plantas: a partir de aquellas acuáticas que viven sumergidas hasta aquellas flotantes, desde las elofitas que viven en las orillas hasta las hidrofitas enraizadas emergentes.



La elección de las especie vegetales viene efectuada siguiendo una serie de criterios de modo de poder reproducir de la forma mas fiel la biodiversidad presente en una zona húmeda natural para garantizar el máximo poder depurativo.

Representación esquemática de un sistema con flujo sumergido horizontal de un sistema con flujo sumergido vertical y representación esquemática de un sistema con flujo libre.

De hecho cada especie desarrolla una serie de funciones específicas al interior del sistema. En particular oxigenan el agua donde se encuentran y absorben las sustancias nutritivas presentes (fosfatos, nitratos, etc) y necesarias para su crecimiento. Todas plantas de cualquier modo representan un sustrato idóneo para el desarrollo de microorganismos importantes para los procesos depurativos propios de las áreas húmedas naturales.

Las especies vegetales más comúnmente utilizadas pertenecen a los géneros *Phragmites*, *Typha*, *Scirpus*, *Iris*, *Nymphaea*, *Juncus*, *Carex*, *Alisma*, *Myriophyllum*, *Ceratophyllum*, *Butomus*, *Potamogeton*, etc. En cualquier caso, es bueno utilizar plantas autóctonas que no alteren el ambiente natural y no sean competidoras agresivas de otras especies presentes en el sitio.

# Cuáles resultados

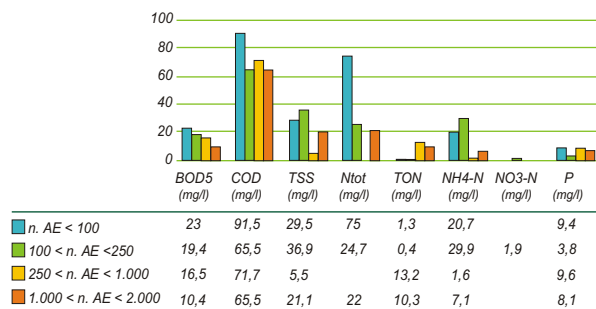
Los resultados de la utilización de cada sistema están ligados a las exigencias depurativas. Generalmente los sistemas SFS-h se utilizan para eliminar la materia orgánica biológica y químicamente biodegradable y los sólidos en suspensión con una eficiencia de remoción del orden del 90%.

En el siguiente gráfico pueden observar los datos promedios recolectados de un aproximado de 250 plantas de tratamiento, que utilizan la técnica de la fitodepuración, ubicados en diferentes países europeos, en términos de calidad de las aguas tratadas y para diferentes parámetros

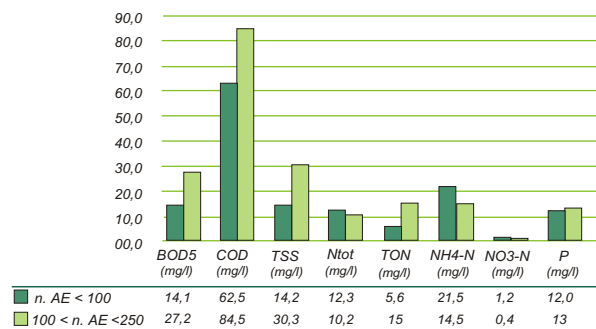
Los sistemas con flujo sumergido vertical al ser muy oxidativos, son indicados para optimizar el proceso de nitrificación y desde luego la remoción del nitrógeno.

