

# Oportunidades y problemas para el desarrollo de la Ingeniería Biológica en la Italia mediterránea



**Paolo Cornelini**

Ingeniero civil (1971) y Doctor en Ciencias Naturales (1986).

Ingeniero del Servicio Obras y Construcciones de la Compañía Ferroviaria del Estado y Responsable de la Actividad Ambiental del Instituto Experimental de la misma compañía (1975-1993)

Profesional autónomo desde 1994

Asesor de la Dirección de Defensa del Suelo y de la Comisión Especial de Valoración del Impacto Ambiental del Ministerio de Ambiente (1998-2006).

Autor de más de 70 publicaciones en el sector de la Ingeniería Biológica y del diseño medioambiental; coautor de los Manuales de ingeniería biológica del Consejo Regional de Lacio y del Ministerio de Ambiente.

Vicepresidente Nacional y Presidente de la Sección Lacio de la Asociación Italiana de Ingeniería biológica

Desde 1988 es docente en más de 130 cursos y seminarios de Universidades, Centros de formación profesional, Administraciones públicas y Colegios profesionales.

En 2007 ha sido docente contratado en el curso de "Ingeniería biológica" de la Facultad de Agraria de la Universidad de Estudios de Tuscia (Viterbo).

Las técnicas de Ingeniería Biológica (I.B.) responden a la exigencia de una planificación del territorio compatible con el medio ambiente y representan el instrumento operativo para lograr un mantenimiento por todo el territorio, bajo el prisma de la prevención del riesgo hidrogeológico. De hecho, las técnicas de Ingeniería Biológica conllevan un menor impacto ambiental de las obras, la rehabilitación paisajística y ambiental de las áreas erosionadas, un aumento de la biodiversidad del territorio y son especialmente válidas en las zonas de colina y de montaña, donde el uso de técnicas alternativas a las tradicionales se impone por motivos medioambientales y paisajísticos, con repercusiones positivas en términos de ocupación dado el elevado uso de mano de obra.

## El mantenimiento del territorio de colina y de montaña para la prevención del riesgo hidrogeológico

Se puede obtener una mayor eficacia en la reducción del riesgo hidrogeológico, interviniendo en las zonas de montaña y de colina, donde son más extensas e intensas las acciones erosivas, ya que se actúa sobre las causas de las alteraciones en la parte superior de la cuenca, donde el fenómeno erosivo empieza a manifestarse, mejorando de este modo las condiciones hidráulicas en la llanuras, las cuales albergan la mayoría de la población y del patrimonio público y privado (foto 1).

Sin embargo, el abandono de la montaña y de la colina tiene como consecuencia un aumento de la vulnerabilidad y de la peligrosidad del territorio aguas abajo, con la consiguiente demanda de aumento de las defensas pasivas (muros de contención, cajas de expansión, etc.) y notable aumento de los costes directos e indirectos.

Las ventajas resultantes de un programa de mantenimiento del territorio son:

- La disminución de las intervenciones estructurales al reducir el riesgo, ya que las intervenciones difusas en la parte superior de la cuenca contrarrestan los fenómenos de erosión con acciones de pequeña entidad, pero que resultan eficaces para revolver el problema en origen;
- Una mejora de la eficacia de las regulaciones hidráulico-agrarios y hidráulico-forestales, incluso manteniendo las realizadas en el pasado, rehabilitando el patrimonio existente e introduciendo en el contexto socio-económico y paisajístico del territorio;
- La rehabilitación ambiental de las áreas erosionadas con las técnicas de Ingeniería Biológica, con el aumento de la biodiversidad mediante la realización de fitocenosis arbóreas, arbustivas y herbáceas;
- La aportación de las intervenciones de revegetación de las laderas a la lucha contra la desertización, con efectos benéficos de tipo climático por la reducción del CO<sub>2</sub> almacenado en la biomasa vegetal (protocolo de Kyoto).
- La mejora de las condiciones socioeconómicas de las áreas interiores de montaña y colina en fase de despoblamiento (foto 2), con la creación de nuevos puestos de trabajo y con el uso de técnicas de Ingeniería Biológica que emplean una gran cantidad de mano de obra.



