

## LA TECNOLOGIA DE PRATI ARMATI®<sup>1</sup> ESPECIES HERBÁCEAS A RADICACIÓN PROFUNDA QUE ARMAN EL SUELO Y CONTRIBUYEN AL PROTOCOLO DE KYOTO

PRATI ARMATI® es una tecnología de consolidación innovadora y ecológicamente compatible, utilizada para la protección de suelos, la disminución de la erosión, la lucha contra la desertización y la renaturalización de sitios degradados, de activar mediante uso de mezclas de herbáceas de diferentes especies - muchas de las cuales autóctonas – que arman el estrato profundo del suelo y crean un denso manto vegetal que reduce sensiblemente la infiltración (primera causa de derrumbes y deslizamientos de laderas y taludes).

Esta innovadora tecnología de consolidación de tierras, presenta las características siguientes:

### Características botánicas y agronómicas

- Especies herbáceas perennes
- Rústicas
- naturales (no OGM)
- muchas autóctonas
- no infestantes
- plantas forrajeras

### Características del sistema radical

- relevante velocidad de crecimiento (hasta dos metros en tierras sueltas en 18 meses de desarrollo, vease foto al lado)
- gran profundidad de raíces (unos metros en tierras sueltas)
- alta densidad radical
- raíces débiles (diámetro entre 0,1 e 3 mm) y homogéneas
- resistencia media en tracción de raíces hasta 205 MPa (20,5 kg/mm<sup>2</sup>)

### Características fisiológicas

- adaptación a todos tipos de suelos (desde finos limo-arcillosos hasta arenisca gravosa; también crecen en rocas débiles y alteradas)
- adaptabilidad en condiciones edáficas extremas (pH: 4 / 11; temperaturas: – 45°C /+60°C)
- alta resistencia a la aridez, a salinidad, a sumersión al fuego, y alta capacidad de rechazo después de los incendios
- plantas pioneras, capaz de vegetar también en suelos pobres en substancia orgánica y nutrientes y además en suelos contaminados, favoreciendo la sucesiva re-naturalización
- alta eficiencia en la fotosíntesis (plantas C4) que contribuye a Remover Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera

### propiedades hidrológicas

- evapotranspiración profunda
- impermeabilización de laderas
- protección contra hendiduras y grietas



<sup>1</sup> PRATI ARMATI® = Céspedes (praderas) reforzados

## **Sinergia y acoplamiento con las obras civiles y de Ingeniería Ambiental a través de la mitigación de su impacto ambiental**

- obras de hormigón armado
- mallas de protección contra desprendimientos
- jaulas de protección, farallones artificiales
- georedes, geoesteras, bioesteras, geoceldas
- estacadas y empalizadas de madera
- drenajes y trincheras

**Es el conjunto de rasgos especiales, que aquí se tratan, y que hacen única esta tecnología innovadora.**

### **Ventajas técnicas, de aprovechamiento, y de importe**

Esta tecnología de tierras reforzadas con entramado de diferentes especies de césped a radicación profunda, soluciona, individualmente, los problemas debidos a la erosión y, en muchos casos, elimina totalmente (con muchas ventajas para los comisionantes, empresa solicitante), la herramienta, las labores y el coste debido a:

- tierras movidas (arraigan también en tierras totalmente estériles, como las arcillas grises);
- bioesteras, georedes, geoesteras, geoceldas;
- afinamiento de laderas (que van entregados, absolutamente, ásperos y burdos);
- hidrosembra tradicional, a espesor, potenciada, etc. (que no resuelve los problemas erosivos, a pesar de que sea combinada con otros componentes).

Se reduce drásticamente el tiempo de intervención y el riesgo relacionado a los trabajos (Reg. CE 207/2006) y se elimina el correlativo coste de mantenimiento.

### **Ventajas medioambientales y de imagen**

Es una tecnología totalmente natural que permite conseguir rápidamente la completa recuperación de la naturaleza de los sitios, sin incurrir en potenciales impactos medioambientales negativos y la devastación del paisaje, producidos por la eventual utilización de redes de plástico, bioesteras, georedes, geoesteras, geoceldas, etc..

La mezcla incluye primariamente plantas C4, muy eficaces en quitar CO<sub>2</sub> de la atmósfera (si comparadas con las plantas más conocidas, pueden disminuir CO<sub>2</sub> en cantidades que alcanzan un 30%), contribuyendo de esta manera al protocolo de Kyoto y además, en las obras de carreteras, a la realización de infraestructuras ecocompatibles.



*Provincia de Terni: CP 111 - Orvieto (TR).  
Deslizamiento de ladera - Diciembre 2004*



*Mayo 2006: el talud cumplidamente  
estabilizado y reverdecido*

## Aplicaciones

La tecnología de armazón vegetal se aplica a

- taludes de terraplén en carreteras, autopistas y ferrocarril
- ríos y riberas de ríos, cauces, canales, embalses, presas, escarpados, etc.
- consolidación de laderas inestables, expuestas a corrimiento de tierras, deslizamientos, coladas, etc.
- recuperación y renaturalización de canteras, minas, vertederos, sitios contaminados, etc

Las fotos a continuación muestran unos ejemplos de aplicaciones de la tecnología PRATI ARMATI®



Talud de carretera – Gran deslizamiento ei Ancona



Talud de carretera – Comunidad montana Santerno (BO)



Declive de ferrocarril Italferr – Aulla (MS)



Ribera de Río Noncello  
Genio Civil Pordenone



Ribera marina Autoridad Portual de Génova



Ribera de canal de irrigación - Pavia



Talud realizado por Sidief (Grupo inmobiliario del Banco de Italia) - Como



Talud de carretera - Condado de Terni



Quesería Mauri - Lecco



Consolidación y renaturalización de vertedero RSU - Ozieri (SS)



Consolidación y renaturalización de una cantera desusada de arcilla Sciacca (AG)



Recuperación de un sitio contaminado por hidrocarburos – Condado de La Spezia

## Técnicas de plantación y tratamiento del suelo

Las técnicas de plantación requieren talleres sencillos y rápidos. Éstas consisten en regar las superficies que se quieren consolidar, por medio de una mezcla de agua, abonos específicos, pegamentos naturales, componentes integrantes para tierras y una mezcla de semillas seleccionadas, que poseen las propiedades mencionadas arriba.

Se trata de una técnica realizada mediante hidrosembra, que se llevan a cabo por medio de hidrosembradoras especiales (foto izquierda), con cisternas (desde 1.000 litros hasta 10.000 litros) montadas sobre camiones, vehículos 4x4 y también vehículos a tracción de orugas. Para superar desniveles trabajosos, o bien talleres que presentan escasa accesibilidad, se emplean mangueras largas (hasta unos 300 metros), así que se puedan alcanzar hasta los sitios más accidentados (fotos central y derecha).



