LASAR: NUEVO SISTEMA PARA LA CONTENCIÓN DE TIERRAS Y MANTELES NIVALES INESTABLES.

BETTI, Vittorino, Dr. Ingeniero Hidráulica. LASAR, s.r.l.
COLL PIGEM, Jordi. Ingeniero Geólogo. INACCÉS GEOTÈCNICA VERTICAL, S.L.
OGGERI, Claudio. Profesor Ingeniero. POLITECNICO DI TORINO
PEILA, Daniele. Profesor Ingeniero. POLITECNICO DI TORINO

RESUMEN

Debido a la constante expansión de asentamientos antrópicos, numerosas estructuras, tanto públicas como privadas, se encuentran en zonas que han sido declaradas bajo riesgo de desprendimientos o deslizamientos en masa, y la necesidad de garantizar la seguridad pública y la protección de las obras suele imponer intervenciones de defensa complejas y costosas.

Con este trabajo se pretende presentar el resultado de estudios, cálculos y pruebas directas que han permitido desarrollar un sistema de defensa conceptualmente nuevo, menos costoso que los ya conocidos y con la ventaja, en igualdad de recursos económicos, de garantizar la mejor seguridad posible a personas y estructuras.

Se trata de un sistema originalmente concebido para estabilizar el manto nevoso, que entre otras cosas, ha demostrado toda su eficacia y fiabilidad durante la aplicación en intervenciones de reparación de cuencas de montaña, la estabilización de pendientes sujetas a desprendimientos, la realización de pistas de trabajo y la contención de terraplenes de carreteras situadas a media ladera.

1) DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA

El elemento **LASAR** consta de una estructura piramidal elástica de acero FE 430 fijada, mediante un elemento tubular y cables de acero, a una cimentación de hormigón armado que se cubre con un estrato de tierra y funciona como bloque de anclaje.

La base delantera, que funciona como elemento de contención del terreno, presenta una forma cuadrada con lados de aproximadamente 310 cm y consta de una red de cables de

acero, de diámetro de 8 mm (romboidal o de anillos concatenados), sostenida por un cable perimetral de 16 mm de diámetro, y anclada a vigas HE dispuestas en cruz de San Andrés.

Las vigas HE están ancladas a un tronco tubular central de acero, de longitud variable de 300 a 600 cm, diámetro de 88.9 mm y espesor de 5 mm, conectado a la placa de hormigón, situada en el otro extremo, mediante una junta con bisagra de rotación limitada. (Figura 1).

Figura 1

Los extremos de las vigas HE que constituyen la cruz de San Andrés están unidos a la placa de hormigón mediante cables de acero.

Dimensiones principales del elemento **LASAR**

B (m)	3.10	Ancho de la estructura
l (m)	3.10	Altura de la estructura
d (m)	4.38	Largo de la diagonal
g (m)	3.00-6.00	Largo del tirante rígido situado aguas arriba
t (m)	3.71-6.38	Largo de los tirantes convergentes con el anclaje

2) MATERIALES EMPLEADOS

Hormigón

Se considera la utilización de hormigón con las siguientes características:

- Cemento Pórtland
- Ratio máximo de agua/cemento 0.50
- Consistencia UNI 9418 (reducción hasta el cono) > 16 cm
- Agua exudada UNI 7122 < 0.1 %

Acero para cemento armado

Para la armadura resistente de la placa de anclaje, se considera la utilización de acero en barras de adherencia mejorada con las siguientes características:

- tipo: FeB44 K (controlado en el establecimiento)
- E = 210000 Mpa
- F_{tk} = 540 Mpa
- F_{yk} = 430 Mpa
- σ_{amm} = 255 Mpa

Acero para perfiles en doble T serie HE

El acero de las vigas que constituyen la cruz delantera tiene las siguientes características mecánicas:
Elementos superiores

- tipo: Fe 430
- E = 210000 Mpa
- F_{tk} = 430 Mpa
- F_{yk} = 275 Mpa
- σ_{amm} = 190 Mpa

3) CRITERIOS DE DISEÑO

3.1) Normativa sobre el cálculo estructural

El análisis del elemento se presenta como cálculo de una estructura pandeada, sujeta a carga de punta. Para dicho propósito, cabe recordar los siguientes límites impuestos por la normativa:

- La delgadez máxima, en caso de elementos estructurales sujetos a esfuerzos dinámicos, debe respetar los siguientes límites:

l = 150 para elementos principales;
l = 200 para elementos secundarios.

