



## ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PALERMO

«*Soluzioni innovative per la difesa del suolo  
e la prevenzione del dissesto idrogeologico*»

*Opere di difesa passiva a protezione di zone  
urbanizzate esistenti e relativi interventi di  
manutenzione - il caso dei Rotoli*

*Prof. Ing. Fabio Cafiso*



# Ubicazione dei luoghi



## *Il contesto geomorfologico*



*Costoni carbonatici incombenti sul cimitero dei Rotoli, solcati da n°4 famiglie di discontinuità, che si estendono per uno sviluppo di circa 1 km con altezze di oltre 200 m, dai quali sono spesso avvenuti crolli, i più recenti nel 2001, 2002, 2007 e 2012*

*Crollo del 9 ottobre 2012*

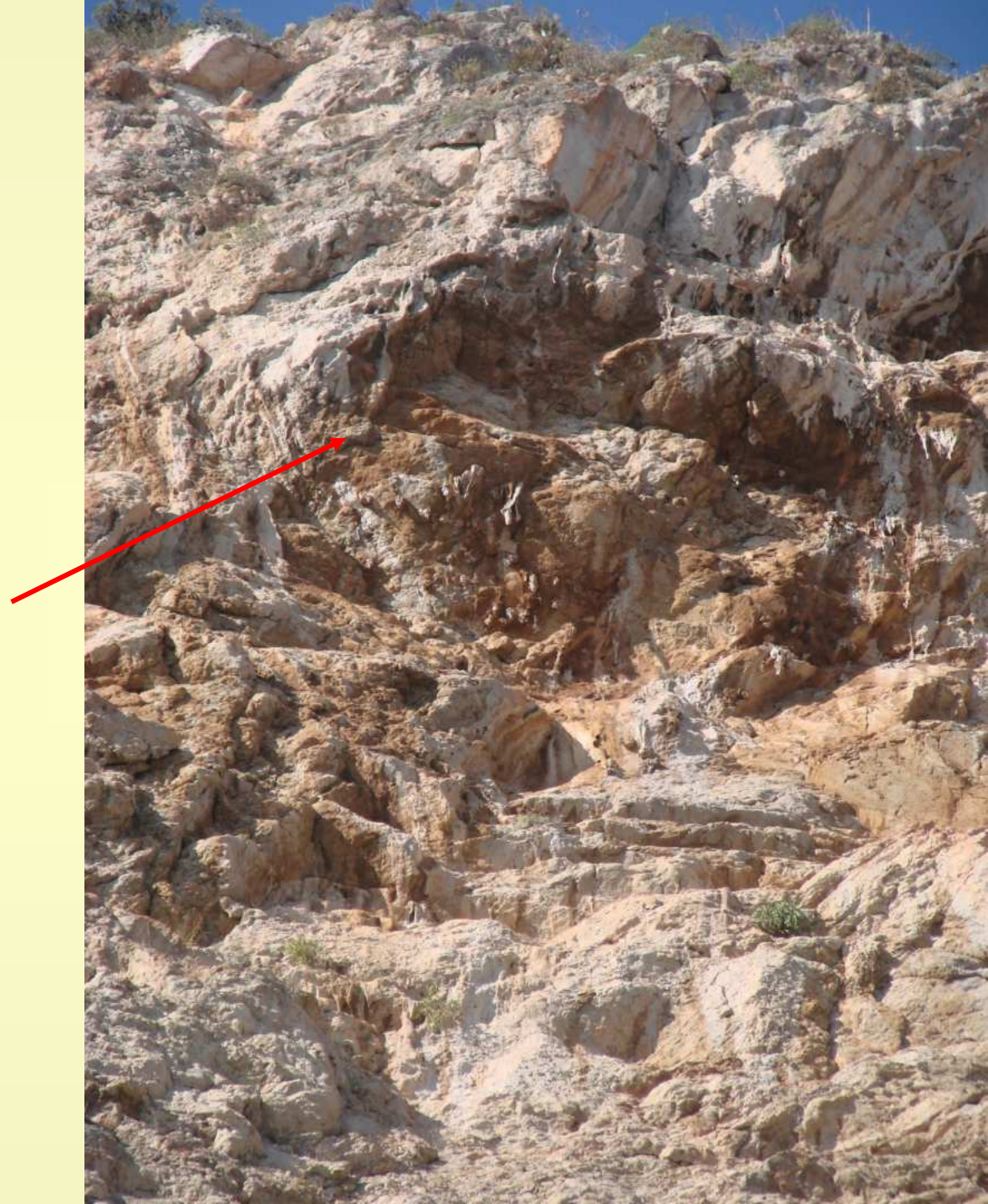


*Crollo del 9 ottobre 2012*





*Nicchia di  
distacco*

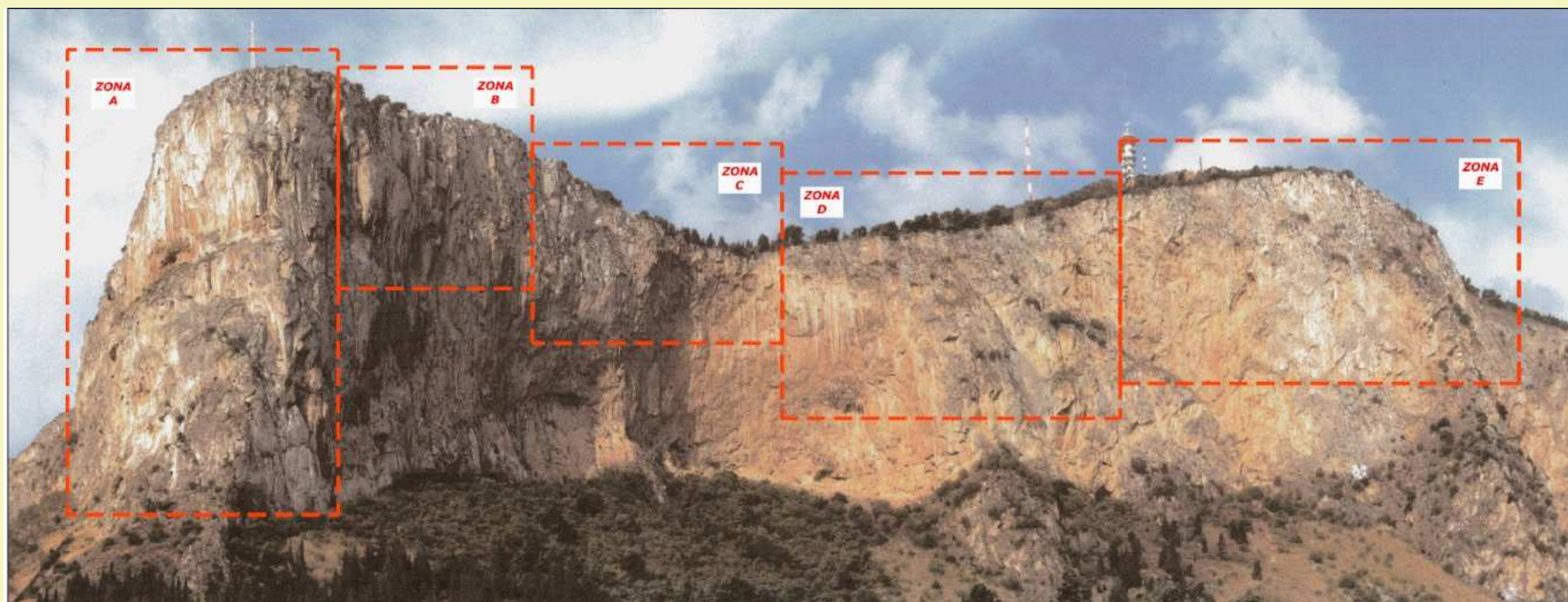


## Attività progettuale

- 1) **Obiettivo**: mitigare il rischio geomorfologico per il cimitero dei Rotoli