Castelviscardo (TR)



Trento

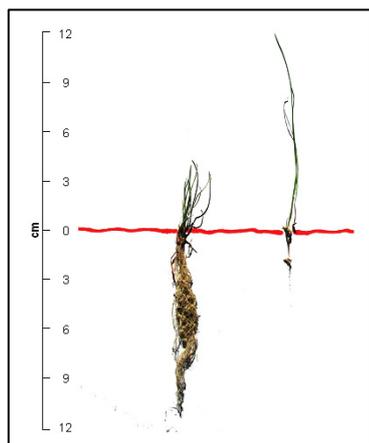


Trento

Para intervenciones en zonas muy extensas y no accesibles, también se pueden utilizar los helicópteros (foto al lado)



Es muy importante no confundir la tecnología de armazón vegetal de tierras, desarrollada por PRATI ARMATI®, con las simples hidrosembra que emplean mezclas de gramíneas y legumbres, que nada tienen que ver con las extraordinarias características antes descritas, en especial por lo que atañe



- profundidad de raíces (unos metros en tierra suelta, en contra de una docena de centímetros si consideramos especies tradicionales)
- resistencia media a la tracción de las raíces (hasta 205 Mpa frente a los 10 ÷ 30 Mpa previstos para las especies tradicionales)
- el rápido desarrollo del aparato radical (asta 10 veces superior a la de las especies herbáceas tradicionales)

En el esquema arriba se observa la comparación entre las plantas empleadas por PRATI ARMATI® (a la izquierda, con raíces profundas y fasciculadas), para obras de consolidación, y una planta tradicional de gramíneas (derecha, con raíces ridículas). Las dos tienen tres semanas de vida

A continuación se van a describir, en detalle, las principales técnicas de armazón vegetal que han sido desarrolladas en este campo por PRATI ARMATI®.

## PRATI ARMATI® y el PROTOCOLO DE KYOTO

La tecnología PRATI ARMATI®, aquí descrita, emplea principalmente especies herbáceas C4 con fotosíntesis modificada respecto a las más comunes plantas C3 (más de un 90% de especies presentes en nuestro planeta pertenece a la clase C3)

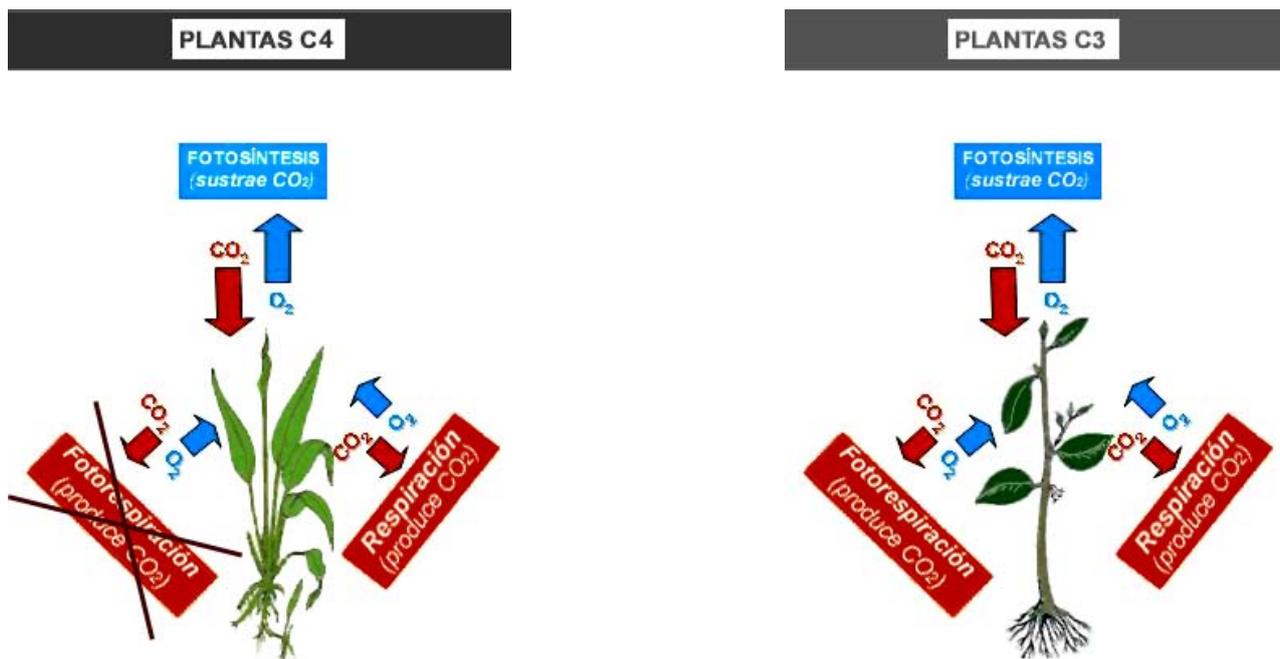
En la fotosíntesis de las plantas C3, la CO<sub>2</sub> se incorpora en una combinación de tres átomos de carbono.

En estas plantas se produce la respiración y, además, la fotorespiración, que, sola, puede reducir, un 50% de la fotosíntesis. La fotosíntesis se neutraliza con temperatura y luminosidad muy alta.

Las plantas C4 presentan una fotosíntesis modificada donde la CO<sub>2</sub> está incorporada en una combinación de cuatro átomos de carbono.

Las plantas PRATI ARMATI® C4 son mucho más eficaces que las tradicionales C3 en virtud de:

- ausencia de fotorespiración, por lo tanto mayor eficiencia respecto a las C3;
- pérdida de agua insignificante: gran resistencia a los climas áridos;
- elevada tolerancia a la salinidad de los suelos;
- rápido crecimiento, también en situaciones prohibitivas para C3;
- la fotosíntesis no se neutraliza con temperatura y luminosidad elevada.



**Por eso, las plantas PRATI ARMATI® C4 absorben un 400% más de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera respecto a las más comunes plantas, contribuyendo de esta manera a los créditos establecidos por el Protocolo de Kyoto**

### La resistencia a tracción de las raíces y el incremento del Factor de seguridad (Fs)

El objetivo principal de las intervenciones de armazón de tierras (actuaciones de refuerzo de tierras) con especies vegetales es lo de aumentar la resistencia a la inclinación de las laderas y taludes erosionados (ambos sujetos a desprendimientos y derrumbes), a través del crecimiento del factor de seguridad (Fs) de las tierras o bien, en razón de lo que concurre en sujetar y sustentar las laderas (cohesión, componente de peso normal a la superficie de deslizamiento, resistencia de las raíces) y además de lo que concurre en crear inestabilidad (saturación, componente del peso tangencial al plano de deslizamiento etcétera). Cuanto más se incrementa Fs, más estables serán las tierras.

