

ESTABILIZACIÓN DEL BARRANCO DE MASSA MARTANA (ITALIA) MEDIANTE EL USO MÚLTIPLE DE GEOSINTÉTICOS.

Luis Eduardo Russo¹
Giuseppe Federici²

¹ Huesker srl. (e-mail: l.russo@huesker.it)

² IAG Progetti srl (e-mail: federici@iagprogetti.it)

RESUMEN:

El "Fosso della Rocca" es un barranco adyacente al pueblo de Massa Martana (Italia) que, debido a fenómenos de erosión regresiva de las paredes, presentaba graves condiciones de inestabilidad.

Para eliminar el problema de continuos desmoronamientos se decidió rellenar la garganta, de 38 m de altura por 160 m de longitud aproximadamente, usando escombros provenientes de la demolición de edificios locales y suelos de canteras vecinas.

El frente del terraplén se estabilizó mediante la construcción de 7 taludes con 70° de inclinación y 5 m de altura cada uno aprox., reforzados usando geomallas con resistencias decrecientes de 200 kN/m a 55 kN/m y un muro de contención en hormigón armado al pié.

El problema de la estabilidad global de la obra se resolvió usando capas múltiples de geomallas de 800 kN/m. De este modo se evitó la ejecución de pilotes armados de gran diámetro (1200 mm) y se obtuvo una solución técnica flexible y económicamente conveniente.

Debido al uso de escombros cementicios se preveía un pH superior a 10, por este motivo se adoptaron geomallas en polivinilalcohol que, además de poseer elevado módulo elástico y baja fluencia, son resistentes a los ambientes alcalinos.

El torrente existente, que corre sobre el nuevo terraplén, se impermeabilizó con un geocompuesto bentonítico y se protegió con una geored antierosión.

En el cuerpo del terraplén se incorporó un sistema de drenaje de tubos verticales y horizontales fisurados interconectados con plataformas de gravas drenantes, todos envueltos con un filtro geotextil tejido para evitar la colmatación.

ABSTRACT:

The "Fosso della Rocca" is one of the 3 flumes around the municipality of Massa Martana (Italy). As a result of progressive erosion problems the cliff near the village became subject to a condition of critical stability.

In order to solve these stability problems and reclaim land space around the village it was decided to fill the 38 m high ravine for a length of approx. 160 m, using the rubble from the demolition of local buildings and fill material from neighbouring quarries.

The front of the embankment has an amphitheatre shape constructed from seven banks of steep reinforced slopes, each approx. 5 m high. At the toe, a reinforced concrete wall has been constructed to prevent further erosion problems. Overall stability problems of the new embankment were solved using very long length layers of 800 kN/m PVA geogrids. This solution was chosen to avoid the use of large concrete piles, resulting in a more economical and flexible solution.

In the final design profile, a stream runs above the new ground level along a canal with trapezoidal section. The stream flows down along the embankment front through water chutes and dissipation basins. To limit direct infiltration into the constructed soil mass a special roughened GCL was adopted and the surface of the confining soil layer was protected against erosion with geomats.

A drainage system was incorporated into the body of the embankment with several horizontal drainage blankets interconnected with vertical pipes. An appropriate geotextile filter was used to avoid clogging.

Palabras claves: Taludes reforzados, Geomallas, filtración, geocompuesto bentonítico, control de la erosión.

INTRODUCCIÓN

Massa Martana es una ciudad situada en la provincia de Perugia (Italia) que está fundada sobre una placa continental sedimentaria del Pleistoceno inferior, muy estratificada y fuertemente fracturada. La erosión causada por los torrentes que corren alrededor de la ciudad crearon tres grandes gargantas en las adyacencias de los lados Norte, Oeste y Sur del altiplano, creando barrancos verticales sujetos a continuos eventos de derrumbes y problemas de desmoronamientos rotacionales. Siendo una zona sísmica, los sucesivos terremotos provocaron un rápido deterioro de la situación general, poniendo en una condición de riesgo las construcciones cercanas al borde del barranco. En particular, los daños causados por el intenso terremoto de Mayo del 1997 a la ciudad de Massa Martana y al barranco mismo, condujeron a las autoridades de la región Umbra a optar por interventos de tipo radical.

Para solucionar definitivamente los problemas de desmoronamientos progresivos y para recuperar terreno perdido en el arco de los años en las inmediaciones del pueblo, se decidió rellenar la garganta de 38 m de altura por una longitud de 160 m aproximadamente, usando parcialmente escombros provenientes de la demolición de edificios locales, que habían sido destruídos durante el último terremoto, y suelos provenientes de canteras vecinas.