**Tabla 1:** Principales intervenciones de mantenimiento del territorio

Principales intervenciones de tipo extensivo	Intervenciones de restauración de los cursos de agua	Principales intervenciones de tipo intensivo
<p><b>Reforestación y mejora de los bosques existentes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ reforestación en las zonas marginales de montaña y colina usando especies autóctonas</li> <li>■ mejora del monte alto y reconversión de los montes bajos</li> <li>■ reconversión de los cultivos de repoblación de coníferas con podas e introducción de especies frondosas autóctonas</li> </ul> <p><b>Intervenciones hidráulico-forestales extensivas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ intervenciones antierosivas y estabilizadoras favoreciendo el uso de especies herbáceas y arbustivas autóctonas</li> <li>■ restauración de áreas abandonadas por la agricultura</li> <li>■ realización de drenajes superficiales</li> </ul> <p><b>Ordenaciones hidráulico-agrarias:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ realización de fosas de nivelación</li> <li>■ realización de drenajes superficiales</li> <li>■ realización de franjas herbosas de separación de los cultivos herbáceos y en los huertos frutales y viñedos con peligro de erosión</li> <li>■ ordenamiento de las áreas con fenómenos erosivos y reconstitución del pasto</li> <li>■ reconstrucción de la red de setos campestres</li> </ul>	<p><b>Restauración de los cursos de agua y reconstitución de las franjas de vegetación de ribera</b></p> <p><b>Reacondicionamiento de los cauces,</b> con el eventual corte de la vegetación del lecho salvaguardando su función en la defensa y conservación de los márgenes según las disposiciones del DPR del 14 de abril de 1993campestres</p>	<p><b>Restauración de los desprendimientos y de las áreas inestables</b></p> <p><b>Ordenaciones hidráulico-forestales intensivas</b> para la retención de los cursos de agua montañosos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ mantenimiento de las obras transversales (azudes, umbrales, rampasde piedra ) y longitudinales (muros de contención, obras de protección y estabilización de márgenes) existentes, sustituyendo allá donde sea posible las de hormigón por obras realizadas con técnicas de Ingeniería Biológica;</li> <li>■ realización de nuevas obras transversales y longitudinales utilizando, siempre que sea posible, las técnicas de ingeniería biológica</li> </ul> <p><b>Realización de cajas de expansión de pequeñas dimensiones</b> en las subcuencas obteniendo áreas que se recuperarán según criterios paisajísticos</p>

Haciendo un estimación a grandes rasgos de los puestos de trabajo derivados de la aplicación de las técnicas de Ingeniería Biológica se conjetura, con un cálculo muy somero que dichas técnicas puedan usarse para recuperar sólo el 20% de los tipos de alteraciones del territorio italiano; respecto a una inversión de alrededor de 200 millones de Euros en intervenciones para la defensa del suelo previsto para 2007 en Italia, se puede estimar una creación directa de alrededor de 4000 puestos de trabajo al año, más los puestos creados de forma indirecta, ya que en las intervenciones de Ingeniería Biológica el coste de la mano de obra puede estimarse en torno al 50% del coste de los trabajos.

**Potencial de la ingeniería biológica en la restauración hidrogeológica en Italia**

En el ámbito de las intervenciones de restauración hidrogeológica, las técnicas de Ingeniería Biológica encuentran su campo de aplicación no tanto en las situaciones catastróficas o en las intervenciones

inmediatas de corrección de los daños, sino que en las ordenaciones a medio y largo plazo, así como en la prevención a través del mantenimiento del territorio (véase la Tabla1).

Como ejemplo de un periodo de treinta años en los que se han aplicado sistemáticamente las técnicas de I.B. en todas las cuencas de montaña, se puede citar la provincia de Bolzano, mientras que, desde hace ya años, otras regiones italianas siguen este ejemplo.

**La regeneración de las áreas afectadas por el fuego con técnicas de Ingeniería Biológica**

El fenómeno de los incendios en Italia ha adquirido ya un carácter de emergencia nacional con relación a la destrucción de áreas de gran valor ambiental y paisajístico y a los problemas de seguridad pública y de liberación de CO<sub>2</sub>, así como con relación a alteración de tipo hidrogeológico del territorio, ya que los fenómenos erosivos activados por los incendios pueden evolucionar hacia desprendimientos y con-

Llevar modificaciones en el balance hidrológico de las cuencas hidrográficas, con la disminución de la capacidad de infiltración de las aguas, la reducción de los tiempos de desagüe y el aumento de los caudales de crecida.

Por otra parte, el fuego es un componente natural del ecosistema mediterráneo que ha desempeñado un papel fundamental en la determinación del paisaje vegetal actual, resultado de una evolución donde la presión antrópica que utiliza el incendio para obtener áreas para el pasto o la agricultura se manifiesta desde hace 10.000 años aproximadamente.

La capacidad de recuperación de la vegetación mediterránea para reconstruir la organización vegetal existente antes del incendio encuentra un límite en la frecuencia de los incendios. Los incendios repetidos alteran la vegetación manteniéndola en los estadios pioneros y causan el empobrecimiento del suelo y la erosión. Dicha degradación irreversible conlleva la destrucción del bosque perennifolio mediterráneo y la aparición de la garriga de jaras y ericas.