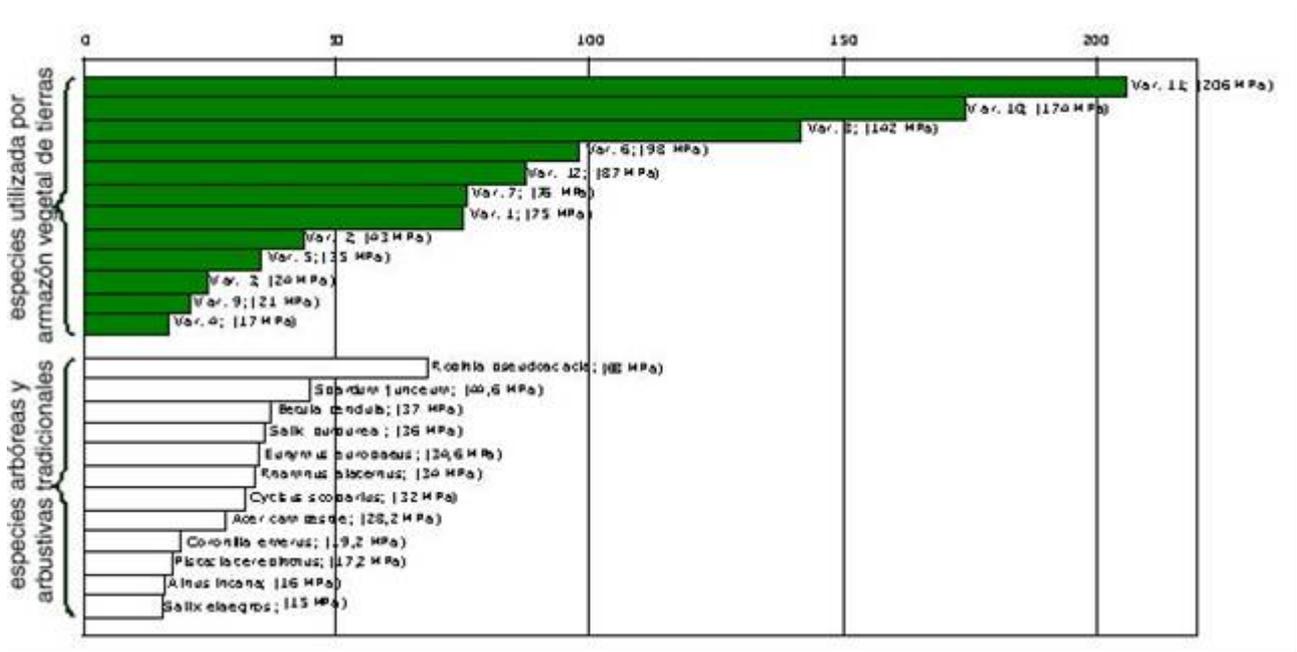
La capacidad de refuerzo de las particulares especies herbáceas, utilizadas en esta innovadora Tecnología, consiste en el embridar el terreno y en trasladar al mismo la resistencia a tracción de las raíces. Las raíces, presentes en número elevado, tienen un diámetro pequeño (alrededor de 0.1 a unos 3 mm), una sección constante por todo su desarrollo y una elevada resistencia mecánica, apto para la realización de un armazón profundo del terreno, único en la naturaleza.

La eficacia de las varias especies vegetales en el incrementar el valor de Fs, cambia principalmente en función de la resistencia mecánica de las raíces y de la extensión de la superficie arraigada.

Las pruebas de tracción, llevadas a cabo en el instituto de Hidráulica Agraria de la Universidad de los Estudios de Milán han permitido la comprobación del valor elevado de resistencia a tracción de las raíces, evaluado entre 12 de las especies presentes en la mezcla utilizada por este específico tipo de instalaciones.

La singularidad de los valores medios de resistencia a tracción (barras verdes), son sobre todo evidentes si comparados a los datos (disponibles en literatura), relativos a algunas plantas arbustivas y arbóreas (barras blancas).

Las pruebas efectuadas en la Universidad de los Estudios de Milán, indican que las especies herbáceas, utilizadas por las intervenciones de armazón vegetal, presentan valores excepcionales de resistencia media a tracción, que sobrepasan los 205 MPa (con picos de 468 MPa, igual a aquellos de un acero de calidad mediana).



Valores de resistencia a tracción por unas de las especies utilizadas por el armazón vegetal de tierras comparados con los de algunas especies arbustivas y arbóreas

El software desarrollado para el cálculo del incremento del esfuerzo de corte y por el cálculo del factor de seguridad en las tierras con armazón de raíces.

La observación y la cuantificación de los aspectos físico-mecánicos que caracterizan las especies utilizadas, ha permitido de desarrollar un software que, valorando los parámetros insertados por el usuario (tipo de terreno, inclinación, cohesión, peso de volumen, profundidad de radicación, etc), devuelve el valor del incremento de resistencia al corte en el terreno arraigado y además enseña como resultado del cálculo sea el esfuerzo de corte adicional sea el factor de seguridad por un pendiente indefinido.

La distribución lineal del esfuerzo de corte adicional con la profundidad deriva de la formulación inicial de Waldron, 1977, modificada sucesivamente por Bonfanti y Bischetti, 2001:

$$\Delta S_r = 1.15 \left( \int_{\phi_1}^{\phi_2} (T_r(\phi) \cdot F_d(\phi)) \cdot d(\phi) \right) \cdot \frac{A_R}{A}$$

$\Delta S_r$	Incremento de resistencia al corte debido a la presencia de las raíces en el terreno
$T_r(\phi)$	función del valor de resistencia a rotura por la tracción de las raíces
$F_d(\phi)$	función de distribución de los diámetros de las raíces
$A_R / A$	relación de área efectivamente arraigada sobre el área total

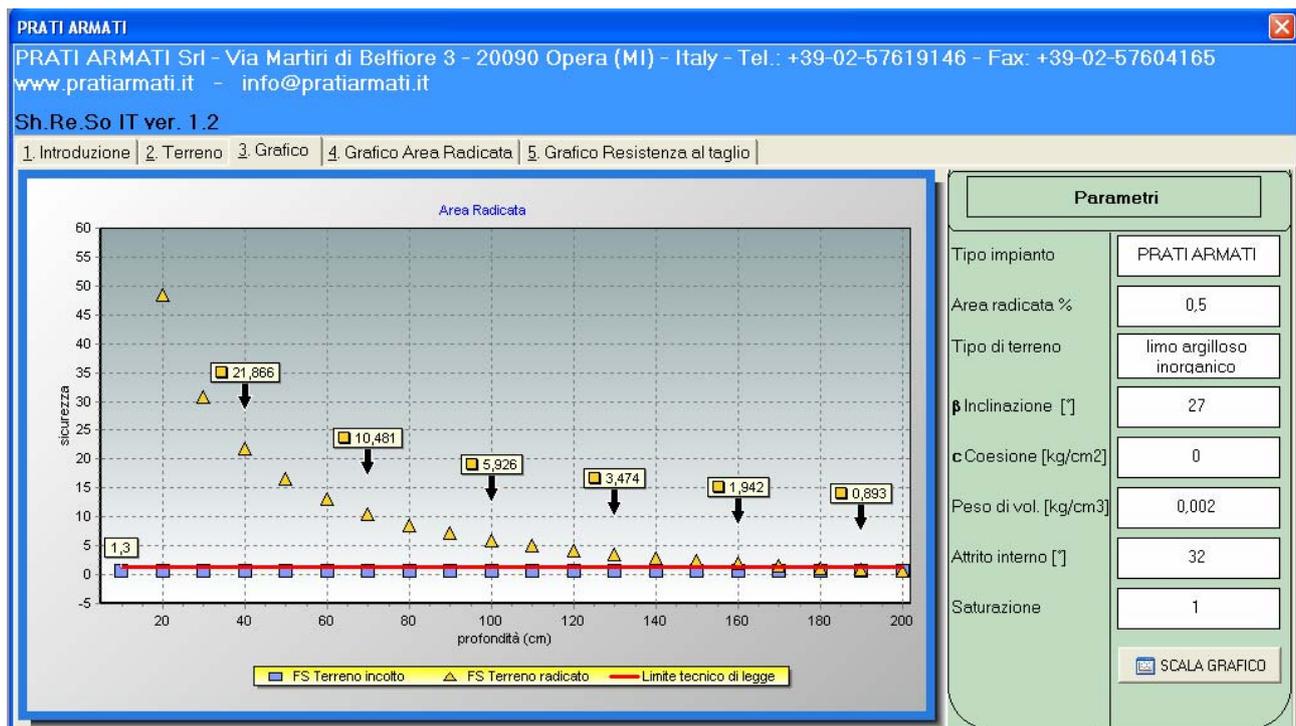
De doce de las especies utilizadas en la mezcla, muchas raíces han sido sometidas a la prueba de tracción, se han evaluado sus diámetros, ha sido averiguada la largura de radicación, y todo eso con el objetivo de conseguir los parámetros solicitados por la fórmula descrita precedentemente.