El frente del terraplén se estabilizó mediante la construcción de 7 taludes con 70° de inclinación y 5 m de altura cada uno aprox. reforzados con geomallas; además el frente se moldeó a forma de anfiteatro de modo que los lados apoyaran a las paredes laterales del barranco. Al pié del terraplén se construyó un muro de contención en hormigón armado para prevenir potenciales fenómenos de erosión regresiva del torrente que atraviesa la obra. Debido al uso de escombros con elevado porcentaje de sustancias cementicias se preveía que el pH fuese superior a 10, por este motivo se adoptaron geomallas en polivinilalcohol resistentes al ataque químico en ambientes básicos; las mismas se caracterizan, además, por el bajo nivel deformativo a breve y largo plazo bajo la acción de cargas constantes (baja fluencia).

En el perfil final, el torrente existente corre sobre el nuevo terraplén a través de un canal a doble sección trapezoidal. Para impedir la infiltración directa del agua en el interior del cuerpo del terraplén, se utilizó un geocompuesto benonítico impermeabilizante con superficie rugosa de modo de evitar deslizamientos del terreno confinante de cobertura. Este último fué, a su vez, protegido superficialmente contra la erosión del agua con georedes sintéticas rellenas con gravas y bitumen. El torrente corre sobre el frente de los taludes reforzados a través de toboganes y plateas de disipación de energía realizados con losas de hormigón revestidas con lajas.

Dado que el terraplén se fundaba sobre suelos muy blandos, el problema de estabilidad global de la obra se solucionó utilizando capas múltiples de geomallas de alta resistencia (800 kN/m) que alcanzaban hasta 80 metros de longitud. Esta elección permitió evitar la ejecución de pilotes de hormigón armado de gran diámetro (1200 mm) dispuestos a trebolillo obteniendo, de esta manera, una solución técnica flexible y económicamente conveniente. El resto de los taludes se reforzaron con geomallas con resistencias decrecientes desde 200 kN/m, en la parte baja del terraplén, a 55 kN/m en la parte alta.

En el interior de la masa del terraplén se incorporó un sistema de drenaje tridimensional constituido por tubos verticales y horizontales fisurados de gran diámetro que se interconectaban con plataformas de horizontales de gravas drenantes. Se utilizó un filtro geotextil tejido envolvente para evitar problemas de colmatación y oclusión de los drenes.

Por razones de seguridad, las paredes del barranco fueron cubiertas provisoriamente con redes metálicas fijadas con tirantes pasivos a la superficie y ancladas superiormente a un cordón en hormigón armado fundado sobre micropilotes. Estas redes tenían la función de prevenir que potenciales desmoronamientos pudieran sepelir el personal durante la ejecución de los trabajos en el fondo de la garganta.

PRINCIPALES DERRUMBES Y OBRAS PRECEDENTES

Antes de la ejecución de las obras actuales, era posible observar un evidente cuerpo de desmoronamiento latente (figura 1) localizado a lo largo de la pared Norte que confinaba con la ciudad de Massa Martana.



Fig. 1: Zona de derrumbe al pie del muro de contención que circunda la ciudad.

Este derrumbe, ocurrido por la primera vez en los años 60, se reactivó numerosas veces en fases subsiguientes. Debido al flujo de agua del torrente “Fosso della Rocca”, el cuerpo del desmoronamiento había sido parcialmente erosionado al pie y, para mantener los efectos erosivos bajo control, se habían dispuesto en las zonas críticas gabiones rellenos con piedras.

Sobre el mismo lado, en dirección de la garganta del barranco, otro importante desmoronamiento se produjo el 29 de Marzo de 1981 (Figura 2). Debido al colapso de la pared, caracterizado por movimientos de tipo traslacionales y rotacionales, se acumularon enormes cantidades de capas detríticas al pie del barranco.



Fig. 2. Vista de la parte superior del desmoronamiento del 1981.

El material acumulado en el fondo del barranco estaba formado por bloques de arenas travertinas mezcladas con limos arenosos y gravas. Detrás de la faz de la pared, se podía observar un escalón de 50-60 cm, que señalaba de manera evidente la presencia de superficies de deslizamiento más profundas.

El análisis de la situación general revelaba que amplias áreas se encontraban en condiciones de estabilidad precaria, circundadas por fracturas y superficies estratigráficas discontinuas. Además, fué posible establecer que la regresión progresiva de la pared se debía también a efectos erosivos causados por el agua y fenómenos termoclásticos. Estos mecanismos se agravaban ulteriormente debido a la naturaleza incoherente del suelo.