- 2) **Progetto degli interventi**. Eseguiti:
  - a) il **rilievo geostrutturale** dell'ammasso roccioso per risalire alle caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso e ai possibili cinematismi;
  - b) il **rilievo fotografico e topografico** dei costoni carbonatici con sistema S.A.P.R. (Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto) ed **ispezioni dirette** con metodi di progressione su corda per individuare, posizionare e rilevare dal punto di vista geostrutturale e geometrico gli elementi lapidei in equilibrio instabile;
  - c) lo **studio delle traiettorie** dei massi in caduta dai fronti lapidei con metodi probabilistici fisicamente basati ottimizzati mediante la back-analysis dei crolli pregressi;
  - d) **prove di tiro** su ancoraggi di prova (D.M. 17/01/2018).



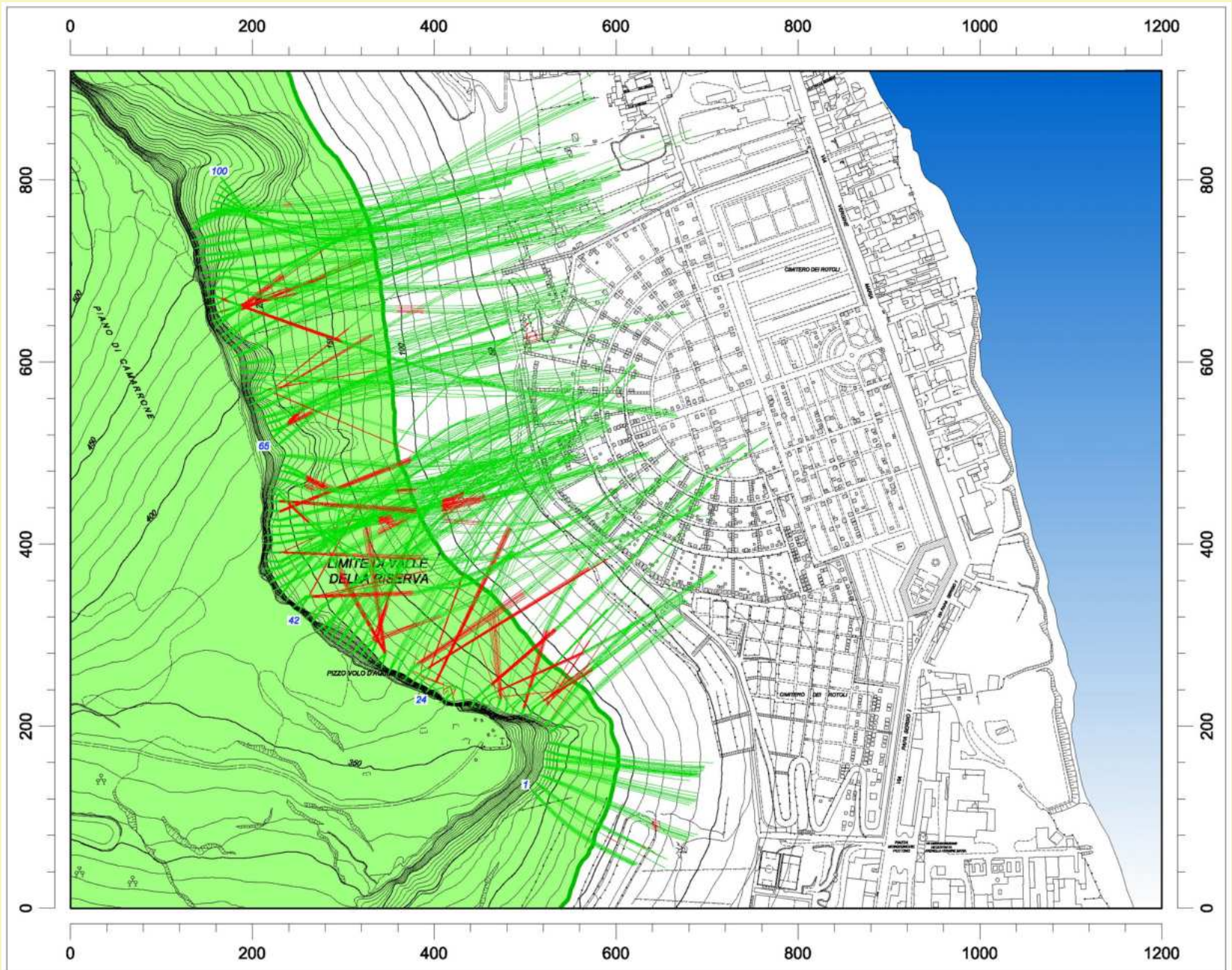
# Rilievo con il drone e ispezioni dirette dei fronti lapidei



