Soluzioni per la protezione da caduta massi

Utilizzo delle reti nei rivestimenti e rafforzamenti corticali in roccia e negli interventi di soil nailing.

Barriere paramassi: caratteristiche costruttive, approccio progettuale, esperienze.

Date 11 Maggio 2021
Autore Stefano Cardinali

MACCAFERRI

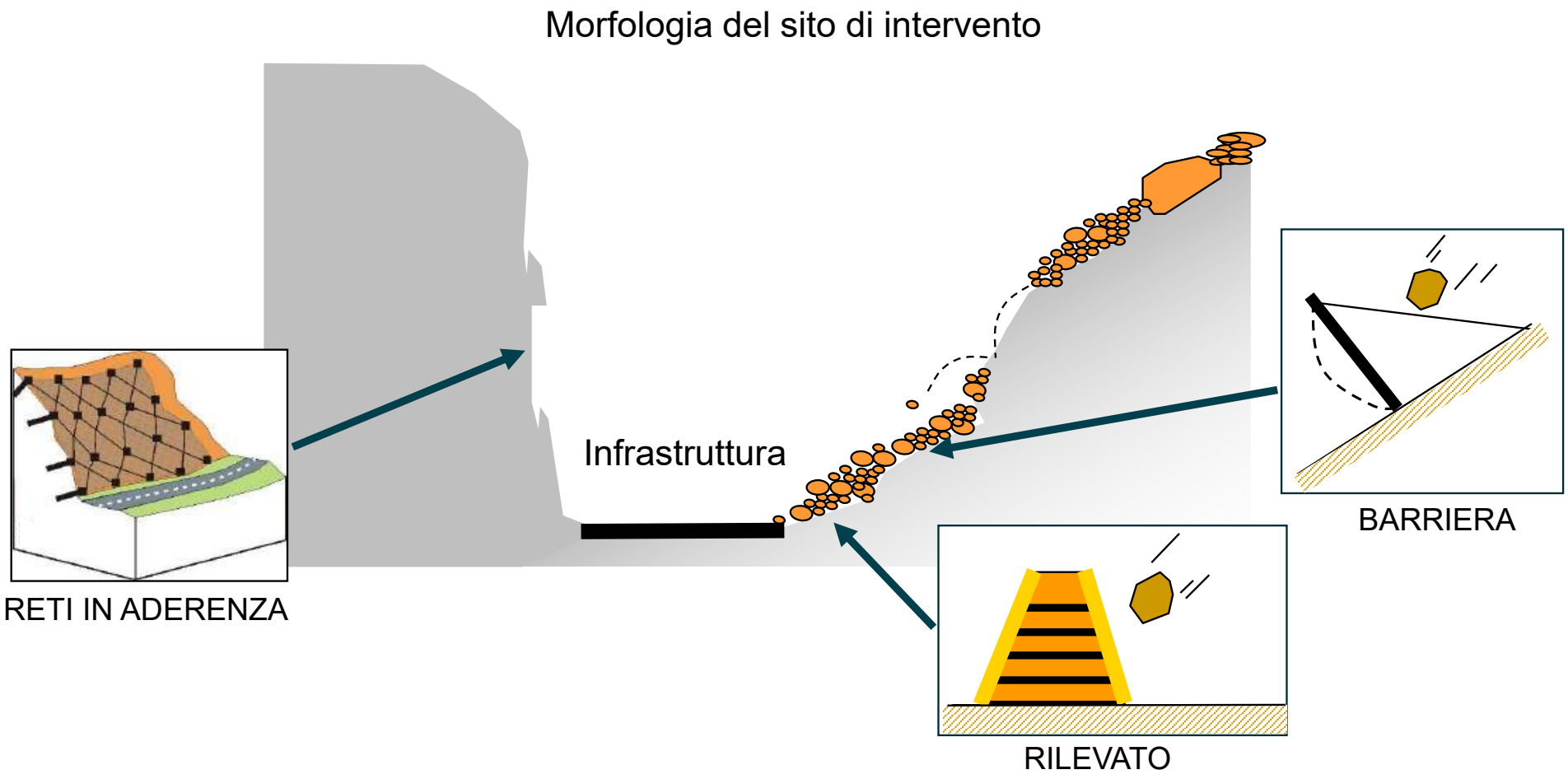
Tutti i diritti sono riservati. Qualsiasi riproduzione, anche parziale, è vietata senza previa autorizzazione scritta da parte di Officine Maccaferri Italia Srl.

Soluzioni e strategia di intervento

Interventi nella zona di distacco
(interventi attivi)

Interventi nella zona di transito e/o di arresto
(interventi passivi)

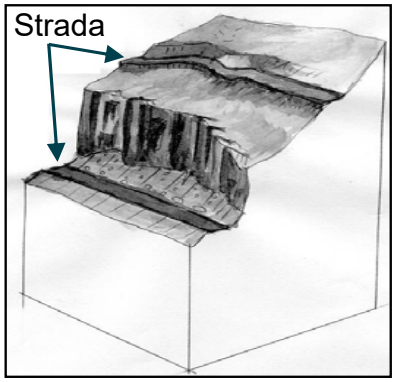
Soluzioni e strategia di intervento



Soluzioni e strategia di intervento

MACCAFERRI

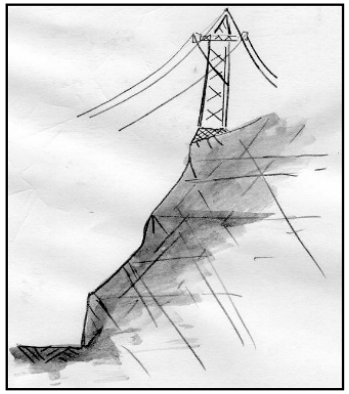
Altri fattori chiave nella scelta della migliore soluzione



- Tipologia del dissesto e magnitudo dell'evento di progetto

- Tempi di esecuzione dei lavori
- Possibilità di effettuare disgaggi
- Sicurezza degli operatori
- Accessibilità

  (strade di accesso, possibilità di impiego di elicottero, possibilità di taglio della vegetazione ecc.)



- Costi dell'intervento
- Costi di manutenzione
- Frequenza dei fenomeni di instabilità

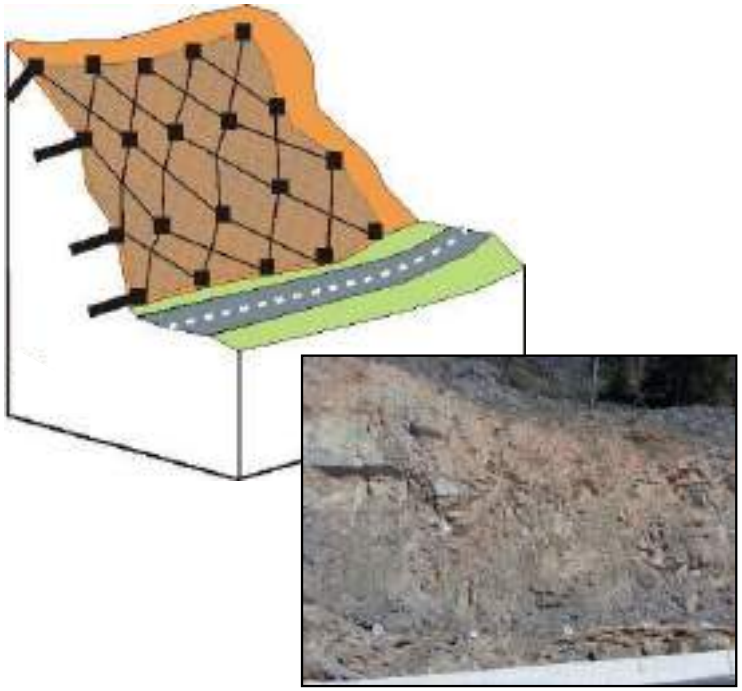
Reti in aderenza su pendii in roccia

MACCAFERRI

Interventi nell'area di distacco

Rivestimento semplice

Rafforzamento corticale



Reti in aderenza su pendii in roccia

Principali proprietà delle reti

- Peso
- Deformazione e resistenza della rete (resistenza a trazione)
- Deformazione e resistenza perpendicolare al piano della rete (resistenza a punzonamento)

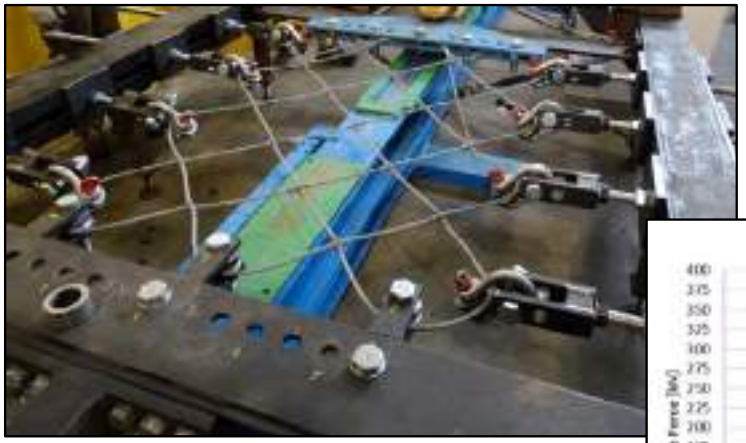
La **UNI 11437:2012** è una pietra miliare. Impone nuovi passi al progettista:

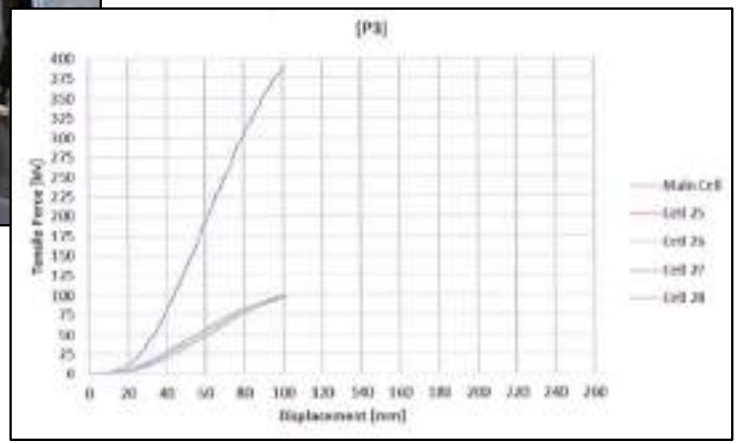
- Confronto sulla base di prove omogenee è possibile
- La deformabilità della rete non è trascurabile (la più alta resistenza è trascurabile se la deformabilità è troppo elevata)

Reti in aderenza su pendii in roccia

Caratterizzazione proprietà meccaniche delle reti metalliche
UNI 11437:2012

Prova di trazione



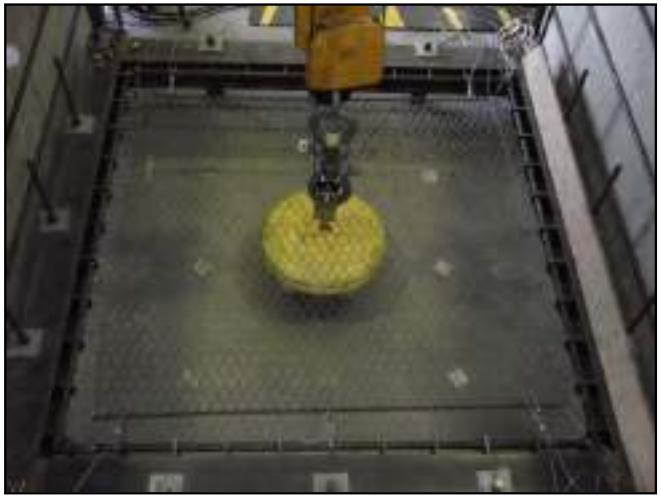


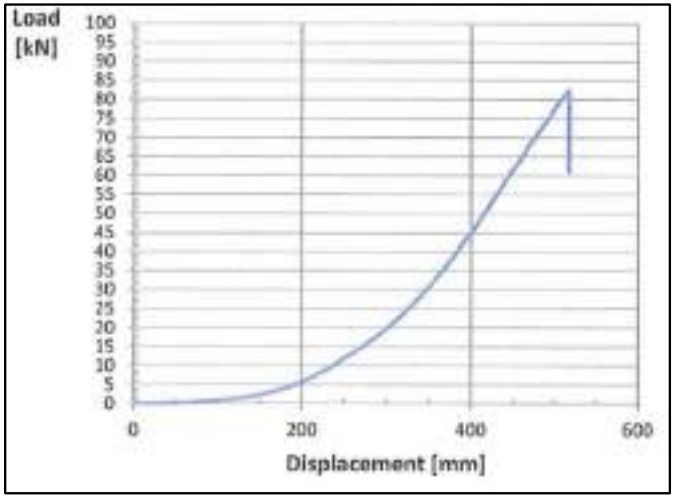
Reti in aderenza su pendii in roccia

MACCAFERRI

Caratterizzazione proprietà meccaniche delle reti metalliche
UNI 11437:2012

Prova di punzonamento





La prova fornisce indicazioni sul comportamento delle reti nelle più frequenti situazioni e consente il giusto approccio al dimensonamento delle reti chiodate.

Reti in aderenza su pendii in roccia

MACCAFERRI

D.M. 17 Gennaio 2018 (NTC 2018)

Reti metalliche per il rivestimento e la protezione di pendii e/o versanti in roccia si configurano come **prodotti di tipo C) ai sensi dell'art. 11 delle NTC 2008**, e rientrano quindi tra quei prodotti e sistemi costruttivi per i quali non esiste una Norma Armonizzata, che descriva i requisiti e le procedure per l'ottenimento della marcatura CE e neppure sussiste una procedura di qualifica direttamente descritta all'interno delle NTC 2018.

CERTIFICAZIONE PER PRODOTTI TIPO C)

I prodotti ad uso strutturale devono essere corredati da:

- **marcatura CE (Certificato di Costanza delle Prestazioni) - DOP**, tramite **procedura europea di ETA** (Valutazione Tecnica Europea)

oppure in alternativa

- **Certificato di Valutazione Tecnica (CVT)** emesso dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP. sulla base di specifiche Linee Guida

Reti in aderenza su pendii in roccia

MACCAFERRI

OBBLIGHI DEL PRODUTTORE

I produttori sono obbligati a qualificare i propri materiali ed esibire una Dichiarazione di prestazione (DOP) e il relativo Certificato CE, rilasciate sulla base di un ETA, oppure il Certificato di Idoneità Tecnica rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale.

OBBLIGHI DELLA D.L.

E' onere del direttore dei lavori, in fase di accettazione in cantiere, la verifica della prescritta documentazione di qualificazione; **in particolare non potranno essere impiegati nelle opere prodotti non corredati della documentazione relativa alla qualificazione dei materiali**

Reti in aderenza su pendii in roccia

MACCAFERRI

Certificato di Costanza della Prestazione e DOP

TOLO

TECHNICKÝ A SKÚŠOBNÝ ÚSTAV STAVEBNÝ, n. o.

Certificato di Costanza della Prestazione

1301 – CPR – 1228

Officine Maccaferri S.p.a.
Via Kennedy, 10, 40069 Zola Predosa (BO)
Italia

Dott. Ing. Dalia Nicolicová
capo dell'Ente Notificato 1301

132303

CE

Dichiarazione di Prestazione

STEELGRID

MACCAFERRI

Caratteristiche essenziali	Prestazione	Spec. tecnica Armonizzata
Tipo maglia		
Diametro filo		
Produzione del filo zinco-lega-ferro/zinco		
Diametro filo		
Resistenza al carico longitudinale		
Resistenza a trazione della rete		
Capacità di carico longitudinale		
Carico massimo longitudinale		
Resistenza corrosione filo		
Resistenza corrosione filo zinco-lega-ferro/zinco		
Resistenza alla corrosione		

Zola Predosa (BO) – Italia

Dr. Paolo Bianchi – Procuratore Speciale

Reti in aderenza su pendii in roccia

MACCAFERRI

I rivestimenti semplici sono principalmente utilizzati per:

- **stabilizzare** e/o **ridurre** le **velocità** di **caduta** dei detriti e dei blocchi
- **limitare le traiettorie** dei blocchi in caduta in modo che non vadano a interferire con le infrastrutture
- **trattenere** i detriti **al piede** della scarpata

Reti in aderenza su pendii in roccia

MACCAFERRI

Progettazione dei rivestimenti semplici

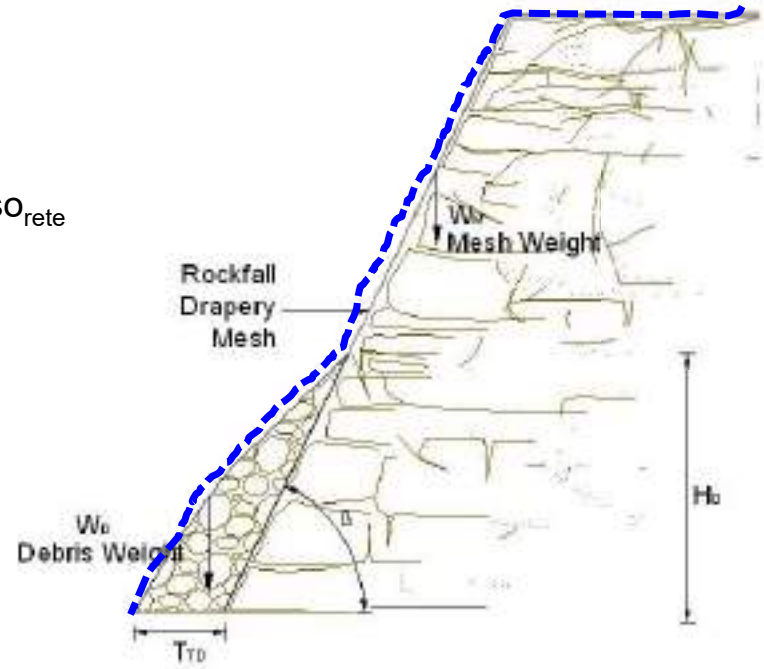
Principio progettuale per la verifica della rete [1]

$Rete_{resistenza\ a\ trazione} \geq Carico_{detriti} + Carico_{variabile\ (es.\ neve)} + Peso_{rete}$

Verifica agli stati limite:

le forze resistenti devono essere ridotte,

quelle destabilizzanti amplificate, mediante opportuni fattori/coefficienti di sicurezza



(1) Muhunthan B., Shu S., Sasiharan N., Hattamleh O.A., Badger T.C., Lowell S.M., Duffy J.D. (2005). “Analysis and design of wire mesh/cable net slope protection - Final Research Report WA-RD 612.1” Washington State Transportation Commission - Department of Transportation/U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.

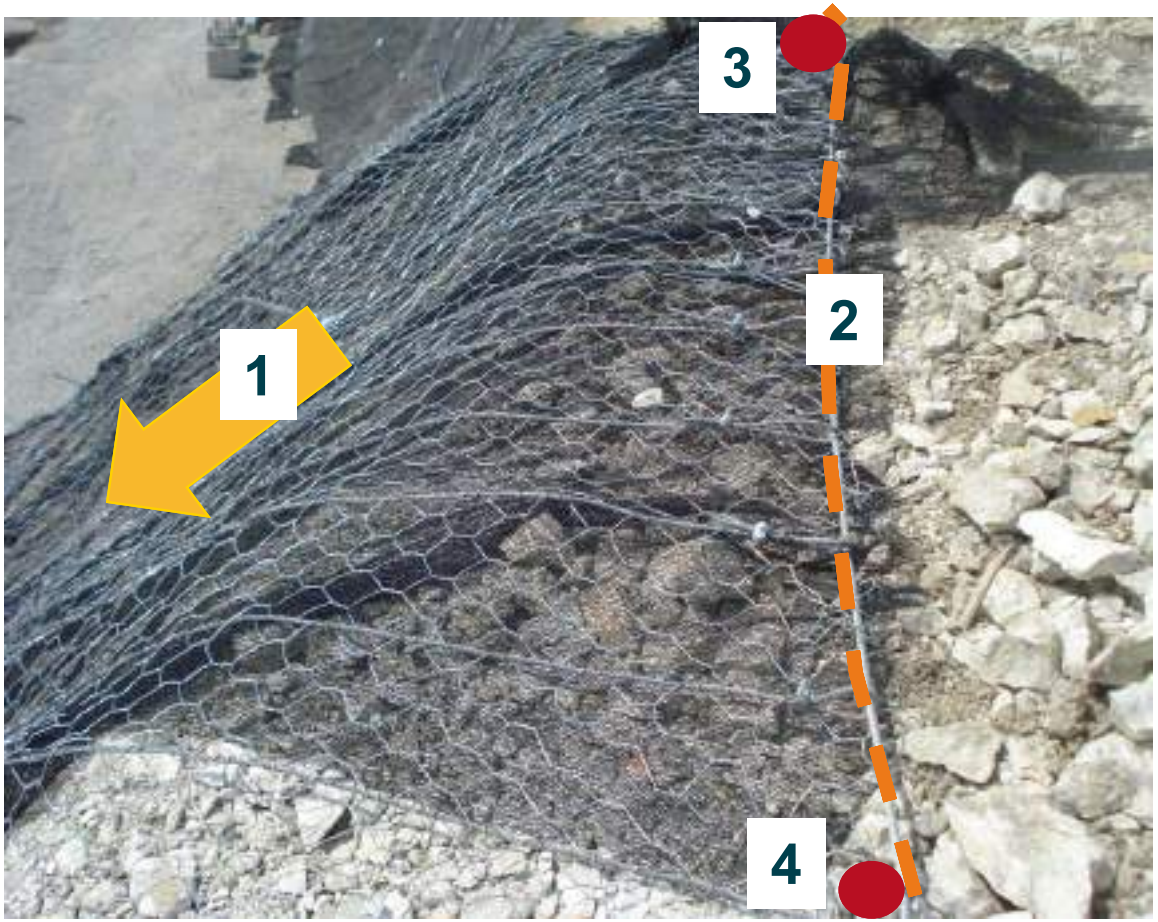
Strettamente confidenziale

Reti in aderenza su pendii in roccia

MACCAFERRI

<u>Verifiche</u>

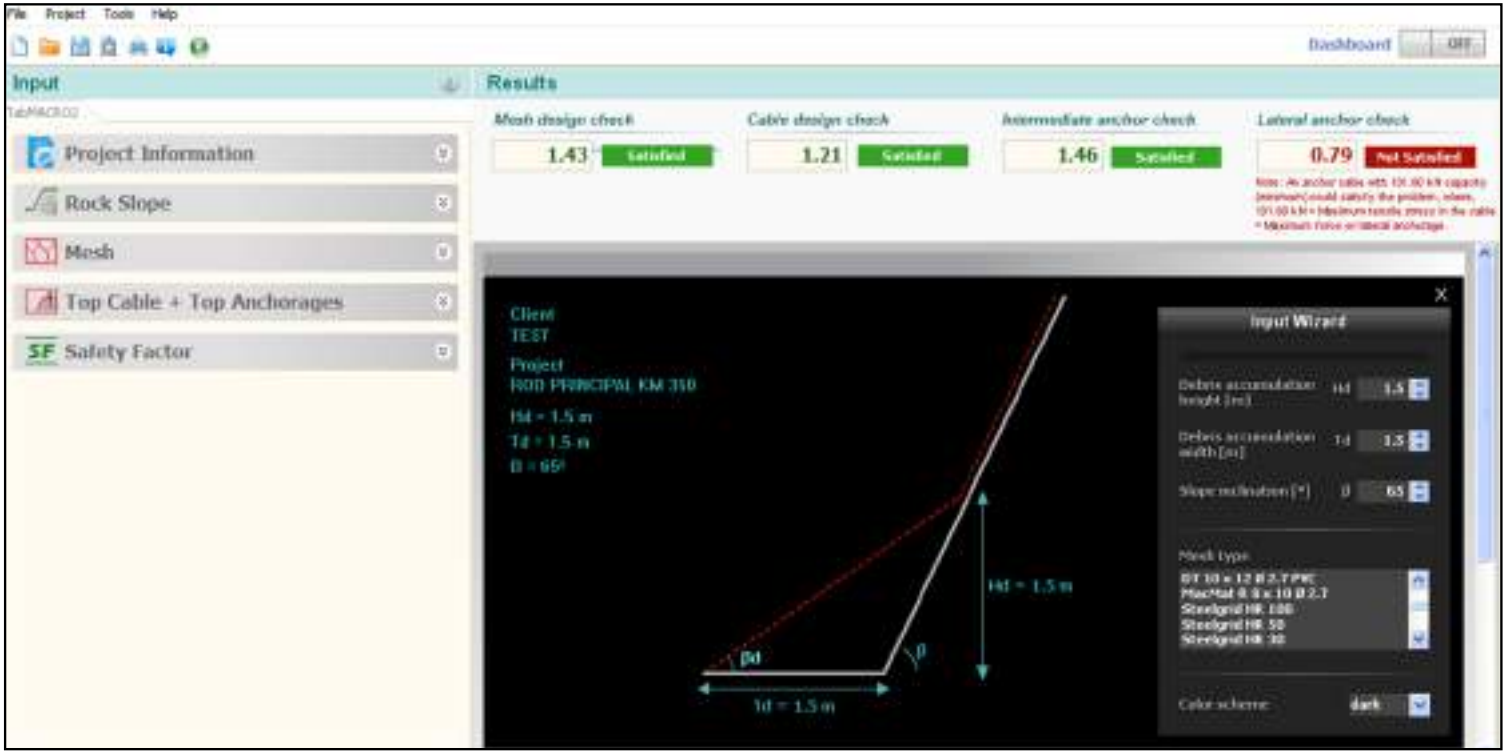
1. Resistenza della rete
2. Resistenza della fune di support sommitale, caricata dalla rete
3. Resistenza degli ancoraggi intermedi
4. Resistenza degli ancoraggi laterali