PRUEBAS EN SITU Y EN LABORATORIO

Además de las pruebas realizadas en los años precedentes, se efectuó un programa extensivo de pruebas en sitio y en laboratorio de modo de obtener una caracterización específica de toda el área del “Fosso della Rocca”. Entre Noviembre del 2001 y Enero del 2002 se realizaron 5 sondajes mediante perforaciones, de 25 a 30 metros de profundidad. Sobre las muestras indisturbadas tomadas in situ se efectuaron una serie de pruebas de laboratorio, y en particular: clasificación de los suelos, granulometría, límite líquido y de plasticidad, resistencia al corte (de pico y residual), en condiciones drenada y consolidada, no drenada consolidada, prueba triaxial y pruebas de permeabilidad. Además, se efectuó una serie de pruebas in situ como la prueba STP, pruebas de permeabilidad (del tipo “Le Franc”), pruebas con el “Pocket penetrometer”, de modo de evaluar la consistencia y la resistencia a la compresión no confinada de los suelos cohesivos saturados y, también, se instalaron varios piezómetros para conocer el andamio en el tiempo del agua en el subsuelo.

GEOLOGÍA

El corte de la vegetación que cubría las paredes del barranco permitió obtener informaciones más precisas acerca de la disposición de los estratos de suelos y permitió completar los datos recojidos con las pruebas de laboratorio y en sitio. Se analizó la situación geológica e hidrogeológica que creaba problemas de inestabilidad, como así también las características lithoestratigráficas de toda el area implicada en la obra y las características sísmicas de la zona.

En líneas generales, los estratos de suelo están formados por un estrato basal de depósitos fluvio lacustres (S. María de Siciliano), prevalentemente limosos y arenosos y una formación superior (Acquasparta), compuesta por una secuencia de capas de arcilla alternadas con arenas limosas y arenas medio gruesas, con incrustaciones carbonáticas y, al final, capas calcáreas litoides.

Desde un punto de vista sísmico, el pueblo de Massa Martana ha sido dividido en 5 microzonas y, por este motivo, la aceleración sísmica a/g característica de esa región debió incrementarse con diferentes factores de amplificación sísmica. En este caso específico, en la parte superior del barranco se aplicó un factor de amplificación igual a 2, mientras al pié del barranco (en la zona del lecho del torrente del “Fosso della Rocca”) el factor de amplificación era 1,5.

SOLUCIÓN GEOTÉCNICA

Descripción general del proyecto.

La situación general de estabilidad precaria descrita precedentemente, agravada por la progresiva erosión de las paredes del barranco, representaban un peligro real para las construcciones circundantes del pueblo y, particularmente, para los edificios del centro histórico.

El objetivo del proyecto fue solucionar definitivamente los problemas de estabilidad recuperando, al mismo tiempo, parte del area perdida paulatinamente con el pasar de los años. Con esta perspectiva se decidió rellenar la garganta, la cual tiene la forma de una letra “V” angosta vista en planta, por una longitud total de 160 m aproximadamente, donde en el extremo abierto tiene unos 90 m de ancho, con un desnivel general del orden de los 38 m. El volumen total de suelos de relleno usados fue 180.000 m³ aprox..

El material de relleno fue un mixto de escombros (tamaño máximo 100 mm) provenientes de los edificios de Massa Martana demolidos después del terremoto de 1997 y diferentes tipos de rellenos provenientes de canteras de los alrededores.

Esta solución presentaba diferentes problemas técnicos para enfrentar, los cuales fueron resueltos adoptando diversos geosintéticos que desarrollaban diferentes funciones específicas, y en particular:

- Refuerzo: Estabilización del frente y de la base del terraplén con geomallas en PVA
- Filtración: geotextido filtrante usado en el sistema de drenaje incorporado en el cuerpo del terraplén
- Impermeabilización: geocompuesto bentonítico utilizado para impermeabilizar el canal del Fosso della Rocca.
- Control de la erosión: georedes sintéticas empleadas para proteger los taludes secos y mojados.