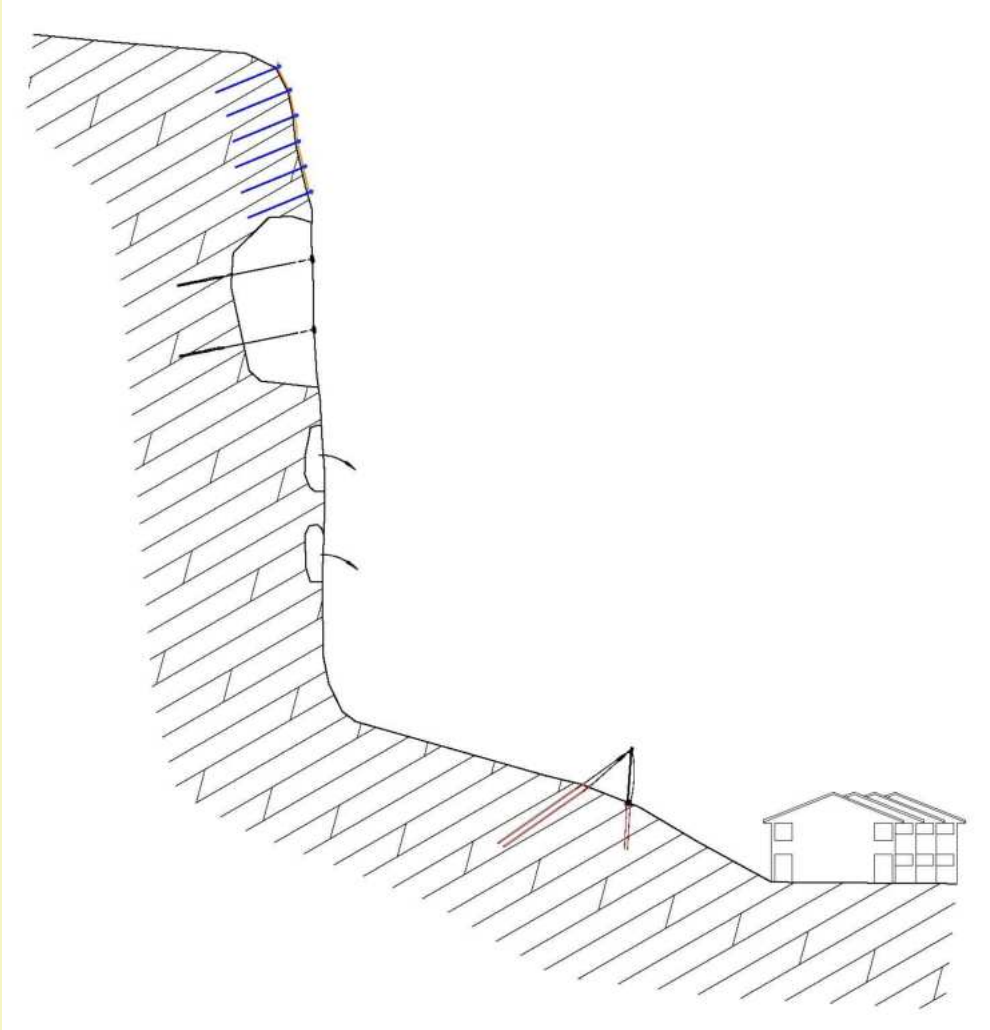
# Analisi delle traiettorie dei massi - Risultati della back-analysis



# Analisi delle traiettorie dei massi nelle condizioni attuali



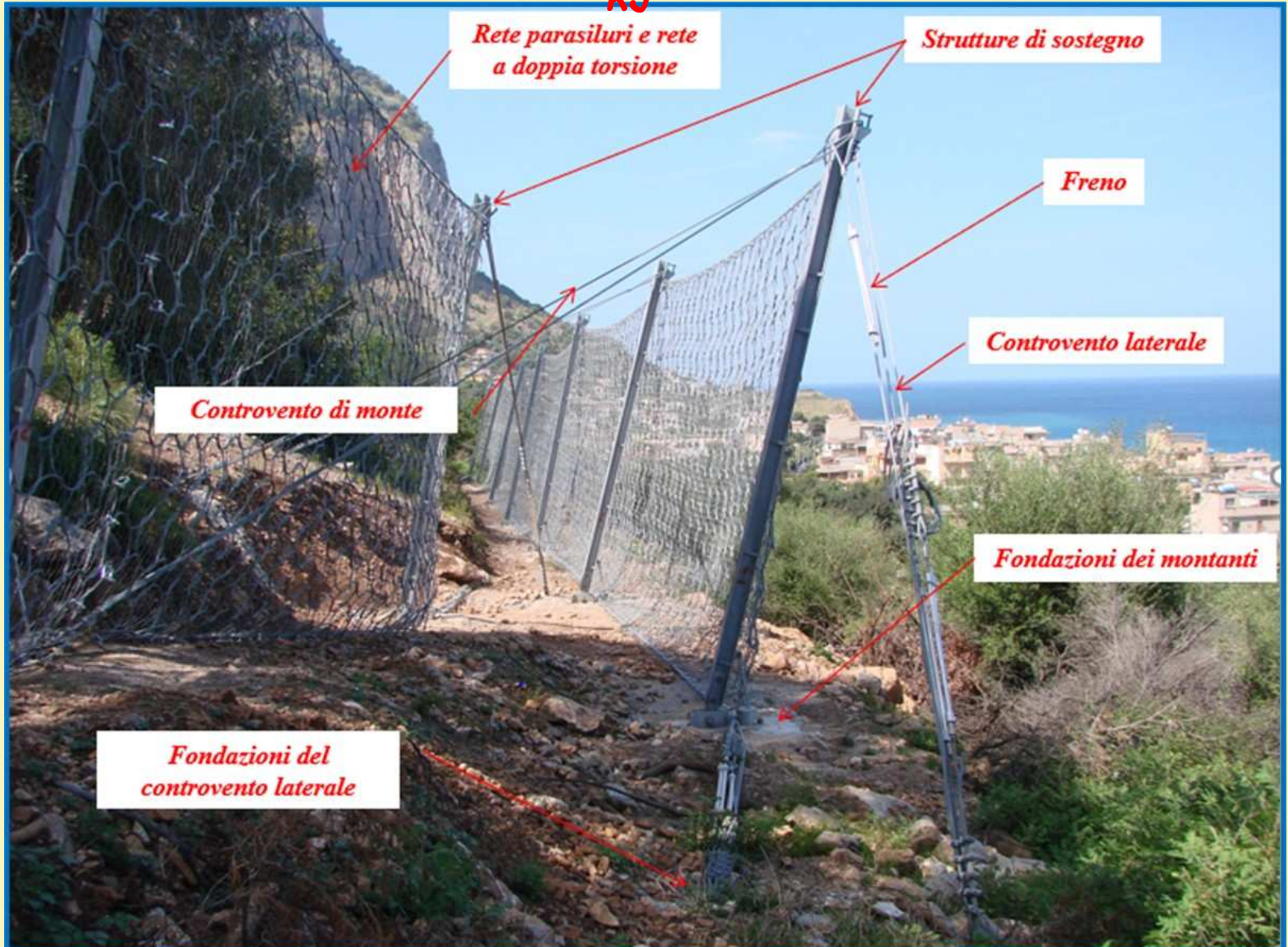
## **Intervento di mitigazione del rischio geomorfologico di tipo misto**