Reti in aderenza su pendii in roccia

Software per il dimensionamento di rivestimenti semplici

Macro 2



Conoscere il volume di detrito
che può essere contenuto,

significa prevedere quando la rete
raggiunge il carico limite

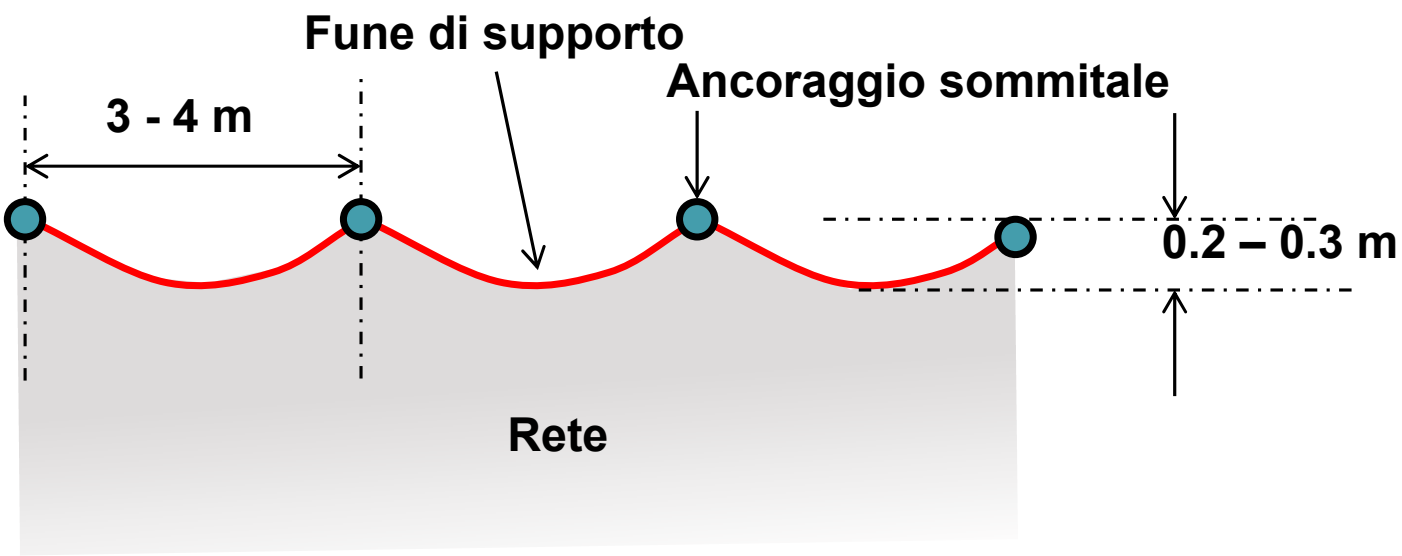
Oppure

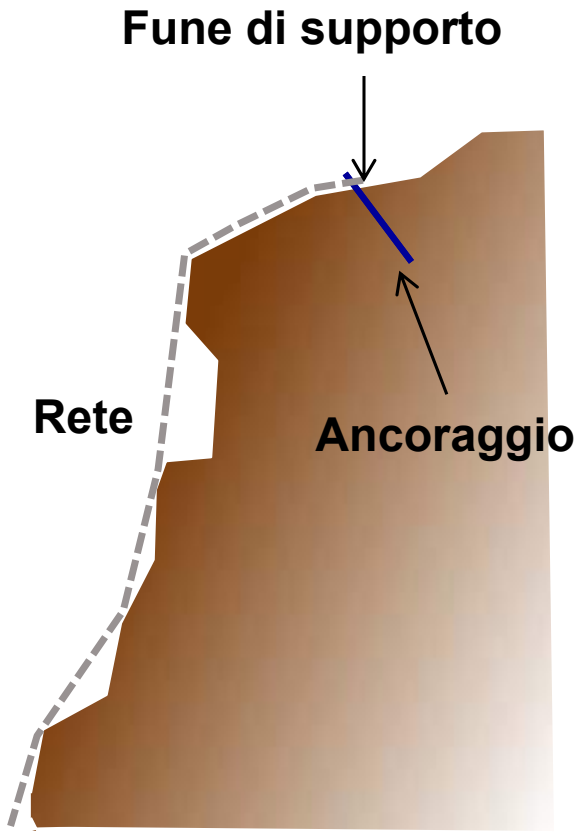
prevedere i tempi per la manutenzione
periodica

Reti in aderenza su pendii in roccia

MACCAFERRI

Geometria del sistema superiore di sostegno





Catenaria della fune superiore 0.2 – 0.3 m

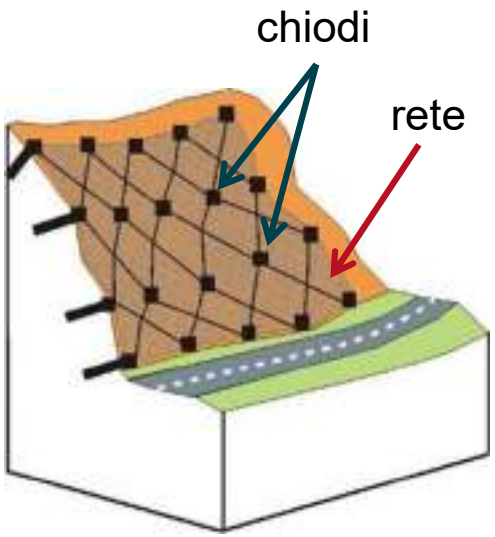
Diametro della fune superiore 12 – 16 mm (max 20 mm)

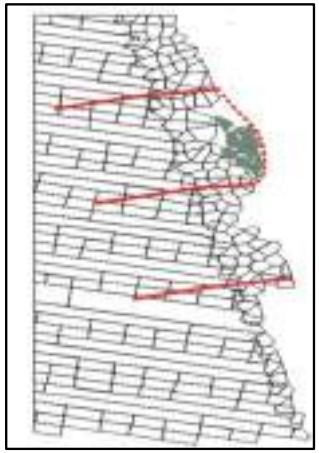
Spaziatura degli ancoraggi 3 - 4 m (2 – 6 m)

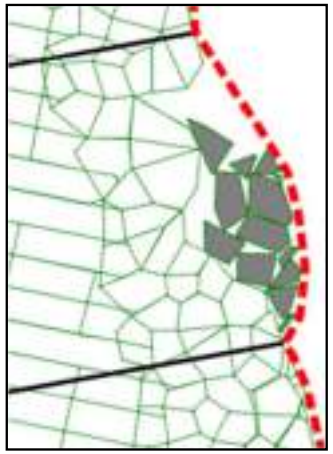
Reti in aderenza su pendii in roccia

MACCAFERRI

Rafforzamenti corticali







Ancoraggi
Migliorare la stabilità della coltre superficiale alterata/fratturata

Rivestimento
Trattenere il detrito e/o i blocchi tra gli ancoraggi

Reti in aderenza su pendii in roccia

MACCAFERRI

LA RETE E' FLESSIBILE E DEFORMABILE

La rete NON E' UNA TRAVE
Che permette di trasferire carichi al terreno

La rete SI DEFORMA
quando soggetta al carico di detriti/blocchi

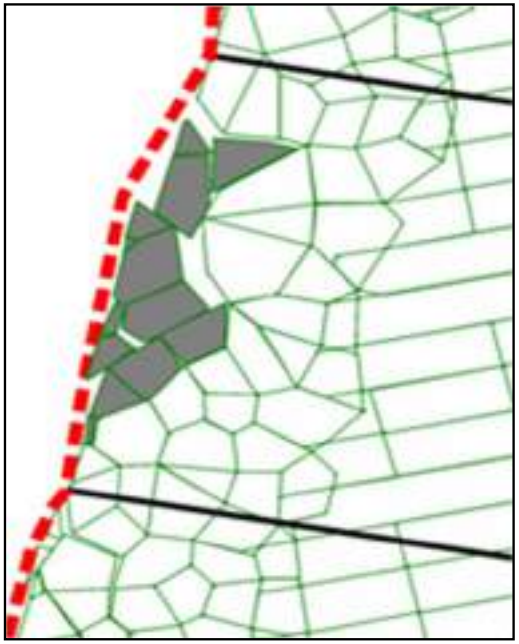
CIRIA 2005 – Soil nailing Best practice guidance: Flexible structural facing

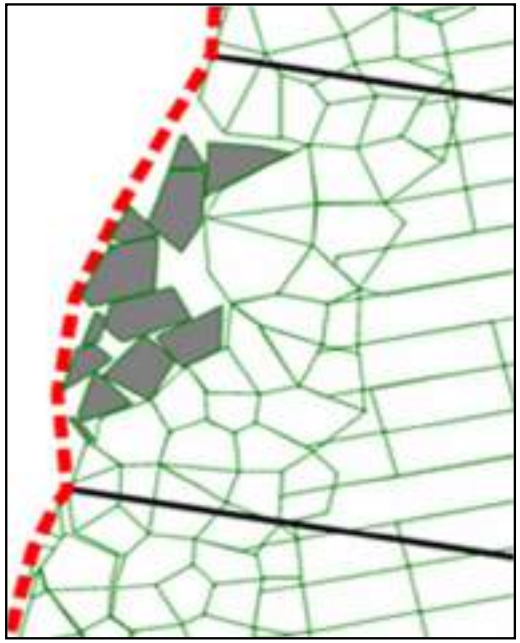
Reti in aderenza su pendii in roccia

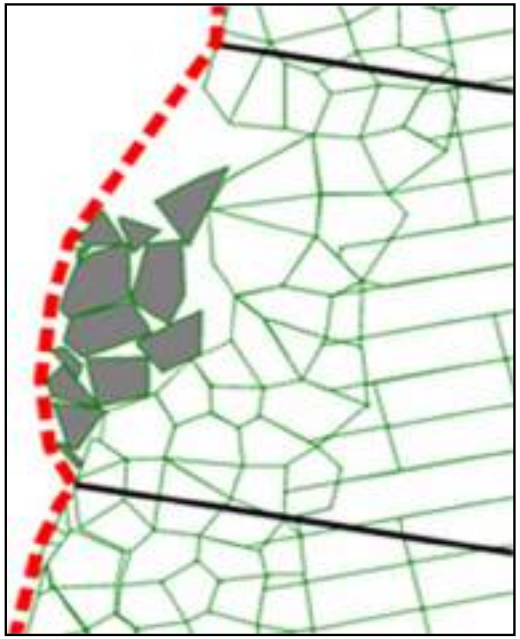
MACCAFERRI

RIGIDITÀ MEMBRANALE DELLA RETE

\+ ← −







Rete troppo deformabile e flessibile = denudazione degli ancoraggi = minore stabilità

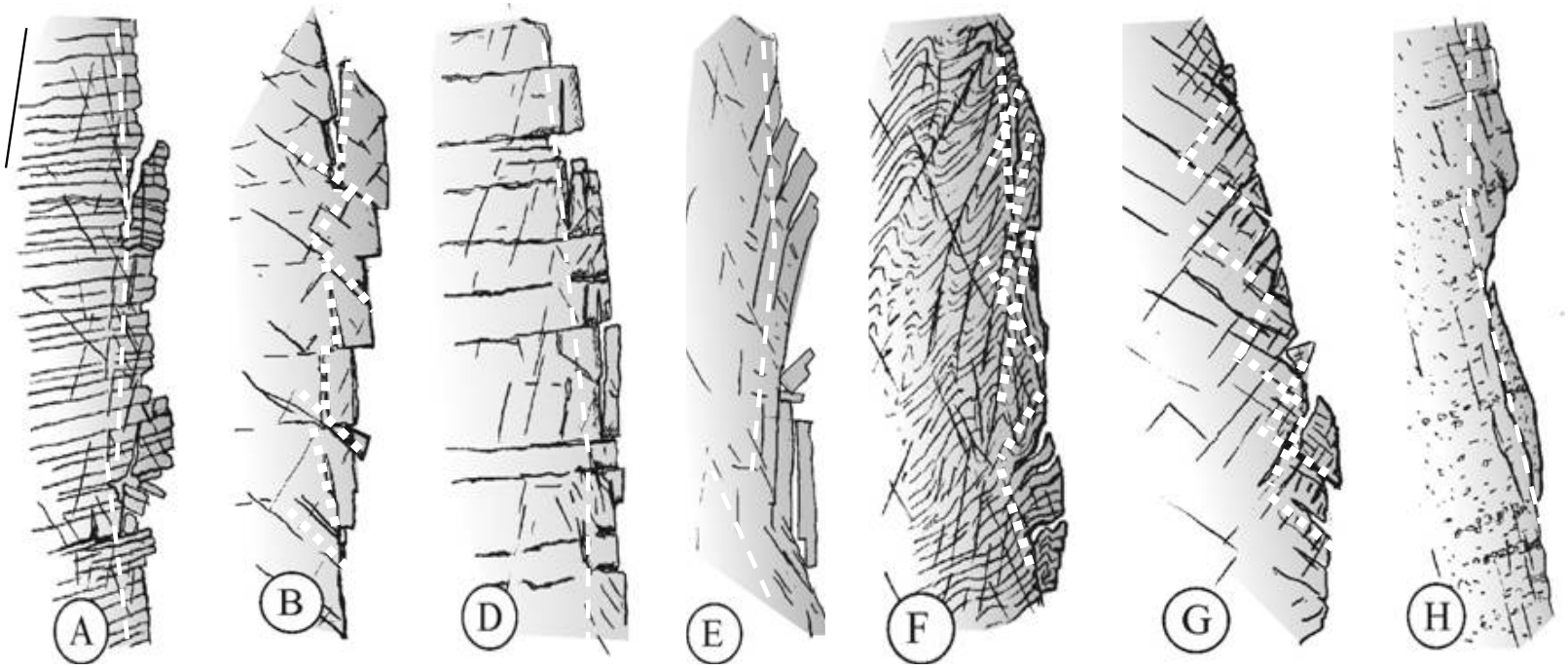
Reti in aderenza su pendii in roccia

MACCAFERRI

Qual è il beneficio di utilizzare una rete ad elevate resistenza a trazione se le deformazioni di lavoro non sono accettabili?

Reti in aderenza su pendii in roccia

Bisogna definire lo spessore di roccia instabile caratterizzato da giunti di discontinuità che definiscono i blocchi instabili.



Reti in aderenza su pendii in roccia

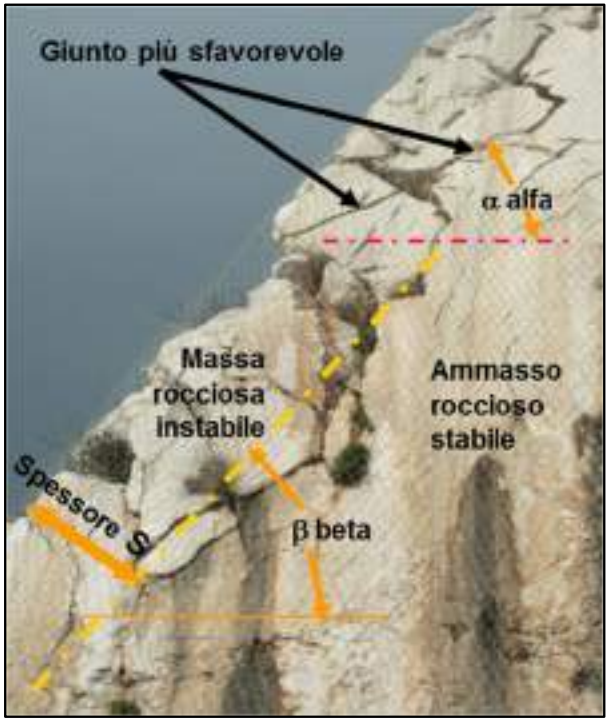
È fondamentale un rilevo geomeccanico dell'ammasso roccioso, al fine di definire le famiglie di giunti e le loro caratteristiche:

- Resistenza a compressione semplice (JCS)
- Rugosità (JCR)
- Inclinazione
- Ecc.

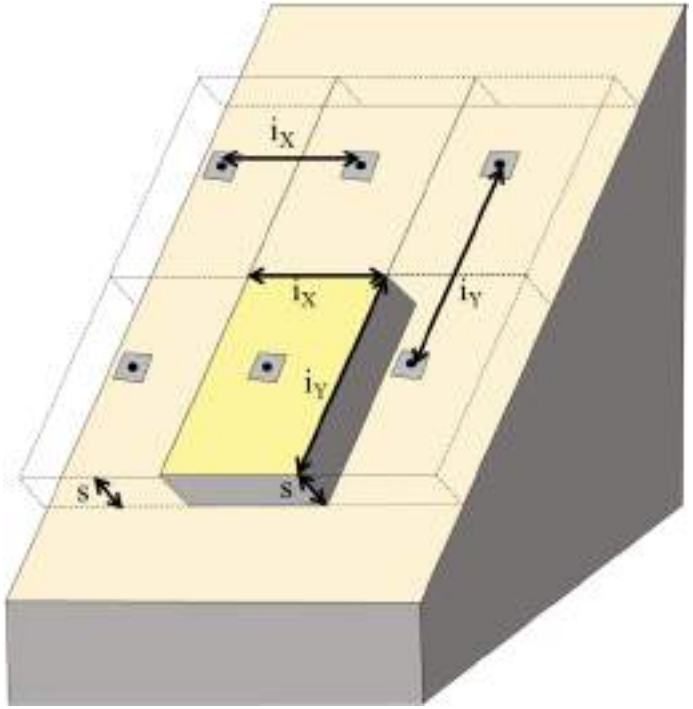
Reti in aderenza su pendii in roccia

MACCAFERRI

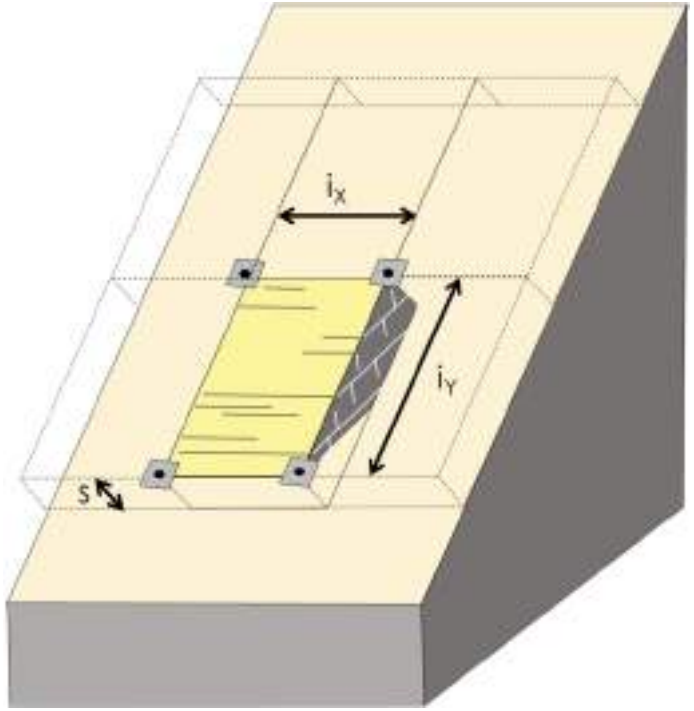
Modello di calcolo



Dimensionamento dei chiodi



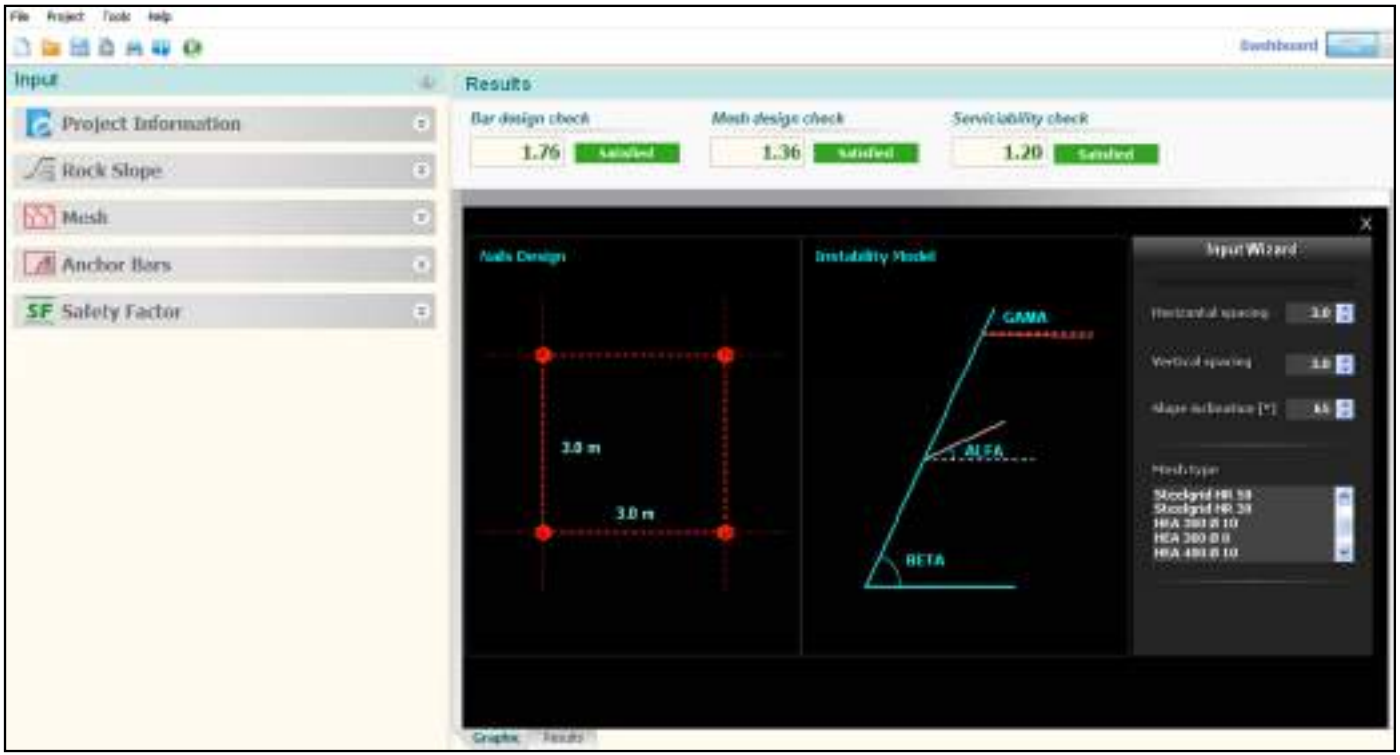
Verifica della rete
agli stati limite ultimo e di servizio