La integración de dicha función en el software con aquella que describe el comportamiento en profundidad del área arraigada (prudentemente asumido a caída lineal), nos permite caracterizar, en su totalidad, el volumen de terreno arraigado.

El instrumento así desarrollado permite valorar los resultados conseguidos, utilizando esta tecnología innovadora de armazón vegetal de tierras, en términos de incremento del esfuerzo de corte y del factor de seguridad (Fs).

Los resultados del programa pueden ser utilizados como input en los tradicionales y más complejos modelos geotécnicos de estabilidad.

En seguida se muestran los resultados conseguidos insertando en el software los parámetros relativos a una ejemplificación que confronta el terreno consolidado con armazón vegetal (curva amarilla), con el mismo tipo de terreno dejado inculco (línea recta azul). El gráfico presenta claramente como la contribución de las raíces produce un desplazamiento evidente de la curva del factor de seguridad hacia una región del gráfico caracterizada por el equilibrio.



Incremento del factor de seguridad de Tierras con armazón vegetal debida a raíces (curva amarilla)

## Combinación con las obras tradicionales

Una de las características más interesantes de las armazones vegetales de tierras por PRATI ARMATI® es que en muchos casos esta Tecnología completa, integra y mejora las obras tradicionales, civiles o de ingeniería medioambiental. Actuando en sinergia con las mismas:

- completan las funciones de protección del suelo, actuando de modo distribuido sobre toda la superficie que va a ser consolidada;
- protegen las obras civiles tradicionales;
- disminuyen el impacto en el medio ambiente, devolviendo al paisaje un aspecto natural y reverdecido.

Como enseña el esquema siguiente, en caso de erosión superficial que afecta laderas típicamente estables y en ausencia de riesgo inmediato, la lucha a la erosión superficial mediante armazón vegetal de tierras puede reemplazar, eficazmente, las tradicionales obras de consolidación, con evidentes beneficios económicos por los talleres de trabajo, mediante reducción de los gastos y ahorro de tiempo, y además produciendo un impacto positivo por el medio ambiente, gracias a los efectos de renaturalización producidos por esta innovadora tecnología



*Criterios por una correcta combinación entre PRATI ARMATI y las obras tradicionales*

En otros casos, al revés, es necesario juntar, de modo sinérgico, esta innovativa Tecnología natural con las obras civiles tradicionales o bien con intervenciones tradicionales de ingeniería medioambiental, tal como ilustradas en los ejemplos siguientes, en los que han sido realizadas combinaciones respectivamente, con las tierras reforzadas, los jaulones y las vallas de madera.



Florinas (SS)



Castelviscardo (TR)



Lumezzane (BS)

## Propiedades hidrológicas

Como subrayado por el Prof. Giovanni Calabrese <sup>2</sup> en su relación presentada en concomitancia del Congreso sobre estas tecnologías innovadoras, celebrado en Orvieto el día 5 de diciembre 2006, con el patrocinio de la Provincia de Terni:

*"[...] La vegetación es uno de los factores que influyen el equilibrio de un pendiente y su susceptibilidad al desprendimiento. Los efectos de la vegetación sobre las condiciones de equilibrio de las cuestas son:*

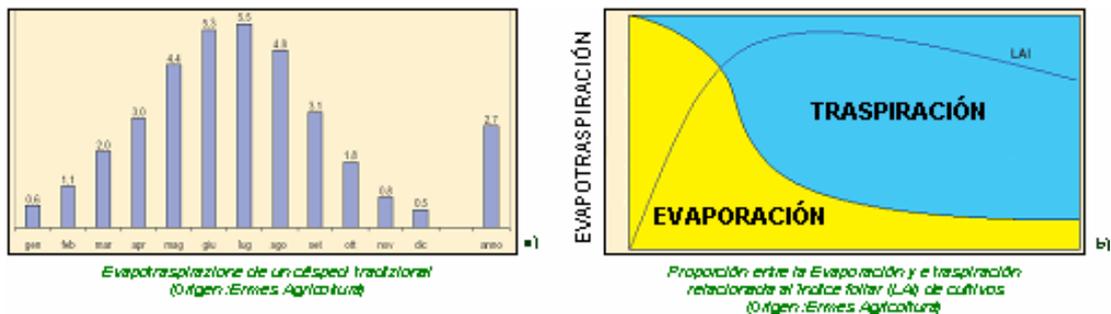
- conferir resistencia por medio de los aparatos radicales;
- aumento de la evaporación de las precipitaciones;
- disminución del grado de saturación del terreno;
- disminución de la presión intersticial;
- disminución de la infiltración;

*[...]."*

## Evapotranspiración

Una de las propiedades hidrológicas de mayor interés por este tipo de aplicaciones es la evapotranspiración de las plantas (efecto combinado entre la evaporación del suelo y la transpiración de las hojas) por el que se reduce el contenido de agua en el terreno, retardando y disminuyendo así la saturación. Ésto limita la presión en los poros de las tierras, parando la caída de cohesión en los terrenos finos (limosos y arcillosos).

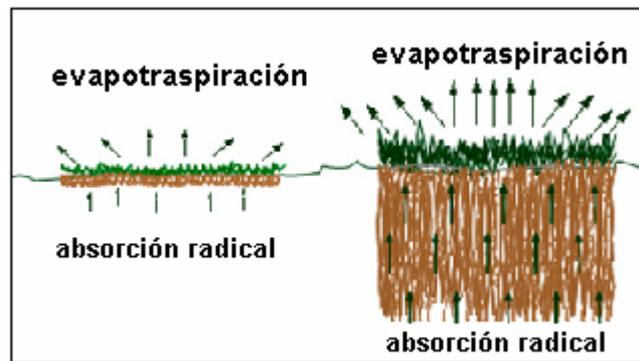
La evapotranspiración, en el caso estándar de un césped de gramíneas tradicionales (12 cm de altura), ha sido evaluada aproximadamente en 5 mm de agua al día en temporada veraniega (o bien 5 l/mq al día, como ilustrado en el gráfico a).



El gráfico b), extraído de la misma fuente, propone en cambio la relación entre la evaporación del suelo y la transpiración de las hojas en el tiempo, en razón del índice de masa foliar LAI ( $m^2$  hoja/ $m^2$  de superficie). El hecho de que, en manejo de césped a régimen, la transpiración de las hojas prevalezca es particularmente relevante, ya que ésto es el éxito de las cubiertas vegetales densas, así como propuestas por " **PRATI ARMATI®**". Al revés, dónde está ausente o carente la vegetación, durante la temporada árida el terreno va a ser afectado por un sistema de grietas que determinan (en mayoría en las áreas de llano), un aumento de la infiltración de agua y, en los taludes a fuerte inclinación, también un aumento de la erosión, con separación y hundimiento de porciones más o menos consistentes de material.

