



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

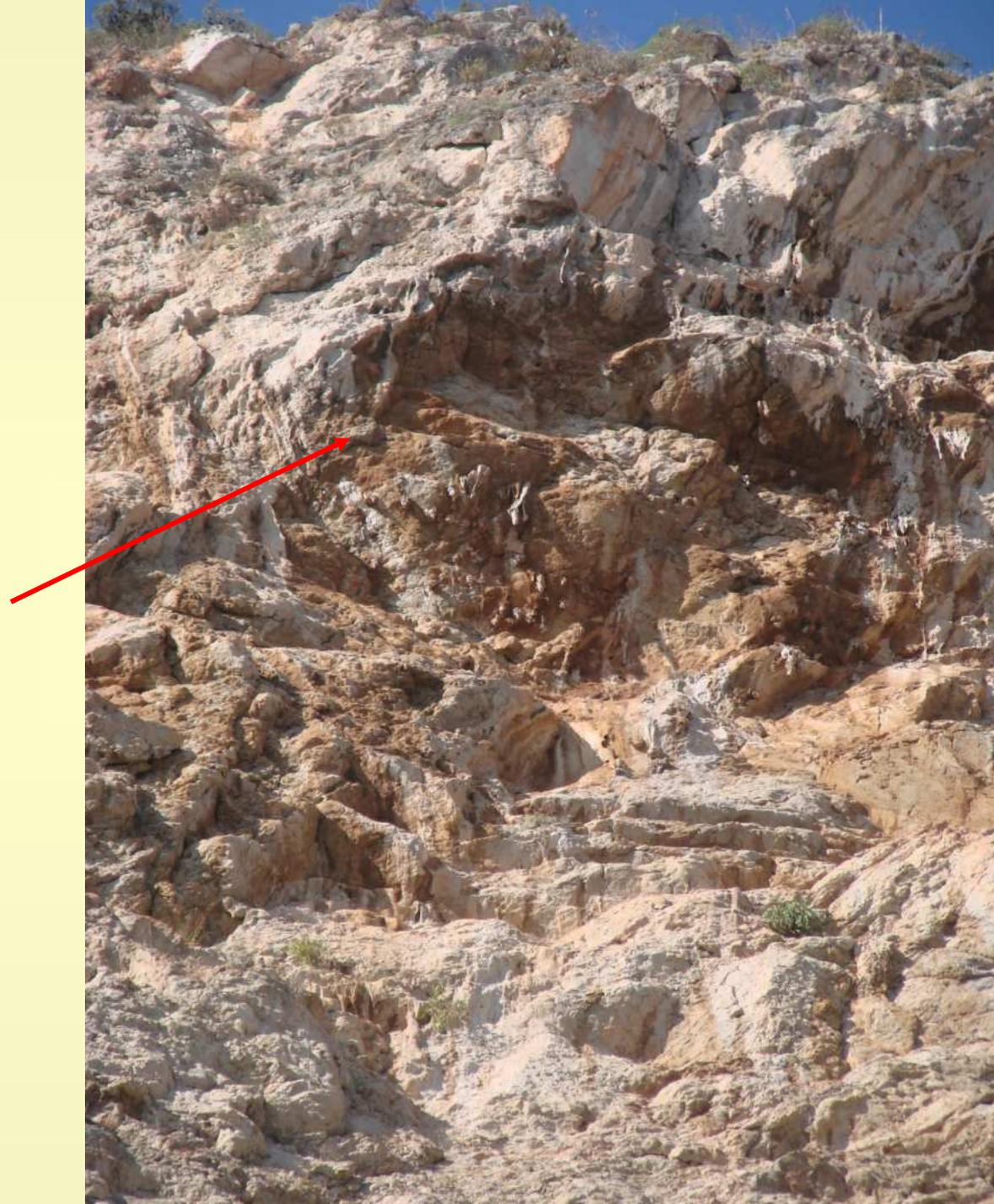


Crollo del 9 ottobre 2012





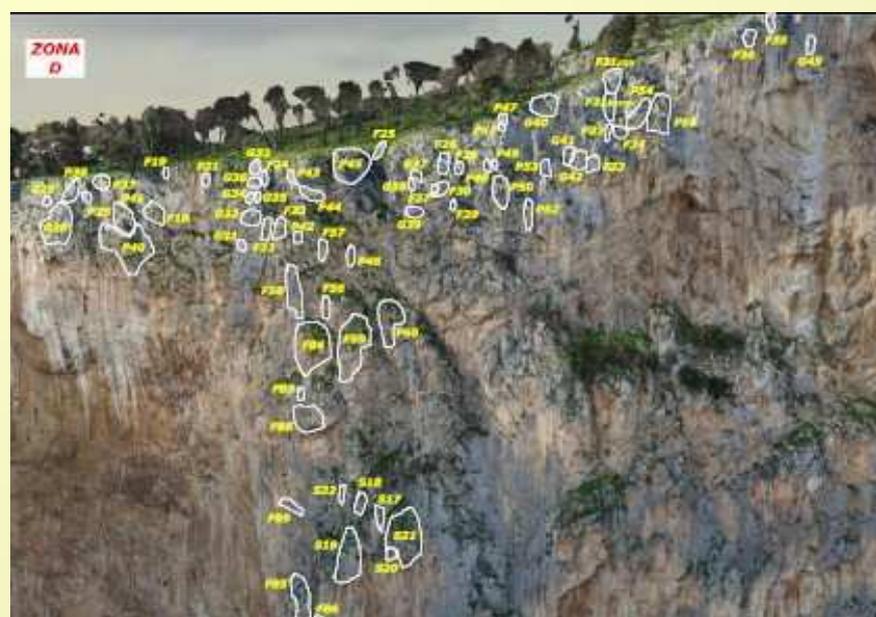
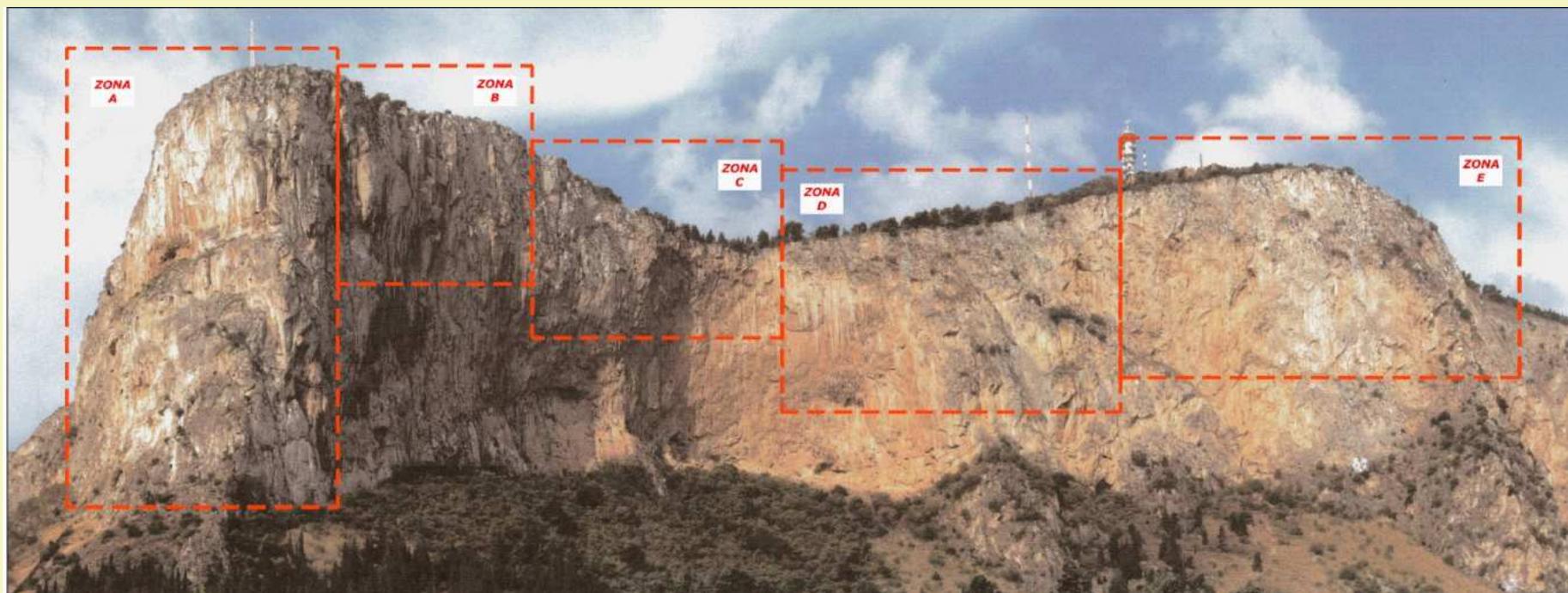