Reti in aderenza su pendii in roccia

Software per il dimensionamento di rafforzamenti corticali

Macro 1



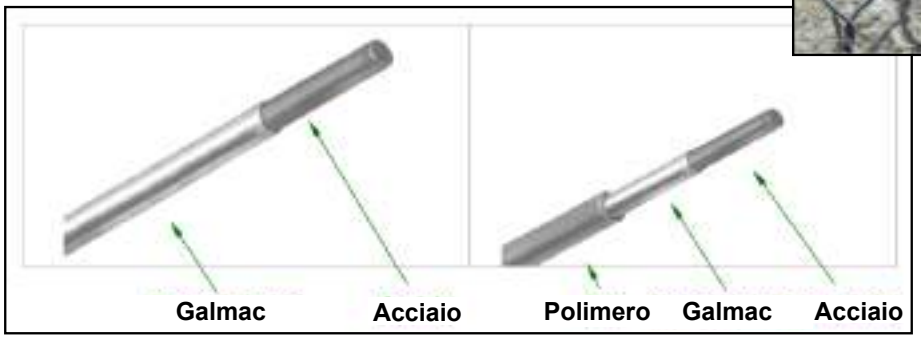
Reti in aderenza su pendii in roccia

MACCAFERRI

RETE A DOPPIA TORSIONE

Rete a Doppia Torsione a maglia esagonale tipo 8x10 rivestita in:

- Galmac (Zn+5%Al)
- Galmac + Polimero



- Caduta di piccoli blocchi (ϕ < 30 cm)
- Colate di detriti di piccola entità
- Erosione localizzata

Reti in aderenza su pendii in roccia

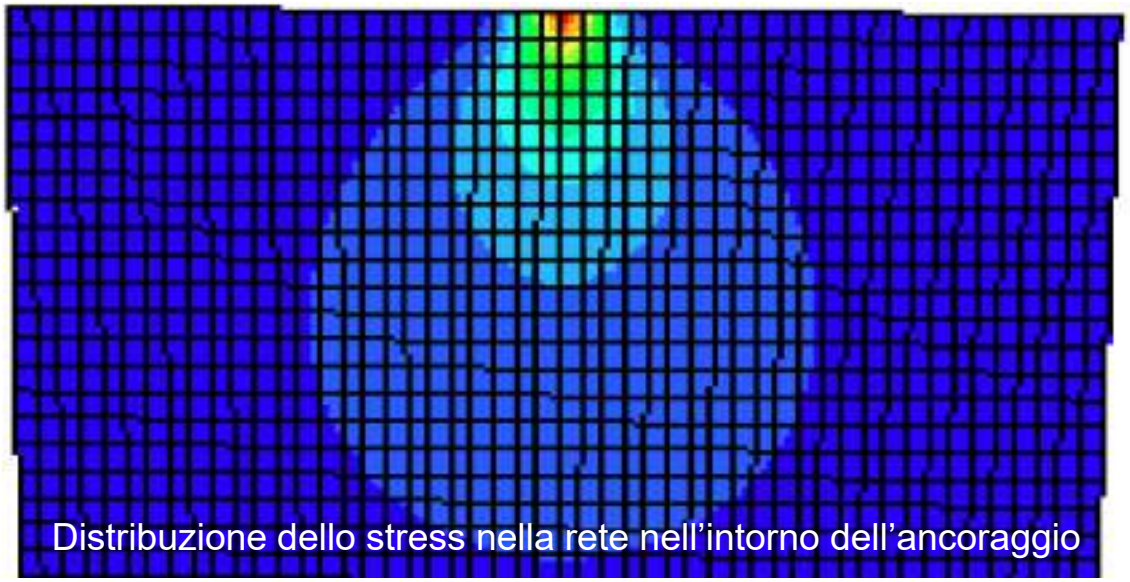
MACCAFERRI

Intervento tipologico di rafforzamento corticale

Reti in aderenza su pendii in roccia

MACCAFERRI

Reticolo in fune di acciaio



Il reticolo in fune determina i seguenti vantaggi:

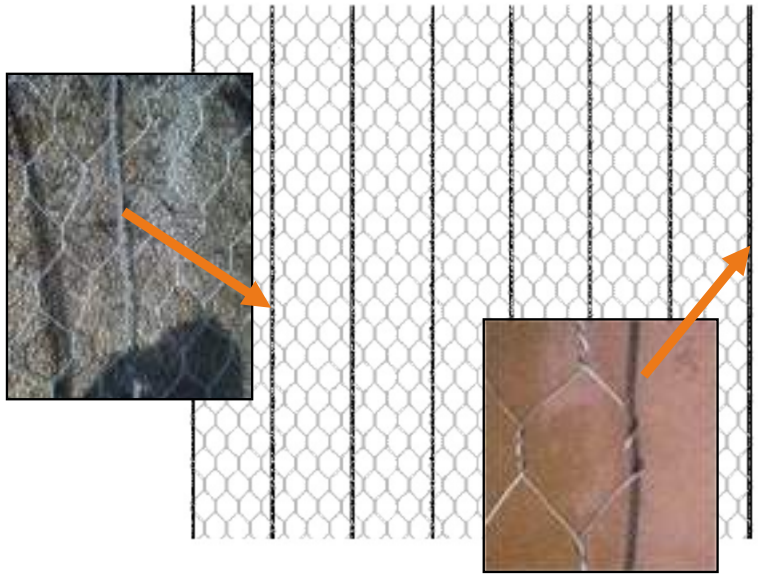
- Riduce la deformazione della membrana.
- Riduce lo stress in corrispondenza della piastra

<u>La fune coopera bene se intessuta nella rete</u>

MACCAFERRI

STEELGRID HR

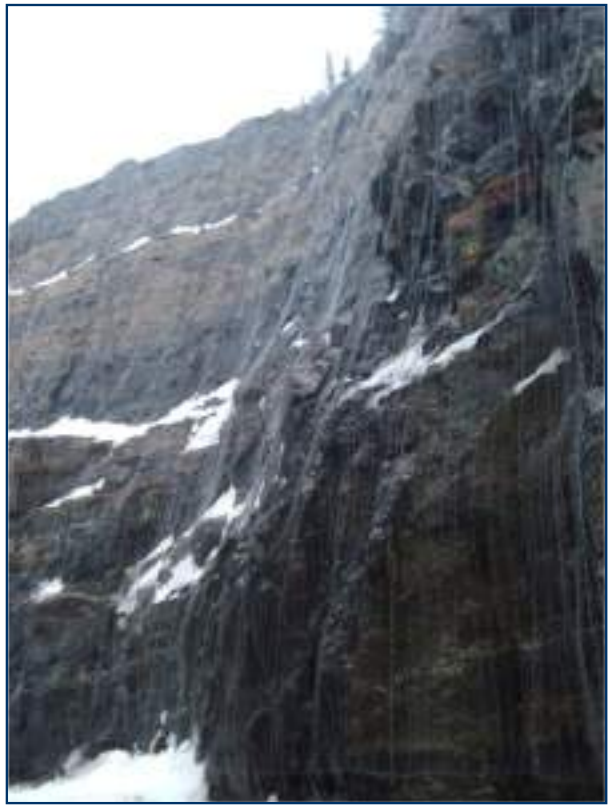
Rete a Doppia Torsione a maglia esagonale tipo 8x10 con funi di acciaio intessute con interasse 30/50/100 cm rivestita con Galmac (Zn+5%Al)



- Caduta di blocchi di dimensione significativa (vol. ≈ 1,0 m^3)
- Rivestimenti semplici su pendi molto estesi
- Rafforzamenti corticali

Reti in aderenza su pendii in roccia

Quebec, Canada
Protezione di un generatore della centrale idroelettrica Dam Manic 2



Reti in aderenza su pendii in roccia

S.P. 89 Montegallo (AP)

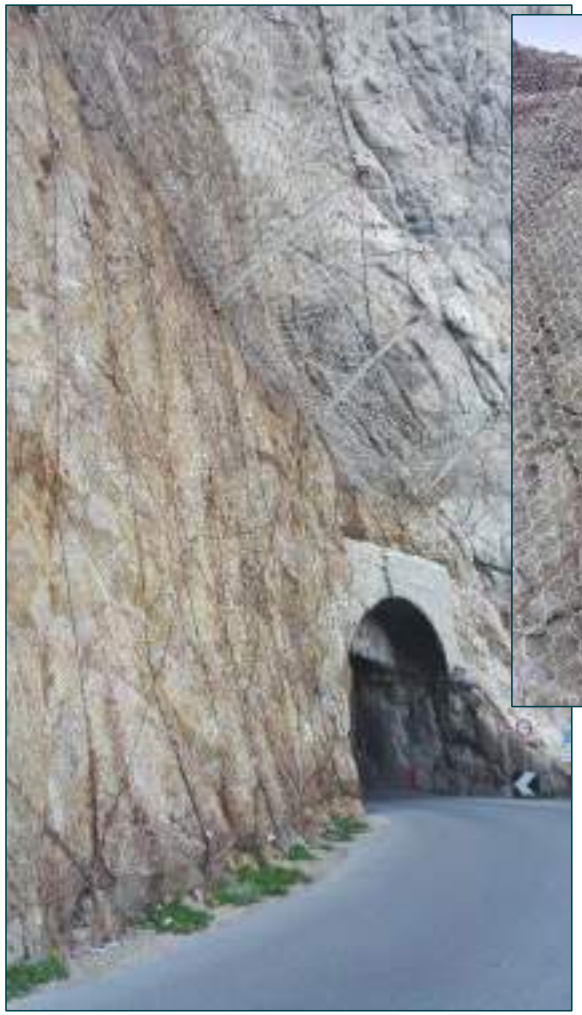
(Giugno – Settembre 2018)

Reti in aderenza su pendii in roccia

Frauenberg (Germania)

Reti in aderenza su pendii in roccia

MACCAFERRI



MACCAFERRI

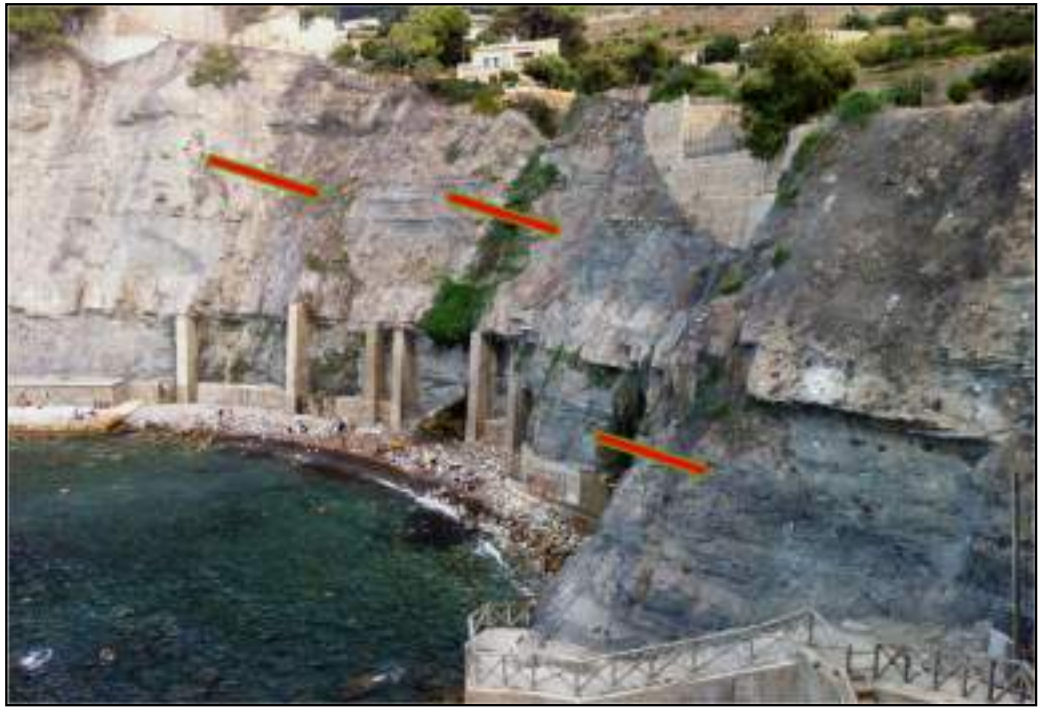
STEELGRID HR PVC

Rete a Doppia Torsione a maglia esagonale tipo 8x10 con funi di acciaio intessute con interasse 30/50/100 cm rivestita con Galmac (Zn+5%Al) e PVC

- Caduta di blocchi di dimensione significativa (vol. ≈ 1,0 m^3)
- Rivestimenti semplici e rafforzamenti corticali in ambienti aggressivi

Reti in aderenza su pendii in roccia

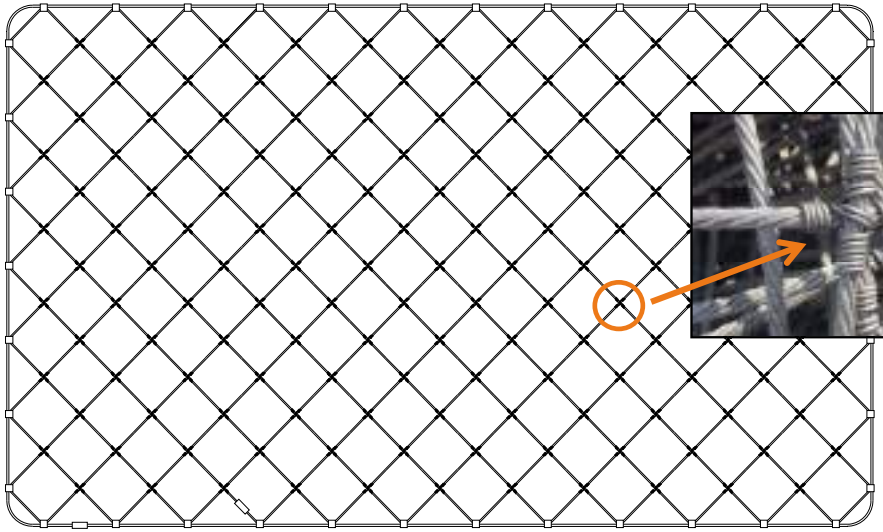
Cala Banyalbufar, Maiorca



MACCAFERRI

PANNELLI SW/HEA

Rete in fune di acciaio diam. 8/10 mm
con maglia 250x250, 300x300, 400x400
con speciale nodo di legatura



«borchia» dei
pannelli tradizionali

- Rafforzamenti corticali con ridotte deformazioni
- Rivestimento ed imbragaggio grossi blocchi instabili, speroni, pinnacoli ecc.

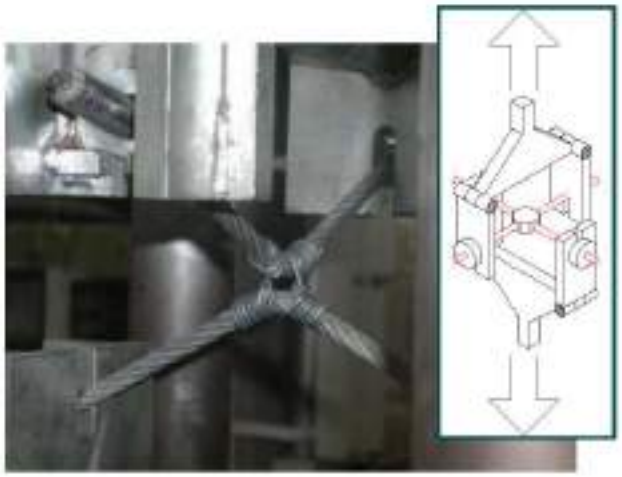
MACCAFERRI

PANNELLI SW/HEA

Le prestazioni del pannello in fune sono strettamente legate anche al comportamento del nodo

23 kN ÷ 28 kN

Prova di strappo



7 kN ÷ 12 kN

Reti in aderenza su pendii in roccia

Reti in aderenza su pendii in roccia

S.S. 685 "delle Tre Valli Umbre"

Reti in aderenza su pendii in roccia

S.S. 685 "delle Tre Valli Umbre"

MACCAFERRI

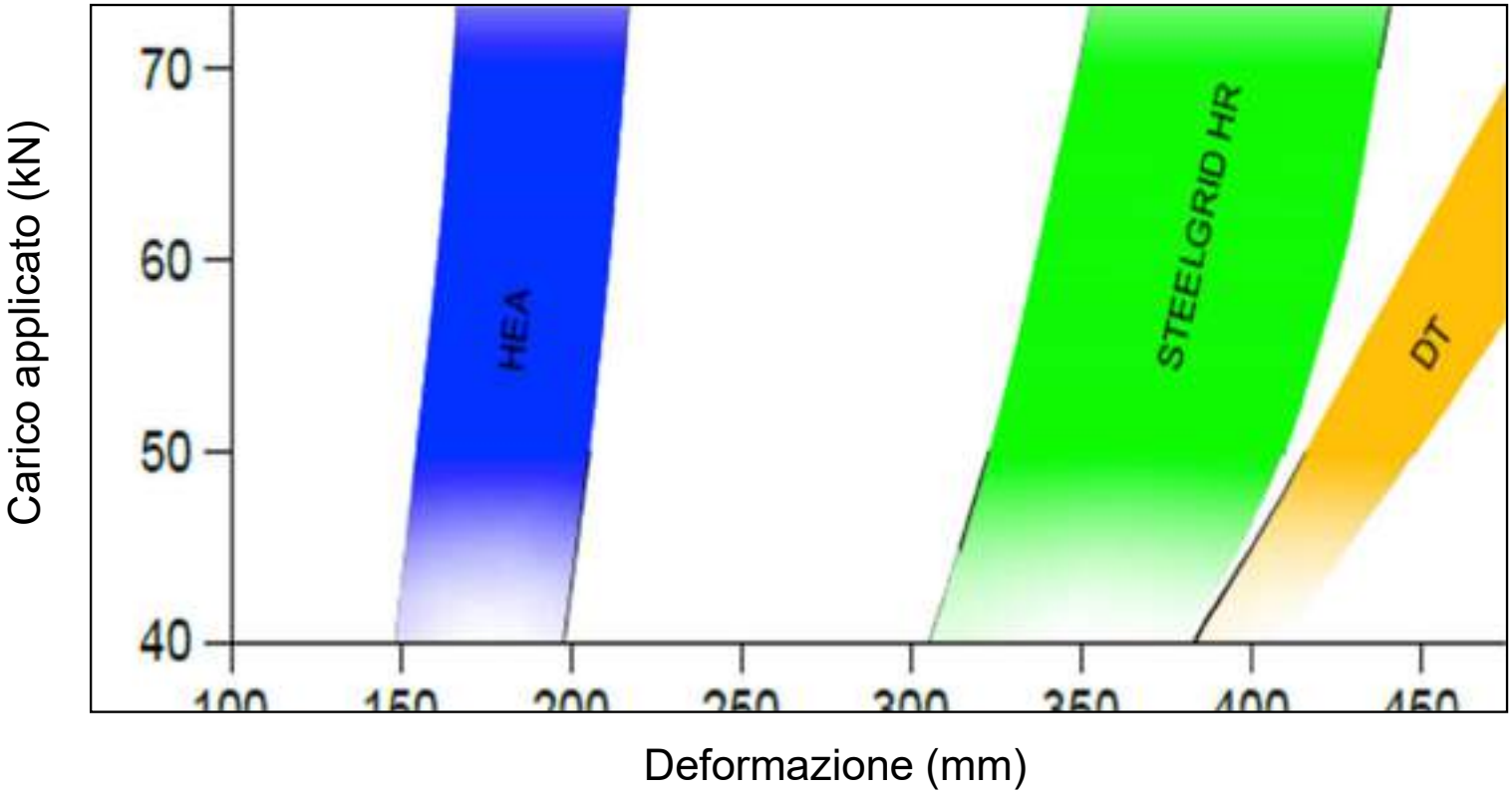
PANNELLI HEA INOX

CE

Al Hoceima Port (Marocco)

Reti in aderenza su pendii in roccia

Risultati prove di punzonamento UNI 11437:2012

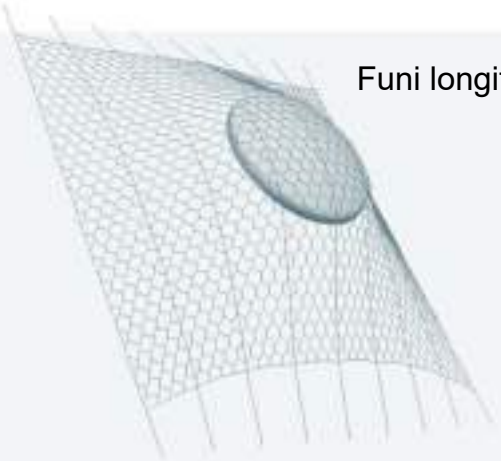


Reti in aderenza su pendii in roccia

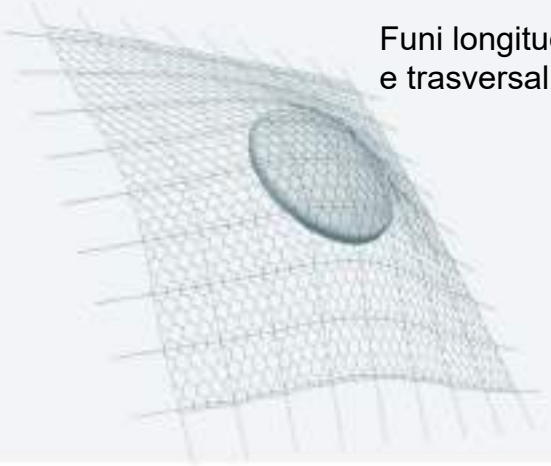
MACCAFERRI

Rete DT

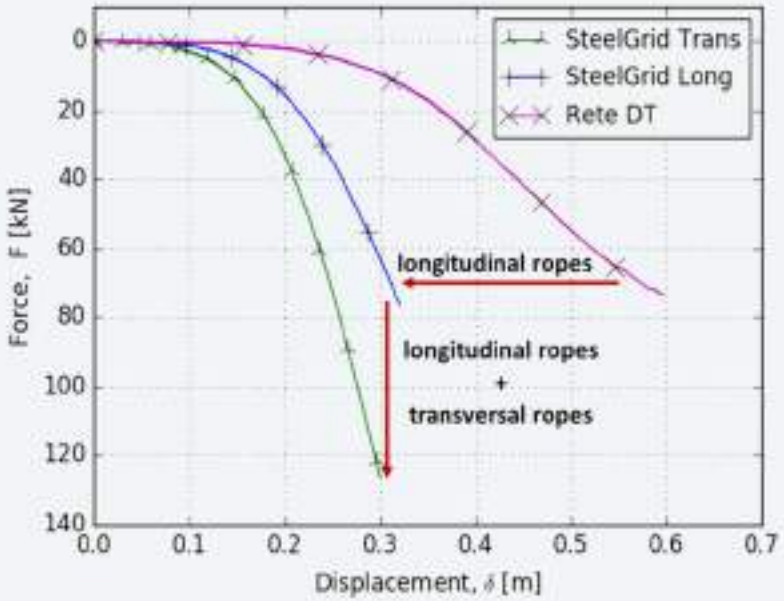
Funi longitudinali



Funi longitudinali
e trasversali



Test di punzonamento (UNI 11437:2012)