#### Intervenciones en defensa del suelo

Dada la gran capacidad de regeneración espontánea de las fitocenosis mediterráneas, hay que valorar siempre la posibilidad de la no intervención, tal como por otra parte prevé la legislación italiana. Una vez verificada la incapacidad de una regeneración espontánea de las fitocenosis existentes, se intentará proceder con las intervenciones para la defensa del suelo según los siguientes principios generales (Bruschini y Cornelini, 2006):

- intervenir lo antes posible;
- planificar y proyectar las intervenciones combinadas de defensa del suelo y regeneración de la cobertura vegetal;
- utilizar prioritariamente técnicas de Ingeniería Biológica para las obras de defensa del suelo;
- utilizar prioritariamente criterios ecológicos y de silvicultura natural en la reconstrucción de la vegetación;
- reincorporar las pérdidas de sustancia orgánica y de biomasa vegetal mediante la reutilización de materiales naturales (materiales leñosos, productos derivados del compostaje, etc.).

Valen los siguientes criterios:

- intervenir sólo en las situaciones más degradadas, cuidando la protección antierosiva superficial, favoreciendo el crecimiento de césped y matorral con especies autóctonas; en las demás situaciones será suficiente favorecer el desarrollo de las especies pirofilas presentes;
- en el caso de incendios en bosques de repoblación con coníferas, iniciar la reconversión hacia los bosques de especies frondosas autóctonas, a partir de los estadios pioneros herbáceos y arbustivos, después de analizar la serie dinámica de la vegetación autóctona;
- efectuar intervenciones de drenaje superficial e hidráulico forestales, para evitar la difusión de la erosión de los suelos (foto 3);
- emplear las técnicas antierosivas, estabilizadoras y estabilizadoras de Ingeniería Biológica (foto 4).

Entre las técnicas que ya se han experimentado en las intervenciones de regeneración de las áreas afectadas por el fuego de los dos Planes de resolución del Ministerio de Ambiente (2002) que han concernido a 26 intervenciones en toda la Italia mediterránea, las más usadas han resultado:

- plantación de arbustos autóctonos;
- fajinas;
- empalizada
- Entramados vivos a doble pared
- Entramados de madera y piedra.

#### La elección y la búsqueda de las plantas mediterráneas para las intervenciones de ingeniería biológica

El proyecto de Ingeniería Biológica prevé un trabajo multidisciplinar en el que el experto de Ingeniería Biológica trabaja junto con los diversos especialistas (topografía, geología, hidráulica, etc.) para definir las intervenciones que poner en marcha para la defensa del suelo en las intervenciones hidráulicas y de ladera, para mitigar los impactos de una obra en el ambiente, para la regeneración ambiental, bajo el prisma de conseguir un aumento de la biodiversidad del territorio y una mejora de la red ecológica.

Las intervenciones de I.B. se diferencian de las tradicionales por la necesidad de realizar un profundo análisis botánico, que es fundamental a la hora de definir la componente viva de las intervenciones de Ingeniería Biológica.

El proyecto botánico debe determinar, una vez realizado el análisis estacional y con referencia a los parámetros ecológicos microestacionales (por ejemplo, de un determinado talud erosionado), la lista con las cantidades de especies del proyecto, que esté estructurada según los tipos de vegetación.

Las especies más adecuadas para las intervenciones de estabilización y consolidación son los arbustos pioneros autóctonos; estos poseen raíces capaces de estabilizar, como media, hasta un espesor de alrededor 0,6 metros de substrato. De todas formas, a dicha acción puntual o lineal de consolidación habrá que unir una acción de protección antierosiva del área del talud, plantando especies herbáceas que actúen principalmente en los primeros decímetros de terreno.

Las plantas en el ámbito mediterráneo viven en condiciones ecológicas menos favorables respecto a las de las regiones alpinas por la presencia de un periodo estivo seco con estrés hídrico, por la presencia de un periodo de reposo vegetativo más breve respecto a las de las regiones alpinas (consiguientemente con un periodo más breve para utilizar las especies con capacidad de reproducción vegetativa, tales como los sauces o los tarays, cuyo uso óptimo está unido a dicha época) y por lo difícil que es encontrar estacas y el material autóctono en los viveros de plantas, sea desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo.



De todo ello deriva la necesidad de mayores cuidados, por medio de idóneos análisis florísticos y de la vegetación, a la hora de elegir las especies vegetales para las intervenciones de Ingeniería Biológica en el ámbito mediterráneo, dado que las especies autóctonas que se emplean normalmente y se encuentran mayormente en los viveros no garantizan siempre su arraigo en las condiciones ecológicas difíciles del ambiente mediterráneo.