- El método de las tensiones admisibles impone que la tensión admisible σ_{amm} para esfuerzos axiales y/o flexionales y la tensión admisible τ_{amm} para esfuerzos de corte sea:

$$\sigma_{amm} = 235{,}00 \ N/mm^2$$
$$\tau_{amm} = 135{,}50 \ N/mm^2$$

(acero Fe 510 - ex acero Tipo 2 - acero ST52.0 DIN)

$$\sigma_{amm} = 190{,}00 \ N/mm^2$$
$$\tau_{amm} = 109.70 \ N/mm^2$$

(acero Fe 430)

- El momento M utilizado en las fórmulas para determinar el esfuerzo máximo debe ser igual a 1.3 veces el momento medio causado por la presencia de la carga transversal.
Es decir:

$$M = 1.3 \ q \ L^2/12$$

donde hay que verificar los siguientes límites:

$$0.75 \ M_{max} < M < M_{max}$$

- El espesor de los elementos tubulares que constituyen la estructura se mantiene mayor o igual a 4 mm, a fin de evitar la aplicación de fórmulas particularmente restrictivas impuestas por la normativa.

La estructura "**LASAR**" con anclaje único es una idea sumamente interesante para el campo de la prevención de riesgos hidrogeológicos. El concepto nace analizando el hecho que gran parte de los costes imputables a las intervenciones se debe a la mano de obra presente en el lugar, a menudo en alta cota, obligada a trabajar, en gran parte de los casos, en condiciones ambientales y climáticas desfavorables. Además, existe la necesidad de agilizar lo más posible las operaciones realizadas en el lugar de las obras, ya que las jornadas laborales en altas cotas o lugares de difícil acceso se limitan a pocas decenas al año y todas se concentran en el arco del trimestre veraniego; en otros casos, existe la necesidad de intervenir en tiempos sumamente breves para estabilizar una ladera que se está desprendiendo, o bien para garantizar la rehabilitación de un tramo de carretera, cuya estabilidad se ve afectada por procesos de desprendimiento.

Partiendo de estas ideas básicas se ha desarrollado el proyecto "**LASAR**" representado en las elaboraciones de diseño.

La estructura en forma de cruz consta de vigas de acero tipo HE; el cabrio está compuesto por un elemento tubular de acero, mientras que la unión entre los elementos estructurales está garantizada por la presencia de cables de conexión entre la cruz y el cabezal del cabrio, así como por cables que forman el perímetro de la red, que debe apoyarse en las vigas HE.

La red de contención está hecha de cables de acero, generalmente de malla romboidal con lado de 25 cm, que sostienen una red de malla más fina, de triple torsión, con malla de 5x7 cm y diámetro de 2.7 mm; el uso de una red de anillos se recomienda sólo en la construcción de represas y en condiciones de particular erosión mecánica debida al transporte sólido.

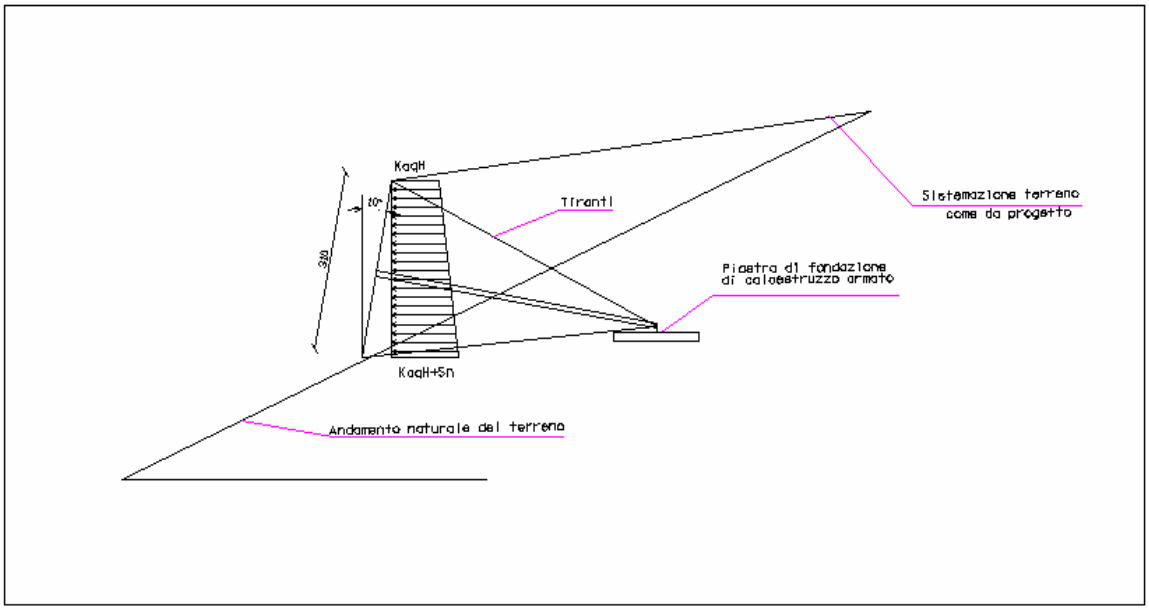
3.2) Determinación de los empujes en la estructura