Strettamente confidenziale

MacArmour

Reti in aderenza su pendii naturali o su scavi in terreno sciolto

MACCAFERRI

MACMAT-R

Rete a Doppia Torsione a maglia esagonale preaccoppiata ad una geostuoia tridimensionale in PP

- Protezione dall'erosione
- Rinverdimenti
- Stabilizzazione superficiale

Reti in aderenza su pendii naturali o su scavi in terreno sciolto

MACCAFERRI

MACMAT HS

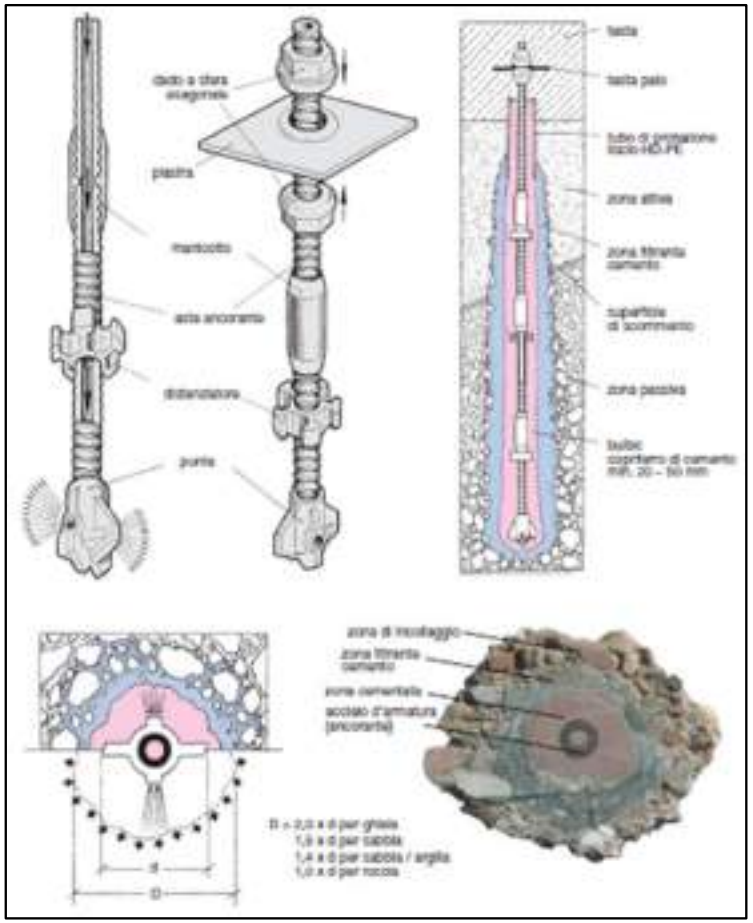
Rete a Doppia Torsione a maglia esagonale tipo 8x10 con funi di acciaio intessute, preaccoppiata ad una geostuoia tridimensionale in PP

Reti in aderenza su pendii naturali o su scavi in terreno sciolto

Ripristino di dissesto idrogeologico mediante riprofilatura, regimentazione delle acque superficiali, consolidamento e rivestimento anti-erosivo

Reti in aderenza su pendii naturali o su scavi in terreno sciolto

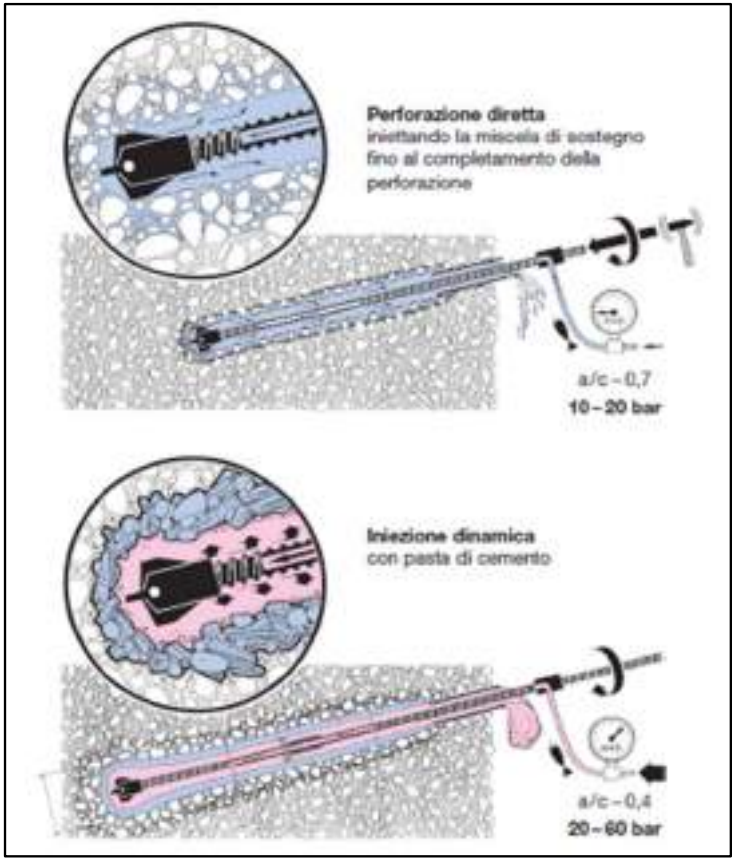
Reti in aderenza su pendii naturali o su scavi in terreno sciolto



Tipi di punte:	utilizzo:
Punta per terreno argilloso:	argilla, terreno sabbioso-coerente, terreno misto senza ostacoli < 50 S.P.T.
Punta a croce:	per sabbia e ghiaia stratificate compatte con ostacoli > 50 S.P.T.
Punta a bottone:	per roccia disgregata, scisto; resistenza < 70 MPa
Punta a croce in acciaio migliorato:	per dolomite, granito, arenaria, resistenza 70 – 150 MPa
Punta a bottone in acciaio migliorato:	per cemento armato o roccia – resistenza > 70 MPa
Punta a gradino:	per superfici di separazione o perforazioni a stabilità direzionale (deviazione < 2 % della lunghezza o slitta < 4,2 m)

tutte con fori (Venturi)

S.P.T. Standard Penetration Test



Reti in aderenza su pendii naturali o su scavi in terreno sciolto

MACCAFERRI

Soil Naling con rivestimento strutturale flessibile

Rivestimento anti-erosivo di scavi definitivi

Reti in aderenza su pendii naturali o su scavi in terreno sciolto

MACCAFERRI

Soil Naling con rivestimento strutturale flessibile

Rivestimento anti-erosivo ad elevata rigidezza di scavi definitivi

Reti in aderenza su pendii naturali o su scavi in terreno sciolto

MACCAFERRI

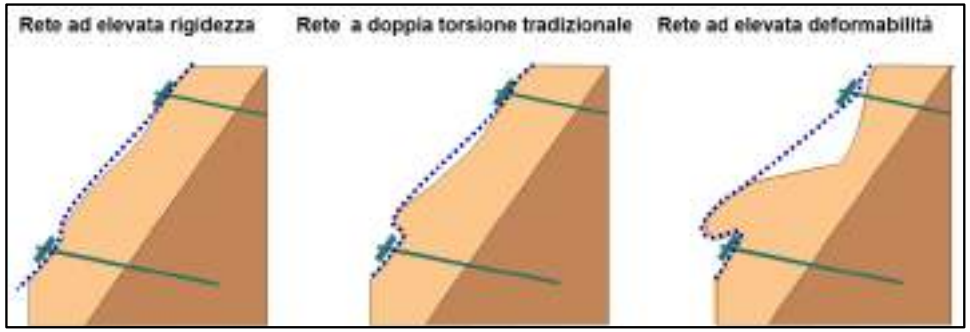
Soil Naling con rivestimento strutturale flessibile

- La resistenza a trazione ha importanza marginale nella scelta della rete

- Maggiore è la rigidezza membranale della rete, più efficace è il rivestimento strutturale

- Lo scivolamento del terreno tra gli ancoraggi è la tipologia di collasso più frequente nel caso di rivestimento flessibile

- La spaziatura tra i chiodi ottimale è di 1,5 – 2,0 m. In ogni caso la spaziatura non deve mai superare 3 m



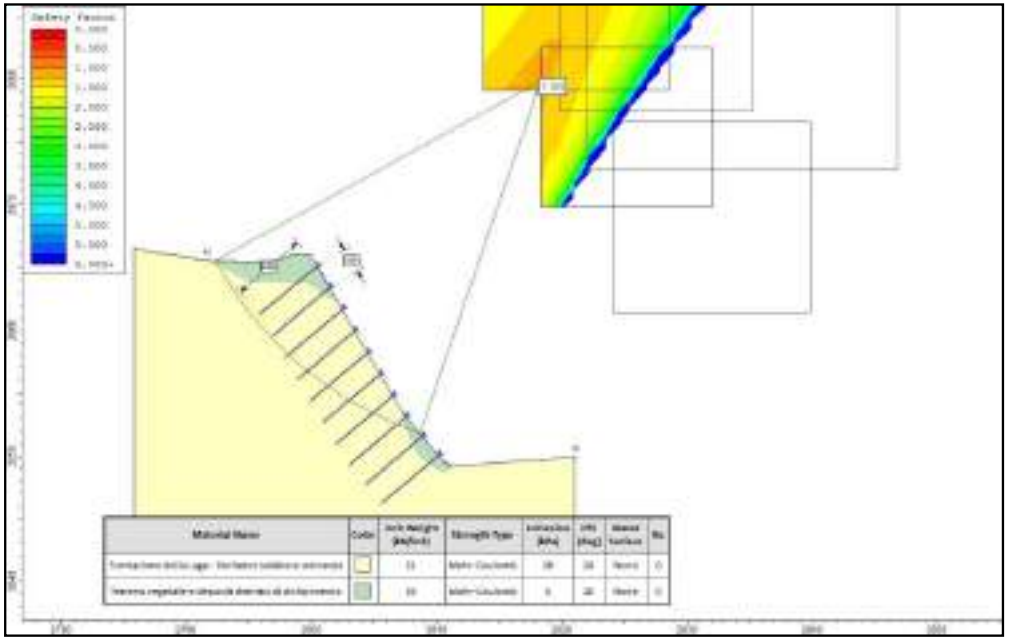
Spaziatura ancoraggi 6,0 x 3,0 m

Reti in aderenza su pendii naturali o su scavi in terreno sciolto

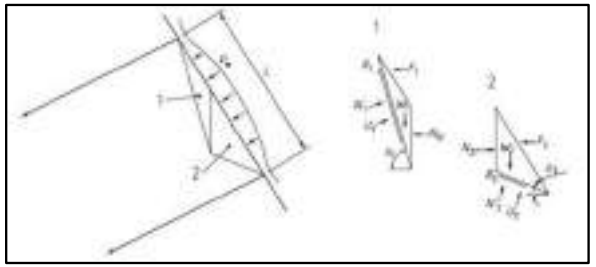
MACCAFERRI

Soil Naling con rivestimento strutturale flessibile

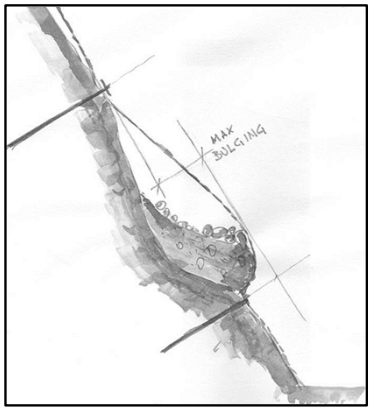
Verifica della stabilità globale e dimensionamento dei chiodi

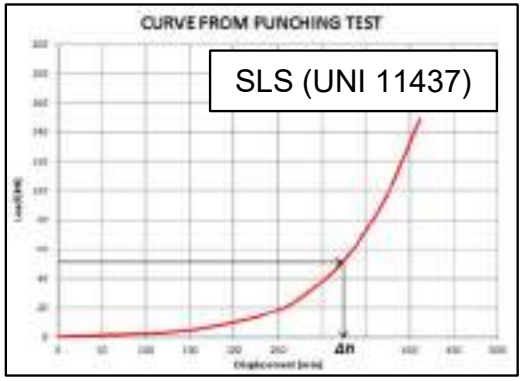


Verifica agli stati limite ultimo e di servizio del rivestimento (**software BIOS**)



SLU (BS 8006-2)





Barriere paramassi

MACCAFERRI

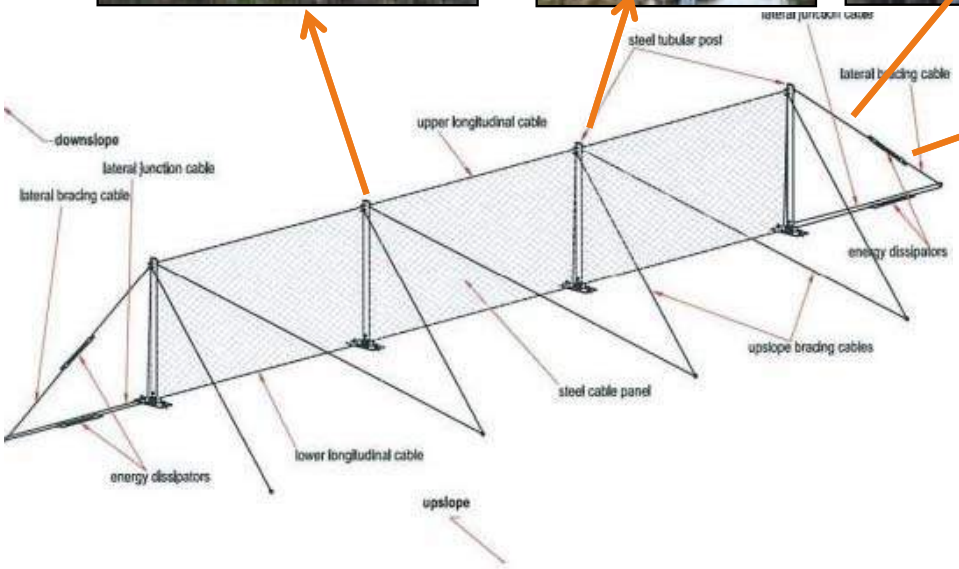
Barriere paramassi

Struttura di intercettazione (rete)

Struttura di supporto (montanti)

Componenti di connessione (funi, morsetti, grilli...)

Dissipatori di energia



Fondazioni (NOTA: non sono parte del kit ETAG)

Barriere paramassi

MACCAFERRI

Dissipatori di energia (tipo CB)

Barriere paramassi

Come verificare la qualità di una barriera paramassi?

European Organisation for Technical Assessment

EAD 340059-00-0106 (ex ETAG 027)
European Assessment Document for Falling Rock Protection Kits
(2018)

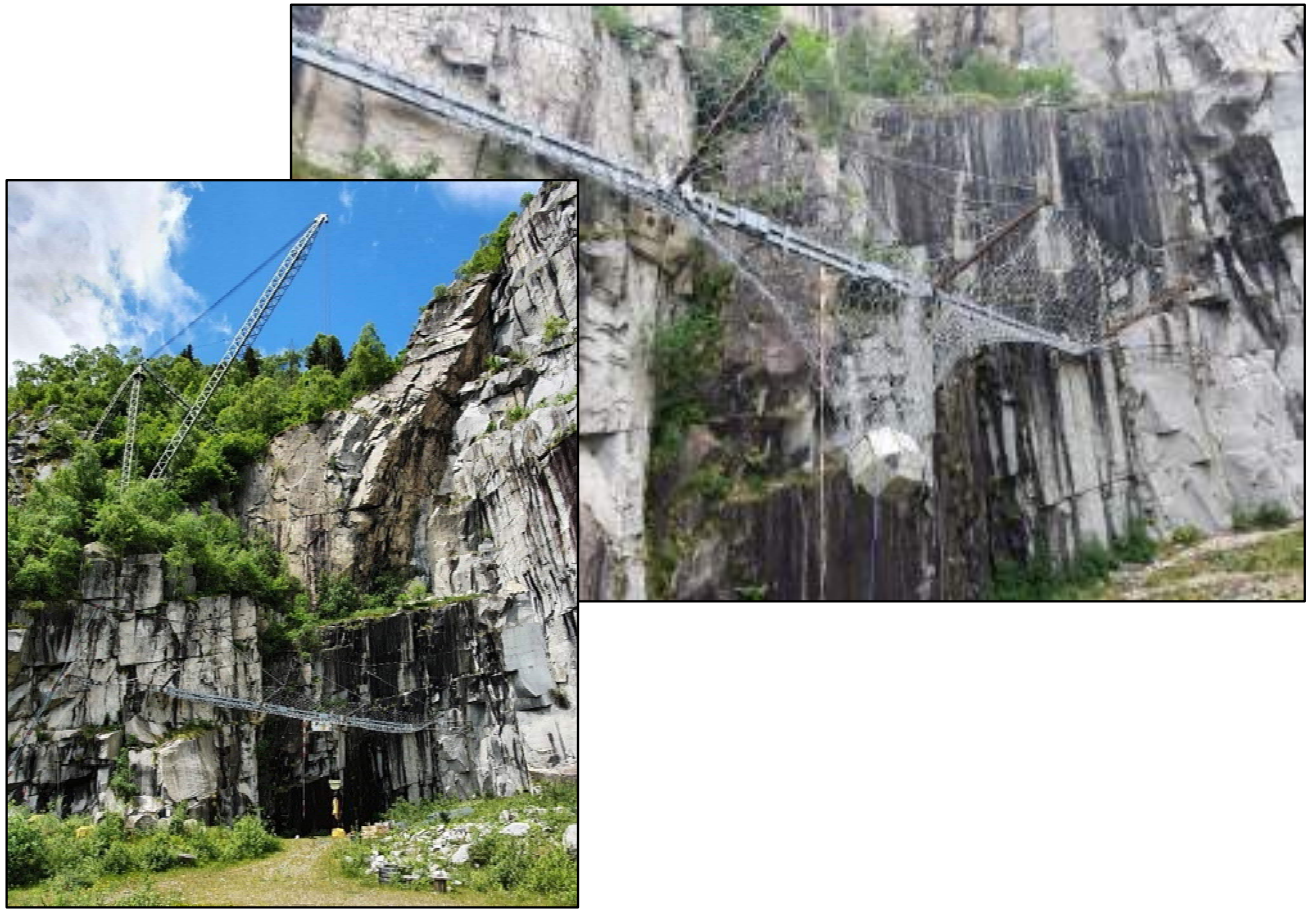
1. Definisce le prescrizioni per effettuare i test in scala reale
2. Definisce i controlli da effettuare sulla produzione e sui materiali

ETA (European Technical Assessment) & Certificato di Costanza della Prestazione

Barriere paramassi

Campo prove di Fonzaso (BL)

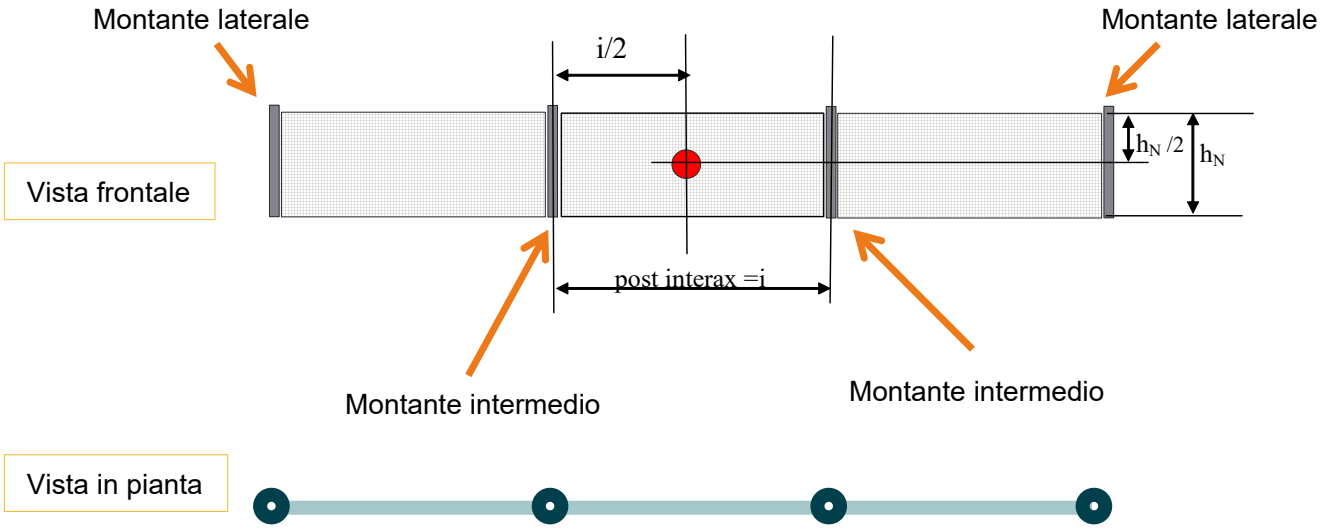
Campo prove di Campiglia Cervo (BI)



Barriere paramassi

Le prove in campo sono condotte su una barriera con tre moduli allineati, ragione per cui i tre moduli sono la lunghezza minima suggerita per la barriera.