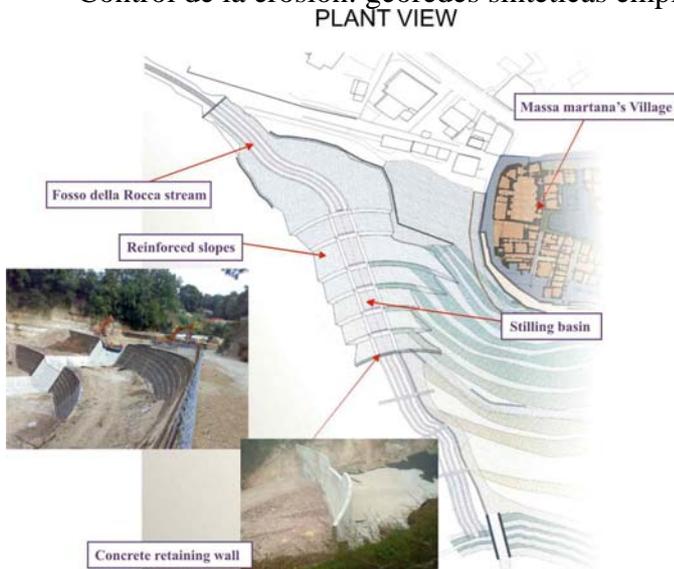


Fig. 3. Vista de la planta del proyecto

Refuerzo: Estabilización del frente y de la base del terraplén con geomallas en PVA

El frente del terraplén ha sido estabilizado mediante la construcción de 8 taludes reforzados, 7 de 5 m de altura y uno de 3 m, por un total de 38 m de altura, separados por bermas. La forma del perfil frontal se definió en función del diseño hidráulico de los saltos que debía efectuar el canal central que atraviesa la obra. El torrente corre sobre el terraplén por unos 70 m y luego desciende mediante una serie de 6 toboganes de 5 m de altura con respectivas plateas de disipación de energía con longitudes que varían de 10,5 m a 15,90 m.

El suelo de fundación del terraplén se mejoró con una capa compactada de rocas trituradas de cantera. Debido al uso de material de demolición para el relleno parcial del terraplén, se preveía un grado de alcalinidad elevado ($9 < \text{pH} < 12$). Por esta razón se adoptaron geomallas hechas con fibras de polivinil alcohol (PVA). Además de la elevada resistencia a los ambientes básicos, las geomallas en PVA se caracterizan por poseer un elevado módulo elástico a breve y largo plazo, en otras palabras, se caracterizan por la limitada deformación a rotura ($\epsilon \leq 6\%$) y la baja fluencia.

Los frentes de los taludes reforzados tienen 60° de pendiente, pero en correspondencia con los toboganes se moldearon siguiendo la forma trapezoidal de la sección hidráulica. Para mantener regular el frente de los taludes y para facilitar la construcción se usaron encofrados, realizados con redes metálicas electrosoldadas hechas con barras $\phi 8\text{mm}$ y malla $15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$, que quedan perdidos en los taludes.

Además, en el frente de cada estrato reforzado se utilizó una red sintética con malla cuadrada de $3,5\text{ mm}$ de apertura para evitar la erosión del terreno fértil dispuesto corticalmente en el frente.

En la siguiente tabla se muestran los parámetros geotécnicos considerados para representar los diferentes tipos de suelos que fueron adoptados en los cálculos de estabilidad, partiendo desde los estratos más profundos hasta los más altos:

Tabla 1. Resumen de los parámetros geotécnicos adoptados

Tipo de suelo	Espesor [m]	ϕ [°]	C [kN/m ²]	γ [kN/m ³]
Limo arenoso	Estrato inferior	26	0	20
Arena limosa	2.7	30	0	20
Arcilla y limo	2.8	25	50	20
Limo arenoso	6.6	26	0	20
Arena limosa	6.4	30	0	20
Suelo mejorado	4.0	35	0	20
Capas drenantes (gravas)	-	35	0	20
Relleno del terraplén	-	27	0	20
Relleno del suelo reforzado	-	35	0	20

La napa freática ha sido considerada a una profundidad de -2 m desde la superficie del terreno.

Debido a las pobres características geotécnicas del suelo de fundación y a la fuerte acción sísmica ($0,14g$), para estabilizar toda la masa del terraplén no fue suficiente reforzar solo el frente de los taludes, ya que se presentaban superficies críticas de deslizamiento profundas que evidenciaban problemas de estabilidad global. La idea inicial era realizar pilotes armados de gran diámetro ($\phi = 1200\text{ mm}$) dispuestos a trebolillo al pie del terraplén para interceptar las superficies de deslizamiento profundas y aumentar, de este modo, la resistencia al corte. Esta solución presentaba dos inconvenientes: por un lado el elevado costo y por otro era una estructura rígida localizada a la base de una estructura de naturaleza flexible como el terraplén y, en consecuencia, no podía acompañar los cedimientos y las deformaciones de la masa de suelo. Además, visto que había suficiente espacio detrás del frente del terraplén se decidió interceptar las superficies críticas de deslizamiento con largas geomallas de alta resistencia extendidas horizontalmente. De este modo se obtuvo una solución estructural afín con la obra en general, económicamente conveniente y que permitió ahorrar tiempo de ejecución.