El uso masivo de los sauces, especies en general mesohigrófilas, aún siendo compatible desde el punto de vista ecológico en las estaciones húmedas mediterráneas, tales como los de los cursos de agua o de montaña, hay que evaluarlo bien en las demás situaciones ambientales, donde a menudo no es factible por los límites ecológicos y climáticos, por la ausencia de coherencia florístico-vegetativa y por las dificultades de encontrarlos.

Por lo tanto, emerge la exigencia de la búsqueda de especies xerófilas mediterráneas herbáceas, arbustivas y arbóreas (foto 5), que el mercado público o privado de viveros de plantas no es siempre capaz de satisfacer.

Dicha exigencia es todavía más importante para las zonas protegidas donde hay que garantizar la procedencia del material de vivero, por el peligro de contaminación genética debida a razas, variedades o cultivares de regiones o, incluso, naciones diferentes.

Existe un filón de investigación sobre el uso de plantas mediterráneas enraizadas en las intervenciones de Ingeniería Biológica, basado en la observación del comportamiento en la naturaleza de algunos arbustos enraizados que reaccionan a la plantación subhorizontal y el consiguiente enterramiento con una crecimiento de raíces por todo el tallo (foto 6), es decir, de forma similar a la de los esquejes.

Para definir los tipos de vegetales del proyecto resultan fundamentales los instrumentos puestos a disposición por la fitosociología y, en los últimos años, por la **Sinfitosociología**, a través del estudio de las series dinámicas de vegetación y su representación cartográfica.

Los **indicadores de Ellenberg** se han revelado muy útiles para seleccionar las especies del proyecto en función de las características ecológicas estacionales.



Fundamentales a la hora de proyectar son los resultados del control y seguimiento de las intervenciones realizadas (Foto 7).

### La formación profesional de los proyectistas o diseñadores, de los administradores y de las empresas - Innovaciones didácticas

En el sector de las intervenciones de Ingeniería Biológica y de las obras de revegetación en general, el resultado de la inversión es a menudo pobre por la falta de profesionalidad de los proyectistas, de los técnicos encargados de la aprobación de proyectos y de las empresas, ante una ausencia de claros requisitos de calidad.

Por lo tanto, la formación, sea teórica como práctica, de los proyectistas, del personal de los organismos públicos y de las empresas, a través de talleres prácticos, es fundamental para un correcto desarrollo de las obras de Ingeniería Biológica en el territorio.



10

Uno de los problemas de los talleres didácticos o prácticos de ingeniería biológica está representado por la dificultad de implicar directamente en el plano práctico a todos los participantes en la realización de las obras.

Después de un primer enfoque experimental, durante un taller didáctico de campo en España, organizado por Paola Sangalli, Iñaki Urriazkiki Oroz y Joaquim Bosch en el río Salt de Girona, Cataluña, en febrero de 2007 (foto 8), se ha perfeccionado una técnica didáctica para realizar **modelos a escala de las principales técnicas de ingeniería biológica**.

Dicha experiencia ha sido desarrollada ulteriormente en otros cursos de Ingeniería Biológica y, en especial, en las prácticas del curso de Ingeniería biológica de la Universidad de Tuscia en Viterbo, donde, dada la imposibilidad de montar un verdadero taller didáctico de campo, se han orientado hacia la realización de modelos (foto 9), para verificar, aunque a pequeña escala, todos los problemas reales de una intervención de ingeniería biológica (elección de la escala de trabajo, de la estación de intervención, de los troncos, de los clavos).

La aplicación de los modelos a escala se ha demostrado muy útil para diseñar nuevos tipos y en los lugares de trabajo reales para comunicar las características estructurales del proyecto a las empresas poco expertas en el sector de la Ingeniería Biológica.



11

### Bibliografía en Internet

#### [www.regione.lazio.it](http://www.regione.lazio.it)

Sauli G., Cornelini P. Preti F. (2002), Manuale di ingegneria naturalistica applicabile al settore idraulico Regione Lazio.

Sauli G., Cornelini P. Preti F. (2003), Manuale di Ingegneria naturalistica applicata al settore strade cave discariche e coste della Regione Lazio.

Sauli G., Cornelini P. Preti F. (2006), Manuale di Ingegneria naturalistica applicata alle sistemazioni di versante della Regione Lazio.

#### [www.minambiente.it](http://www.minambiente.it)

Cornelini (2002), Criteri e tecniche per la manutenzione del territorio ai fini della prevenzione del rischio idrogeologico.

Bruschini, Castello, Cornelini (2006), Linee guida per gli interventi di riqualificazione idrogeologica e vegetazionale nelle aree percorse dal fuoco.

#### [www.podis.it](http://www.podis.it)

Cornelini P., Sauli G. (2006), Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di difesa del suolo con tecniche di ingegneria naturalistica.