Configurazione del crash test sulla barriera



Barriere paramassi

Classificazione livello di energia in kJ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SEL	-	85	170	330	500	660	1 000	1 500	>1 500
MEL ≥	100	250	500	1 000	1 500	2 000	3 000	4 500	>4 500

TEST 1 – MEL = Maximum Energy Level

- La barriera deve trattenere un masso col suo massimo livello energetico (100 %)
- L'altezza residua della struttura di intercettazione dopo l'impatto indica il livello qualitativo (CATEGORIA) della barriera

TEST 2 – SEL = Service Energy Level (1/3 MEL)

- La barriera deve trattenere senza subire gravi danni due impatti successivi di un masso con livello energetico pari ad 1/3 MEL
- L'altezza residua dopo il primo impatto deve essere maggiore del 70 %
- Nel secondo impatto la barriera deve solo trattenere il blocco

Barriere paramassi

MACCAFERRI

CE

La gamma e le caratteristiche principali

Barriere	MEL (kJ)	Altezza nominale (m)	Altezze certificate ETAG 027 (m)	Deformazione massima MEL (m)
RB 100 UAF	100 *	2,13	2,0 – 2,5	2,10
RB 750	750	3,16	3,0 – 3,5	4,21
RB 1000	1000	3,75	3,5 – 5,0	4,63
RB 1500	1500	4,02	4,0 – 5,0	5,80
RB 2000	2000	4,01	4,0 – 5,0	6,42
RB 3000	3000	5,03	5,0 – 6,0	7,06
EPFM 5000	5500	6,05	6,0 – 7,0	8,25

* senza controventi di monte

Barriere paramassi

MACCAFERRI

ETA

European Technical Assessment ETA 20/0673 – version 01 of 08/09/2020

General Part

Certificato di Costanza della Prestazione

Certificate of constancy of performance

1301 – CPR – 1047

DOP

Dichiarazione di Prestazione

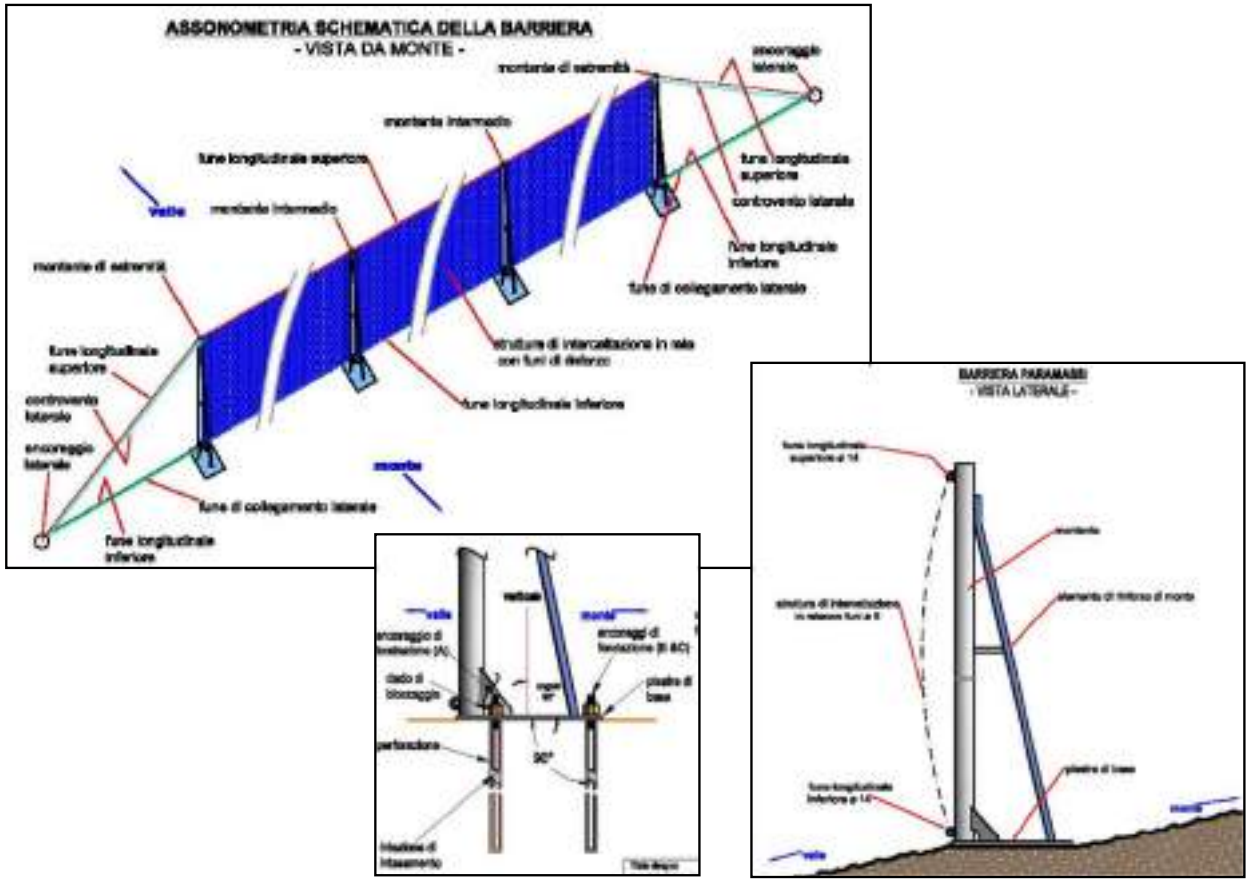
BARRIERA PARAMASSI

MACCAFERRI

Barriere paramassi

MACCAFERRI

Barriera paramassi RB 100 UAF (100 kJ)



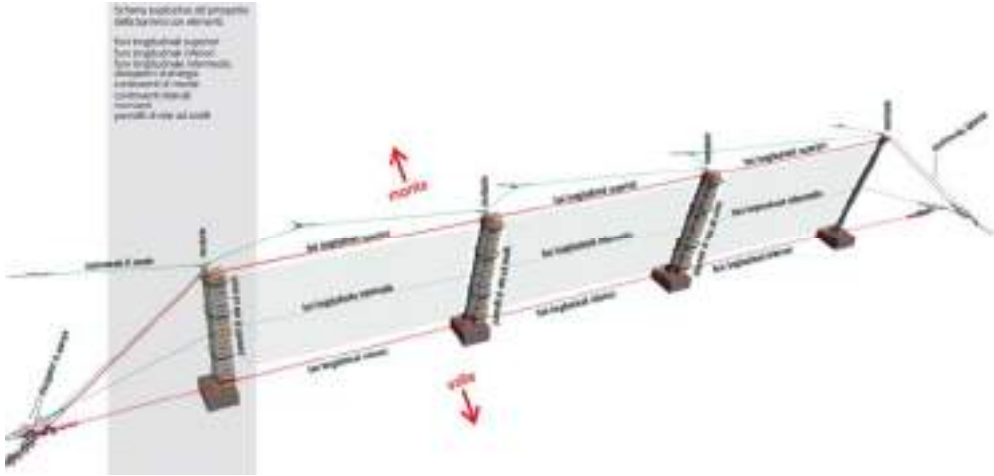
Barriere paramassi

SP 136 Visso – Castel Sant'Angelo sul Nera (MC)

Barriere paramassi

MACCAFERRI

Barriera paramassi RB 2000 (2000 kJ)



Barriere paramassi

MACCAFERRI

Barriera paramassi RB 2000 (2000 kJ)

TEST MEL

Barriere paramassi

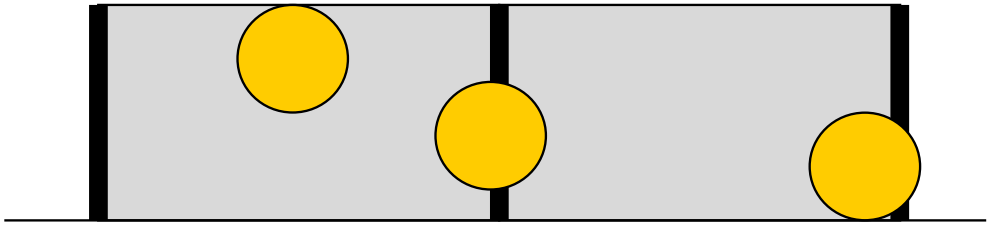
MACCAFERRI

Barriera paramassi RB 2000 (2000 kJ)

SEL3

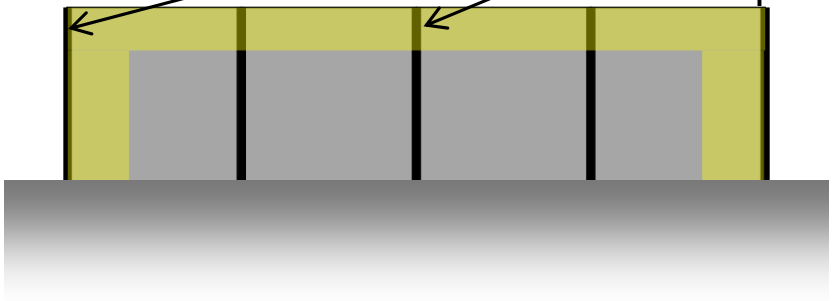
SEL3 è un test aggiuntivo non obbligatorio

Barriere paramassi

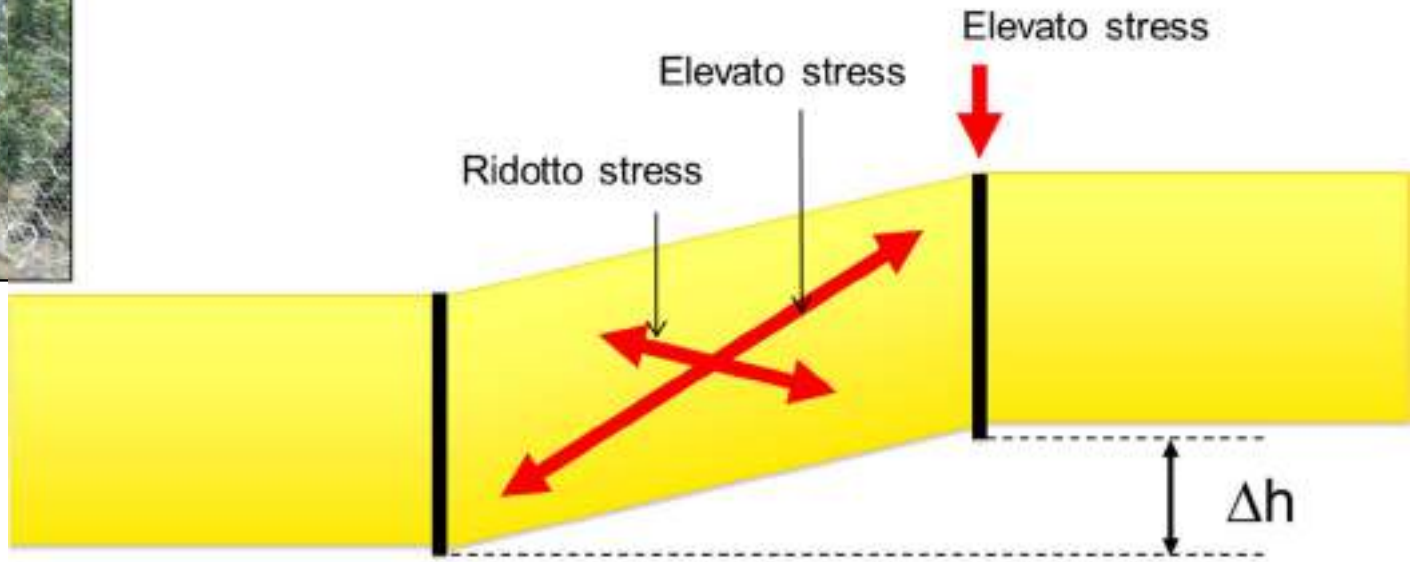


Nelle condizioni reali, le probabilità che la barriera venga impattata nel punto centrale della campata sono molto basse

Punti potenzialmente deboli:
- Porzione laterale della tratta
- Bordo superiore



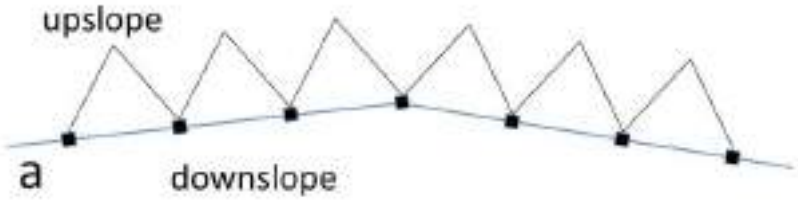
Barriere paramassi



Se le basi dei montanti non sono disposte sullo stesso livello, la distribuzione delle forze sui vari component del kit non è uniforme: alcuni elementi potrebbero essere soggetti ad un carico maggiore rispetto a quello di progetto

Barriere paramassi

Se la barriera non ha un andamento rettilineo in pianta….

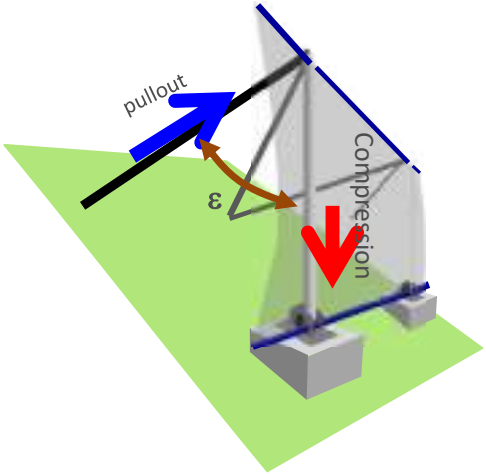


… l'altezza residua potrebbe essere inferiore e l'allungamento potrebbe essere maggiore

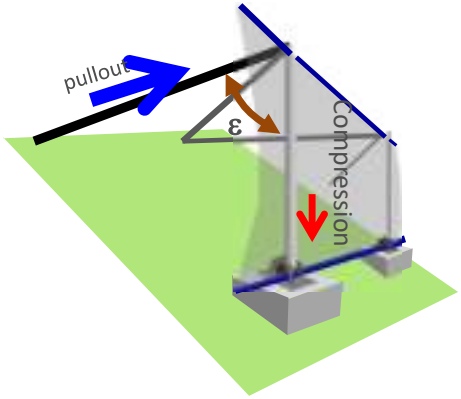
…… i montanti potrebbero essere soggetti ad un momento rotazionale verso monte

Barriere paramassi

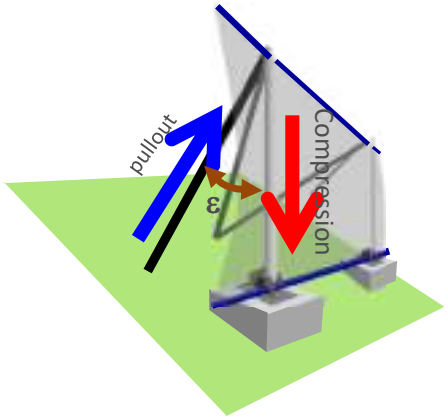
Variazione del carico di compressione alla base del montante e
della forza agente sui controventi (e ancoraggi) di monte
in funzione dell'inclinazione dei controventi di monte



Standard ε : OK



Maggiore ε : OK



Minore ε : NO

Barriere paramassi

MACCAFERRI

- Software commerciali per stimare le traiettorie
  - ✓ 2D: considerano solo il profilo del pendio.
  - ✓ 3D: considerano la reale morfologia del terreno.

→ Analisi preliminare della zona interessata dal fenomeno (fotogrametria e/o laser scanner)

- Analisi geomeccanica
  - ✓ Individuazione delle probabili zone di distacco.
  - ✓ Stima del volume dei possibili blocchi.
  - ✓ Determinazione della più probabile geometria del blocco.
- Individuazione dei parametri che possono influenzare le traiettorie
  - ✓ Proprietà del substrato.
  - ✓ Coefficiente di restituzione normale/tangenziale (elastico/anelastico).
  - ✓ Presenza o meno di ostacoli naturali (es. alberi).
  - ✓ Presenza di opere artificiali quali barriere paramassi
  - ✓ L'entità della deviazione della direzione di massima pendenza dopo l'impatto

→ Analisi accurata delle condizioni al contorno.

Approccio statistico
Adeguato numero di simulazioni:
tempo analisi e accuratezza risultati

Parametri dell'opera
Energia di impatto e altezza di volo

→ ***Tipologia di opera da realizzare***

MACCAFERRI

Progettazione

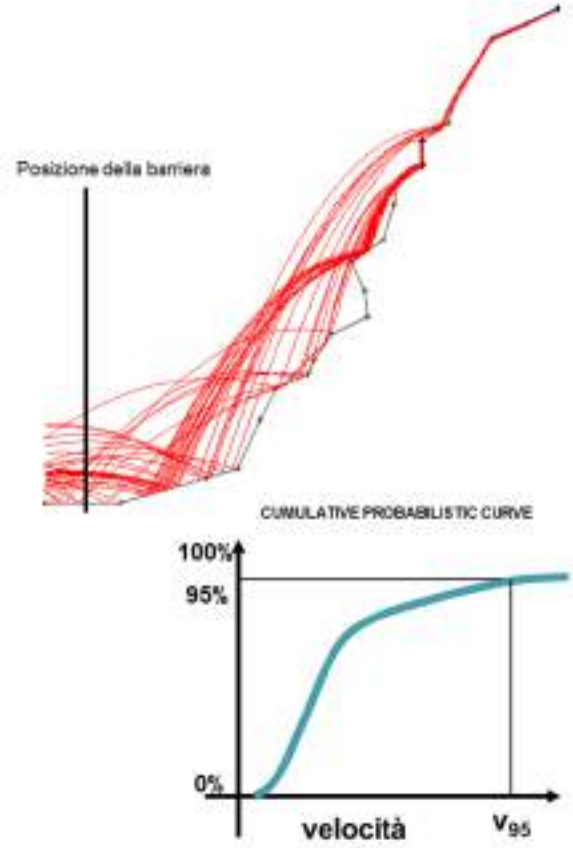
I crash test sulla barriera sono delle prove indicative perché sono sviluppate in particolari condizioni.

Non è dunque descritto il comportamento della barriera in tutte le condizioni.

Le variabili che definiscono le azioni agenti di progetto (volume del blocco di progetto, cinematismo di caduta lungo il pendio, ecc.) sono spesso affette da un'elevata incertezza

IL PROGETTO E' QUINDI BASATO SU UN APPROCCIO STATISTICO

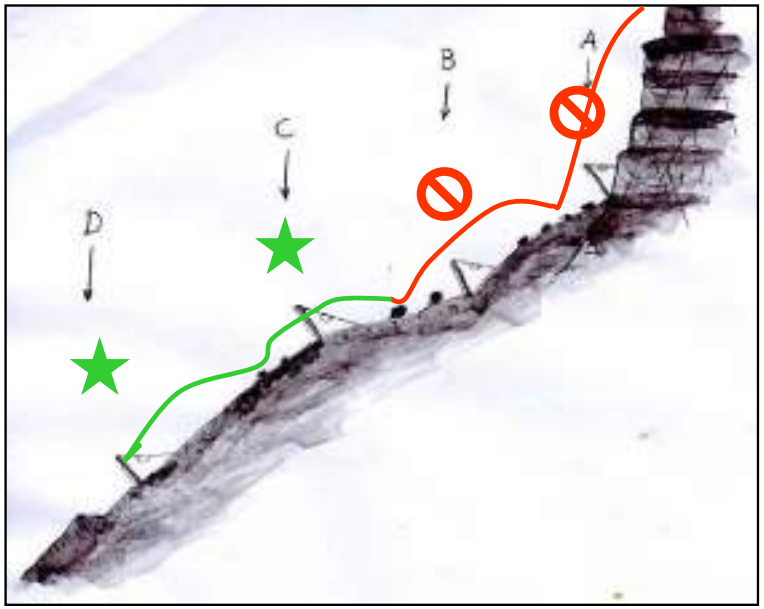
UNI 11211-4:2018 «Opere di difesa dalla caduta massi – Parte 4: Progetto definitivo ed esecutivo» fornisce indicazioni di dettaglio sul dimensionamento delle barriere paramassi (e.g. verifica dell'energia, dell'altezza della barriera e della distanza di sicurezza)



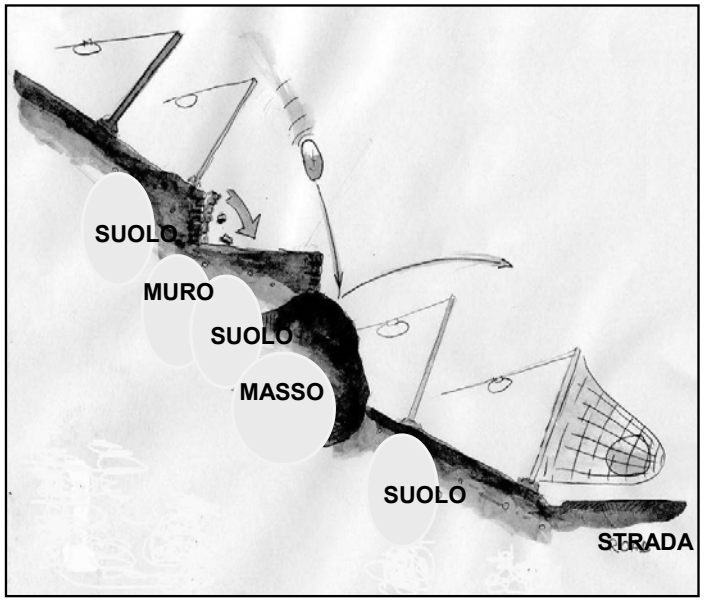
Barriere paramassi

MACCAFERRI

Posizionamento delle barriere paramassi



Dovrebbe essere scelta la morfologia più favorevole:
Le barriere sono meno efficaci quando realizzate in fossati oppure alla base di pendii rocciosi verticali



La distanza tra la barriera e l'infrastruttura da proteggere va verificata in funzione della deformata massima MEL

MACCAFERRI

DIMENSIONAMENTO DELLA BARRIERA PARAMASSI
IN ACCORDO ALLA NORMA UNI 11211-4

UNI 11211-4: Ottobre 2018

Opere di difesa dalla caduta massi

Parte 4: Progetto definitivo ed esecutivo

Ente Nazionale Italiano di Unificazione

Energia di progetto (UNI 11211-4:2018)

L' **Energia sollecitante di progetto** (*Esd*) è definita con la formulazione classica dell'energia cinetica, moltiplicata per un fattore di sicurezza (γ_E):

$$E_{sd} >= (\tfrac{1}{2}\, m_d\, v_d^2)\, \gamma_R$$

γ_R = fattore di sicurezza legato al **rischio per la vita umana**:

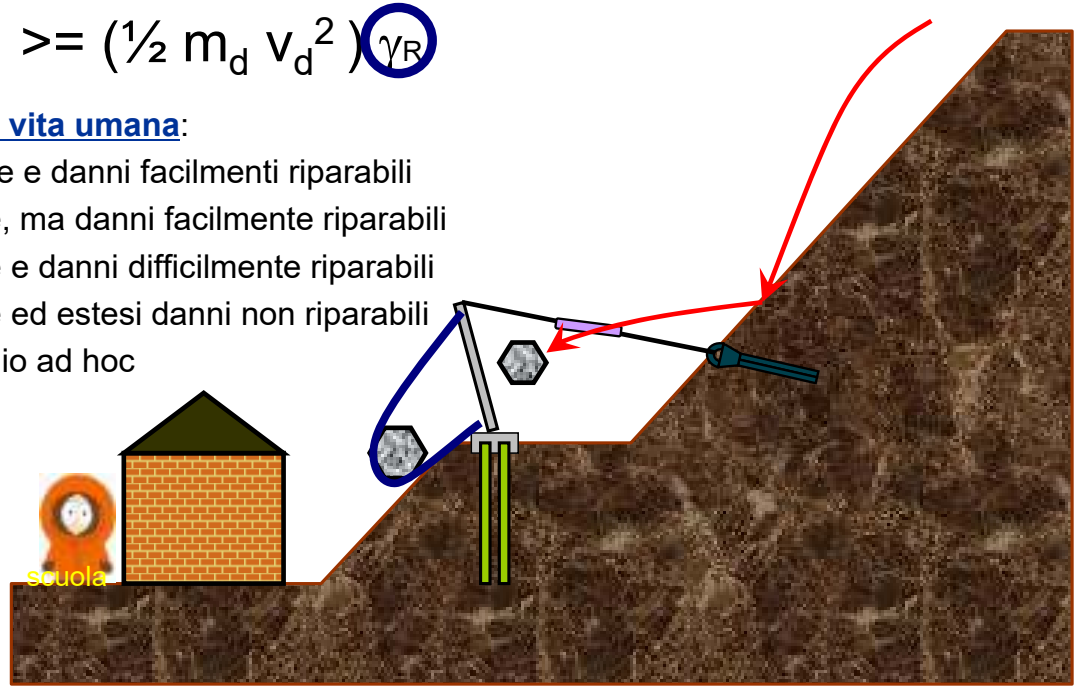
= 1.00 modeste conseguenze economiche e danni facilmenti riparabili

= 1.05 rilevanti conseguenze economiche, ma danni facilmente riparabili

= 1.10 rilevanti conseguenze economiche e danni difficilmente riparabili

= 1.20 rilevanti conseguenze economiche ed estesi danni non riparabili

= altro valore, derivante da analisi di rischio ad hoc



MACCAFERRI

Velocità (UNI 11211-4: 2012)

La **velocità di progetto dei blocchi** (v_d) è definita come la velocità in corrispondenza del punto di impatto con l'opera corrispondente al frattile del 95% delle velocità calcolate (v_t) moltiplicata per il coefficiente di sicurezza (γ_F):

$$v_d = v_{95}\,\gamma_F = v_{95}\,(\gamma_{Tr}\,\gamma_{Dp})$$

γ_{Tr} = fattore di sicurezza che dipende dall'**affidabilità delle simulazioni**:

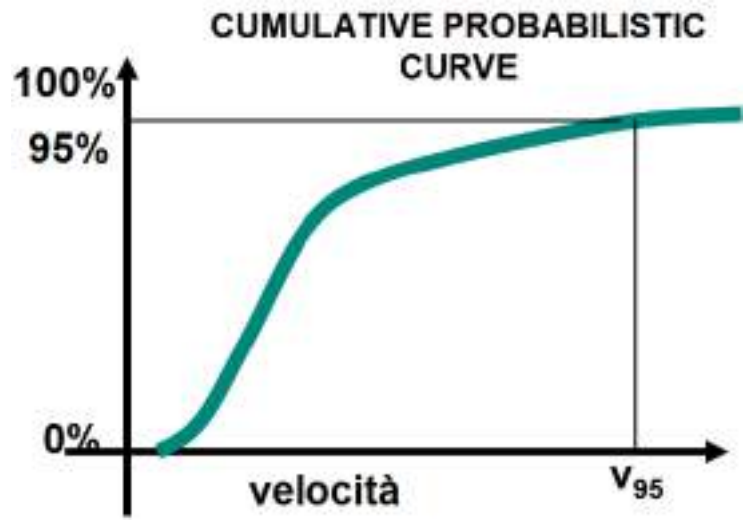
= 1.02 se il coeff. di restituzione è definito con back analysis

= 1.10 se il coeff. di restituzione è derivante dalle sole info bibliografiche

γ_{Dp} = fattore di sicurezza dovuto alla **precisione del rilievo topografico**:

= 1.02 se il pendio è discretizzato mediante un buon rilievo topografico

= 1.10 se il pendio è discretizzato con media-bassa precisione



MACCAFERRI

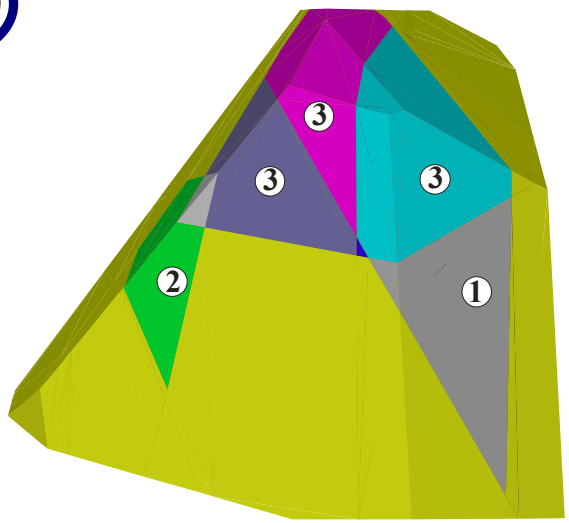
Massa Blocco (UNI 11211-4: 2012)

La **massa del blocco di progetto** (m_d) è definita come il prodotto del volume del blocco di progetto (Vol_b) per il peso specifico della roccia (γ), moltiplicato per un coefficiente di sicurezza (γM):

$$\mathbf{m_d = (Vol_b \ \ \gamma) \ \ \gamma_M \ \ = (Vol_b \ \ \gamma) \ \ (\gamma_\gamma \ \gamma_{VolF1})}$$

γ_γ = fattore di sicurezza legato alla **valutazione della massa per unità di volume** della roccia = 1.00 (generalmente)

γ_{VolF1} = fattore di sicurezza legato alla **precisione del rilievo del volume del blocco** di progetto:
= 1.02 per rilievi accurati della parete (fotogrammetria, rilievi geomeccanici, ecc.)
= 1.10 in assenza di rilievi legati al progetto.