Durante la fase de diseño, se realizaron cálculos de estabilidad interna, compuesta, al deslizamiento y global del terraplén, en su totalidad y de cada talud, usando superficies de deslizamiento circulares (Bishop) y poligonales (Janbu). Los coeficientes de seguridad mínimos admisibles se establecieron del

siguiente modo: a) $FS \geq 1,3$ en condiciones sísmicas adoptando la aceleración horizontal de 0,07g típica de esa región; b) se aceptó un coeficiente $FS \geq 1,1$ en condiciones sísmicas cuando se aplicaba el factor de amplificación local de 2 ($a/g = 0,14$). Además, se efectuaron los cálculos en condiciones estáticas. La configuración estructural obtenida, como resultado del cálculo, se puede observar en la figura 4 donde se muestran las resistencias admisibles de tracción y las longitudes de anclaje de las geomallas.

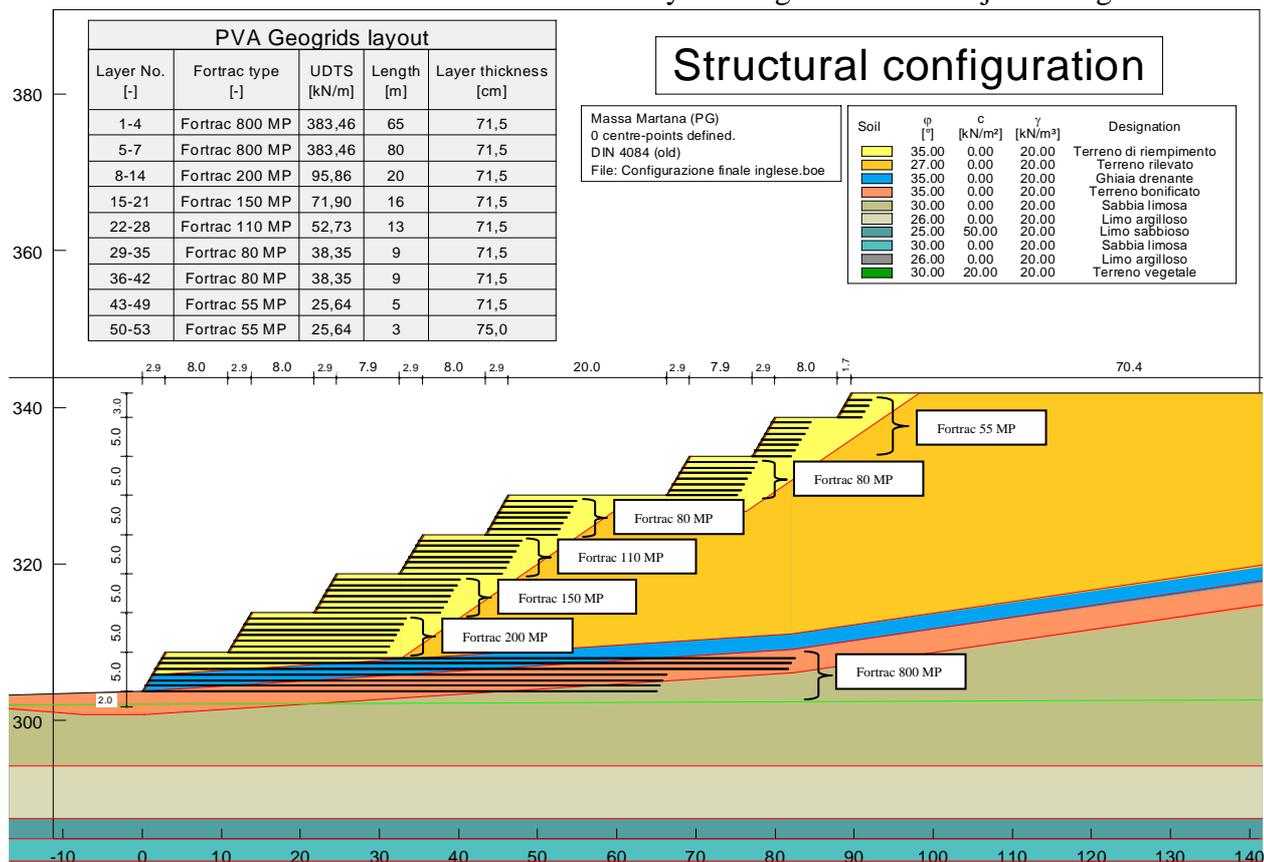


Fig. 4. Configuración estructural de la sección crítica del terraplén reforzado.