*Nicchia di
distacco*



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).

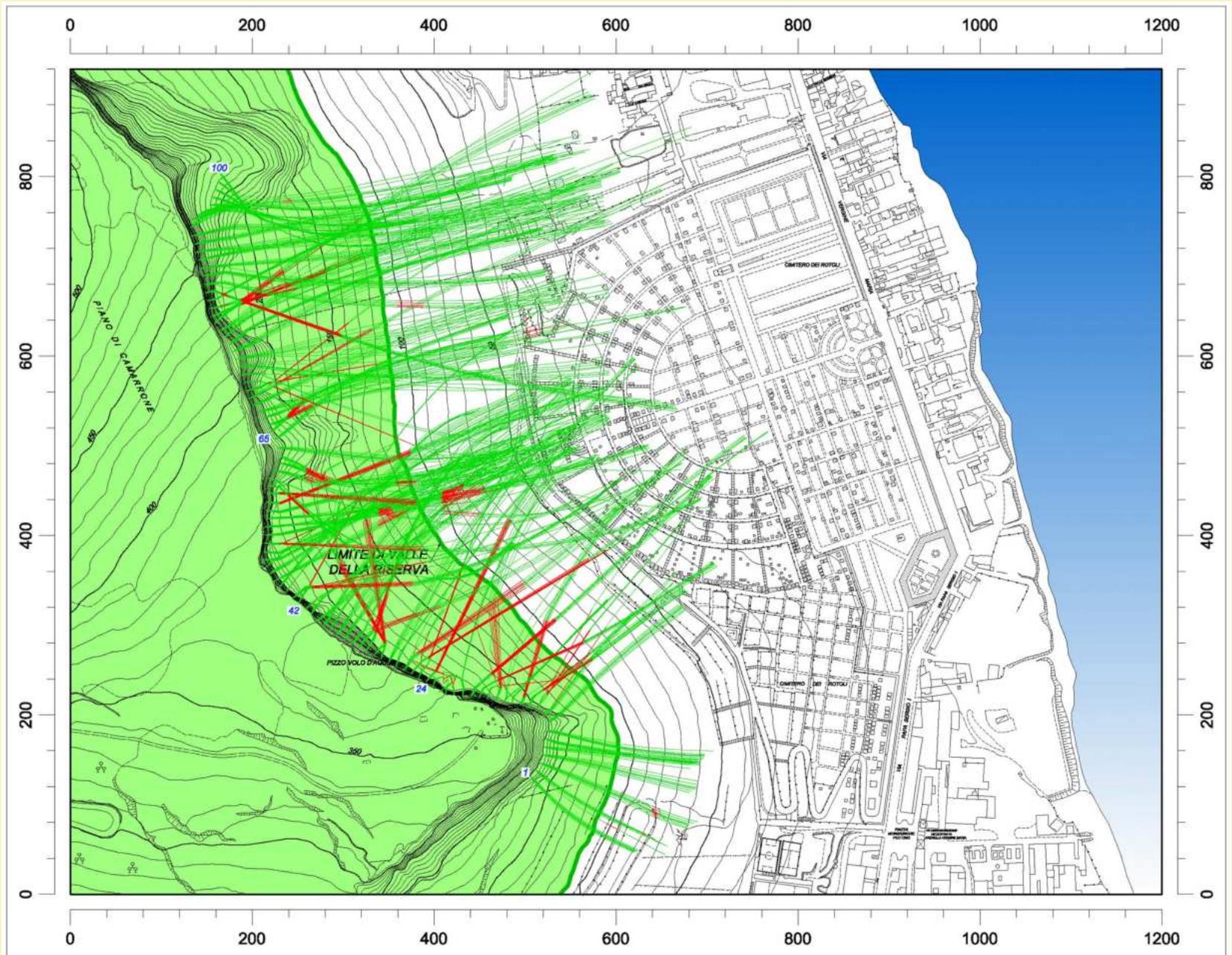
Rilievo con il drone e ispezioni dirette dei fronti lapidei