Los sistemas con flujo libre superficial, utilizados exclusivamente después de los tratamiento anteriormente descritos, permiten una degradación posterior de los contaminantes. Algunos datos significativos de la calidad del proceso de depuración en los FWS aplicados como tratamiento terciario son reportados en los siguientes gráficos:

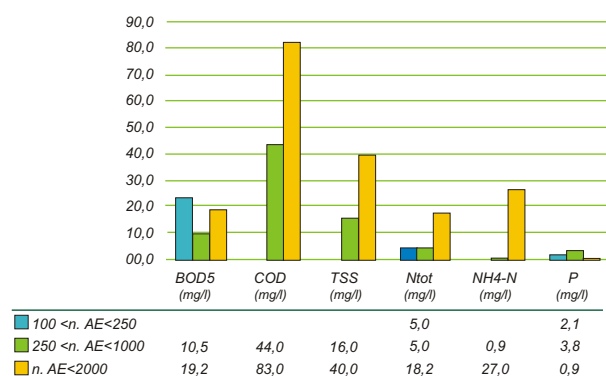
Sistema con flujo libre superficial como tratamiento terciario



Sistemas con flujo sumergido horizontal como tratamiento secundario

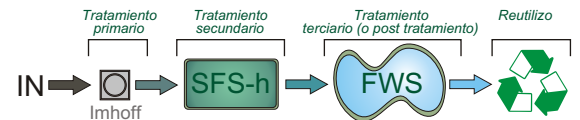


Sistemas con flujo sumergido vertical como tratamiento secundario



Sin embargo aun mas frecuentemente se están utilizando los sistemas multiestadio, con el propósito de incrementar la eliminación de todos los contaminantes y optimizar los rendimientos depurativos de los sistemas naturales.

Un típico esquema de planta multiestadio se representa en el siguiente modulo:



## TRATAMIENTO PRIMARIO

IFosa Imhoff como sedimentador para eliminar del liquido la partes mas gruesas

## TRATAMIENTO SECUNDARIO

Sistemas con flujo sumergido horizontal para la remoción de gran parte de la carga orgánica y de los sólidos suspendidos en aguas que salen de tratamiento primarios

## TRATAMIENTO TERCIARIO

Sistema con flujo libre superficial (FWS) con función de afinación (en particular modo de la desnitrificación) y de almacenamiento de las aguas depuradas

Sistema para poder reutilizar el agua.

## Prácticas de gestión

Como se ha explicado anteriormente, estos sistemas son particularmente aptos para pequeñas y medianas comunidades y en zonas rurales, sobre todo gracias a la simplicidad de su construcción y a su reducido mantenimiento. En efecto, no es indispensable mano de obra especializada para cumplir con las prácticas de gestión que estos sistemas precisan.

Los aspectos más importantes están ligados a vaciar regularmente la fosa séptica ubicada arriba del sistema de fitodepuración, al control del nivel hídrico en el interior del sistema (incluso como medida de protección contra el desarrollo de especie vegetales no deseadas) y del estado de la vegetación. El control del nivel hídrico consiste básicamente en las funciones de:

Mantener las raíces y los rizomas de las hidrófitas emergentes a contacto con el agua;

Impedir el desarrollo de especie vegetales competidoras no deseadas que tienden a prevalecer sobre todo en las zonas de la cama con menos agua en los primeros meses de vida del sistema

Las únicas formas de mantenimiento relacionadas a la vegetación se refieren al control de su regular desarrollo y la remoción cada dos-tres años de la biomasa producida; tal proceso parece revitalizar las plantas y estimular su crecimiento de una forma más fuerte y uniforme.

El sistema FWS requiere operaciones de gestión aún más reducidas; el sistema está concebido con el fin de que se desarrolle de la manera más natural posible. Se prevé en todos casos la poda de las especie cada tres años.



Sistema con flujo sumergido horizontal (Siena, Italia)

## Ventajas

Además de las ventajas detalladas hasta el momento un sistema de fitodepuración permite:

- **recuperar nutrientes que de otra manera tendrían impacto negativo sobre el medio ambiente**
- **desarrollar la lógica del reciclaje, cerrando el círculo de algunos nutrientes, como nitrógeno y fósforo, al interior de las áreas de producción**
- **depurar las aguas para sus reutilización para riego, cerrando de esa forma el ciclo del agua con un notable ahorro de las aguas potables**

La fitodepuración constituye una válida solución para el tratamiento de las aguas servidas y un sistema para mejorar los rendimientos depurativos de plantas de tratamientos ya existentes, reduciendo al mínimo la contaminación de los cuerpos hídricos y la contaminación de las fuentes hídricas de abastecimiento.