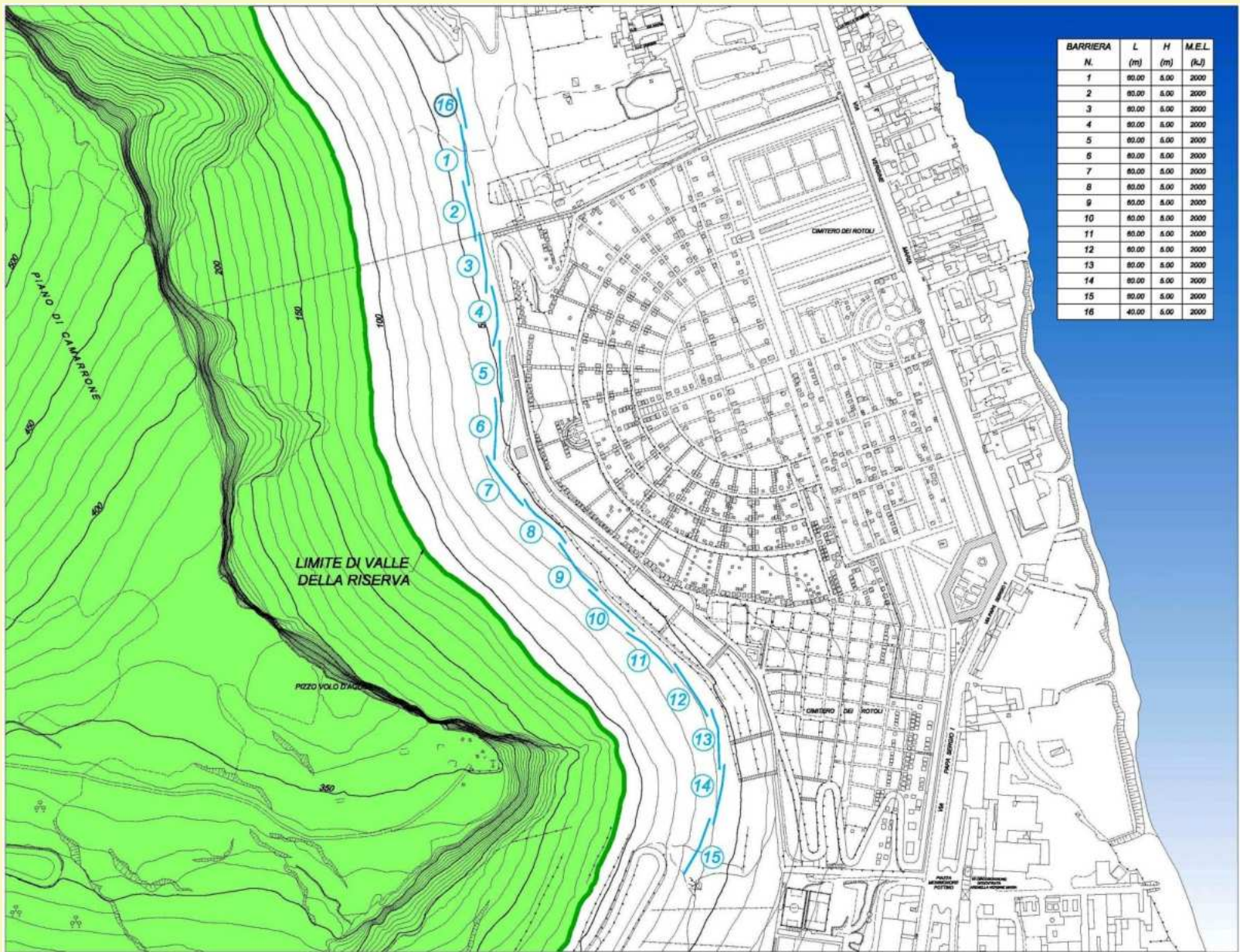
Comprende in generale:

- opere di difesa passiva (funzionali nei confronti dei massi più piccoli);
- interventi di consolidamento dei blocchi lapidei di maggiori dimensioni;
- interventi necessari alla sicurezza delle maestranze in corso d'opera.

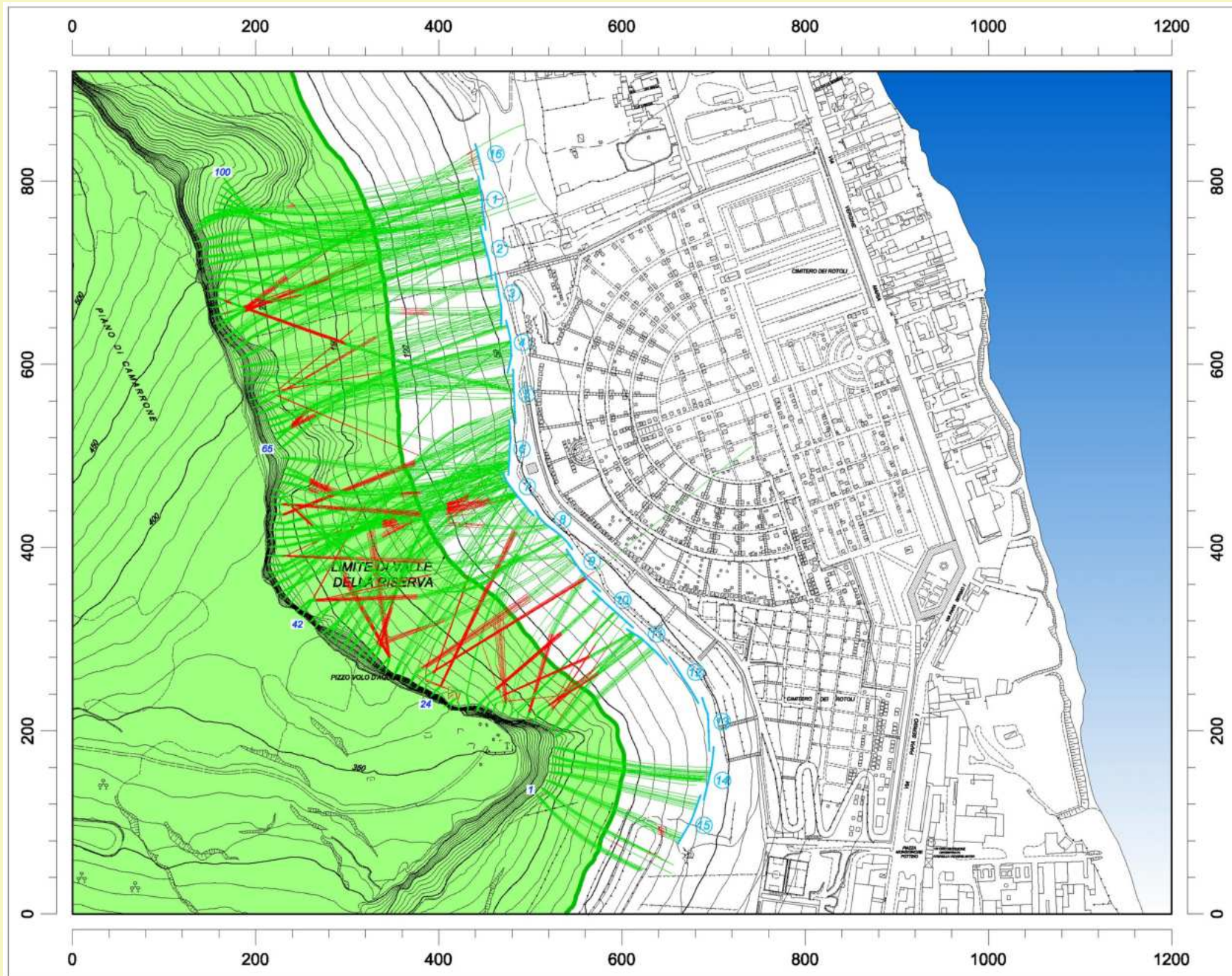
# Barriere paramassi ad elevato assorbimento di energia MEL = 2.000 kJ