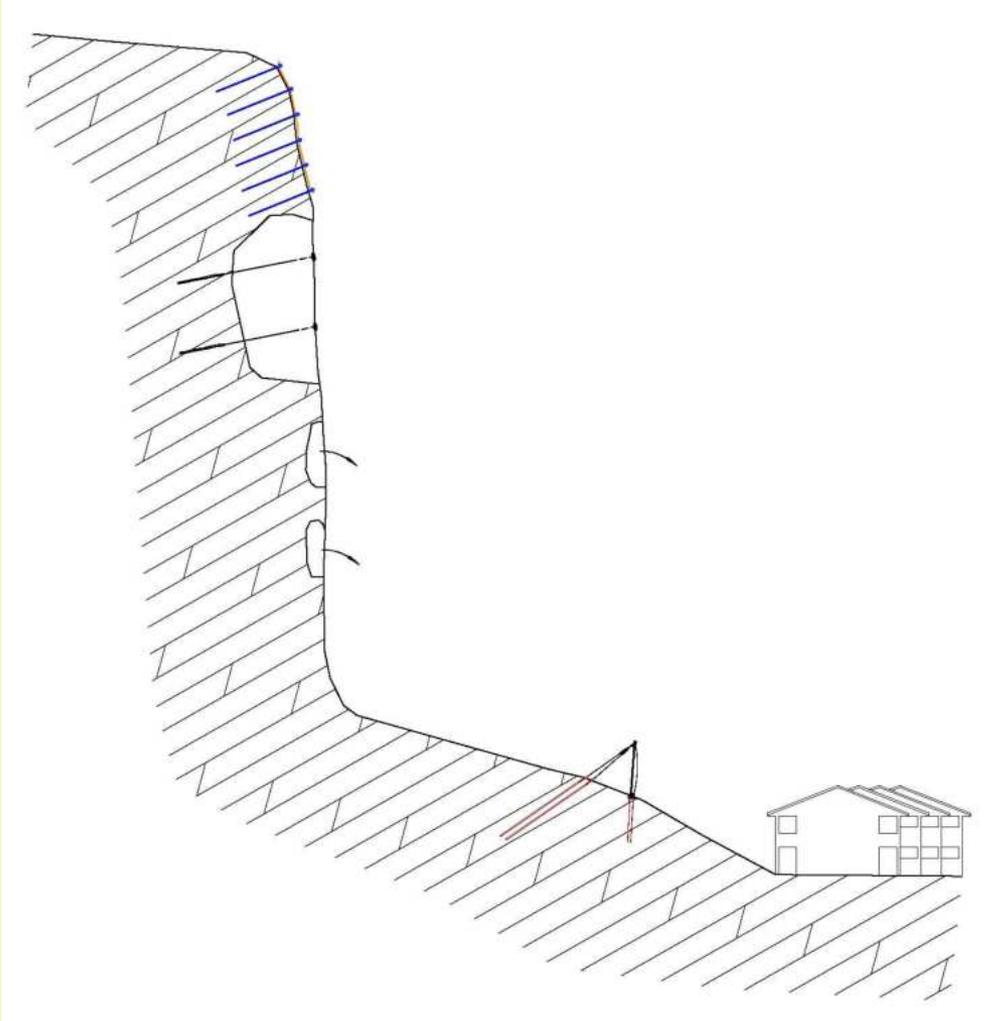
Analisi delle traiettorie dei massi - Risultati della back-analysis