MACCAFERRI

Livello energetico di progetto (UNI – ETAG)

Il progetto di una barriera allo **Stato limite ultimo** significa riferire il progetto al **MEL (Maximum Energy Level dei crash test)**

- Deve essere utilizzata la capacità massima della barriera
- Si prevedono impatti singoli
- Sono possibili e convenienti frequenti ispezioni e lavori di manutenzioni in sito
- Esistono problemi di costi

Il progetto della barriera allo **Stato limite di servizio** significa riferire il progetto al **SEL (Service Energy Level = 1/3 MEL)** → **PER IMPATTI MULTIPLI**

- Non sono ammessi danni significativi alla barriera
- Si prevedono impatti multipli dei massi
- Sono difficili da fare frequenti ispezioni e lavori di manutenzione in sito
- Non ci sono problemi di costo

MACCAFERRI

Verifica dell'Energia (UNI 11211-4)

L' **Energia sollecitante di progetto** (*Esd*) deve risultare minore dell'energia dissipabile dalla barriera fattorizzata per un fattore di sicurezza (γ_E):

$$\mathbf{Esd < Ebarriera / \gamma E}$$

γ_E = fattore di sicurezza legato al **livello energetico di progetto scelto**:

= 1.00 nel caso di approccio al SEL

= 1.20 nel caso di approccio al MEL

Nota Bene:

Se per motivi morfologici è necessario installare una barriera con meno di 3 campate:

= 1.00 nel caso di approccio al SEL

= 1.20 nel caso di approccio al MEL, e ricorrere a 2 stendimenti paralleli

= 2.00 nel caso di approccio al MEL

MACCAFERRI

Verifica dell'altezza di intercettazione

Valutazione **dell'altezza della barriera**

$$h_{TOT} \geq h_d + f_{min} \qquad \text{dove:} \quad h_d \geq h_{95}\, \gamma_{Tr}\, \gamma_{Dp}$$

h_{TOT} altezza commerciale della barriera in accordo a ETAG 027

h_{95} altezza del punto di impatto del baricentro del blocco al frattile del 95% delle altezze calcolate

h_d altezza di impatto di progetto

f_{min} franco libero minimo, pari al raggio del blocco e comunque non inferiore a 0,5 m

γ_{Tr} fattore di sicurezza che dipende dall'**affidabilità delle simulazioni**:

= 1.02 se il coeff. di restituzione è definito con back analysis

= 1.10 se il coeff. di restituzione è derivante dalle sole info bibliografiche

γ_{Dp} fattore di sicurezza dovuto alla **precisione del rilievo topografico**:

= 1.02 se il pendio è discretizzato mediante un buon rilievo topografico

= 1.10 se il pendio è discretizzato con media-bassa precisione

MACCAFERRI

Verifica della deformazione (UNI 11211-4)

Valutazione della deformazione della barriera

$$d_{Arresto} \geq d_{barriera}\,\gamma_d$$

γ_d = coefficiente di sicurezza sulla deformazione della barriera:

= 1.30 se è stato utilizzato l'approccio al MEL

= 1.50 con l'approccio al MEL e le campate di estremità sono comprese nell'area delle possibili traiettorie OPPURE la barriera ha meno di 3 campate

= 1.00 se è stato utilizzato l'approccio al SEL

Barriere paramassi

MACCAFERRI

Lunghezza delle tratte

SI — 180 m

MEGLIO! — 80 m, 50 m, 70 m

SI! — 30 m

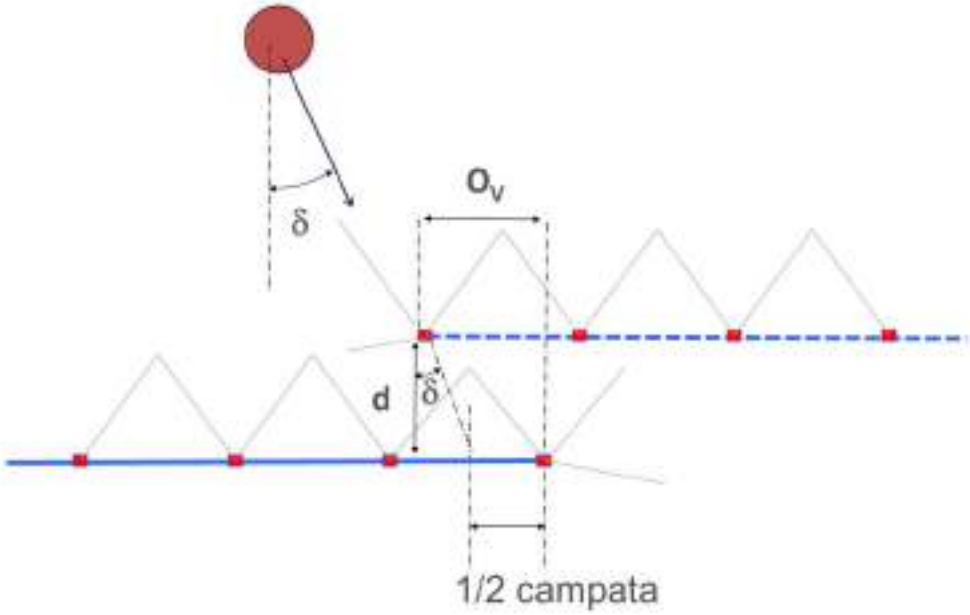
NO — 10 m

Ma a volte è necessario!

Barriere paramassi

MACCAFERRI

Sovrapposizione tra tratte contigue



La sovrapposizone dipende principalmente dalla distanza tra le due barriere:

O_V = 1/2 campata + d tand

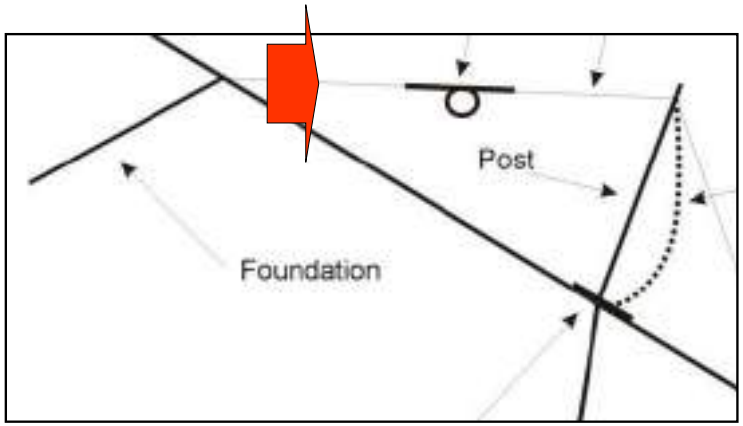
δ = 15° per pendii regolari, blocchi rotondeggianti
d = 35° per pendii irregolari, blocchi tabulari

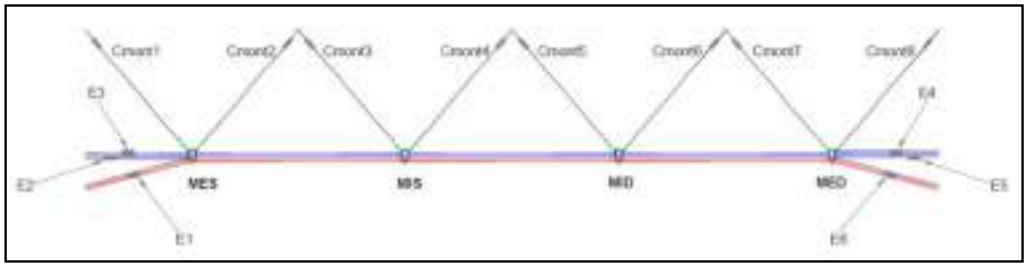
Barriere paramassi

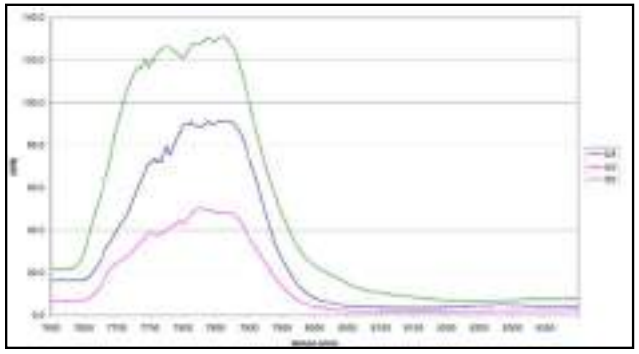
Le fondazioni delle barriere devono essere progettate considerando le forze misurate durante il test MEL,
anche se la barriera è stata progettatata allo Stato Limite di Servizio (SEL)

Barriere paramassi

Le forze agenti sulle funi principali del kit sono misurate durante l'impatto per mezzo di celle di carico installate direttamente sulle fondazioni e/o sulle stesse funi principali







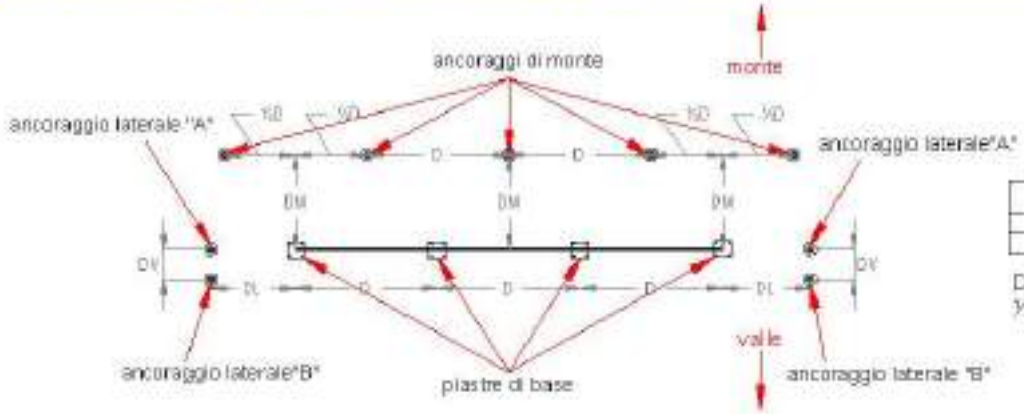
MACCAFERRI

Carichi di progetto

RB 2000

Carico di trazione sugli ancoraggi laterali "A" - (valore max)	251 kN
Carico di trazione sugli ancoraggi laterali "B" - (valore max)	164 kN
Carico di trazione sugli ancoraggi di monte - (valore max)	182 kN
Carico di compressione alla base dei montanti - (valore max)	189 kN
Carico di taglio alla base dei montanti - (valore max)	160 kN

Schema delle fondazioni in pianta

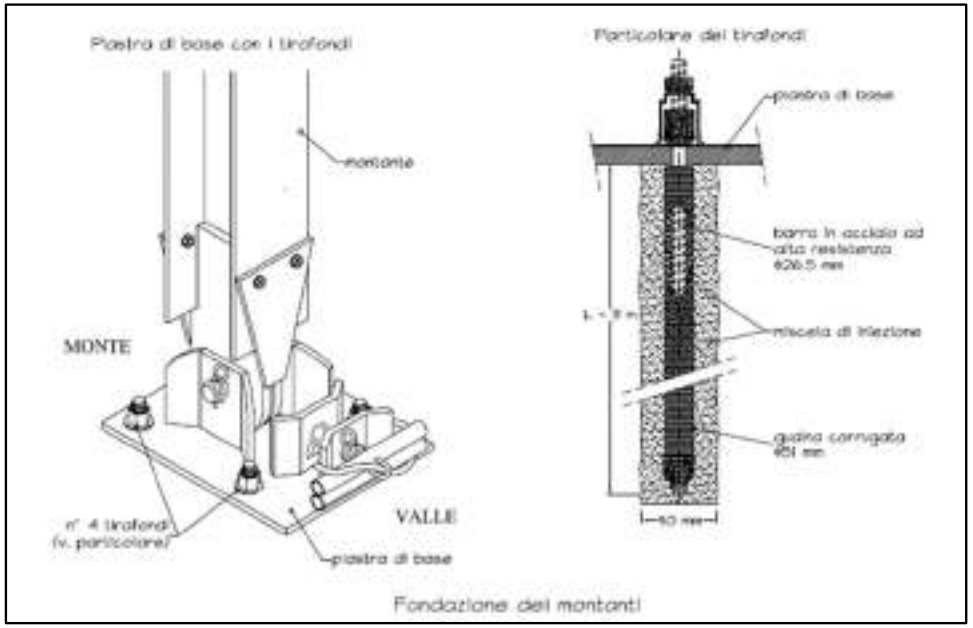


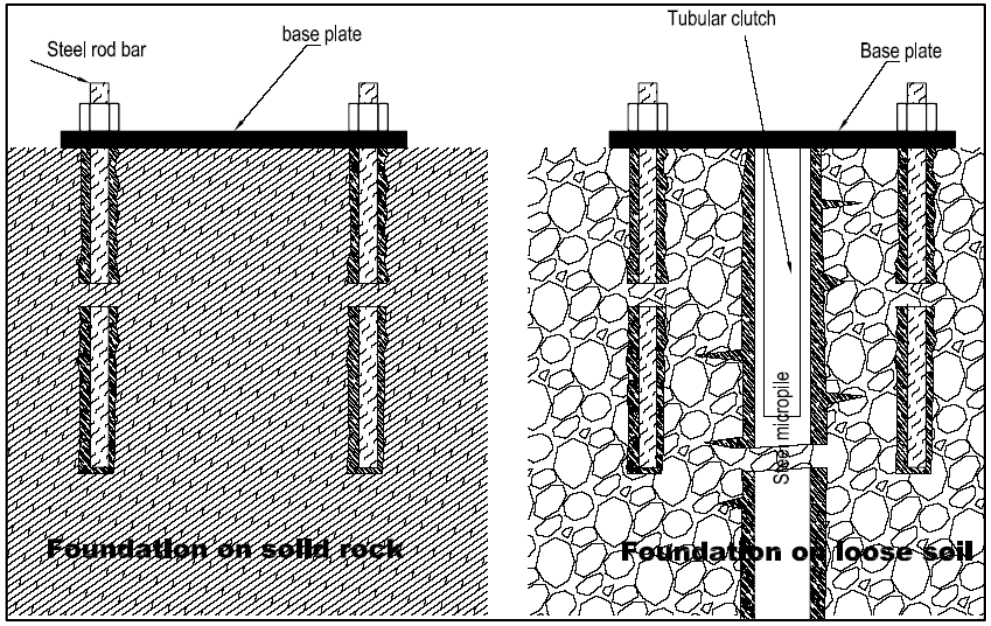
H (m)	DM (m)	DV (m)	DL (m)
4.0	4.0	1.5	5.5
5.0	5.0	1.5	5.5

D = interasse tra i montanti (8÷12 m)
½D = metà lunghezza della campata

Barriere paramassi

Fondazione dei montanti

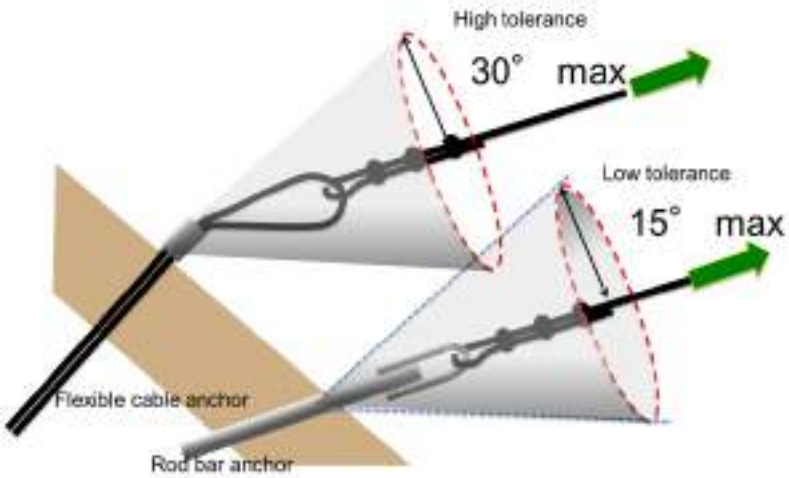




Barriere paramassi

MACCAFERRI

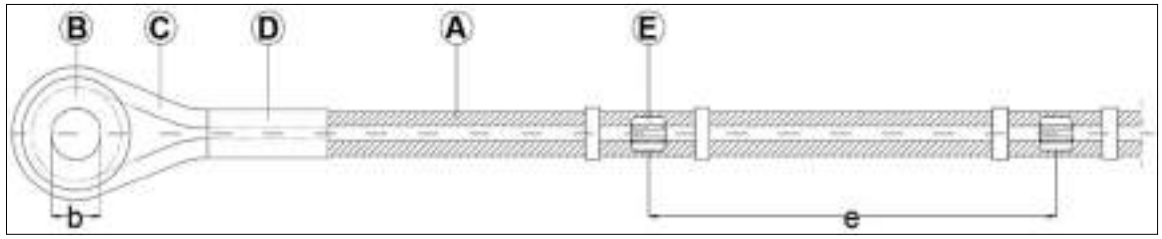
Ancoraggi di monte e laterali (in doppia fune spiroidale)



Barriere paramassi

MACCAFERRI

Ancoraggio in doppia fune spiroidale tipo “RRA”(o C-FAST)



Elemento	Descrizione	Normative di riferimento
A	Fune spiroidale	Classe di resistenza della fune ≥1570 MPa (EN 12385-10) Zincatura Classe A (EN 10244-2)
B	Rinforzo circolare di testa b= 80 – 82 mm	Acciaio S355 (EN 10025) – spessore ≥ 25 mm Zincatura elettrolitica (ISO 2081) o a caldo (EN 1461)
C	Tubo di protezione	Acciaio INOX AISI304 (EN 10080-3)
D	Collare ovale	Acciaio INOX AISI304 (EN 10080-3)
E	Distanziatore (opzionale) e=1000 mm	Polietilene PE o Zincatura Classe A (EN 1461)

Diam. [mm]	Costruzione della fune	Carico minimo di rottura a trazione dell’ancoraggio
14	1x19	308 kN
16		426 kN
18	1x37	516 kN
20		629 kN
22		651 kN
24		736 kN

VANTAGGI

- Testa dell’ancoraggio (asola) non soggetta a deformazione
- Le caratteristiche meccaniche in sito coincidono con il comportamento in laboratorio
- Maggiore resistenza a trazione e soprattutto maggiore affidabilità

Barriere paramassi

MACCAFERRI

C.I.T. (C.V.T.) ancoraggi in doppia fune spiroidale

Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Servizi Tecnici Centrali

PROCEDURA PER IL RILASCIO, DA PARTE DEL SERVIZIO TECNICO CENTRALE, DEL CERTIFICATO DI IDONEITÀ TECNICA ALL'IMPIEGO, DI CUI PUNTO 11.1, LETTERA C), DELLE NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI, EMANATE CON DM 14/01/2008, RELATIVAMENTE AGLI ANCORAGGI IN FUNE IMPIEGATI PER LE FONDAZIONI DI OPERE DI DIFESA DI VERSANTI

1) PREMESSE

Le indicazioni di seguito riportate riguardano la procedura per il rilascio, da parte del Servizio tecnico centrale (nel seguito Servizio), del certificato di idoneità tecnica all'impiego, di cui punto 11.1, lettera C), delle nuove Norme tecniche per le costruzioni, approvate con DM 14/01/2008, relativamente agli ancoraggi in fune impiegati per le fondazioni di opere di difesa di versanti.