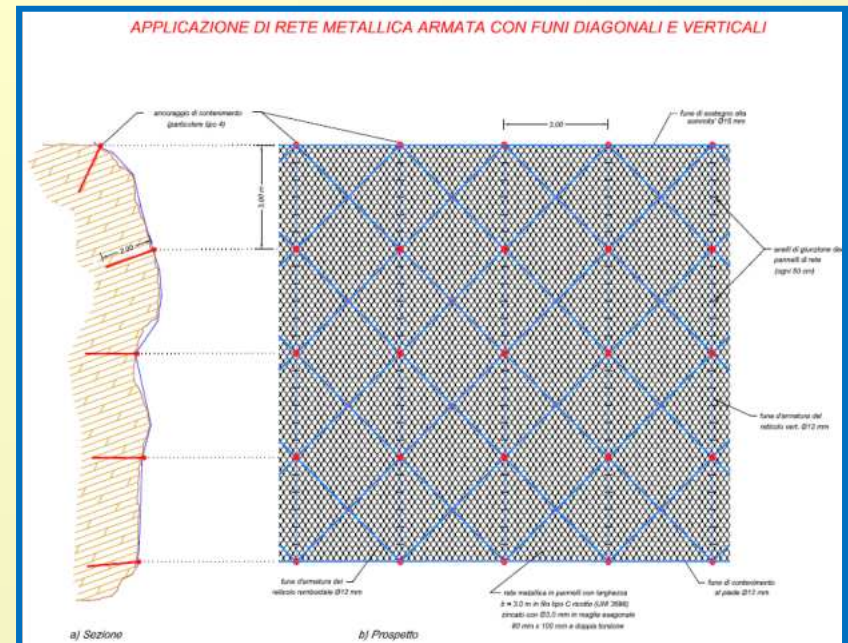
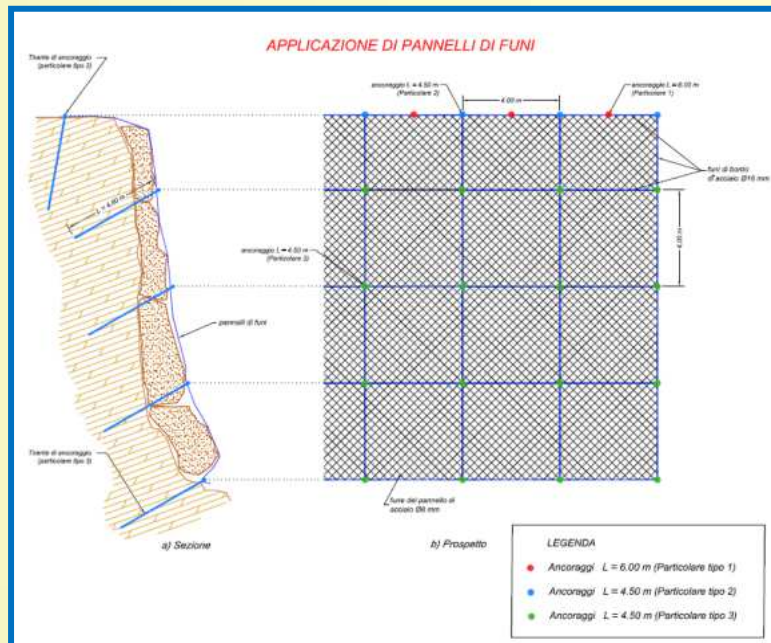
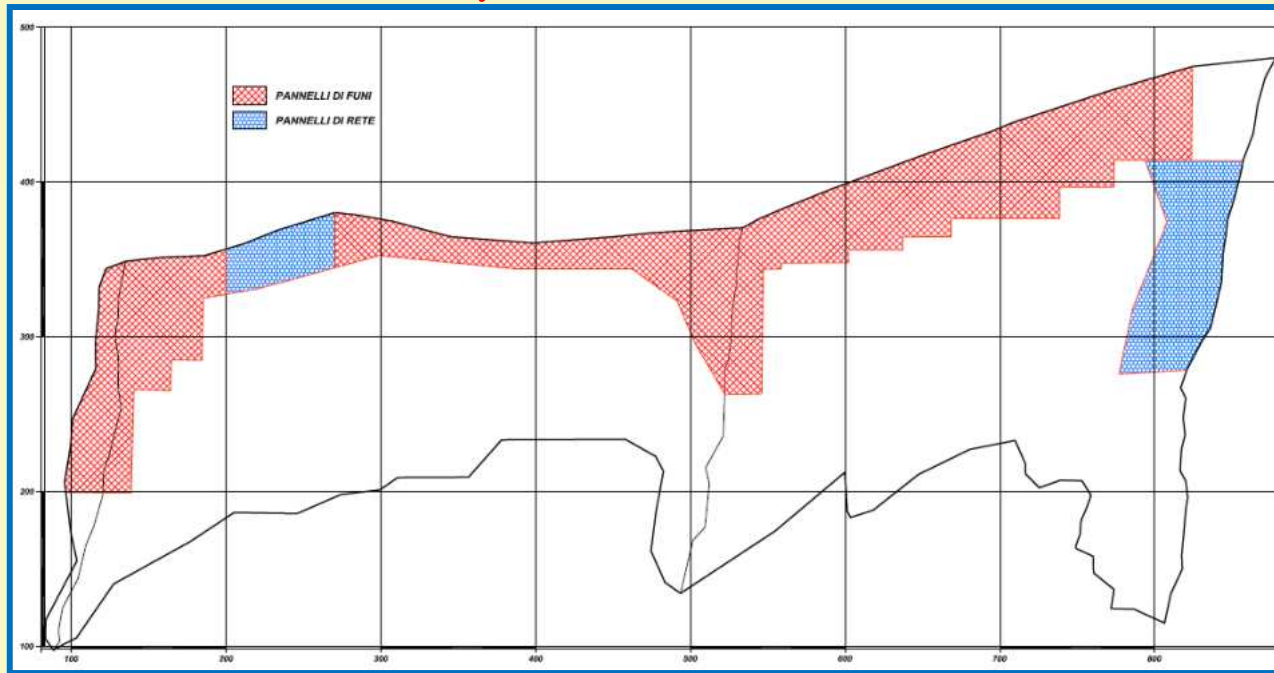
**Barriere paramassi ad elevato assorbimento di energia MEL = 2.000 kJ**