Analisi delle traiettorie dei massi nelle condizioni attuali



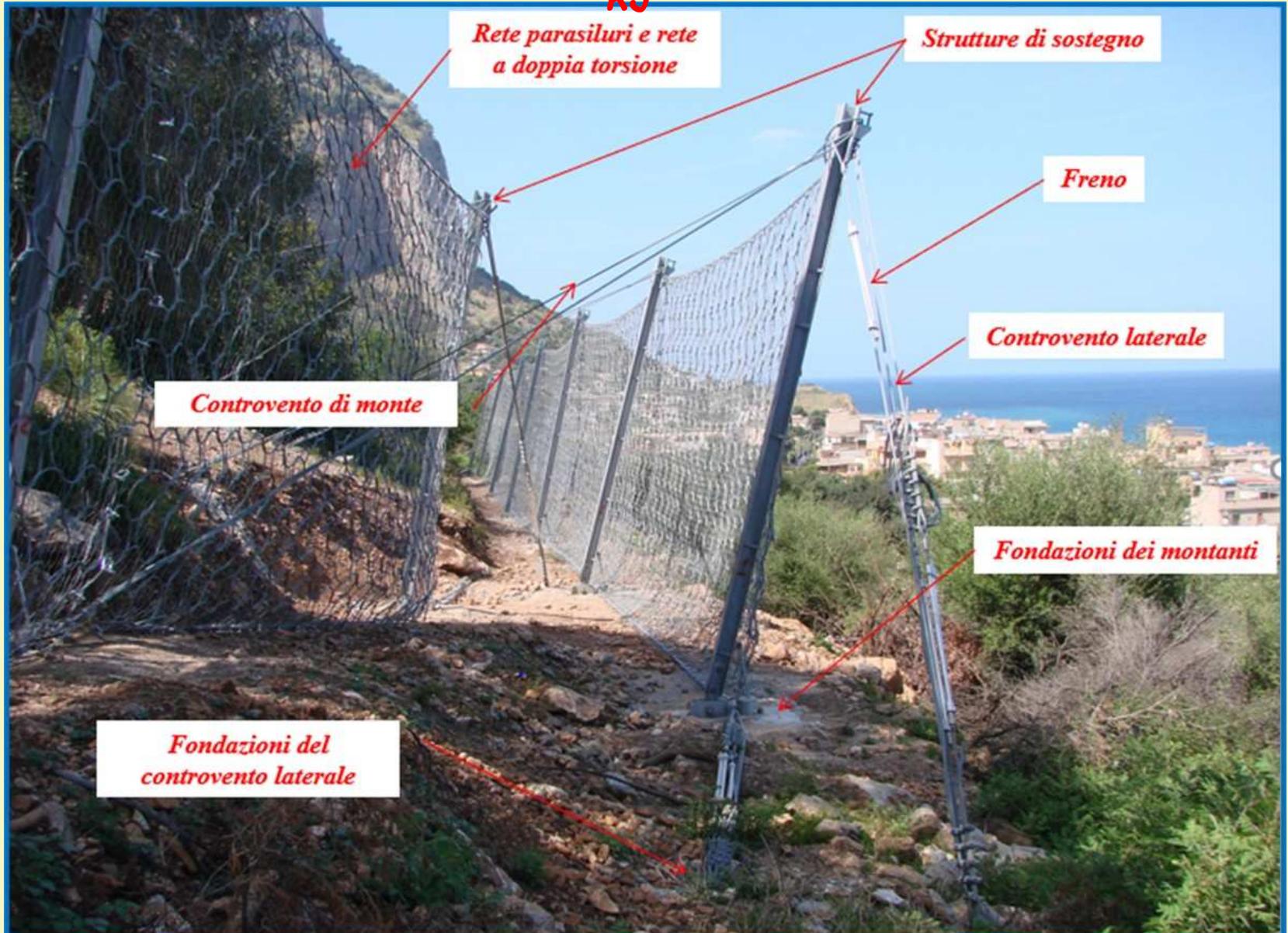
Intervento di mitigazione del rischio geomorfologico di tipo misto



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.