En el caso de céspedes tradicionales (ejemplo a la izquierda), la captación de agua se para a unos 30-40 cm de profundidad, que es la máxima alcanzable por este aparato radical. En las instalaciones tipo "PRATI ARMATI®", en cambio (ejemplo a la derecha), la evapotranspiración es significativamente abundante, gracias al aparato foliar mucho más desarrollado (de acuerdo con las especies seleccionadas la cubierta vegetal llega asta 50-150 cm de altura), también en razón de la mayor profundidad y de la densidad del aparato radical, que permiten captar el agua a lo largo de todo el perfil radical, hasta unos metros de profundidad.

<sup>2</sup> Ordinario f.r. de Geotécnica en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Roma "La Sapienza" – véanse la relación y el programa del congreso aquí adjuntados.



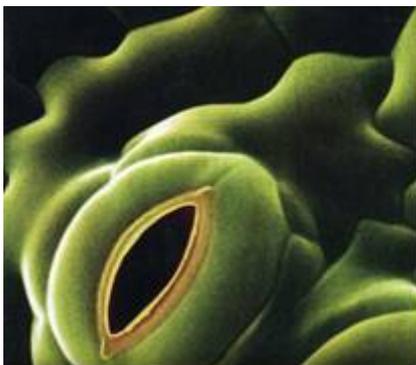
*Evapotranspiración en céspedes tradicionales (izq) y en las instalaciones de armazón vegetal (derch.)*

Estimando, prudentemente, una transpiración igual a la de un césped tradicional (puesto que por especies herbáceas a radicación profunda se pueden alcanzar valores hasta 10 veces el nivel establecido) ésta puede llegar hasta unos 5 litros/mq al día, o bien 50 toneladas de agua al día por hectárea durante la temporada veraniega.

La transpiración de las plantas es claramente más activa cuanto mayor es el agua en el terreno. En los momentos de escasez hídrica, las plantas pueden cerrar los estomas (ver la foto realizada mediante microscopio electrónico). De esta manera las especies mencionadas pueden sobrevivir en condiciones de sequía extrema, sin deshidratar excesivamente el terreno. Esta situación es verosímil por las plantas aquí descritas que, gracias a sus aparatos radicales particularmente desarrollado, y además pueden hallar el agua a grandes profundidades.

La foto siguiente (a la derecha), que se refiere a un taller en el centro de Italia donde han sido realizadas estas tecnologías, ilustra muy claramente el comportamiento mencionado arriba: en una porción de ladera se notan las mismas plantas que están en estasis vegetativa por falta de agua (plantas amarilleadas). En las zonas con aportaciones de agua localizadas, las plantas producen la evapotranspiración, mostrándose en plena lozanía vegetativa (zonas más verdes).

Al término de la pausa vegetativa, con la llegada de las precipitaciones, las instalaciones de plantas tipo "PRATI ARMATI®", se restablecen rápidamente y ajardinan completamente. Generalmente lo mismo no ocurre con las hidrosembras hechas usando especies tradicionales que, debido al limitado desarrollo del aparato radical, pueden no sobrevivir a largos períodos de sequía, tal como a menudo ocurre por las plantas arbustivas y arbóreas (frecuentemente empleadas por las obras de renaturalización), en el primer período sucesivo a la instalación.



*Estoma vegetal*



*Castelviscardo (TR) – Junio 2006*

### **Fluencia superficial y reducción de la infiltración**

Otra característica en materia ideológica, que provee ulterior importancia a los PRATI ARMATI®, es la acción realizada por el denso manto vegetal de estas instalaciones que, interceptando las precipitaciones lluviosas (también las más intensas, chubascos, tormentas, etc. ), reducen la energía cinética del agua, evitando así el derrubio superficial y protegiendo la ladera contra la erosión.

Como bien ilustrado en las imágenes siguientes, en caso de precipitaciones de gran intensidad, las que pueden ocurrir en todas las estaciones del año, la densa superficie aérea de las plantas se acomoda favoreciéndolo la fluencia superficial y, de la misma manera, el flujo de las aguas meteóricas o también los flujos de agua impetuosa.



Orvieto (TR)



Appiano (BZ)



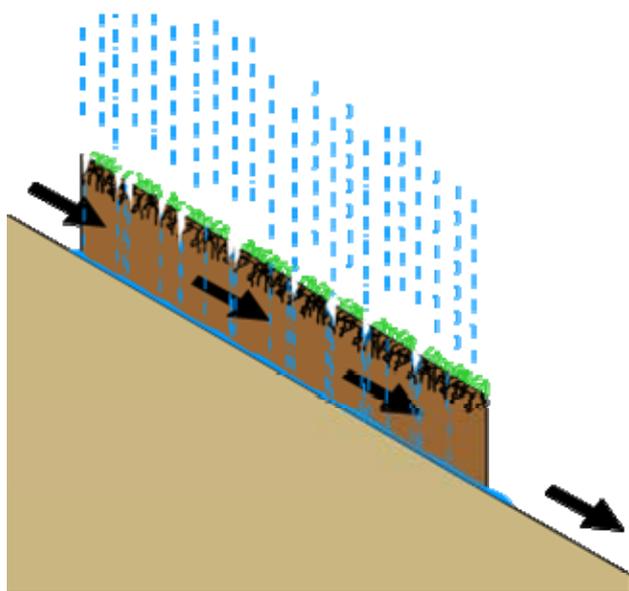
Cittadella (PD)



Cittadella (PD)

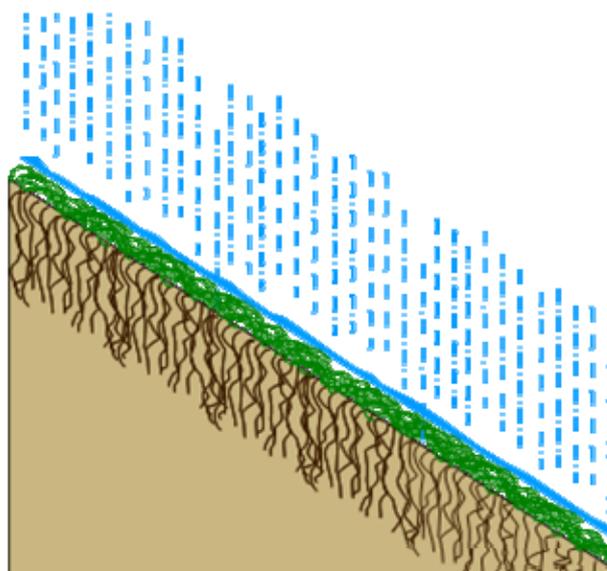
Por lo tanto los efectos debidos a las estabilizaciones de laderas resultan ser combinados: una rápida y drástica reducción de la erosión superficial y una indudable disminución de la infiltración del agua meteórica en el suelo son causa sustancial de separación y deslizamiento sub-superficial, así como ilustrado en los siguientes esquemas

**Esquema A**



Hidrosembrado tradicional con tierras desmontadas

**Esquema B**



Almacén vegetal en suelos estabilizados

En el esquema A se puede ver la siguiente situación:

- Las especies utilizadas en las hídrosembros tradicionales presentan raíces poco hundidas (con escasa resistencia a tracción), que no garantizan significativos incrementos del esfuerzo de corte y del factor de seguridad de las tierras. Además, la desecación veraniega, debida a la escasa profundidad, reduce drásticamente la presencia del manto vegetal (puesto a protección de la ladera), favoreciendo la infiltración de agua.
- Las consecuencias debidas a las abundantes lluvias son esencialmente: erosión superficial, aumento de la infiltración, alto grado de saturación del suelo, aumento de la presión intersticial y creación de planes de deslizamiento entre materiales no homogéneos y entre aquellos con características diferentes puestos en las capas de suelo contiguas. El ejemplo indicado en el esquema muestra un subsuelo arcilloso, con baja permeabilidad, y una capa superficial suelta y alterada (ej. tierras desmontadas). Esta situación es una de las más comunes en las tradicionales disposiciones de laderas. En estos casos la infiltración favorece la creación de un plan de fluencia que puede producir un deslizamiento o bien el hundimiento de la capa superficial.