La determinación del empuje ejercido en las estructuras resulta compleja; de hecho, se trata de aplicar la teoría clásica de los embalses de mampostería a una estructura ligera y filtrante de por sí, sujeta a una carga hidrostática prácticamente nula.

El empuje ejercido en las estructuras deriva del empuje activo del terreno y de la carga generada por la sobrecarga aplicada.

Por tanto, los empujes se determinarán haciendo referencia a la praxis utilizada para el control de las mamposterías de sostén.

FIGURA 2



La figura 2 ilustra el desarrollo cualitativo de las presiones que el terreno ejerce sobre la pared del elemento **LASAR**.

Por lo tanto, la presión que actúa sobre la obra se puede expresar de la siguiente manera:

$$P = \gamma h^2 K_a/2 + QKah$$

que, efectivamente, representa el empuje del terreno aplicado a una pared plana, donde γ indica el peso específico del terreno, que en este caso vale 1800 dN/m^3, h es la altura de la barrera y K_a es el coeficiente de empuje activo, que en este caso corresponde a 0.333.
En el presente caso, la presión inducida por el empuje activo del terreno se puede evaluar con la siguiente fórmula:

$$P = \gamma h K_a + QK_a$$

Como se indica en la figura 3, la barrera está unida a un retículo de elementos estructurales, cargados en correspondencia con el baricentro de las vigas que constituyen las cruz de San Andrés, mediante fuerzas concentradas de intensidad equivalente a

para las varillas superiores P1 daN
para las varillas inferiores P2 daN

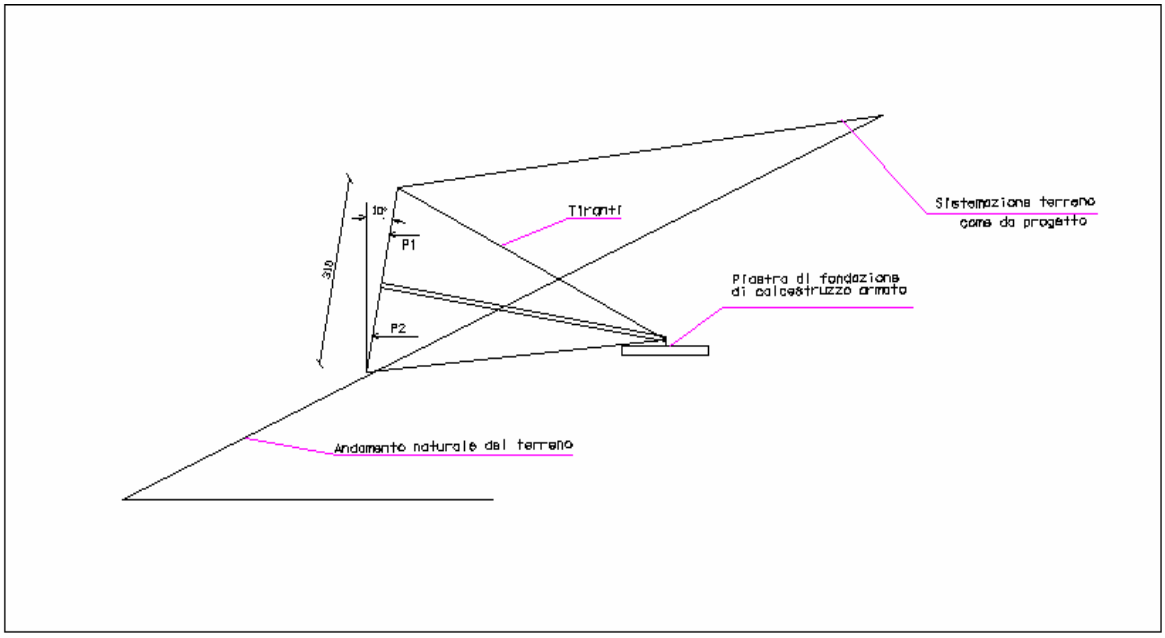


FIGURA 3

La resultante del empuje del terreno es aproximadamente igual a

$$S = 2*(P1 + P2) \text{ daN}$$

El empuje S representa el esfuerzo máximo aplicado a la estructura bajo examen. Con dicho valor se verificarán los elementos que constituyen la barrera y su respectivo sistema de cimentación. La resultante de las cargas actúa paralelamente a la pendiente.