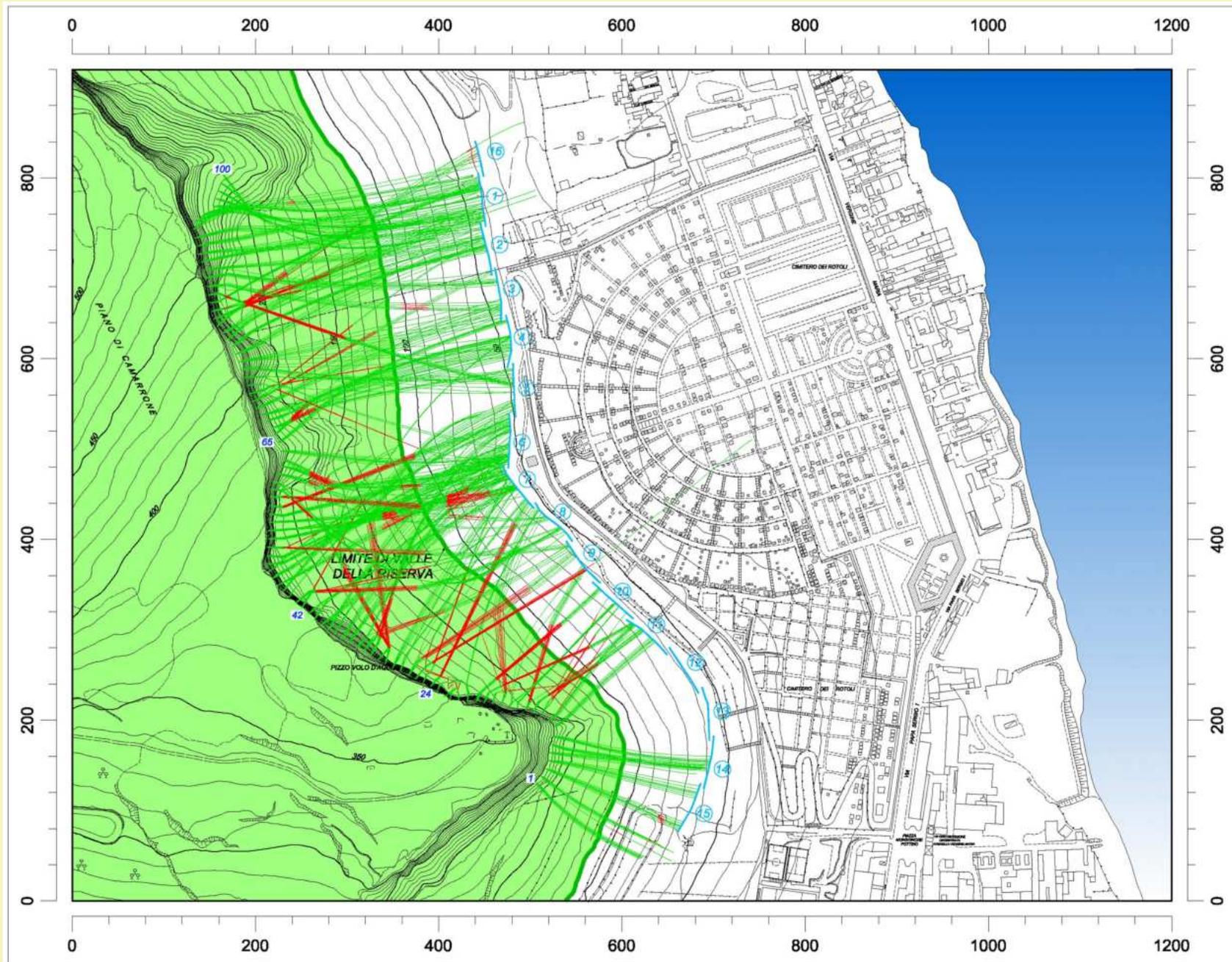
Barriere paramassi ad elevato assorbimento di energia MEL = 2.000 kJ