# Analisi delle traiettorie dei massi in presenza delle opere di difesa passiva



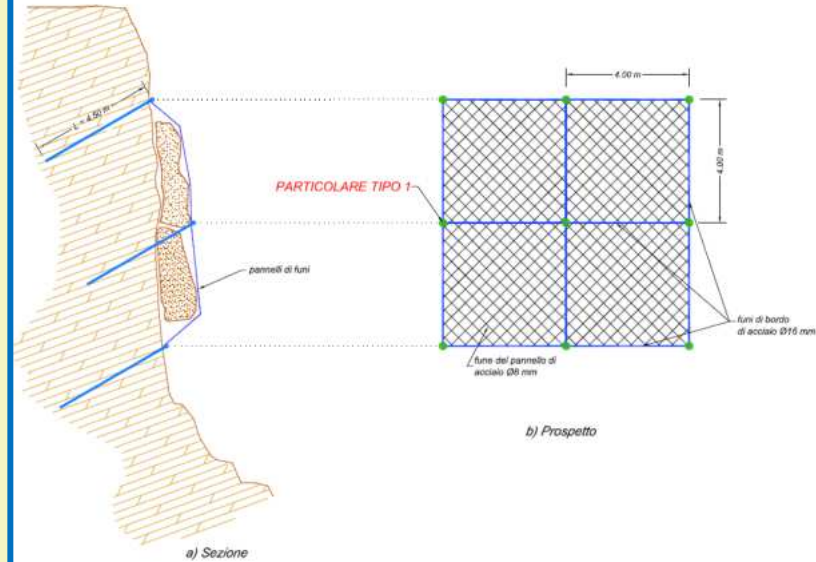
# Interventi di tipo attivo di carattere esteso



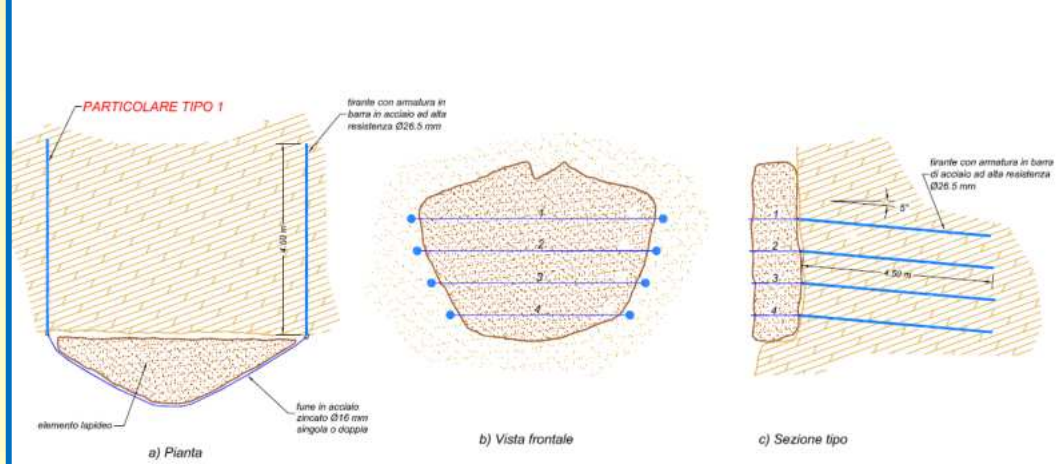


# Interventi di tipo attivo di carattere puntuale

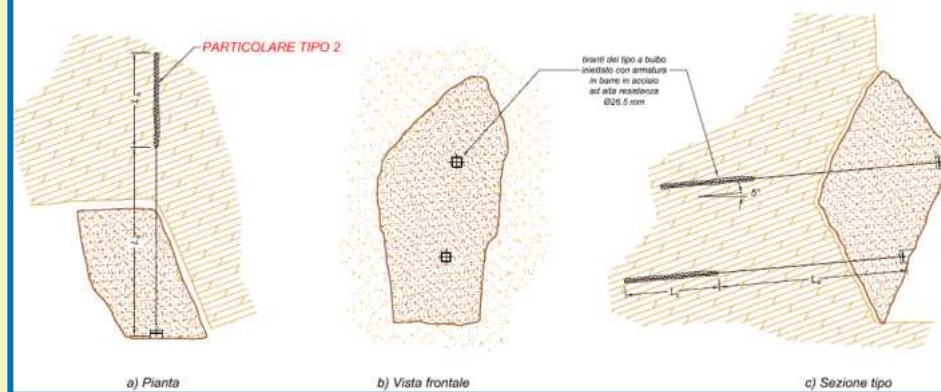
## Applicazione di pannelli di funi



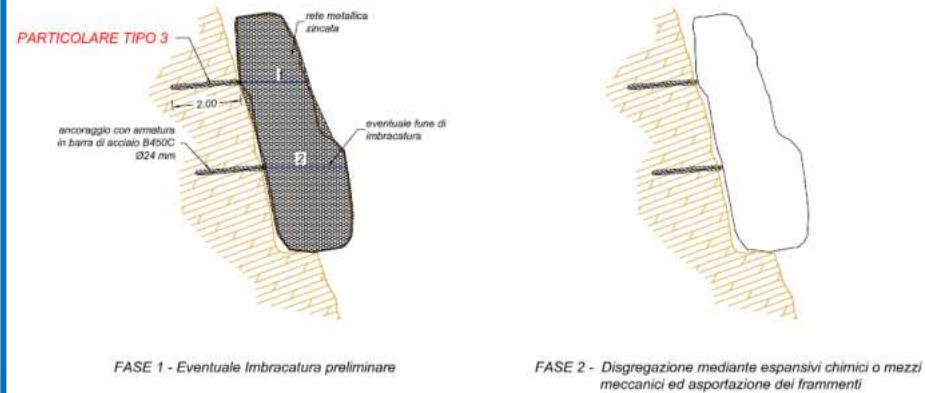
## Imbracatura con funi di acciaio ancorate a tiranti