3.3) Cálculo de los esfuerzos en la estructura

La carga que grava sobre la estructura y, como antes dicho, representa el empuje del terreno, se subdivide en cuatro vectores aplicados a los cuatro brazos de la cruz. Se supone que dicha estructura esté pandeada, con posibilidad de que surjan problemas de carga de punta; por lo tanto, el diseño estructural presta atención a esta problemática.

Al estudiar la barrera de contención del terreno se considera un solo elemento **LASAR** de 310 cm de ancho, ya que la barrera está compuesta por la suma de varios elementos flanqueados que presentan el mismo comportamiento.

La estructura **LASAR** se analiza con la ayuda de un programa de análisis estructural de elementos finitos tipo Sap 2000.

La estructura se subdivide en 17 elementos “frame” (viga), que están vinculados entre a través de 10 “joints” (nudos). La estructura está fijada mediante dos apoyos delanteros,

situados en los extremos de la cruz de San Andrés, y un apoyo trasero que impide su traslado y ofrece la reacción con que debe diseñarse la placa de anclaje.

A continuación se ilustran las impresiones relativas al fichero de datos de entrada y salida obtenidos después de la elaboración. El fichero indica de manera fiel la dimensión efectiva de la estructura examinada.

FICHERO DE DATOS ENTRADOS EN EL PROGRAMA SAP 2000

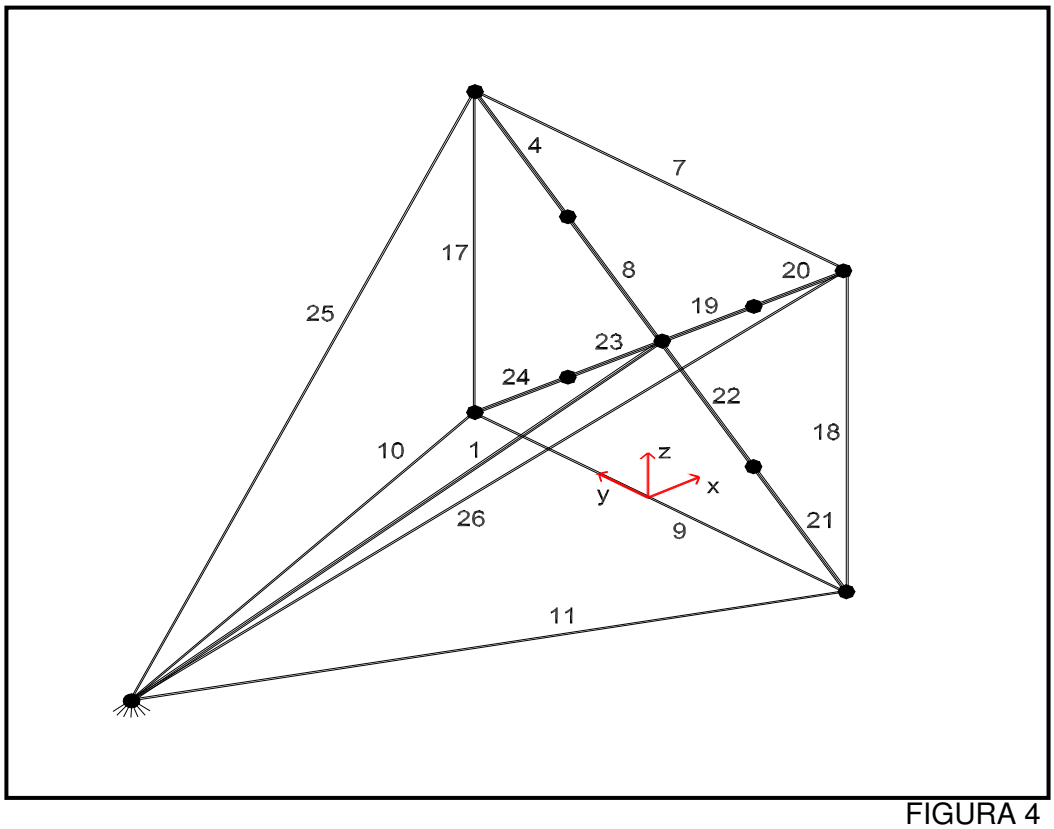


FIGURA 4

```
SYSTEM
  DOF=UX,UY,UZ,RX,RY,RZ   LENGTH=m   FORCE=KN   LINES=59

JOINT
  1   X=-2.5   Y=0   Z=1.53
  3   X=0   Y=1.53   Z=3.06
  4   X=0   Y=-1.53   Z=3.06
  5   X=0   Y=-1.53   Z=0
  6   X=0   Y=1.53   Z=0
  8   X=0   Y=0   Z=1.53

RESTRAINT
  ADD=1   DOF=U1,U2,U3
  ADD=5   DOF=U3
  ADD=6   DOF=U3