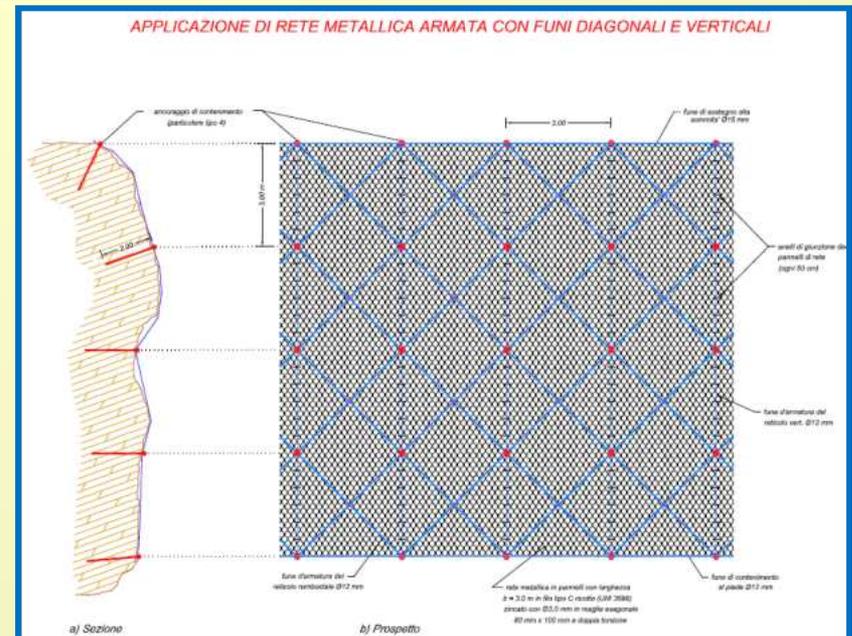
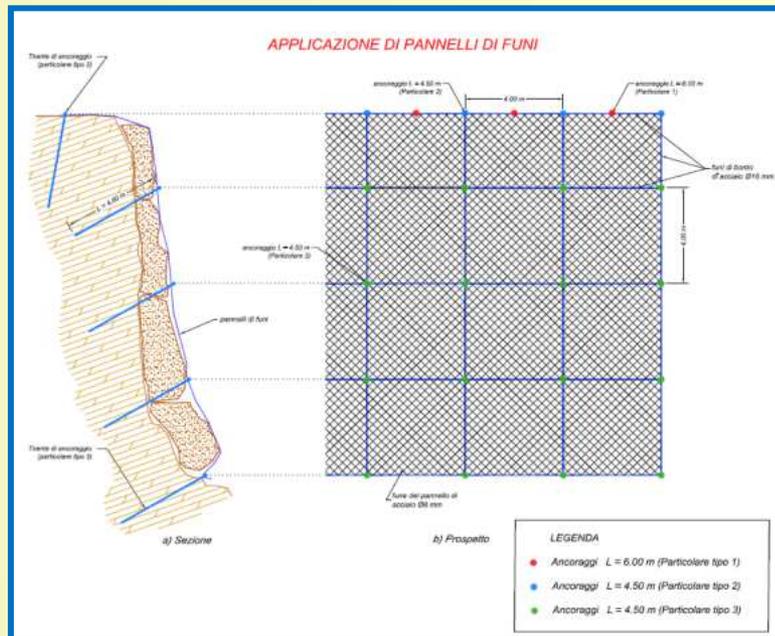
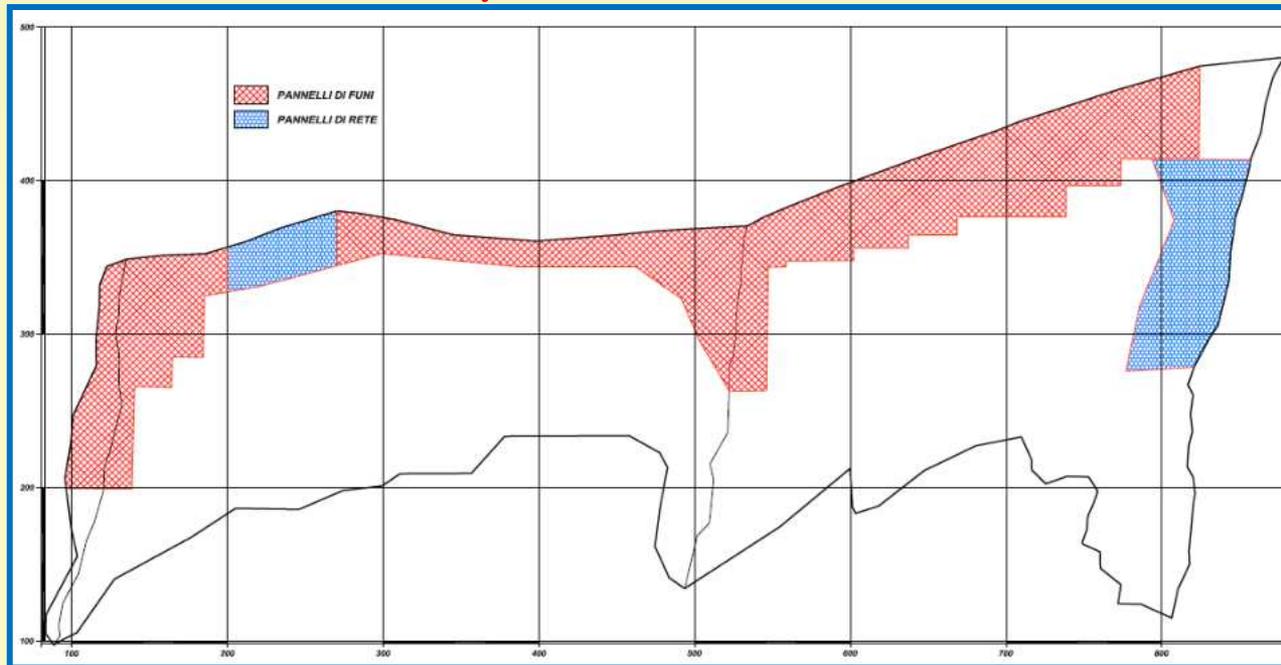
Barriere paramassi ad elevato assorbimento di energia MEL = 2.000 kJ