El primer talud se reforzó con geomallas en PVA de 800 kN/m con longitudes variables de 65 m a 80 m de modo de interceptar las superficies de deslizamiento más profundas. Los taludes superiores se reforzaron con geomallas en PVA con resistencias decrecientes de 200 kN/m, 150 kN/m, 110 kN/m, 80 kN/m y 55 kN/m.

La tensión de diseño a largo plazo (Long Term Design Strength: LTDS) de cada geomalla se obtuvo según la normativa British Standard BS 8006 y todos los factores de reducción adoptados (por fluencia, daños durante la instalación, ataques químicos, extrapolación de datos) fueron corroborados con certificados y pruebas de laboratorio específicas.

El espacio entre los estratos de geomallas era de 72 cm y la compactación se efectuó extendiendo el terreno de relleno en capas de 24 cm, hasta obtener el 95% de la densidad de la prueba Proctor (ASSHO modificada).

La deformación de todo el sistema se analizó empleando el método de los elementos finitos (código FLAC). Según este análisis numérico, se preveían cedimientos de 30 cm en la zona central del terraplén y cedimientos de 10 cm a lo largo de la línea de contacto con las paredes del barranco. Además, se dispuso un programa de monitoreo para medir las deformaciones de la obra en puntos relevantes.

Se construyó un muro de hormigón armado delante del primer talud para proteger el pie del terraplén contra un eventual efecto erosivo en regresión del torrente. En esta óptica, se efectuó una simulación de erosión al pie, bajando el nivel del lecho del torrente aguas abajo desde 1 a 10 m de profundidad. Esta situación hipotética condujo a incluir en el cuerpo del terraplén algunos refuerzos adicionales usando geomallas de 200 kN/m distribuidas según una disposición bien precisa. Se realizaron también ulteriores simulaciones disminuyendo los parámetros geotécnicos de los terrenos cohesivos.

El frente del terraplén se moldeó a forma a “anfiteatro” para aprovechar el efecto de arco apoyado lateralmente a las paredes del barranco.

Seguridad en obra

Desde el momento que casi la totalidad de los trabajos se realizaron comenzando desde el fondo del barranco, fue necesario asegurar las paredes contra posibles desmoronamientos o caídas de rocas durante la construcción.

A tal fin, se cortó la vegetación existente y, al mismo tiempo, se removieron los bloques de suelo inestables. Luego se cubrieron las paredes con redes metálicas que, a su vez, se anclaron en la cresta a un cordón perimetral de hormigón armado, fundado sobre micropilotes armados con barras Dywidag y separados 1,5 m entre ellos. Para mantener la red adherente a la pared se usaron cables metálicos dispuestos con malla romboidal, fijados con anclajes pasivos localizados en los nudos.

Al final de la obra, gran parte de las redes metálicas quedó sepultada en el terreno.

Filtración: geotextido filtrante usado en el sistema de drenaje incorporado en el cuerpo del terraplén

En el interior del cuerpo del terraplén se realizó un sistema de drenaje para captar y descargar el agua proveniente de vertientes, lluvia infiltrada y de las eventuales pérdidas del torrente que corre por encima de la obra.

El sistema de drenaje consiste en una serie de plataformas horizontales de gravas (diámetro 50-100 mm) con tubos drenantes en su interior, interconectadas con tubos verticales drenantes ($\phi = 80$ cm) rellenos con gravas. Ambos, ya sean las plataformas como los tubos perforados se envolvieron con un geotextido-tejido filtrante para evitar la paulatina colmatación de las gravas. La fig. 5 muestra la disposición de la red interna de drenaje.