  ADD=8   DOF=U2

PATTERN
```

```
  NAME=DEFAULT

MATERIAL
  NAME=STEEL  IDES=S  M=7.8271
    T=0  E=2E+08  U=.3  A=.0000117
  NAME=CONC  IDES=C  M=2.4007
    T=0  E=3E+07  U=.2  A=.0000099
  NAME=OTHER  IDES=N  M=2.40068  W=23.56161
    T=0  E=2.482113E+07  U=.2  A=.0000099
  NAME=FE430  IDES=S  M=7.85
    T=0  E=2.1E+08  U=.3  A=.000012
  NAME=TREFOLI  IDES=S  M=7.85
    T=0  E=2.5E+08  U=.3  A=.000012

FRAME SECTION
  NAME=FS1   MAT=STEEL   SH=R   T=.08,.08   A=.0064   J=5.768533E-06
I=3.413333E-06,3.413333E-06 AS=5.333333E-03,5.333333E-03
  NAME=CAVO12  MAT=TREFOLI  SH=P  T=.016  A=2.01062E-04  J=6.433983E-09
I=3.216992E-09,3.216992E-09 AS=1.809558E-04,1.809558E-04
  NAME=HEA120  MAT=FE430  SH=I  T=.114,.12,.008,.005,.12,.008  A=.00241
J=4.319177E-08 I=5.795684E-06,2.305021E-06 AS=.00057,.0016
  NAME=HEB120 MAT=FE430 SH=I T=.12,.12,.011,.0065,.12,.011 A=.003277
J=1.08927E-07 I=8.377891E-06,3.170243E-06 AS=.00078,.0022
  NAME=GAMBO MAT=STEEL SH=P T=.0889,.005 A=1.317898E-03 J=2.327477E-
06 I=1.163738E-06,1.163738E-06 AS=7.182469E-04,7.182469E-04
  NAME=HEB140  MAT=FE430  SH=I  T=.14,.14,.012,.007,.14,.012  A=.004172
J=1.653294E-07 I=1.47134E-05,5.491316E-06 AS=.00098,.0028
  NAME=HEA140   MAT=FE430   SH=I   T=.133,.14,.0085,.0055,.14,.0085
A=.003018          J=6.136692E-08          I=9.95239E-06,3.888942E-06
AS=.0007315,1.983334E-03

FRAME
  1  J=1,8  SEC=GAMBO  NSEG=4  ANG=0
  4  J=3,8  SEC=HEA120  NSEG=2  ANG=90  IREL=R3  JREL=R3
  7  J=3,4  SEC=CAVO12  NSEG=4  ANG=0  IREL=R2,R3  JREL=R2,R3
  9  J=6,5  SEC=CAVO12  NSEG=4  ANG=0  IREL=R2,R3  JREL=R2,R3
  10  J=1,6  SEC=CAVO12  NSEG=2  ANG=0  IREL=R2,R3  JREL=R2,R3
  11  J=1,5  SEC=CAVO12  NSEG=2  ANG=0  IREL=R2,R3  JREL=R2,R3