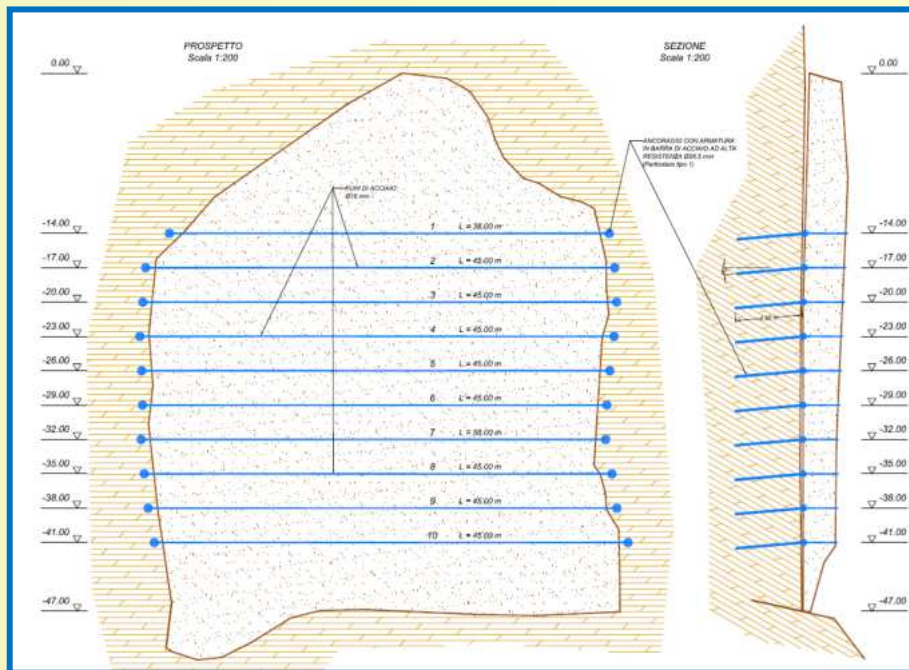
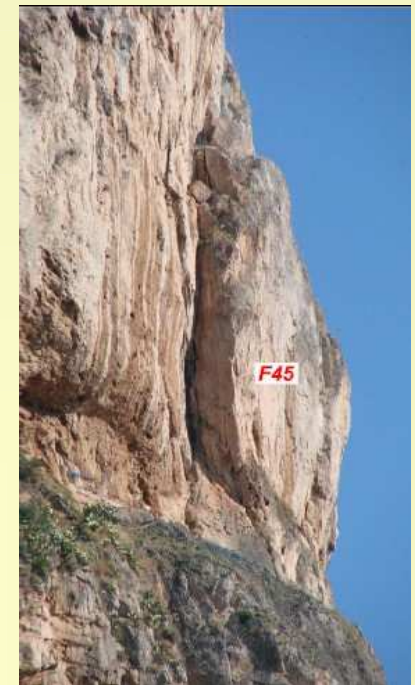


## Placcaggio diretto mediante tiranti



## Frantumazione mediante espansivi chimici o mezzi meccanici previa eventuale imbracatura preliminare





**Ubicazione, rilievo geometrico e geostrutturale e intervento di imbracatura di un grosso elemento lapideo in equilibrio instabile (2.500 metri cubi)**

## *Fase esecutiva - barriere al piede dei costoni carbonatici*



## *Fase esecutiva - barriere al piede dei costoni carbonatici*



*Fase esecutiva - barriera al piede dei costoni carbonatici*



## Barriere paramassi realizzate



*I gabbiani hanno gradito la presenza delle barriere paramassi!*



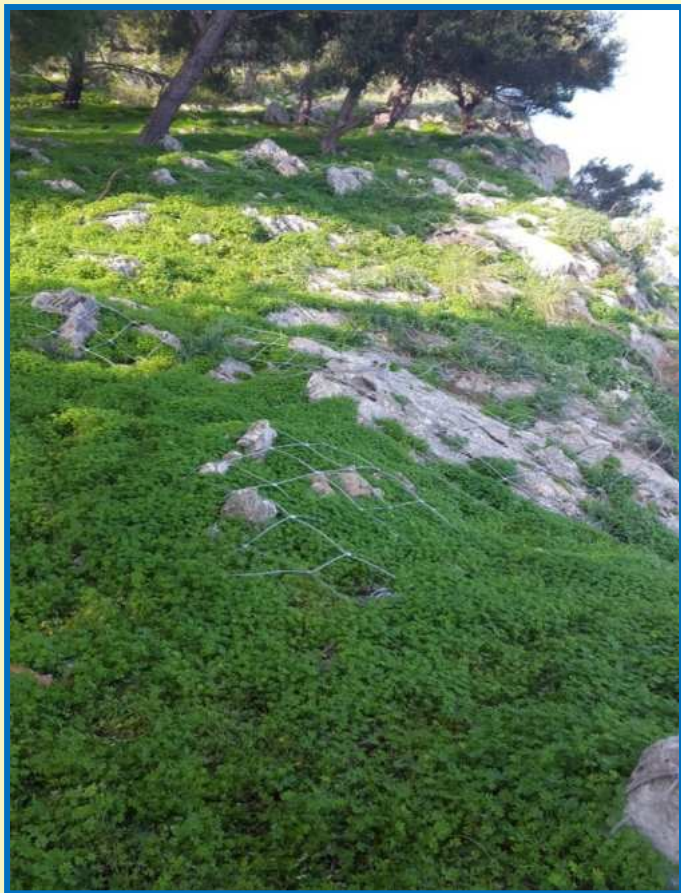
***Fase esecutiva - trasporto con elicottero del materiale alla sommità dei costoni rocciosi***







## *Intervento di tipo esteso con pannelli di funi*



## *Intervento di tipo esteso con pannelli di reti a doppia torsione*



## *Intervento di consolidamento di singoli elementi lapidei*



## *Collocazione degli ancoraggi*



*27 ottobre 2020 - Barriera n°6*











***27 ottobre 2020 - Barriera n°7***





***Ancoraggio dei controventi laterali  
della barriera n°6***



***Sistema di frenatura dei controventi  
laterali della barriera n°7***

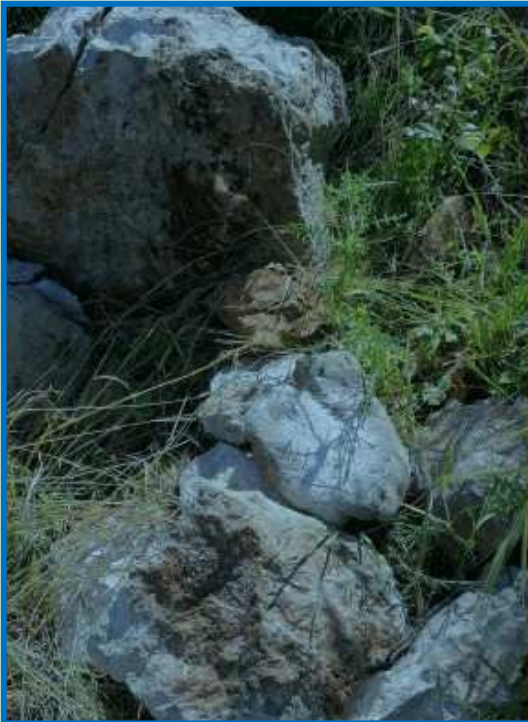
# *Interventi di ripristino delle barriere paramassi*