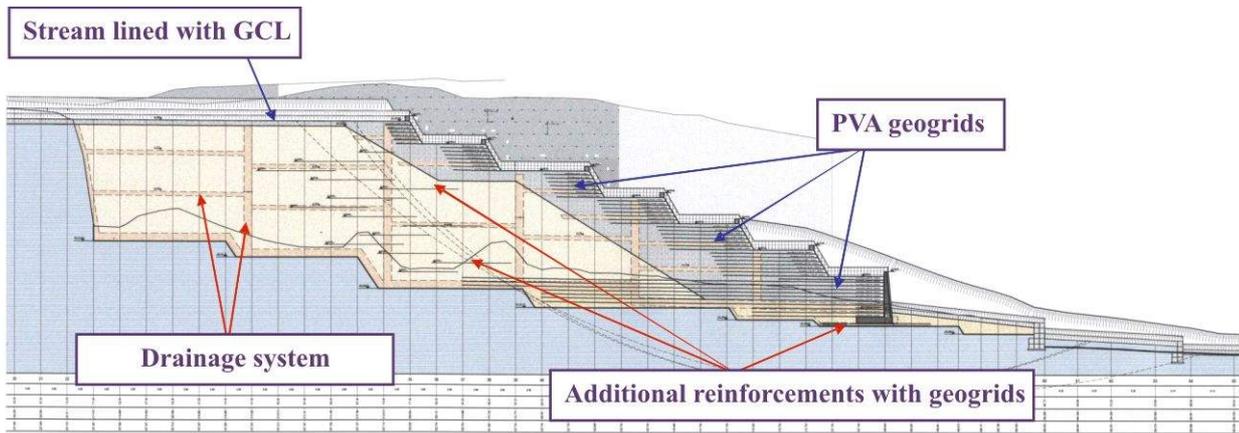


Fig. 5. Sección principal. Distribución de las geomallas y del sistema de drenaje



Fig. 6. Tubos verticales que interconectan las plataformas drenantes horizontales, ambos filtrados con un geotextido.

Se prefirió adoptar un geotejido “tejido” en vez de un “no tejido” debido a su elevada permeabilidad y menor tendencia a la colmatación, como así también por su elevada resistencia contra el daño mecánico durante la instalación.

En la tabla 2 se muestran las características técnicas del geotejido filtrante.

Tabla 2. Características técnicas del geotejido filtrante HaTe® C50.002

Características	Unidad		Norma
Materia prima	-	PE/PP	-
Resistencia nominal a la tracción (long/transv)	kN/m	≥ 45/55	ISO 10.319
Deformación a la tensión nominal (long/transv)	%	≤ 27/23	ISO 10.319
Permeabilidad al agua	m/s	100×10^{-3}	EN ISO 11.058
Diámetro de los poros	μm	200	EN ISO 12.956

Impermeabilización: geocompuesto bentonítico utilizado para la impermeabilizar el canal del Fosso della Rocca.

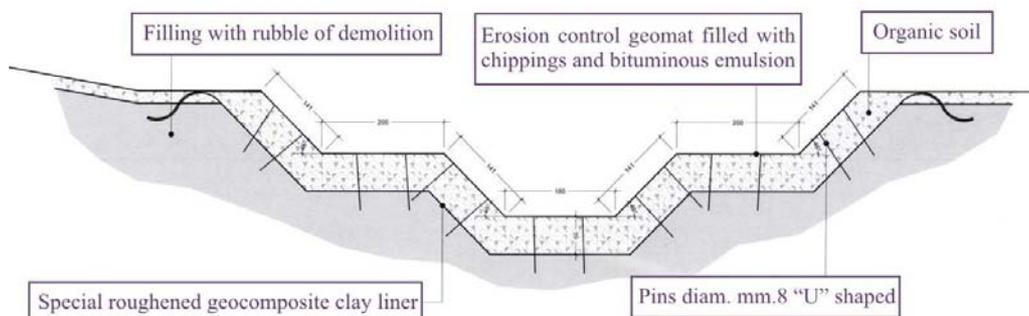


Fig. 7. Sección transversal del torrente

El torrente “Fosso della Rocca” se canalizó, con sección hidráulica a forma de doble trapecio, con una pendiente del 0,5% y por unos 70 m en el tramo que corre sobre el terraplén. Después cambia a sección trapezoidal simple descendiendo por una serie de 6 toboganes, de 5 m de altura aprox., con respectivas plataformas de disipación, de 10,5 a 15,9 m de longitud, contruidos en secuencia alternada sobre los taludes reforzados y las bermas. Finalmente, desemboca en el torrente aguas abajo después de haber superado dos saltos con respectivas plataformas de disipación.

En la fig 7 se muestra la sección típica del torrente en el tramo construido sobre el terrapén.



Fig 8. Sección del torrente canalizado “Fosso della Rocca”. Instalación del geocompuesto bentonítico.

El torrente se impermeabilizó utilizando un geocompuesto bentonítico (GCL: Geocomposite Clay Liner) para impedir la infiltración directa desde el canal al cuerpo del terraplén. El geocompuesto bentonítico se confinó con 60 cm de tierra y, para evitar deslizamientos de esta capa de cobertura, fue necesario emplear un geocompuesto especial que posee las superficies de contacto rugosas de modo de asegurar un ángulo de fricción elevado con el terreno.