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

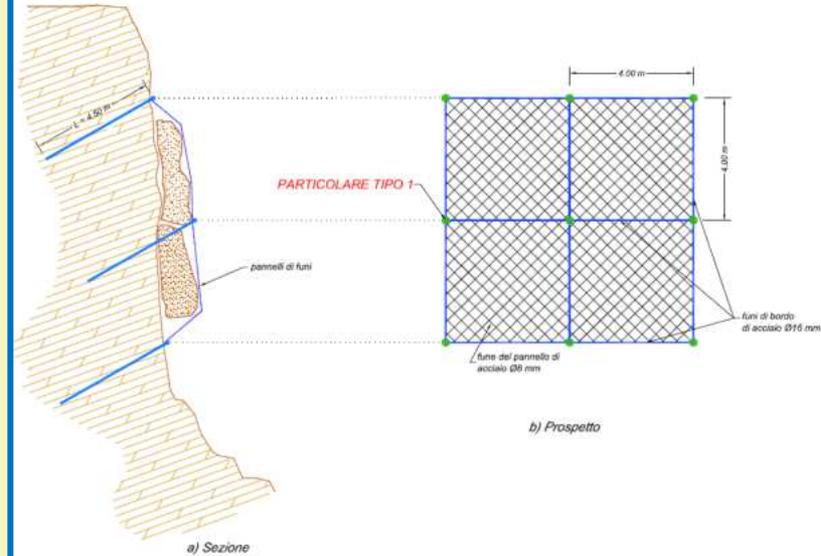


Interventi di tipo attivo di carattere esteso

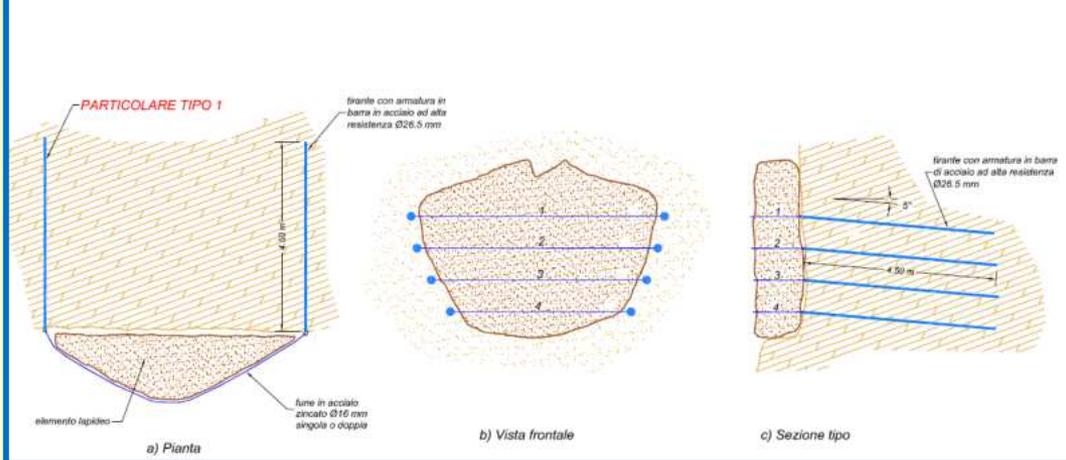


Interventi di tipo attivo di carattere puntuale

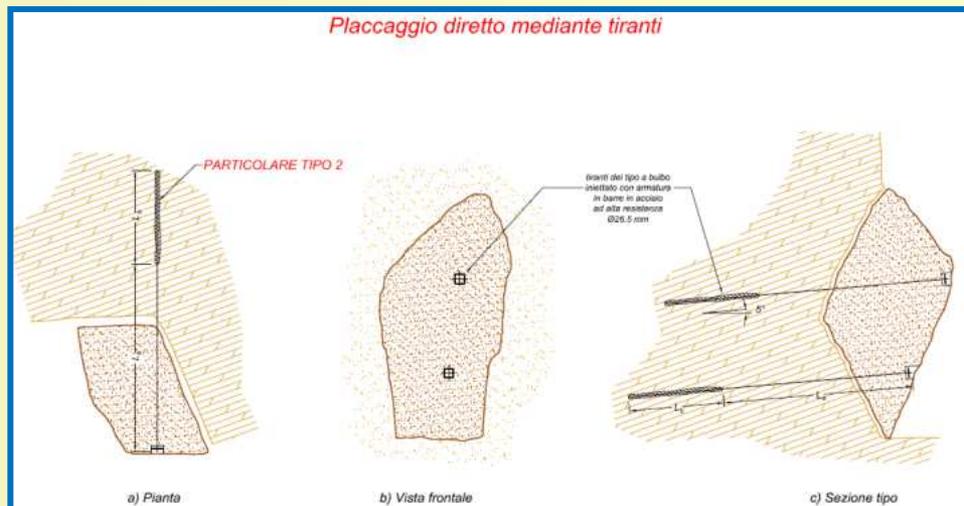
Applicazione di pannelli di funi



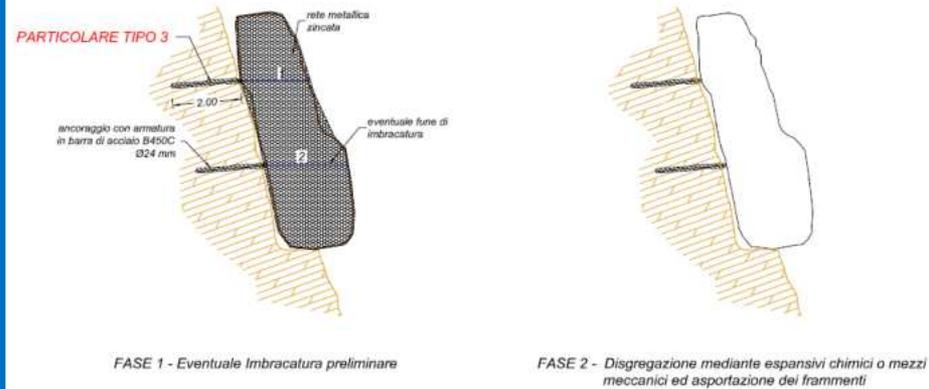
Imbracatura con funi di acciaio ancorate a tiranti