BARRIERA	INTERVENTO REALIZZATO
4	demolizione blocchi con espansivi chimici
5	demolizione blocchi con espansivi chimici sostituzione di un pannello di rete di intercettazione
6	demolizione blocchi con espansivi chimici sostituzione di un pannello di rete di intercettazione realizzazione di n°2 tiranti di fondazione dei controventi laterali
7	demolizione blocchi con espansivi chimici sostituzione di un pannello di rete di intercettazione realizzazione di n°2 sistemi frenanti dei controventi laterali
16	demolizione blocchi con espansivi chimici

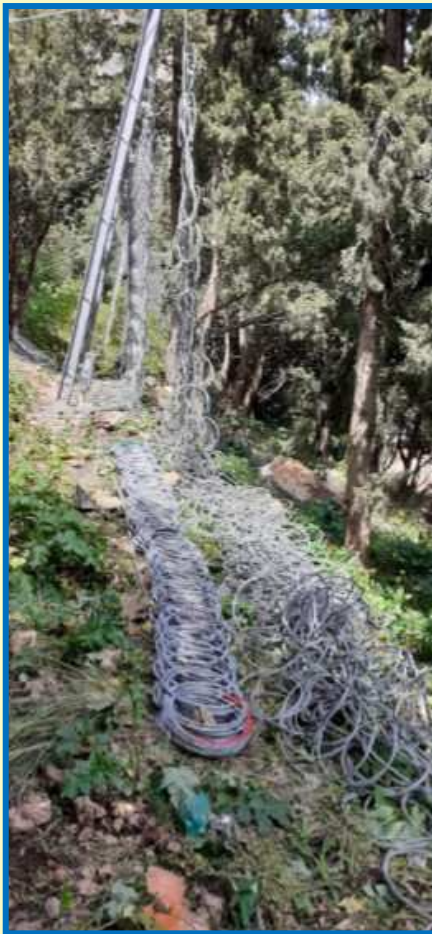
## *Principali lavori di ripristino effettuati*

*N.B. In quasi tutte le barriere sono stati eseguiti interventi di sistemazione dei pannelli deformati in maniera reversibile, di integrazione della rete a doppia torsione, di integrazione dei grilli mancanti*

*Demolizione dei blocchi crollati  
con prodotti espansivi chimici*



*Sostituzione dei  
pannelli di rete  
di  
intercettazione  
molto deformati*



*Sostituzione dei freni dei controventi di monte danneggiati*





*Ancoraggi dei controventi laterali danneggiati*



*Nuovi ancoraggi dei controventi laterali*

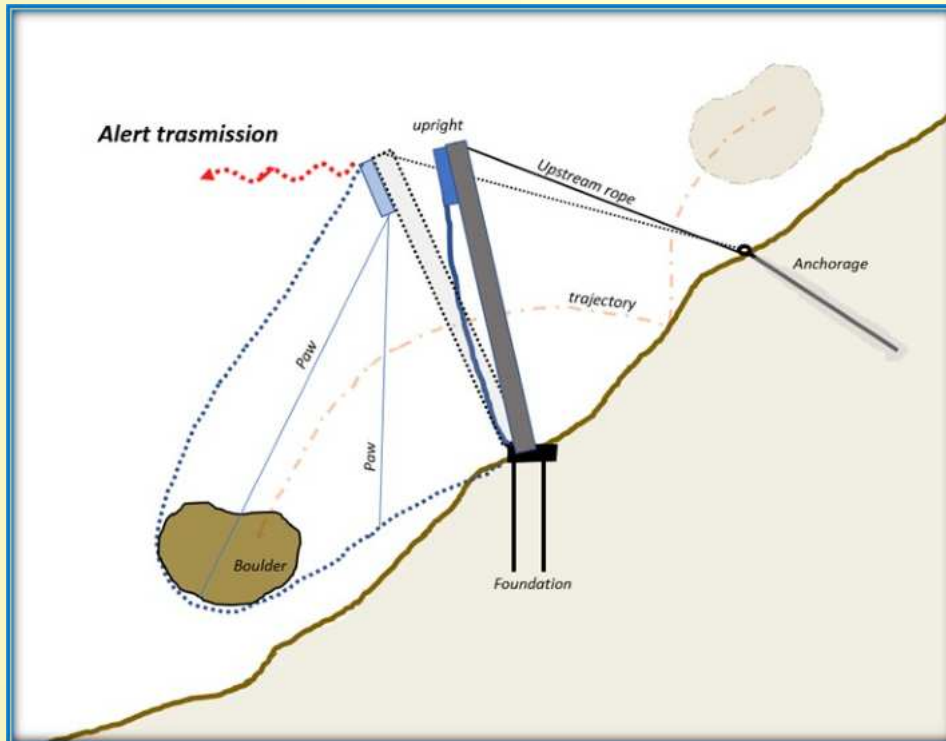
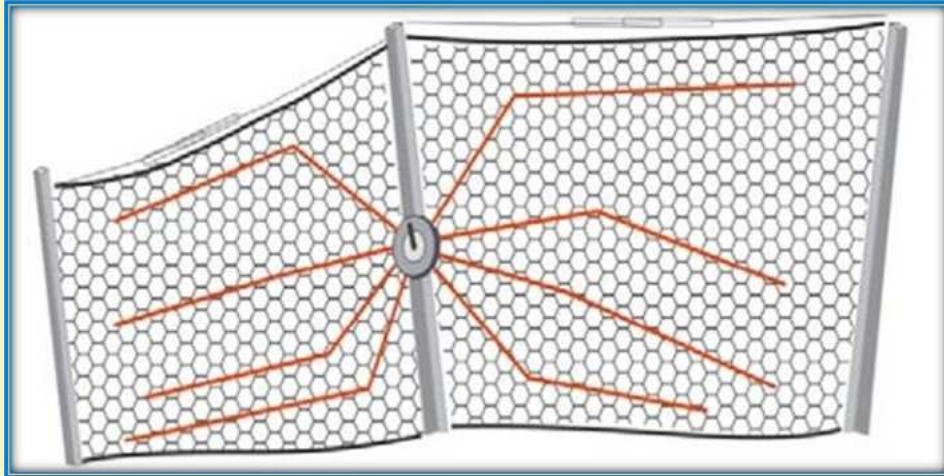




*Fasi esecutive per il collegamento dei nuovi ancoraggi ai controventi laterali*

# Nuove tecnologie per il monitoraggio delle barriere paramassi

## Sistema di monitoraggio in remoto



- Componenti tecnologici:**
- Strumenti di misura;
  - Sistema di acquisizione, elaborazione e trasmissione dei dati on line;
  - Componenti accessori per l'innescò di un sistema di allarme.