  17  J=3,6  SEC=CAVO12  NSEG=2  ANG=0  IREL=R2,R3  JREL=R2,R3
  18  J=4,5  SEC=CAVO12  NSEG=2  ANG=0  IREL=R2,R3  JREL=R2,R3
  20  J=8,4  SEC=HEA120  NSEG=2  ANG=90  IREL=R3  JREL=R3
  21  J=5,8  SEC=HEB140  NSEG=2  ANG=90  JREL=R3
  24  J=8,6  SEC=HEB140  NSEG=2  ANG=90  IREL=R3
  25  J=3,1  SEC=CAVO12  NSEG=2  ANG=0  IREL=R2,R3  JREL=R2,R3
  26  J=1,4  SEC=CAVO12  NSEG=2  ANG=0  IREL=R2,R3  JREL=R2,R3

LOAD
  NAME=LOAD1  SW=1
    TYPE=CONCENTRATED SPAN
      ADD=4  RD=.5  UX=31.19
      ADD=20  RD=.5  UX=31.19
      ADD=21  RD=.5  UX=53.54
      ADD=24  RD=.5  UX=53.54
```

```
COMBO
  NAME=DSTL1
    LOAD=LOAD1  SF=1
  NAME=DSTL2
    LOAD=LOAD1  SF=1
  NAME=COMB1

OUTPUT
  ELEM=JOINT  TYPE=REAC  LOAD=LOAD1
  ELEM=FRAME  TYPE=FORCE  LOAD=LOAD1

END

; The following data is not required for analysis. It is written
here as a backup.
; This data will be used for graphics and design if this file is
imported.
; If changes are made to the analysis data above, then the following
data
; should be checked for consistency.
; Any errors in importing the following data are ignored without
warning.
SAP2000 V6.11 SUPPLEMENTAL DATA
  GRID GLOBAL  X "1"  -5
  GRID GLOBAL  X "2"  0
  GRID GLOBAL  X "3"  5
  GRID GLOBAL  Y "4"  -1.53
  GRID GLOBAL  Y "5"  0
  GRID GLOBAL  Y "6"  1.53
  GRID GLOBAL  Z "7"  0
  GRID GLOBAL  Z "8"  1.53
  GRID GLOBAL  Z "9"  3.06
  MATERIAL STEEL FY 248211
  MATERIAL FE430 FY 275000
  MATERIAL TREFOLI FY 756000
  MATERIAL  CONC  FYREBAR  413685  FYSHEAR  275790  FC  27579  FCSHEAR
27579.03
  FRAMESECTION FS1 NAME QUADRO80
  STATICLOAD LOAD1 TYPE DEAD
  COMBO COMB1 DESIGN STEEL
  STEELDESIGN "EUROCODE 3-1992" GAMMAM0 1 GAMMAM1 1
  STEELFRAME 4 TYPE MOMENT
END SUPPLEMENTAL DATA
```