Contrariamente, como enseña el esquema B, las especies PRATI ARMATI®, utilizadas por armazón vegetal de tierras, gracias a la radicación profunda y a la excepcional resistencia a la sequía, siempre aseguran una óptima cubierta vegetal. Además, tal tecnología puede ser aplicada en la mayoría de las tierras (desde los finos limosos y arcillosos hasta los groseros arenosos guijosos). El crecimiento también es garantizado por las rocas débiles y sueltas y además, en terrenos prácticamente estériles, sin necesitar aporte de terreno vegetal, y por eso evitando el posible desarrollo de planes de fluencia.

En todas las temporadas del año, se tendrá, por lo tanto, la completa protección de laderas mediante:

- Bloqueo de la erosión y el arroyamiento superficial.
- Disminución de la infiltración, gracias a la fluencia superficial del agua favorecida por el denso manto vegetal que se acomoda en caso de fuertes precipitaciones.
- Aumento de la evapotranspiración profunda.
- Disminución del grado de saturación del terreno.
- Disminución de la presión intersticial.
- Aumento de la cohesión.
- Asignación de resistencia al corte del suelo por medio de los aparatos radicales.

Para conseguir un correcto régimen de las aguas superficiales, el denso manto vegetal de los PRATI ARMATI®, acomodándose favorece la fluencia superficial y por lo tanto la recogida de las aguas bajo el escarpe, donde se va convoyando y regularizando el flujo por medio de regaderos y fosos de guardia. Esta situación, ilustrada en la foto siguiente, se refiere a una instalación realizada por la Provincia de Terni sobre laderas muy empinadas en el territorio del Ayuntamiento de Orvieto



Orvieto (TR)

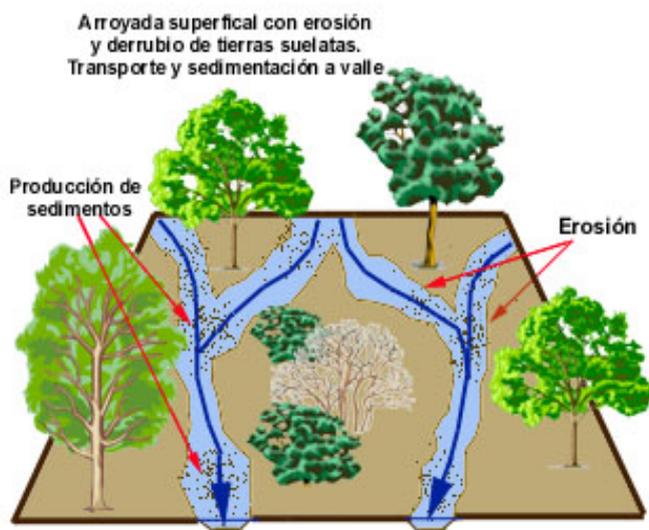
Peculiaridad del regadero

Gracias a esta característica el manto vegetal realizado en este tipo de instalaciones se comporta como los techos de las cabañas (realizados justo con la parte epigea de plantas herbáceas), que favorecen la fluencia del agua consiguiente a las lluvias, (también las más intensas), impermeabilizando la vivienda.



También en caso de lluvias ligeras, por fin, la excesiva infiltración es reducida o eliminada gracias a la evapotranspiración del agua en exceso, como descrito arriba.

Este tipo de intervenciones, a protección de laderas y taludes, es mucho más eficaz de algunas intervenciones de tipo naturalístico, las que prevén instalaciones de especies arbustivas y arbóreas. Estas plantas, de hecho, como enseñado en el esquema de izquierda, no garantizan la completa cobertura vegetal de la ladera, de modo que entre ellas se produce un fuerte flujo de agua superficial con erosión y derrubio del terreno suelto. La foto a la derecha evidencia muy bien este efecto.



## Renaturalización

Existen casos en los que el Cliente quiere excluir el desarrollo de especies arbóreas y arbustivas subsiguientes a las intervenciones, por ejemplo en las obras en álveo de los ríos, en los que la presencia de especies de alto fuste constituye un serio problema de manutención. En dichos casos la renaturalización puede ser controlada con intervenciones de desbrozo sistémico en presembrado y con siguientes intervenciones contempladas y específico control de las infestantes.

En los casos en que la presencia de especies autóctonas no constituya un problema, las intervenciones de armazón vegetal del terreno pueden favorecer el completo restablecimiento de la vegetación natural, ya que las especies herbáceas a radicación profunda utilizadas por esta tecnología, además de garantizar la rápida cobertura y la protección de las laderas sometidas a erosión, se comportan como especies pioneras, capaces, además, de desarrollarse sobre suelos pobres en sustancias orgánicas y elementos nutritivos. Por eso los PRATI ARMATI® favorecen el asentamiento siguiente de plantas arbustivas y arbóreas sobre terrenos consolidados, aumentando la fertilidad de ellos.

Este proceso de renaturalización, que se puede definir como un relevo ecológico, contempla las siguientes fases:

- las especies herbáceas a crecimiento rápido consolidan rápidamente, producen humus y mejoran la estructura orgánica del terreno;
- con el pasar del tiempo, las semillas llevadas por el viento, los pájaros u otros animales, o bien las semillas y los esquejes de propósito introducidos en fase de instalación, pueden arraigar con facilidad sobre un terreno consolidado, sin correr el riesgo de ser extirpados por el continuo derrubio;
- después de algunos años, las especies arbóreas y arbustivas se desarrollan lozanamente, reintegrando completamente el sitio en el medio ambiente, restableciendo y recuperando el paisaje circunstante.

La renaturalización, como antes señalado, puede ser favorecida y acelerada aportando semillas autóctonas, contextualmente o en fases siguientes a la hidrosembrado, o bien con el uso de esquejes, antes o después de la instalación sin ninguna diferencia.



*Sciacca (AG): consolidación y renaturalización de una ex-cantera de arcilla*



*Trento: renaturalización de una lengua glacial estéril en una ex-cantera de inertes*



*Comarca de Bolzano: consolidación y renaturalización con siguiente desarrollo de matorrales autóctonos*

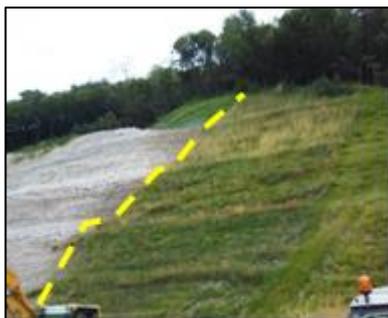
## No infestación

Las especies herbáceas utilizadas en las instalaciones de armazón vegetal PRATI ARMATI® no presentan ningún problema de infestación. Recordamos que se suelen definir infestantes aquellas especies que se propagan de modo virulento sin control y no poseen alguna utilidad.

En todas las obras realizadas con esta Tecnología existe una precisa demarcación entre la vegetación de la superficie consolidada y aquella excluida por el tratamiento, a prueba de la falta de infestación debida las especies utilizadas. Esta situación se mantiene a distancia de años, durante los que no se hallan infestaciones de ningún género, como bien ilustrado en las fotos siguientes.