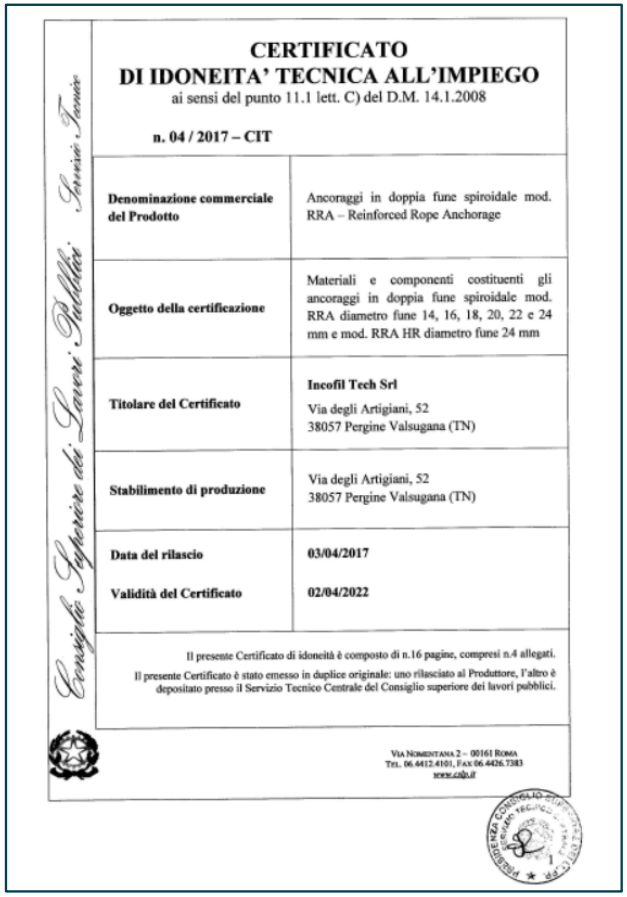
La certificazione è unicamente riferita al prodotto e non riguarda quindi l'inserimento del prodotto nel progetto dell'intervento in cui viene utilizzato, la successiva posa in opera del prodotto stesso ed il collaudo finale (prodotto successivo), di cui rimangono esclusive responsabili, per quanto di competenza, il progettista, il direttore dei lavori, l'appaltatore e il collaudatore.

2) RIFERIMENTI NORMATIVI

- "Nuove Norme tecniche per le costruzioni", approvate con DM 14.1.2008 (di seguito NTC2008).
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, recante "Istruzioni per l'applicazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni".
- Linee guida del Servizio tecnico centrale del Consiglio superiore dei lavori pubblici.
- Linee Guida ETAG 027 "Guideline for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kits", emanate dall'Organizzazione europea di Benestare tecnico (EOTA), per quanto applicabile alla fattispecie in oggetto.

Ciascun componente del prodotto deve essere conforme a Norme europee armonizzate, ove esistenti, o a norme tecniche di comprovata affidabilità, che devono essere indicate nella relativa scheda di prodotto. A titolo esemplificativo e non esaustivo:

- Filo di acciaio e relativi prodotti - Filo di acciaio per fune: corrispondono riferimento le norme della serie UNI EN 10264;
- Fune: corrispondono riferimento le norme della serie UNI EN 12385;
- Reticoli e manufatti: corrispondono riferimento le norme della serie UNI EN 13411;



Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Servizi Tecnici

CERTIFICATO
DI IDONEITA' TECNICA ALL'IMPIEGO
ai sensi del punto 11.1 lett. C) del D.M. 14.1.2008

n. 04 / 2017 – CIT

Denominazione commerciale del Prodotto	Ancoraggi in doppia fune spiroidale mod. RRA – Reinforced Rope Anchorage
Oggetto della certificazione	Materiali e componenti costituenti gli ancoraggi in doppia fune spiroidale mod. RRA diametro fune 14, 16, 18, 20, 22 e 24 mm e mod. RRA HR diametro fune 24 mm
Titolare del Certificato	**Incofil Tech Srl** Via degli Artigiani, 52 38057 Pergine Valsugana (TN)
Stabilimento di produzione	Via degli Artigiani, 52 38057 Pergine Valsugana (TN)
Data del rilascio	**03/04/2017**
Validità del Certificato	**02/04/2022**

Il presente Certificato di idoneità è composto di n.16 pagine, compresi n.4 allegati.

Il presente Certificato è stato emesso in duplice originale: uno rilasciato al Produttore, l'altro è depositato presso il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio superiore dei lavori pubblici.

Via Nomentana 2 – 00161 Roma
Tel. 06.4412.4101, Fax 06.4426.7383
www.cslp.it

MACCAFERRI

Prove di collaudo

Prove su ancoraggi di fondazione in opera

Sono eseguite su ancoraggi di fondazione costituenti l'opera, in fase esecutiva e/o in fase di collaudo, al fine della verifica sperimentale della loro idoneità.

- Per sistemi in rete o per opere di consolidamento e/o legatura di masse rocciose, la prova di collaudo degli ancoraggi in opera deve essere effettuata con un carico di prova N_C pari a 1,2 volte il carico di esercizio.
- Per le barriere paramassi a rete la prova di collaudo di ancoraggi di fondazione in opera è effettuata con un carico di prova N_C pari a:
  - 1,2 volte il carico di esercizio, corrispondente al carico misurato durante la prova SEL1
  - oppure laddove tale valore calcolato ecceda quello misurato durante la prova MEL, il carico N_C sarà pari al carico misurato durante la prova MEL.
- In ogni caso dovranno essere scelte metodologie di prova idonee a non arrecare danni significativi ai componenti strutturali dell'ancoraggio. Al fine di evitare deformazioni plastiche (in particolare riduzione della dimensione) dell'asola dell'ancoraggio di fondazione, si potranno utilizzare perni di connessione all'attrezzatura di prova aventi idonea dimensione.

Prove su ancoraggi di fondazione fuori opera

Le prove su ancoraggio di fondazione fuori opera sono eseguite in diverse fasi:

- in fase di progettazione su ancoraggi di fondazione preliminari di prova per la determinazione o conferma dei valori di resistenza ipotizzati;
- in fase esecutiva su ancoraggi di fondazione a perdere della medesima tipologia utilizzata nell'opera. In questo caso le prove possono essere spinte fino allo stato limite ultimo o fino a rottura.

Gli ancoraggi di fondazione di prova realizzati fuori opera, sottoposti a sollecitazioni più severe di quelle previste per gli ancoraggi di fondazione in opera e non utilizzabili per l'impiego successivo, devono essere realizzati con lo stesso sistema costruttivo di quelli in opera, nello stesso sito e nelle stesse condizioni ambientali.

Per le barriere paramassi a rete la prova su ancoraggi di fondazione fuori opera è effettuata con un carico di prova N_C non inferiore al carico di progetto e comunque non inferiore a quello misurato durante la prova MEL, oppure fino a rottura.

MACCAFERRI

Carichi di collaudo

RB 2000

Carichi prova SEL1 (risultanti dalle forze di picco registrate sulle funi e/o direttamente sugli ancoraggi durante la prova SEL1)	
Carico di trazione sugli ancoraggi laterali "A"	172,7 kN
Carico di trazione sugli ancoraggi laterali "B"	140,9 kN
Carico di trazione sugli ancoraggi di monte	84,1 kN
Carichi di collaudo su ancoraggi in opera (pari a 1,2 volte il carico di esercizio, corrispondente al carico massimo misurato durante la prova SEL1, oppure pari al carico massimo MEL, laddove il valore precedentemente calcolato ecceda quello misurato durante la prova MEL)	
Carico di trazione sugli ancoraggi laterali "A"	207 kN
Carico di trazione sugli ancoraggi laterali "B"	164 kN
Carico di trazione sugli ancoraggi di monte	101 kN
Carichi minimi di collaudo su ancoraggi fuori opera (pari al carico massimo misurato durante la prova MEL)	
Carico di trazione sugli ancoraggi laterali "A"	251 kN
Carico di trazione sugli ancoraggi laterali "B"	164 kN
Carico di trazione sugli ancoraggi di monte	182 kN

Barriere paramassi

MACCAFERRI

Manutenzione straordinaria

Particolare degli elementi dissipatori

Barriera da 5000 kJ impattata da un masso di circa 1,5 m^3

Barriere paramassi

La Barriera a seguito di manutenzione

La particolare struttura della barriera paramassi ha consentito un intervento di manutenzione rapido ed economico:

- solo n. 4 dissipatori e n. 2 controventi sostituiti

Sistema di allerta «HelloMac»

MACCAFERRI

HELLOMAC

MAKE YOUR ROCKFALL PROTECTION SMARTER

Trasmissione giornaliera di dati essenziali

DOVE sono situati i sistemi di protezione?

I sistemi di protezione sono stati **IMPATTATI**?

MACCAFERRI

Cos'è

HELLOMAC è il sistema di allerta studiato per la salvaguardia delle vite umane, delle infrastrutture ed edifici protetti da qualunque tipologia di barriere paramassi.

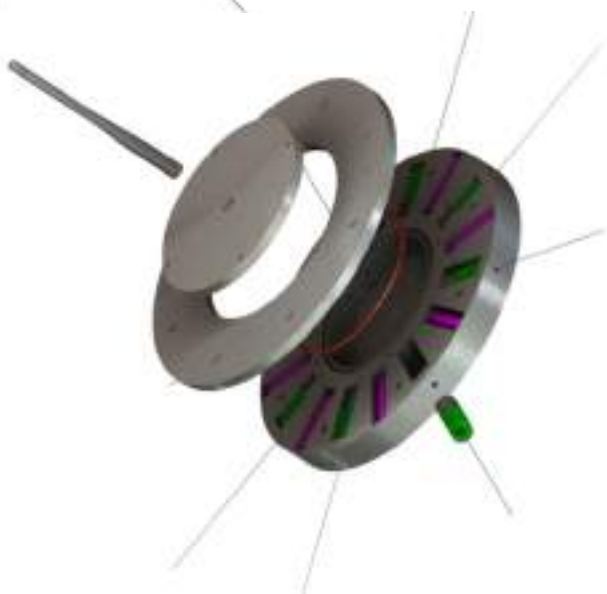
Il segnale di allarme è inviato immediatamente al computer e smartphone tramite app, e-mail o sms.

Il dispositivo permette inoltre di attivare sistemi locali di sirene e luci di allarme.

MACCAFERRI

Com’è fatto

HELLOMAC è un dispositivo compatto e robusto realizzato con una speciale lega metallica sviluppata appositamente per resistere a forze di notevole intensità.

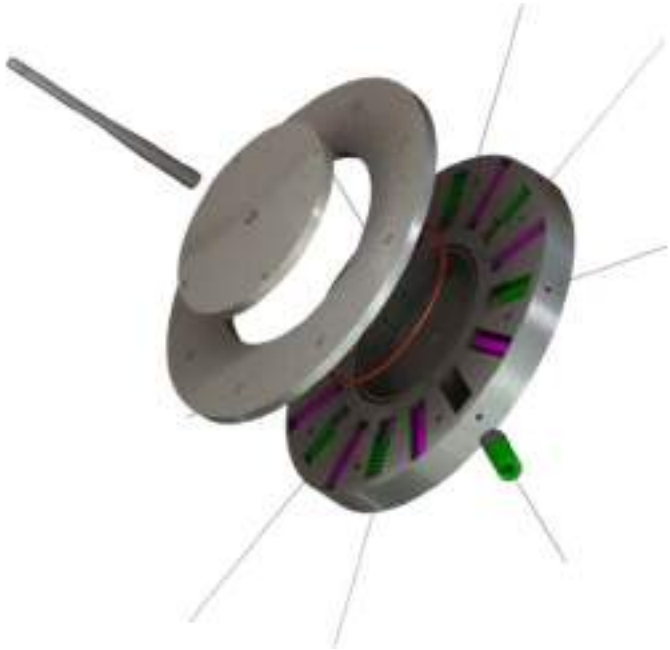


Il dispositivo è inoltre in grado di rilevare varie tipologie di eventi come impatti, sforzi, deformazioni, ecc. Questo per eventi agenti sul ciascun modulo del sistema di protezione e provenienti da direzioni diverse (fino ad 8).

MACCAFERRI

Com’è fatto

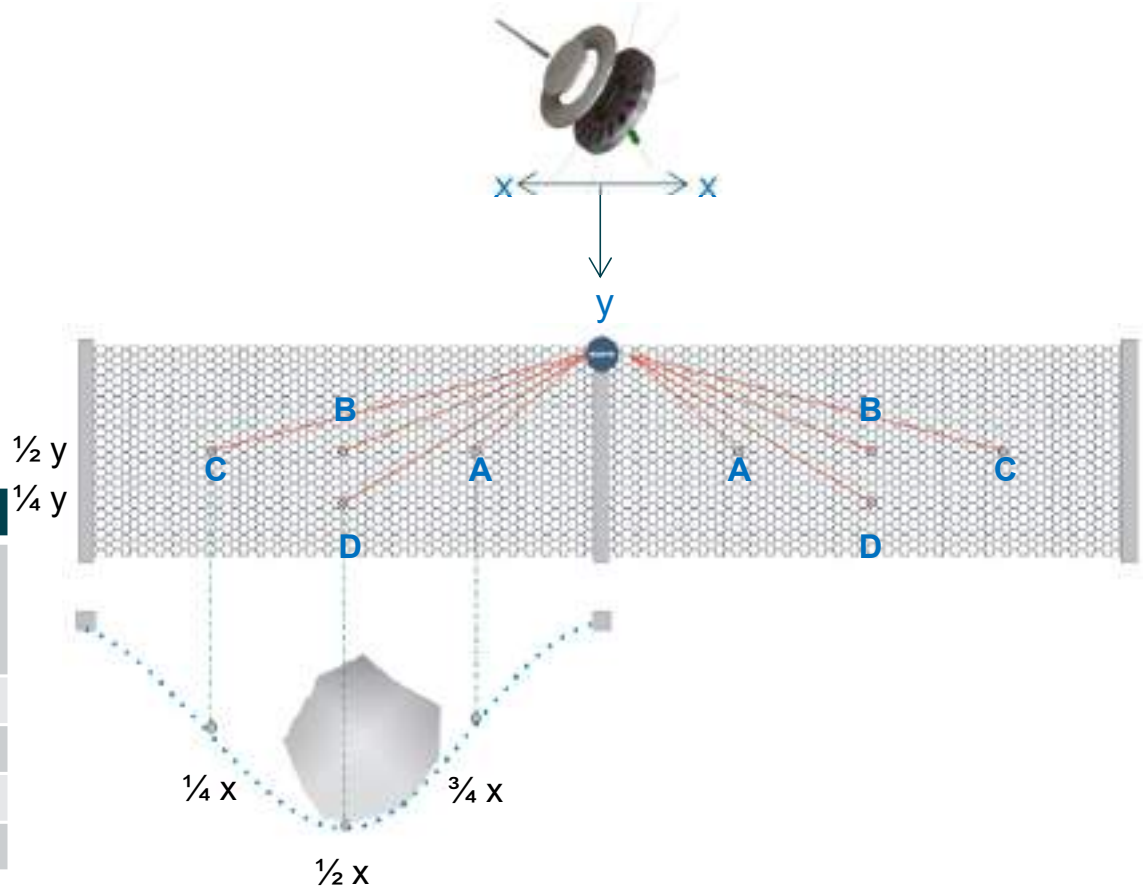
- No alimentazione esterna – solo batterie
- No configurazione o attivazione iniziale
- No operaio specializzato per installazione
- No manutenzione



Come si installa

- A secondo del modello della barriera
- Possibilità di installazione e adeguamento a barriere già esistenti

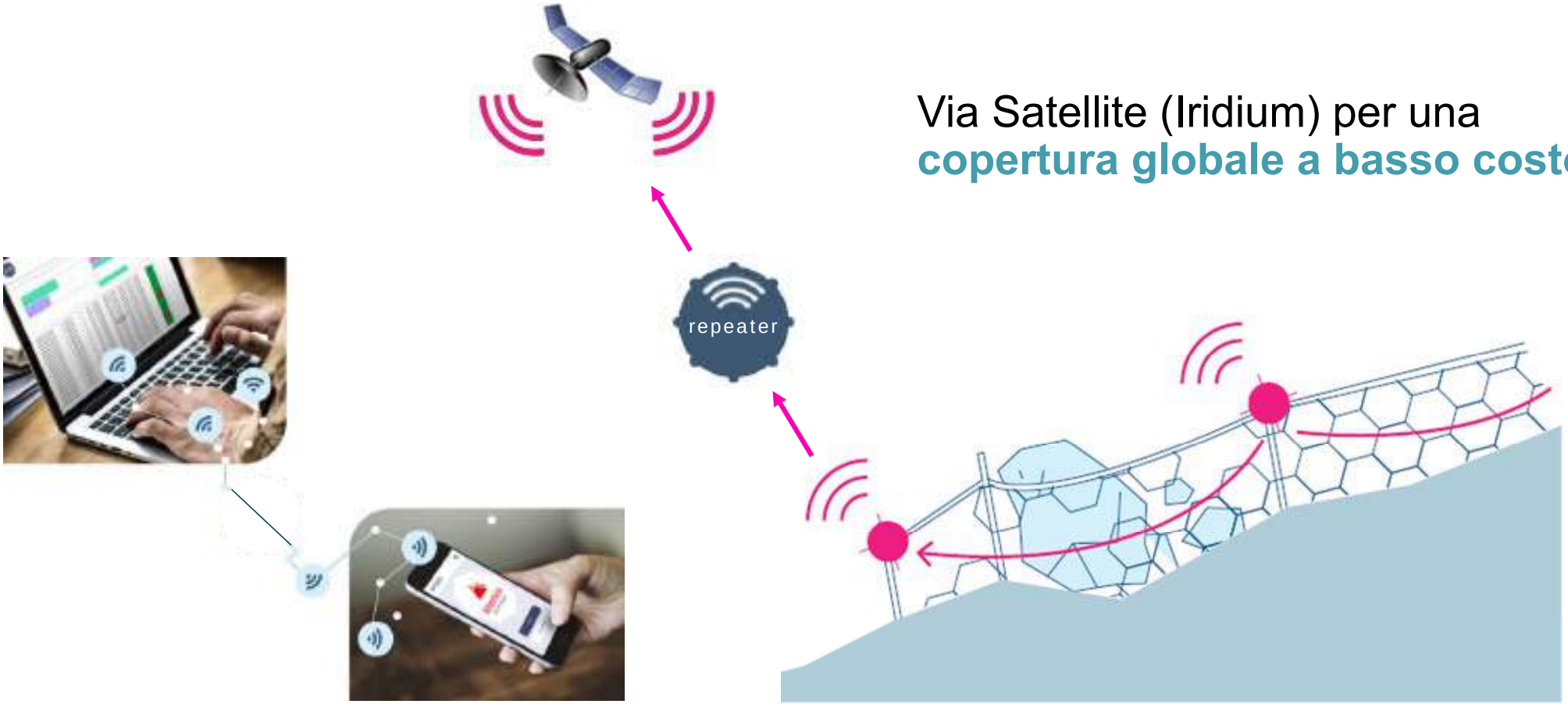
Modello: Maccaferri RB 1500 (10m x 4m)			
Posizione	Lunghezza del lasco del tirante [m]	Distanza senza lasco [m]	Lunghezza totale del tirante [m]
A	**1.26**	3.20	4.46
B	**1.93**	5.38	7.31
C	**0.39**	7.76	8.15
D	**0.78**	5.83	6.61



MACCAFERRI

Sistema di allerta «HelloMac»

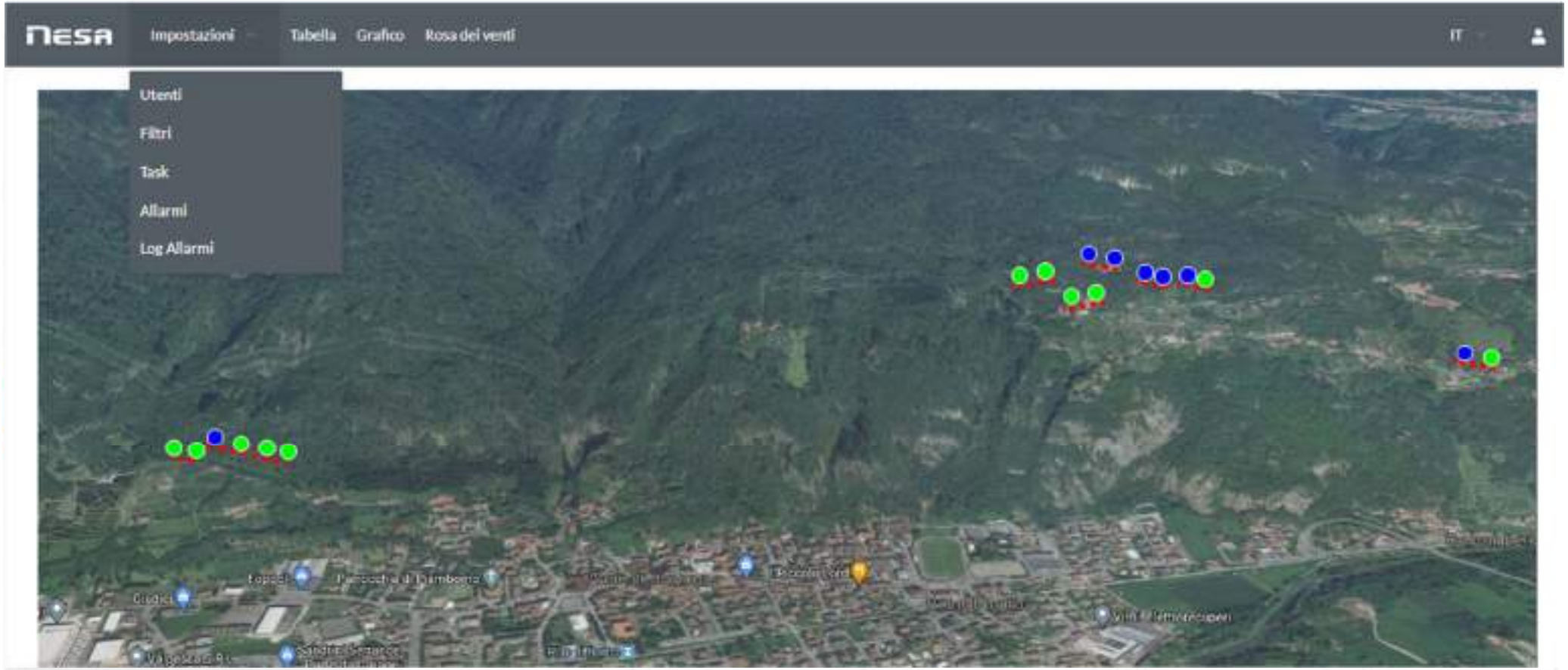
MACCAFERRI



Via Satellite (Iridium) per una
copertura globale a basso costo

Sistema di allerta «HelloMac»

MACCAFERRI



HELLOMAC APP

Sistema di allerta «HelloMac»

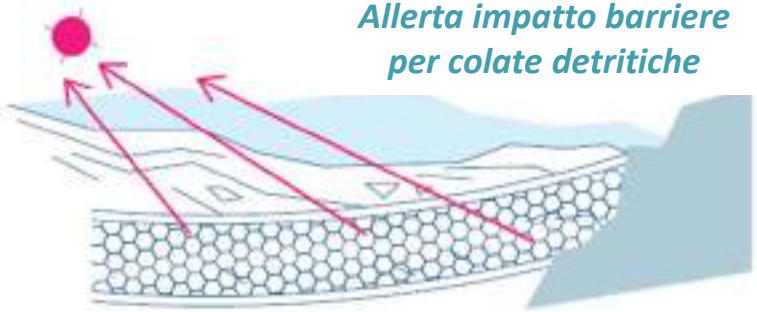
MACCAFERRI

Allerta impatto Barriere Paramassi

Allerta formazione colate detritiche

Allerta carico Rafforzamenti corticali

Allerta impatto barriere per colate detritiche



- Il sistema è progettato per funzionare in ambienti con impatti ad alta energia e condizioni climatiche aggressive.
- Pioggia, neve, vento e solo non creano alcun problema.
- Non sono presenti fili elettrici e/o punti deboli di possibile rottura.