## El interés internacional

La aplicación de los sistemas de tratamiento natural, en países que no dispongan de muchos recursos económicos o la tecnología mas avanzada puede considerarse la elección mas apropiada.

La realización de tales sistemas en efecto no comporta la utilización de mano de obra cualificada ni el uso de tecnología de construcción sofisticadas. Las plantas de fitodepuración pueden ser construidas usando simplemente mano de obra local no especializada y utilizando los recursos locales contrariamente a lo que ocurre con los sistemas de depuración convencionales.

Económicamente su gestión comporta una obligación mínima: las plantas de fitodepuración no requieren, en la mayoría de los casos, fuentes energéticas debido a que su funcionamiento se basa en los procesos depurativos naturales y en la gravedad.

Siendo las operaciones de manutención bien sencillas se consigue una notable reducción con respecto a los costos.

Para finalizar la decisión de recurrir a sistemas de depuración natural permite, en términos socio-económicos, la oportunidad de aprovechar los beneficios ligados a una gestión sostenible de los recursos hídricos, limitando el empobrecimiento de los cuerpos hídricos y la optimización de los consumos, eso causa consecuencias positivas sobre la economía regional o del país, sin depender de infraestructuras cuya gestión puede resultar onerosa.

Algunos de los países que están orientando sus elección hacia la aplicación de dichos sistemas de depuración, en virtud de una política de mayormente sostenible sea económica que ambiental son Eslovenia, Túnez y Egipto ...



Sistema con flujo libre superficial (como tratamiento terciario)

# Para adoptar las Constructed Wetlands en otros países

La utilización de los sistemas de depuración natural de las aguas no está subordinado a ninguna restricción legislativa, por el hecho que no se trata de un producto terminado sino que consiste en la redacción de un proyecto, cuya realización no implica particulares tecnologías y puede ser fácilmente ejecutado por parte de empresas locales. Sin embargo no siendo posible estandarizar el diseño de los sistemas hay que redactar un proyecto ad hoc por cada distinta realidad.

La formación de las figuras profesionales para la constitución de un equipo de diseñadores no puede prescindir de sus nivel de instrucción, siempre tendrá que ser de tipo superior involucrando profesionales como biólogos, químicos, ingenieros, a los cuales se tendrá que impartir un especialización en el ámbito del diseño y cálculo de dimensiones de los sistemas de fitodepuración.



Características de un sistema multi-estadio compuesto por un sistema con flujo sumergido horizontal (a la derecha) y vertical (a la izquierda) al servicio de una estructura turística 140 A.E. (Firenze Italia)

Sin embargo su gestión no comporta la utilización de personal calificado y desde luego puede ser efectuada por cuenta del ente que administra el sistema mismo, con el fin de reducir los costos de funcionamiento.

En el caso de problemas específicos recurrir a personal técnico especializado y, si necesario, de la estructura responsable del diseño del sistema, con la cual se podrá establecer una forma de “contrato de asistencia” con el usuario.

De hecho los beneficios obtenidos por el usuario, por ejemplo el reutilizo del aguas tratada, serán pro el usuario mismo.

Algunas de las instituciones que podrán ser involucradas en la redacción de tales proyectos de factibilidad para la aplicación de dichos sistemas serán los institutos de investigación, Universidades, profesionales del sector y/o técnicos para la gestión integrada y eco-sostenible de las aguas.