Ancona



Appiano (BZ)



Florinas (SS)

### Especies autóctonas

Esta innovadora Tecnología utiliza una mezcla de diferentes especies, entre gramíneas y leguminosas, muchas de las cuales autóctonas, originarias de los Países europeos y de muchos otros Países del mundo. Las especies empleadas en cada instalación, diferenciadas por variedad y origen, son elegidas con base en las características edafológicas y climáticas del sitio, también tomando en consideración las solicitudes propuesta por el Cliente.

En fase de instalación, además es posible añadir simientes de especie herbáceos, arbustivos o arbóreos locales, para favorecer el siguiente restablecimiento de las condiciones naturales del sitio.

### Resistencia al fuego

Las especies utilizadas por armazones vegetales del terreno tienen una elevada capacidad de rechazo después de los incendios (foto de izquierda).

En la foto a la derecha, en cambio, es evidenciado el efecto destructivo e irreversible de un incendio sobre una red en plástico sembrada de hierbas mediante hidroseembra tradicional.

Además, algunas de las especies utilizadas, en edafo-climáticas idóneas, se mantienen lozanas durante todo el período veraniego, contrastando así el desarrollo y la propagación de los incendios.



El devuelvo después de un incendio



Geored y hidroseembra tradicional después de un incendio

### Tolerancia a la sequía

Normalmente las instalaciones de armazón vegetal de la tierras no necesitan riegos, algo que representa un requisito imprescindible para las consolidaciones y la renaturalización de escarpaduras de carreteras, de autopista, de ferrocarriles, de canteras, de minas y de vertederos, y más en general para instalaciones en zonas en las que no es imaginable realizar instalaciones de riego.

La notable capacidad de resistir a la sequía de las especies utilizadas, procede de la profundidad del aparato radical (que siempre logra la humedad presente en las capas más profundas del suelo), y también de la fisiología de las plantas empleadas.

Las plantas, así como la mayoría de los sistemas naturales, son muy hábiles en auto-arreglarse; cuando el terreno muestra elevados contenidos de humedad ellas extraen el agua en exceso de las capas profundas actuando de modo que evapore, mejorando así las propiedades geotécnicas del suelo. Durante las sequías la evaporación se reduce copiosamente, gracias a la capacidad que tienen las plantas de cerrar los estomas, (ver la foto al microscopio electrónico en las páginas anteriores).

En la foto a mano izquierda está representado el taller de trabajo realizado en Sciacca (AG) (marzo de 2004), sobre un terreno de arcillas gris-azules, colocado en una ladera batida por los vientos de siroco, procedentes del sur, que producen temperaturas veraniegas bastante tórridas. Las instalaciones tuvieron un grande éxito a pesar de la falta total de aportaciones regadías.

La foto a la derecha se refiere al vertedero RSU de "Chilivani Ambiente" (ayuntamiento de Ozieri - SS), donde los riegos, aunque fueron previstos a lo largo de todo el verano, fueron completamente suspendidos desde finales de junio. A pesar de todo, las obras han sobrepasado óptimamente la sequía del verano de Cerdeña mostrándose completamente reverdecidas en el mes de noviembre.



Sciacca (AG): ex cantera de arcillas



Vertedero RSU en Ozieri (SS)

### Resistencia al salino

La mezcla de semillas incluyen especies muy rústicas capaces de tolerar concentraciones salinas muy elevadas, hasta unos 10.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (correspondiente aproximadamente a 1/5 de lo del mar).

En las imágenes siguientes se ilustran unas instalaciones sobre escarpaduras a mar: a mano izquierda la instalación realizada por el Ayuntamiento de Ancona en el año 2002; al centro una instalación realizada en el año 2004 por el Ayuntamiento de Castelsardo (SS), que se asoma directamente sobre el mar, en una zona expuesta al fuerte viento de mistral; a la derecha la intervención realizada por la autoridad Portuaria de Génova en el año 2002.



Ancona



Castelsardo (SS)



Puerto Génova

## Manutención

Las instalaciones PRATI ARMATI®, a régimen, no necesitan de alguna manutención, tampoco cortes y podas, de esta manera se eliminan los gastos de gestión predichos para este tipo de obras.

Estas instalaciones, además, contribuyen con optimizar la eficiencia de obras civiles como regaderos y drenajes, reduciendo ulteriormente el coste de manutención para el Cliente.

Las fotos siguientes se refieren a una obra realizada sobre el gran derrumbe de Ancona, en la zona del bypass: a mano izquierda se puede ver un regadero obstruido, en una zona no protegida por la instalación de armazón vegetal; a la derecha un regadero perfectamente limpio (contiguo al anterior) consolidada con esta innovadora Tecnología.



*Ancona – regadero atascado, en área no protegida por instalación de armazón*



*Regadero perfectamente limpio en área protegida*

## Resistencia a la inmersión

Las especies PRATI ARMATI®, hasta ahora mencionadas, presentan una notable resistencia a la inmersión y resultan particularmente idóneas a la consolidación de orillas de presas, de ríos y de arroyos.

Con este fin, proponemos unas imágenes de la obra realizada con este tipo de instalación (realizada por el Genio Civil, Ministerio de los LL.PP, Responsable (?) de las Aguas), a lo largo de la orilla del río Noncello (afluente del Meduna), en Pordenone, derrumbada a causa de aluviones.

Realizado entre 1998 y 2000, combinando, con un correcto planeamiento, las especies herbáceas a radicación profunda (PRATI ARMATI®) con otras obras de ingeniería medioambiental, (por ejemplo vallas en madera y drenajes de piedra). La instalación pervivió a aluviones de pequeña entidad y a las aluviones del noviembre de 2000 y 2002, en cuya ocasión el nivel del agua subió más de unos 20 metros, sumergiendo completamente la vegetación y llevando la superficie libre del agua a cotas superiores a unos 2 metros respcto al nivel del campo.

Dichos fenómenos se prolongaron unos 4 días cada uno y el caudal subió desde 200 hasta 1400 mc/sec.

En las imágenes que siguen, también se evidencia el área elegida con función de parcela testigo, dónde no se ha realizado algún tipo de consolidación. En consecuencia de los acontecimientos recordados, estas superficies padecieron un derrumbamiento, retrocediendo de unos 10 metros, y padeciéndolo desarraigo de los árboles presentes.