A continuación se indican los datos de la elaboración y los dibujos que esquematizan los esfuerzos en la estructura en un caso tipo. (Figuras 5 y 6).

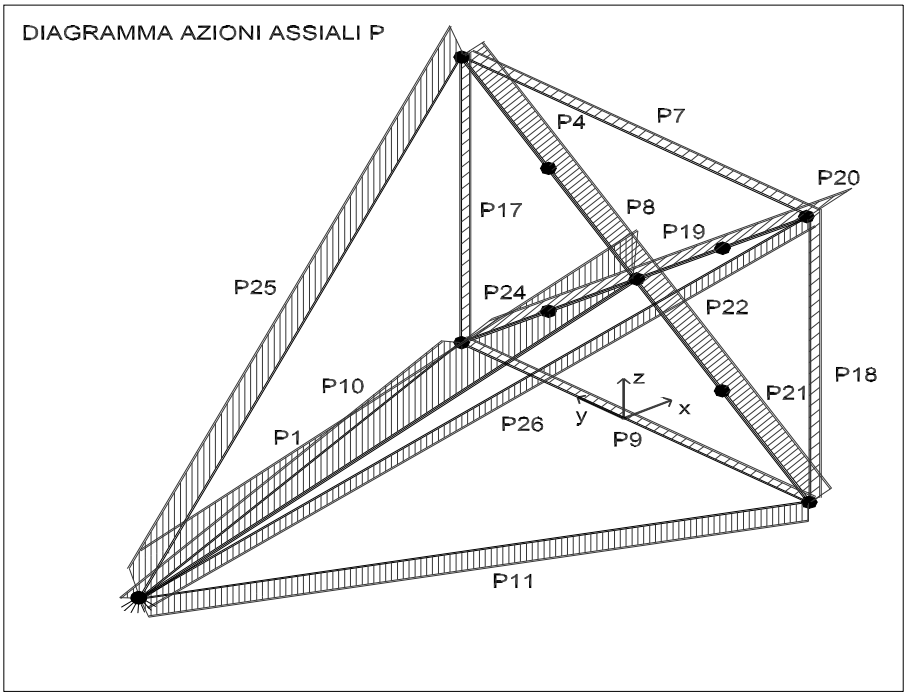


Figura 5

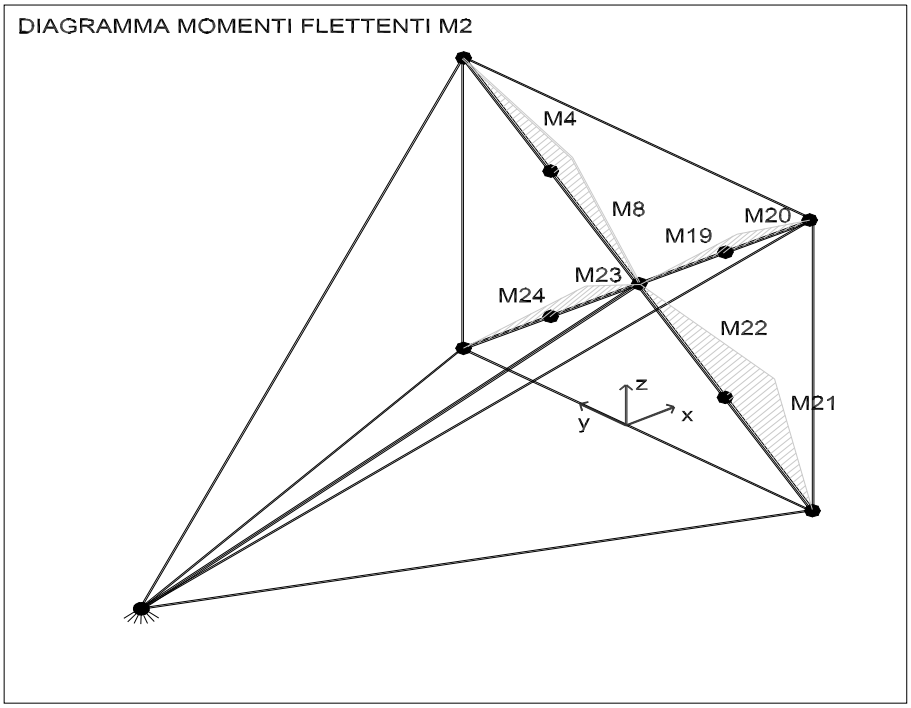


Figura 6

El control estructural del manufacturado puede realizarse siguiendo las distintas metodologías de cálculo adoptadas en varias naciones, sea con el método de las tensiones admisibles, que con el de los estados límite.

La estructura está lista, fabricada en la configuración geométrica estándar, con diferentes perfiles de metal que varían en función de las cargas aplicadas a la barrera; se suministra siempre montada en el lugar de instalación, lista para su emplazamiento y llenado.

La barrera **LASAR** es una novedad absoluta en el campo de la estabilización de pendientes inestables y puede utilizarse con notables ventajas económicas cuando el volumen en deslizamiento tiene una potencia de hasta 9 metros; para superficies de deslizamiento con profundidad mayor, existen otras soluciones más competitivas.

El elemento permite reutilizar por completo el material que se halla en la zona, reduciendo notablemente los tiempos de intervención y los costes; una evaluación realizada en obras de diferente dificultad logística indica que para la ejecución de unos 10 m^2 de frente estabilizado hacen falta dos obreros y una potente excavadora por un tiempo medio de 2.5 horas. Dicho periodo incluye la excavación, la colocación de la barrera y el llenado de la pendiente con corrección de blandones.

La cimentación puede realizarse con un tirante de roca o terreno suelto, o bien mediante el uso de placas prefabricadas de hormigón armado; gracias a su diseño, la estructura puede engancharse, sin necesidad de modificaciones, sea al tirante, o a la placa prefabricada.