## ■ Para saber más

Para mayores informaciones sobre los sistemas de fitodepuración es posible consultar los siguientes sitios de Internet, donde se podrán encontrar una bibliografía, publicaciones científicas. Actos de convenciones internacionales y datos de monitoreos efectuados en sistemas italianos:

**[www.iridra.com](http://www.iridra.com)**

**[www.arpat.toscana.it/pubblicazioni](http://www.arpat.toscana.it/pubblicazioni)**

**link: catalogo publicaciones año 2003**

Un sistema de fitodepuración con flujo sumergido horizontal (150 A.E.) (Toscana Italia)



# Quién contactar

## **ARPAT**

Agencia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana  
(Agencia Regional para la Protección del Medio Ambiente de Toscana)

### **Sede Central:**

Via Nicola Porpora, 22  
50144 Firenze Italy  
e-mail: [ideass@arpat.toscana.it](mailto:ideass@arpat.toscana.it)

ARPAT será disponible para brindar consultorías y asistencia técnica relativa al diseño, a las metodologías de gestión y al arranque de los sistemas.

Un técnico ARPAT estará a disposición para elaborar los datos de monitoreo del sistema, recolectados desde análisis efectuadas por sujetos locales como Universidades, Institutos de Investigación y Entes encargados de la gestión del sistema..

### **Beatrice Pucci**

**teléfono: [+39] 055-470729**  
**fax: [+39] 055-475593**  
**e-mail: [b.pucci@cw.ideass.org](mailto:b.pucci@cw.ideass.org)**



Sistemas con flujo sumergido horizontal (Siena, Italy)



**ARPAT**

Agencia regionale per la protezione ambientale della Toscana

La Iniciativa IDEASS - Innovaciones para el desarrollo y la cooperación sur-sur - es promovida por los programas de cooperación internacional OIT/Universitas, PNUD/APPI, y por los Programas PNUD/IFAD/UNOPS de desarrollo humano y lucha a la pobreza, actualmente en curso en Albania, Angola, Cuba, El Salvador, Guatemala, Honduras, Mozambique, Nicaragua, República Dominicana, Serbia, Sur Africa y Tunisia. Esta iniciativa de cooperación, se enmarca en los compromisos de las grandes Cumbres mundiales de los años '90, y de la Asamblea General del Milenio, dando la prioridad a la cooperación entre los actores del Sur, con el apoyo de los países industrializados.

IDEASS tiene el objetivo de fortalecer la eficacia de los procesos de desarrollo local, mediante una utilización cada vez mayor de la innovación para el desarrollo humano y el trabajo decente. Actúa como catalizador a la difusión de innovaciones sociales, económicas, tecnológicas, que favorecen el desarrollo económico y social a nivel local, a través de proyectos de cooperación sur-sur. Las innovaciones promovidas, pueden ser tanto productos, como tecnologías o prácticas sociales, económicas o culturales. Para mayor información sobre la Iniciativa IDEASS, sírvase consultar el sitio: [www.ideassonline.org](http://www.ideassonline.org)

# IDEASS

Innovaciones para el desarrollo y la cooperación sur-sur



El programa APPI (Anti-poverty Partnership Initiatives) del PNUD es un instrumento destinado a brindar ayuda a los gobiernos y a los actores sociales para la definición y aplicación de políticas nacionales de reducción de la pobreza y de la exclusión social, en base a prácticas de desarrollo local integrado y participativo.



Los Programas de desarrollo humano y lucha a la pobreza realizados por UNDP, IFAD, ILO y UNOPS, promueven procesos de desarrollo local integrado y participativo, enmarcados en las políticas nacionales, con el apoyo de los actores públicos, privados y de la sociedad civil. Estos programas constituyen un marco en el cual pueden colaborar, en forma ordenada, diferentes países donantes y comunidades de los países industrializados, a través de la cooperación descentralizada. Es en este marco que serán realizados los proyectos de cooperación sur-sur, realizados a través de la Iniciativa.



El programa OIT/Universitas (trabajo decente a través de la formación y la innovación) promueve la aplicación de soluciones innovadoras a los problemas de desarrollo humano, sobre todo en el mundo laboral. A tales efectos, lleva a cabo actividades de investigación-acción, de formación a favor de los responsables de las decisiones y del personal que opera en los procesos del desarrollo local.