Sistema di allerta «HelloMac»

MACCAFERRI

HELLOMAC

MAKE YOUR ROCKFALL PROTECTION SMARTER

FACILE DA INSTALLARE

- HELLOMAC pesa circa 8 kg
- Può essere trasportato in luoghi remoti grazie alle sue piccole dimensioni e leggerezza
- Può essere facilmente installato sul montante della barriera anche da un operaio non specializzato

NIENTE MANUTENZIONE

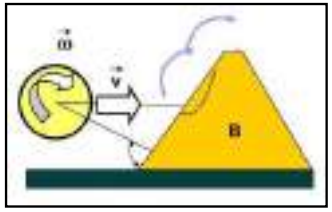
- HELLOMAC ha al suo interno 8 batterie aventi una durata minima stimata di 5 anni, rendendo così superflua ogni manutenzione annuale (ogni dispositivo comunica quotidianamente il suo stato e il livello della batteria)

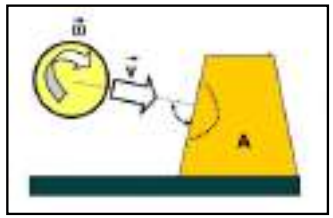
AFFIDABILE

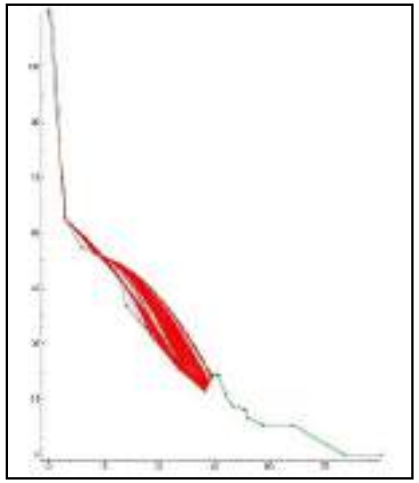
- Trasmissione giornaliera della posizione e dello stato del sistema protezione caduta massi.
- Testato contro impatti (resistente fino ad un'accelerazione di 16G). Funziona tra -40°C e +60°C
- È stato testato dal Politecnico di Milano specificamente su barriere paramassi Maccaferri

Rilevati paramassi in terra rinforzata

Caratteristiche	Rilevati in terra rinforzata	Barriere paramassi
Capacità di assorbimento energia	Maggiore di 10,000 kJ	Fino a 10,000 kJ nel mercato corrente
Resistenza ad impatti multipli	Si	Variabile in funzione del tipo di barriera
Deformazione verso valle a seguito dell' impatto	Trascurabile	Non trascurabile
Abilità ad intercettare blocchi ad alta velocità di impatto	Possono resistere a velocità di impatto fino a 50 m/s	Testate fino a 25 – 30 m/s
Manutenzioni richieste per impatti a bassa energia	Da trascurabili a nulle	Variabili in funzione dell'impatto, del tipo di barriera e del produttore della barriera
Topografia del pendio richiesta per l'installazione	Adatti per pendii con gradiente da medio a basso	Possono essere installate su qualsiasi tipo di pendio
Costo dell'installazione della struttura	Costo conveniente per energie maggiori di circa 3000 kJ	Costo conveniente per energie non superiori a 3000 kJ
Compatibilità ambientale	Potenziale compatibilità ed inserimento nel paesaggio mediante rinverdimento del rivestimento del rilevato	La struttura risulta circa trasparente osservandola da distante







Rilevati paramassi in terra rinforzata

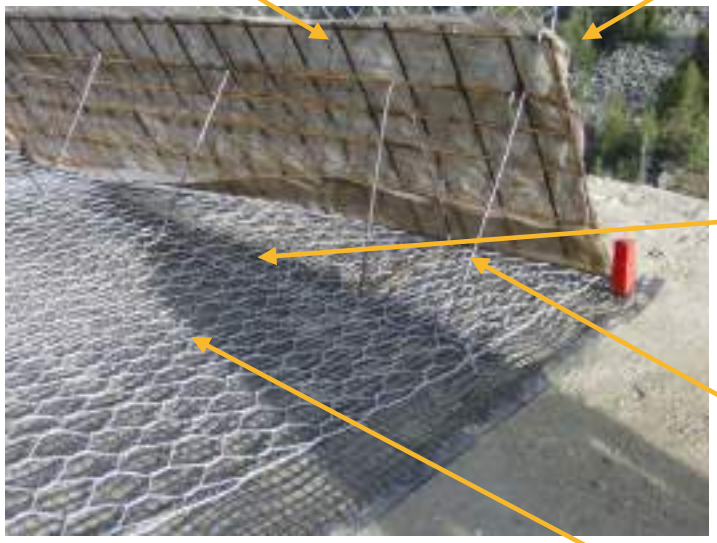
MACCAFERRI

LA TERRA RINFORZATA MACCAFERRI: IL TERRAMESH VERDE

Il terreno rinforzato del tipo Terramesh Verde è realizzato mediante rinforzi in rete DT (ed eventuali geogriglie)

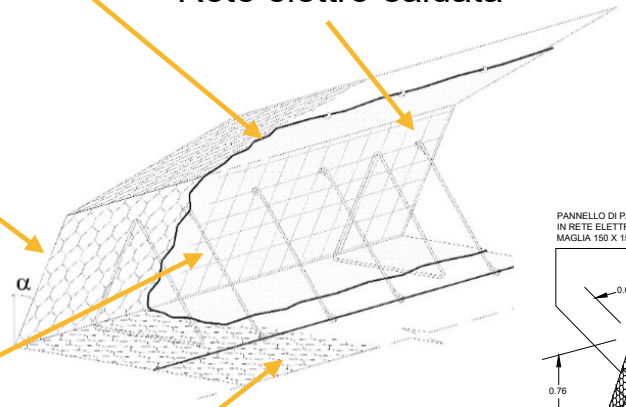
Rete elettro-saldata

Ritentore di fini



Rete elettro-saldata

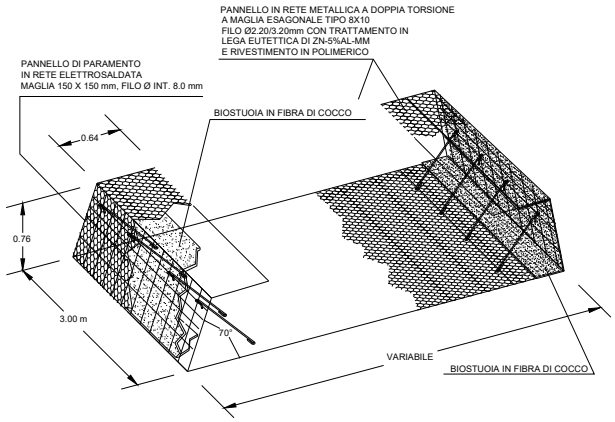
Rete DT di rinforzo



Staffe

Riempimento a tergo compattato

Elemento bi-facciale



Rilevati paramassi in terra rinforzata

5 Giugno 2007

Crollo di massi di grandi dimensioni lungo la S.R. 47 di Cogne (Valle D'Aosta)

Volume dei blocchi più grandi pari a circa 30 m^3

Rilevati paramassi in terra rinforzata

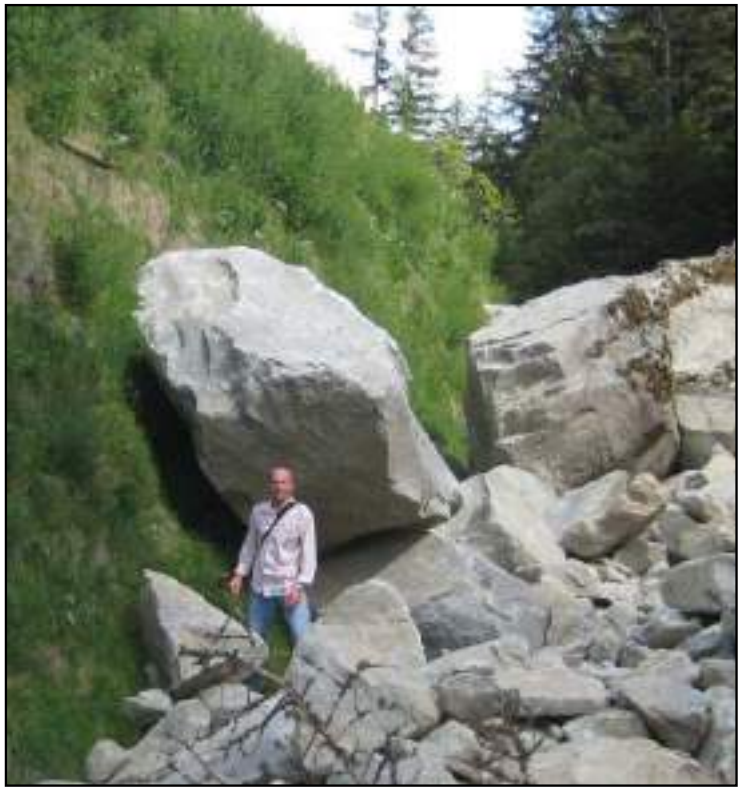
Costruzione in somma urgenza di n. 3 rilevati paramassi

Rilevati paramassi in terra rinforzata

MACCAFERRI

Nuova frana di Luglio 2008

Rilevati paramassi in terra rinforzata



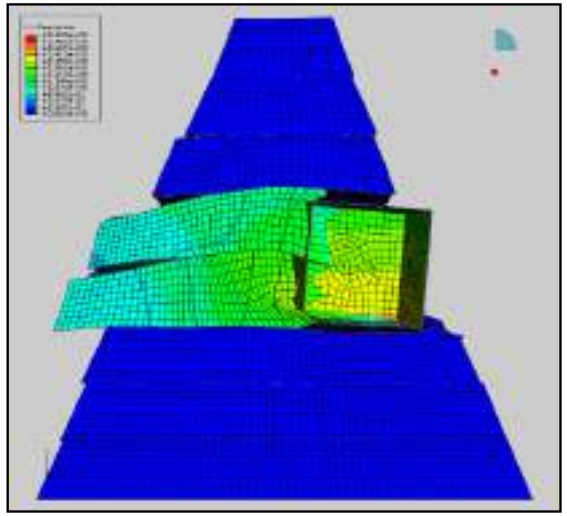
Caratteristiche del blocco

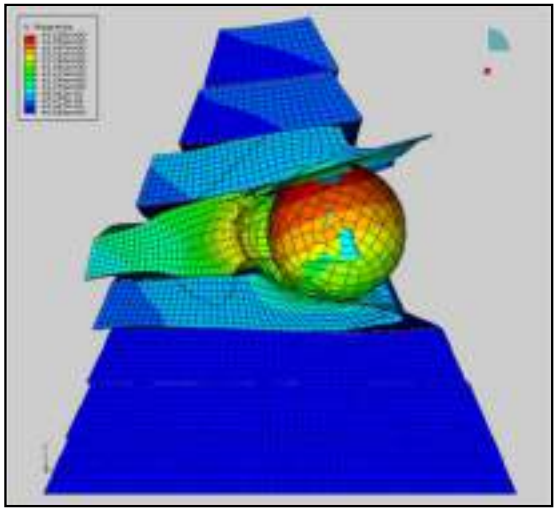
Volume = 6 m^3
Peso = 15,000 kg

Velocità stimata = 20 m/s
Max penetrazione = 0,60- 0,70 m

Rilevati paramassi in terra rinforzata

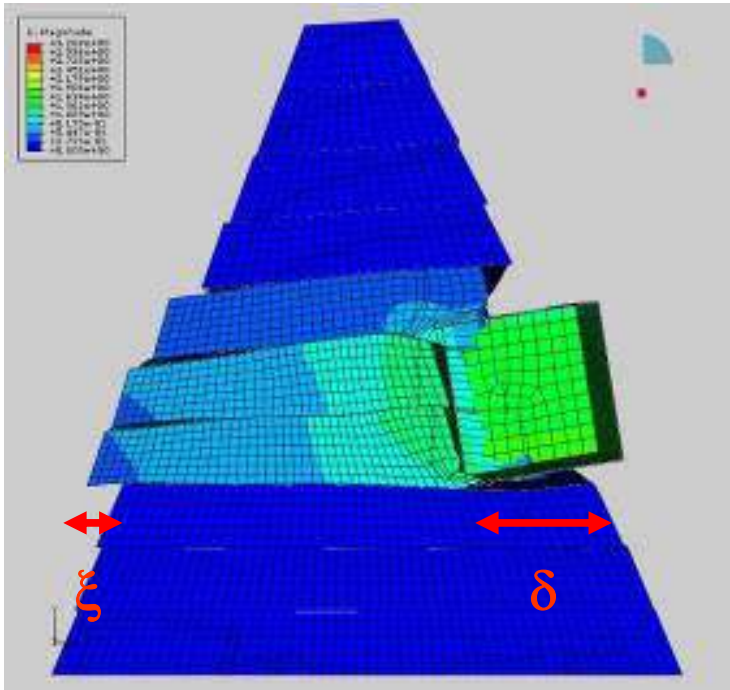
Analisi agli elementi finiti (FEM) in condizioni dinamiche in collaborazione con il Politecnico di Torino, per l'ottimizzaizone del processo progettuale dei rilevati

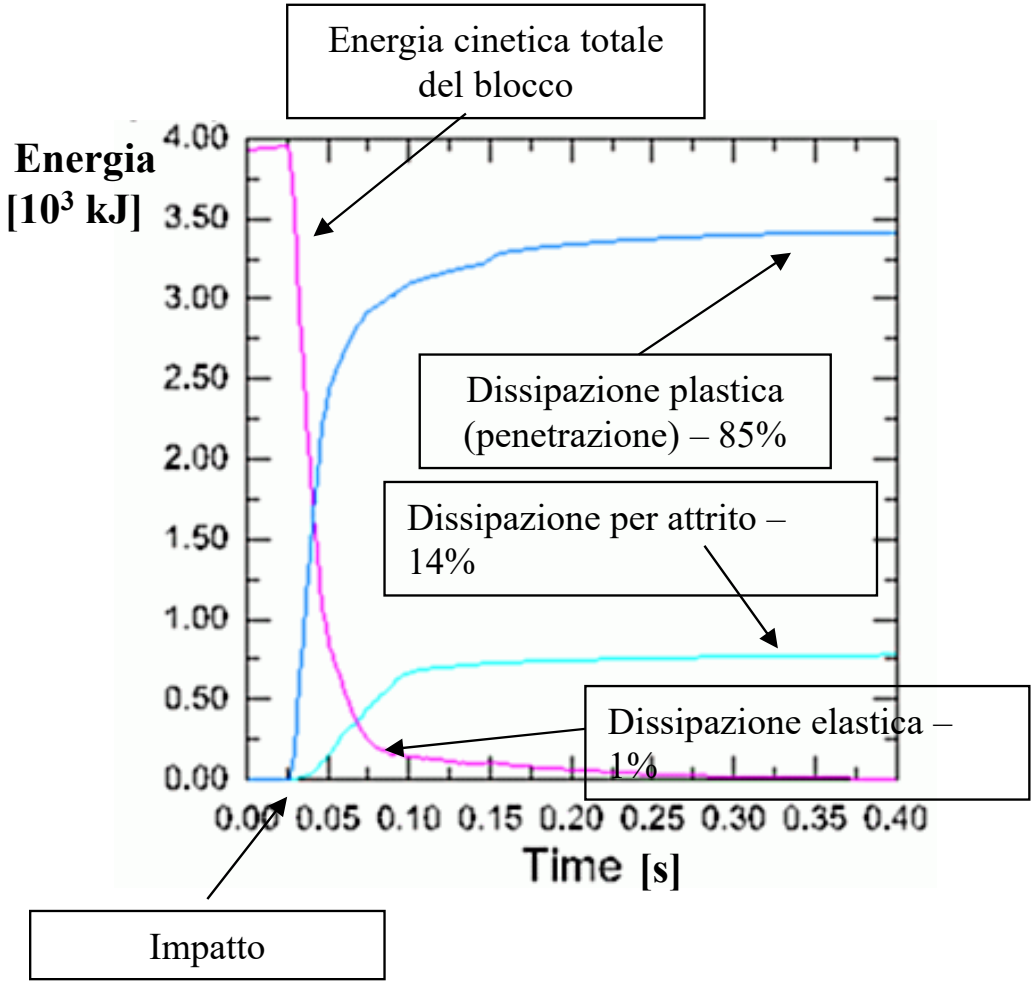




Le analisi FEM sono state validate effettuando una back analysis sull'impatto del blocco da 6 m^3 sul rilevato paramassi di Cogne

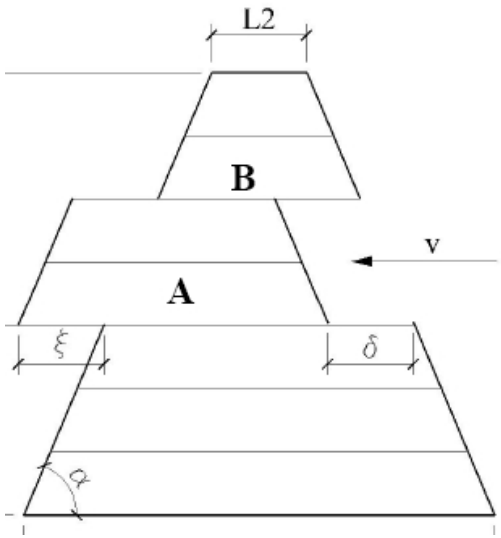
Rilevati paramassi in terra rinforzata





Progettazione: Analisi di resistenza all'impatto

La massima energia di impatto che il rilevato può contenere ($E_{embankmnet}$) senza collassare può essere definite, considerando lo scorrimento verso valle del layer impattato (ξ) e della penetrazione del blocco nel vallo (δp).



ξ = scorrimento verso valle del layer impattato

δ_p = penetrazione del blocco nel vallo

$$\delta = \delta_p + \xi$$

La stabilità si ha se: il blocco A e il blocco B rimangono in equilibrio

La valutazione dei 2 parametri può essere elaborata con metodi analitici o numerici.

MACCAFERRI

Valutazione della deformazione massima

Una volta definita la deformazione massima è possibile effettuare una analisi allo Stato Limite Ultimo (SLU) e allo Stato Limite di Esercizio (SLE).

SLU

Si determina valutando la stabilità statica della struttura (dopo impatto) dopo essersi deformata: condizione di equilibrio limite

SLE

Condizione che permette la manutenzione dell'opera.

I valori suggeriti sono:

- La deformazione sul lato di monte deve essere < al 20% dello spessore del rilevato nel punto di impatto e comunque < 0.5-0.7 m. Una maggiore deformazione impedisce un facile mantenimento e riparazione della struttura.

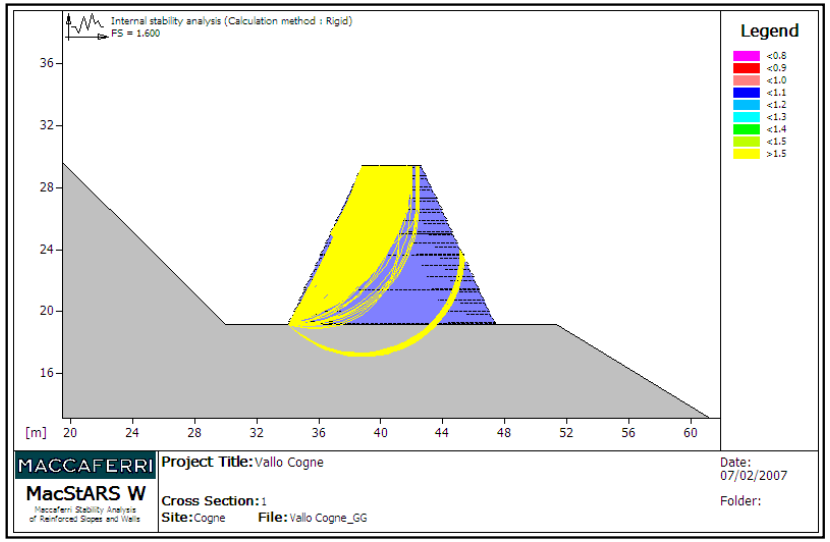
- La deformazione verso valle deve essere < 0.3-0.4 m

Rilevati paramassi in terra rinforzata

Progettazione: Analisi di stabilità

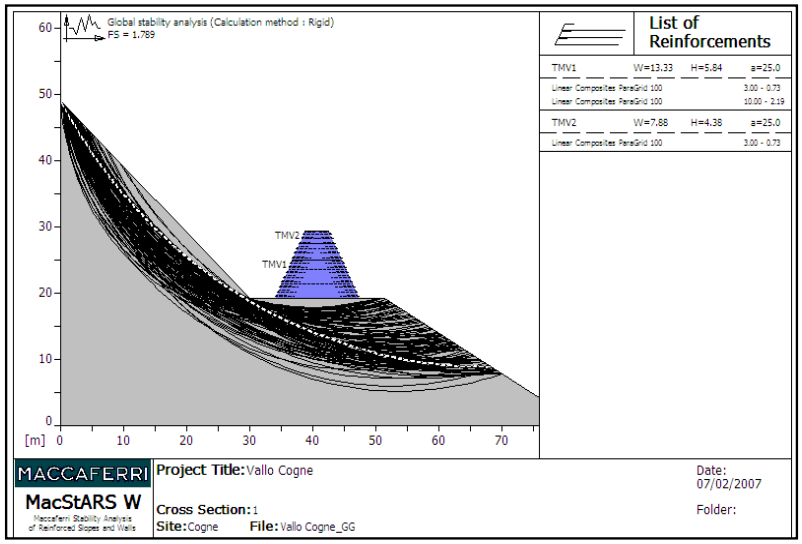
Software Mac.Sta.R.S. W → Metodo all'equilibrio limite

Analisi di stabilità interna



Analisi delle possibili superfici di scorrimento che interessano la sola opera di sostegno

Analisi di stabilità globale



Analisi delle sulle possibili superfici di scorrimento che interessano l'opera nel suo complesso

Rilevati paramassi in terra rinforzata

MACCAFERRI

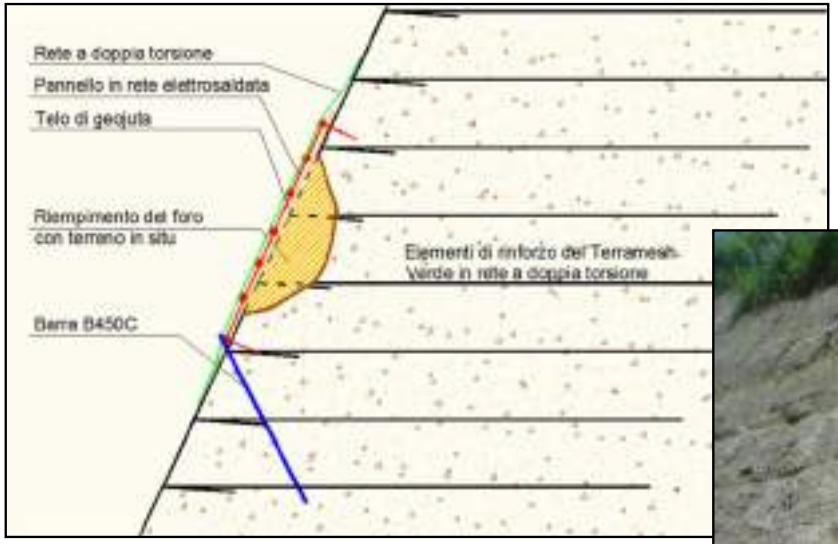
Uno dei rilevati paramassi di Cogne dal 2007 al 2011 è stato impattato da piccole valanghe, colate detritiche e da massi

Rilevati paramassi in terra rinforzata

MACCAFERRI

Manutenzione (2011)

Rilevati paramassi in terra rinforzata



Manutenzione (2011)

Rilevati paramassi in terra rinforzata

Rilevati paramassi in terra rinforzata

MACCAFERRI

Rilevati paramassi in terra rinforzata

MACCAFERRI

S.P. 135 Visso - Ussita (MC)
2017 - 2018

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Stefano Cardinali
Tel. +39 331 6235189
s.cardinali@it.maccaferri.com