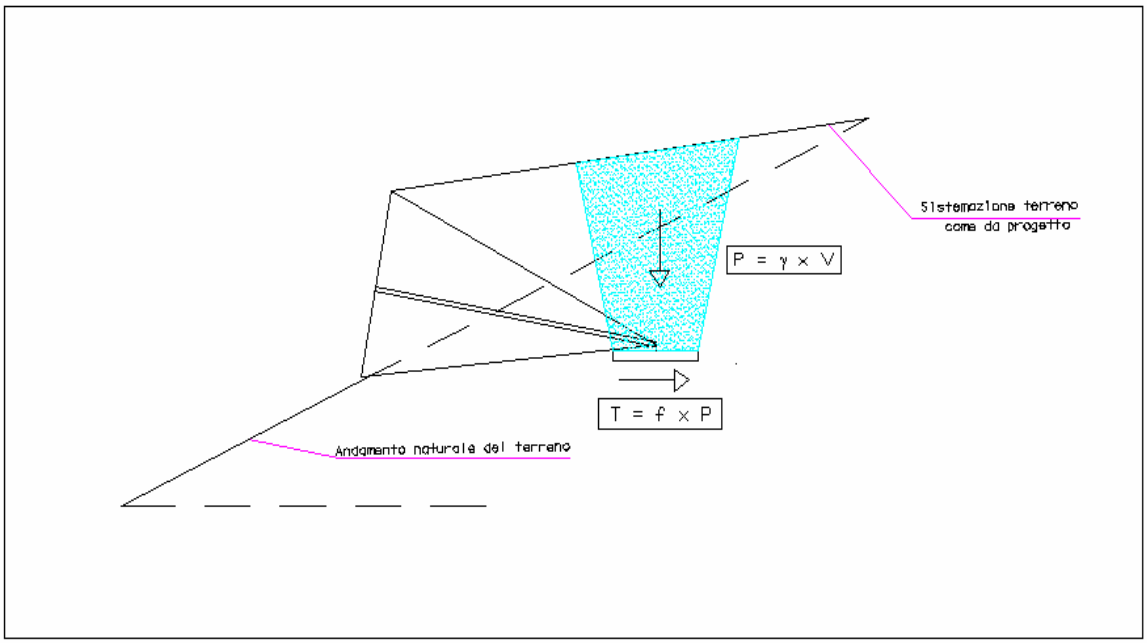


Figura 7

En caso de utilización de un tirante, se omite el método de cálculo por ser ya conocido; en caso de cimentaciones realizadas con placas prefabricadas de cemento armado, el esquema de cálculo prevé la determinación de la fuerza resistente calculada como fuerza de fricción ejercida por la placa en el terreno subyacente. En otras palabras, el peso del terreno que está sobre la placa de hormigón armado origina una fuerza de fricción que se utiliza para contrastar el empuje en el parámetro vertical (véase figura 7).

Existen condiciones especiales, en caso de terrenos con parámetros geotécnicos particularmente mediocres, donde la aplicación de una sola placa de hormigón como cimentación de la barrera **LASAR** no es suficiente para contrastar el empuje en el parámetro anterior; dichos casos prevén la adopción de una segunda placa de hormigón armado, que se coloca verticalmente, apoyada sobre la primera y contrastada por tubos de acero con diámetro y espesor adecuados. Esta segunda configuración permite calcular la estructura como bloque de gravedad; el sistema constituido por el parámetro anterior y las placas traseras trabaja como un gran bloque dotado de estabilidad propia y capaz de oponerse, por fricción, al empuje del terreno aguas arriba (véase figura 8).

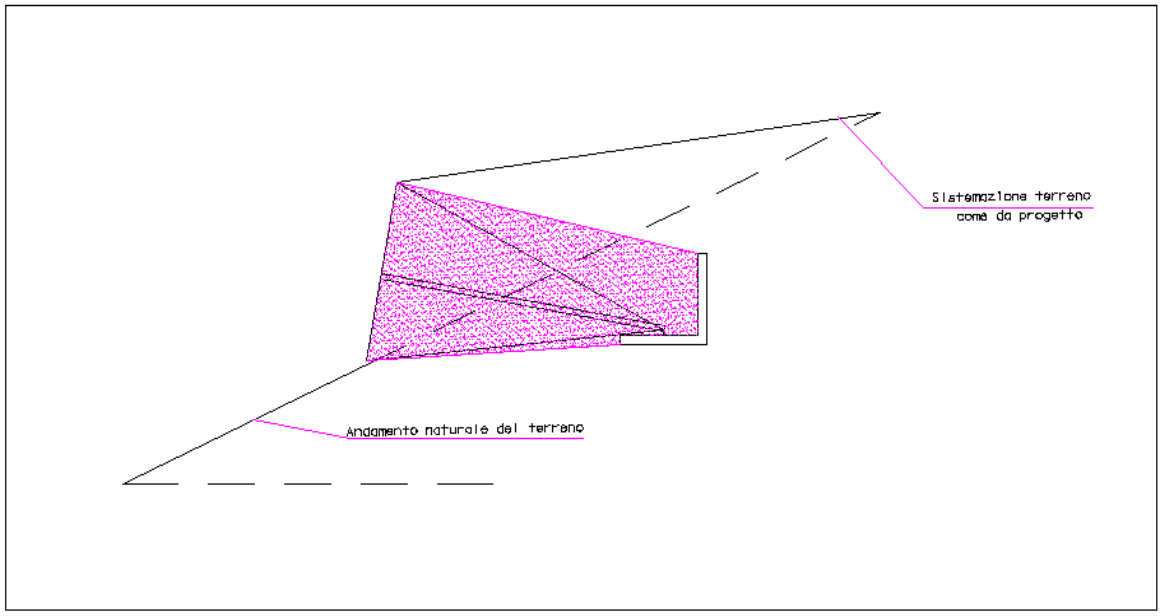


Figura 8