Este acontecimiento comprueba la efectiva eficacia de las intervenciones tipo PRATI ARMATI®, que han impedido cualquier erosión, hundimientos o derrumbamientos.



trabajos de acomodación de las orillas



hidrosembra v siito correcaido v aprontado



La misma instalación después de 1 año



Obra sumergida por la aluvión de Nov. 2002



Un árbol arrastrado por el desprendimiento en la zona tratada



Detalle del área no consolidada y desmontada, con árboles desarraigados v retiro de la ribera por más de 10 metros



Vista conjunta de las obras de consolidación después 2 años de la intervención

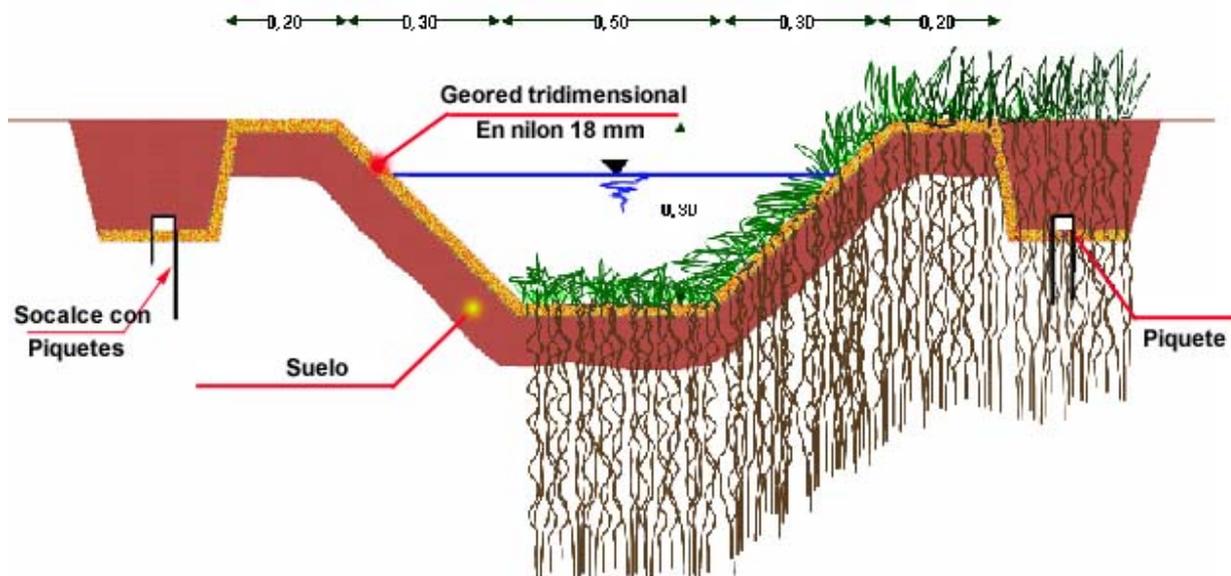


## Protección de canales y fosos de guardia

Para garantizar el correcto régimen de las aguas meteóricas o la protección de canales, es posible juntar este tipo de tecnología con otras obras, por ejemplo las georedes tridimensionales de nailon de 18 mm, hundida de tierra y sembradas con este tipo de manto vegetal (como ilustrado en el esquema abajo).

La instalación de armazón vegetal ancla en profundidad la geored, protegiéndola en superficie gracias a la masa foliar que intercepta y ralentiza el flujo, garantizando resultados más rápidos y duraderos en el tiempo.

Éste permite mejorar el anclaje de georedes y la protección del canal, hasta en caso de flujos de agua que alcancen y superen la velocidad de 5/6 m/sec.



La realización de esta tipología de canales contempla las siguientes operaciones por el pose en obra:

- excavación del canal;
- posa en obra de georedes;
- refuerzo lateral de georedes, fijado con piquetes y cobertura con tierra;
- obstrucción de la geored causada por la tierra sacada con la excavación;
- siembra de hierba (ya incluida en las elaboraciones mencionadas en el capítulo precedente)

Debido a la rusticidad de las especies mencionadas, en este caso no es necesario prever la aportación de tierra vegetal para atascar la geored, pero sería posible reutilizar el mismo terreno producido con la excavación de los canales.

Por lo que concierne las instalaciones de mallas/georedes propuestas por el mercado en otros materiales, se prefieren aquellas de nailon, debido a superiores prestaciones técnicas y a la mayor duración en el tiempo.

La eficacia de este manto vegetal en proteger los canales en tierra reforzada con georedes, y de hecho de acrecentar su resistencia a la velocidad de los flujos (que van de 2,5 m/sec, por simples georedes atascados, a 5-6 m/sec o más), es evidente en el ejemplo siguiente, que se refiere a una intervención realizada con esta tecnología por el Ayuntamiento de Ancona.

En las fotos a la izquierda se evidencia un canal hecho con georedes de hierbas conforme a métodos tradicionales. La escasa eficacia anti-erosión se evidencia gracias al pozuelo, puesto abajo del canal de drenaje, ya casi completamente atascado por el material debido a la erosión, foto abajo a la izquierda.

Las fotos a la derecha, en cambio, se refieren a un área contigua tratada con manto vegetal tipo " PRATI ARMATI®". En este caso el canal de drenaje resulta completamente protegido por un denso manto vegetal, que impide completamente la erosión, como enseñado por el pozuelo de drenaje, puesto bajo el canal mismo, perfectamente limpio después de dos años de la intervención (foto abajo a la derecha).

Canal realizado mediante combinación entre georede (en plástico) y hídrosembas tradicionales



Canal con geored en plástico combinado con armazón vegetal "prati armati"

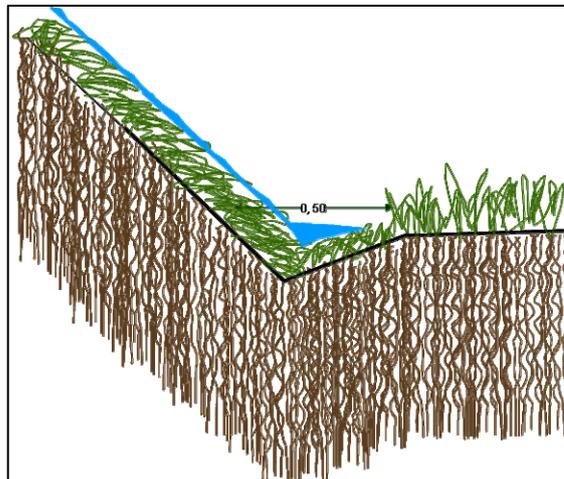


Este tipo de armazón vegetal es, de todas formas, eficazmente combinable con todas las tradicionales técnicas de ingeniería medioambiental realizadas para proteger canales y ríos, que incluyen el empleo de vallas de madera, macizadas, jaulones o también el pose de bloques de hormigón de ajardinar.

Este tipo de instalación, en efecto, protege las otras obras, actuando en sinergia con las mismas.

En los casos en que no existan situaciones críticas como la velocidad de fluencia, (evaluada entre los 1,5 m/sec, hasta que la instalación de armazón vegetal no haya ido completamente a régimen), también es posible realizar con esta tecnología simples fosos de guardia o regaderos sembrados por especies de hierbas, como aquellos en el esquema aquí al lado.

Éste tipo de instalación, que permite minimizar los costes y la complejidad de las intervenciones, realizando orillas consolidadas y reverdecidas o también simples fosos de guardia en tierras sembradas, por la singular tecnología descrita en precedencia (ver esquemas siguientes).



El denso manto vegetal conseguido por sembra de hierbas de armazón vegetal, junto a la acción del aparato radical (distinguido por la notable profundidad y la ancha resistencia a tracción), garantizará, una vez a régimen, la excelente protección de la orilla o del foso de guardia y su mantenimiento durante el tiempo.

Abajo proponemos dos ejemplos de aplicaciones sobre corridos de agua, relativos, respectivamente, a un canal en provincia de Brescia, juntado a vallas de madera, y a un canal en provincia de Matera, en combinación con malecones.



*Octubre de 2001: orilla de un canal derrumbada en ocasión de una riada en provincia de Brescia*



*El mismo sitio consolidado por PRATI ARMATI Mayo 2002*



*Noviembre de 2006: hidrosembrado por PRADOS ARMADOS combinado con malecones en provincia de Matera*



*El mismo sitio consolidado y reverdecido en el mayo de 2007. Se nota la vegetación atraída en la dirección de la corriente, después de una riada*