En la tabla 3 se describen las características técnicas del geocompuesto bentonítico.

Tabla 3. Características técnicas principales del GCL NaBento[®] RL-N

Característica	Unidad		Norma
Estratos de soporte	-	Tejidos en PP revestidos con capa rugosa de granilla	-
Peso unitario de la bentonite sódica	gr/m ²	4,500	EN ISO 9864
Peso total	gr/m ²	5,500	EN ISO 9864
Espesor en condición seca	mm	7	EN ISO 9863-2
Resistencia a la tracción (long/transv)	kN/m	≥ 20/30	ISO 10.319
Deformación a la tensión nominal (long/transv)	%	≤ 25/25	ISO 10.319
Resistencia al corte interno	°	> 35	-
Permeabilidad al agua Kv (i=30, σ=30kPa)	m/s	≤ 5 x 10 ⁻¹¹	DIN 18130 T1

Control de la erosión: georedes sintéticas empleadas para proteger los taludes secos y mojados

El revestimiento del canal ha sido dividido en dos tipologías: a) revestimiento del tramo horizontal, b) revestimiento de los toboganes y plataformas de disipación.

El revestimiento del tramo horizontal del canal, correspondiente a la parte superior del terraplén, y en un tramo aguas abajo, se realizó usando georedes tridimensionales en polipropileno rellenas con granilla amalgamadas con una emulsión bituminosa básica.



Fig 9. Vista general. Taludes reforzados, canal central y georedes antierosión en los taludes laterales.

Este tipo de revestimiento permeable, que permite que la vegetación crezca minimizando el impacto ambiental, constituye, al mismo tiempo, una protección eficiente contra los efectos erosivos del agua hasta velocidades continuas de 3 m/s, cuando la vegetación llega a su nivel óptimo de desarrollo. Los

taludes laterales secos, es decir, los que no están en contacto con las aguas del canal, se protegieron también con las mismas georedes sintéticas pero rellenas solamente con tierra orgánica. (ver fig. 9). Para lograr el crecimiento veloz de la vegetación en las superficies inclinadas, se ha previsto una hidrosiembra intensiva sobre el frente de los taludes reforzados y sobre las superficies cubiertas con georedes.

CONCLUSIÓN

La obra de estabilización del barranco de Massa Martana mediante el relleno de la garganta con suelos y escombros implicó una serie de problemáticas que fueron solucionadas usando diferentes tipos de geosintéticos que cumplían con diferentes funciones, y en particular:

- Refuerzo del suelo para la estabilización del frente y la base del terraplén mediante el uso de geomallas en PVA de alta resistencia.
- Realización de una fundación flexible, económica y de rápida ejecución mediante el empleo de largas geomallas de 800 kN/m a la base, reemplazando la solución tradicional con pilotes armados y plateas que resultaba costosa y demasiado rígida para este tipo de obra.
- Refuerzo de los suelos con elevado grado de alcalinidad a través del uso de geomallas en PVA.
- Filtración de las capas de gravas drenantes y de los tubos para evitar la colmatación a través del uso de un geotextido-tejido filtrante.
- Impermeabilización del canal a sección trapezoidal que corre sobre la obra mediante el uso de un geocompuesto bentonítico especial con superficies ásperas.
- Control de la erosión de las superficies mojadas (canal) y secas (taludes) utilizando georedes tridimensionales sintéticas.

Desde un punto de vista sísmico, el uso de geosintéticos permitió obtener una estructura altamente dúctil capaz de absorber y disipar la energía transmitida a través de sollicitaciones dinámicas.



Fig. 10. Vista general de la obra y del pueblo de Massa Martana

AGRADECIMIENTOS: queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a Antonio Servi de la Giovannini Costruzioni SpA por su gentil disponibilidad durante la ejecución de la obra.

Contacto: Luis Eduardo Russo, Huesker srl, Piazza della Liberta, 3, Trieste, Trieste, 34132, Italy. Tel: ++39 0404 363605. Email: l.russo@huesker.it.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Bishop, A.W. (1955) The use of the slip circle in the stability analysis of slopes, *Geotechnique*, 5, No. 1,7-17.

British Standard - BS 8006 : 1995. Code of practice for Strengthened/reinforced soils and other fills.

TRI . 2002. Report: Creep and creep-rupture behaviour of Fortrac[®] M (PVA) geogrids .

TRI. 2000. Report: Installation damage testing of Huesker geosynthetics