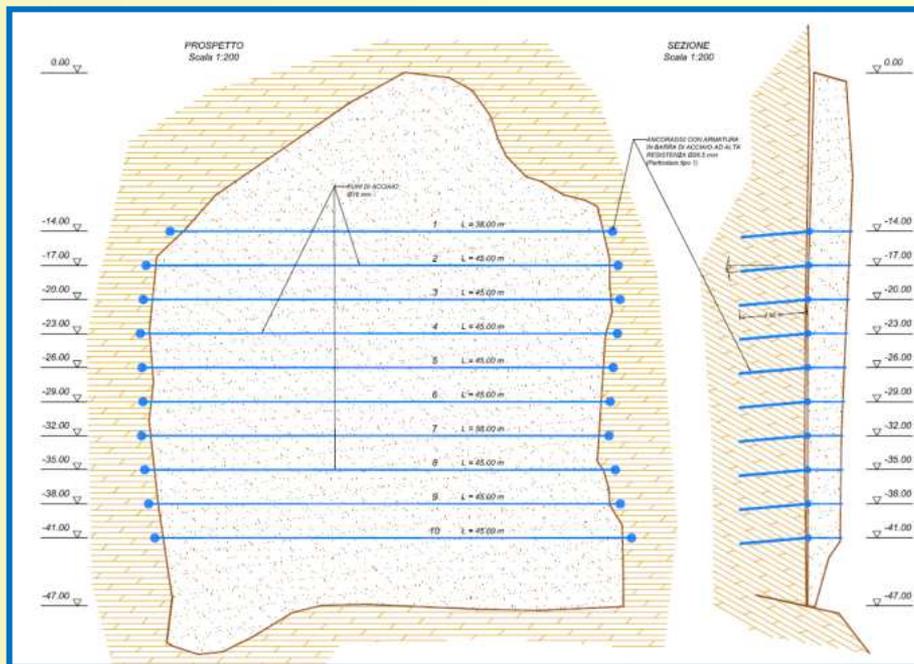
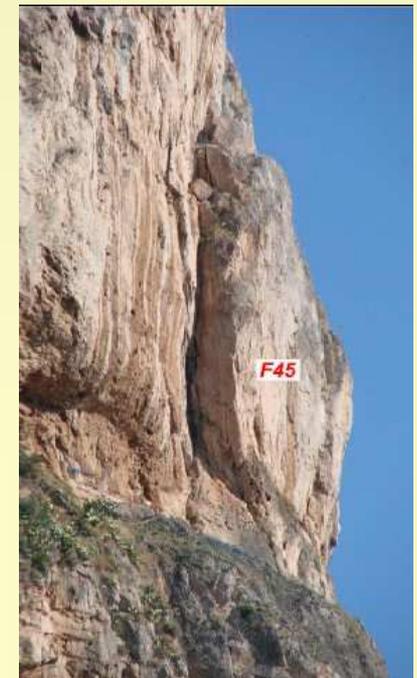
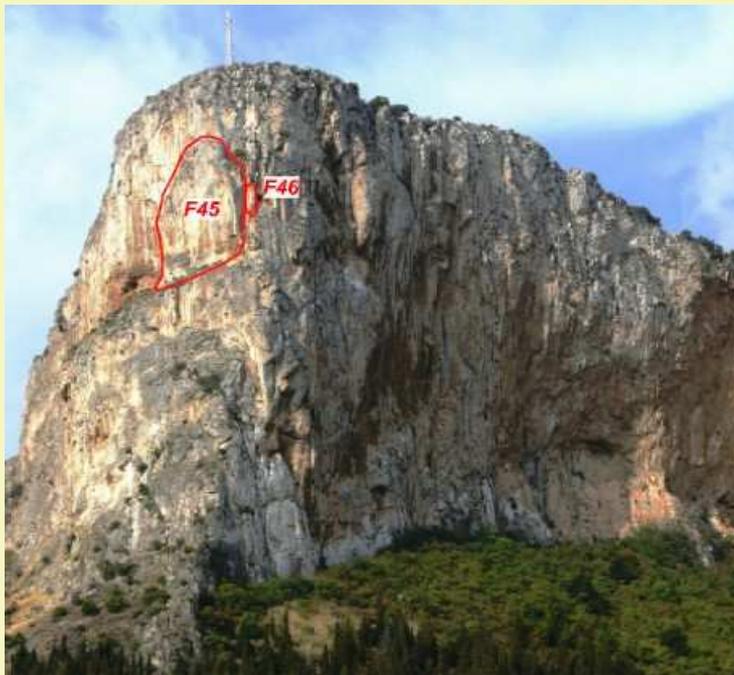


Placcaggio diretto mediante tiranti



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!

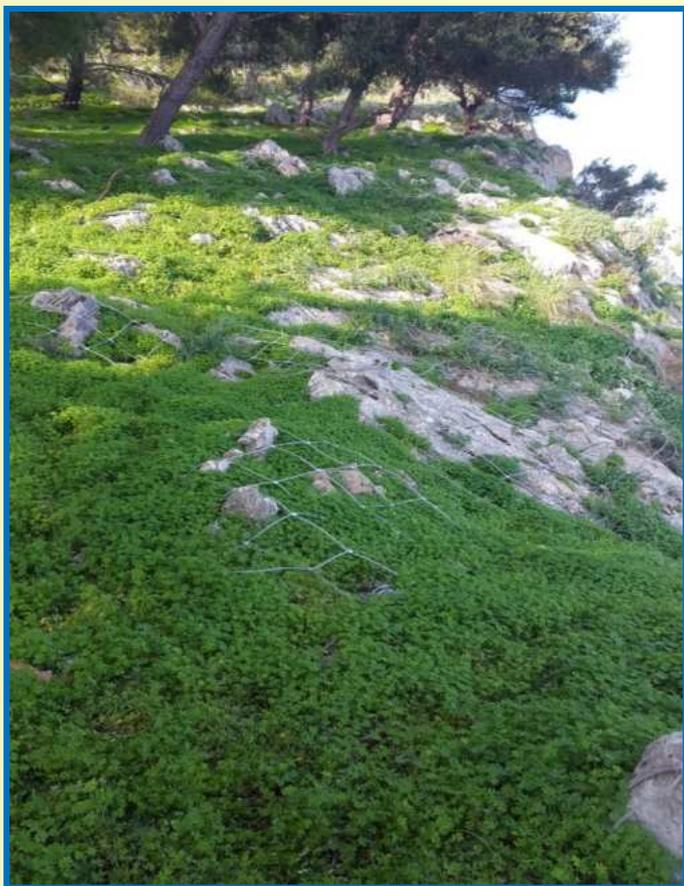


Fase esecutiva - trasporto con elicottero del materiale alla sommità dei costoni rocciosi





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



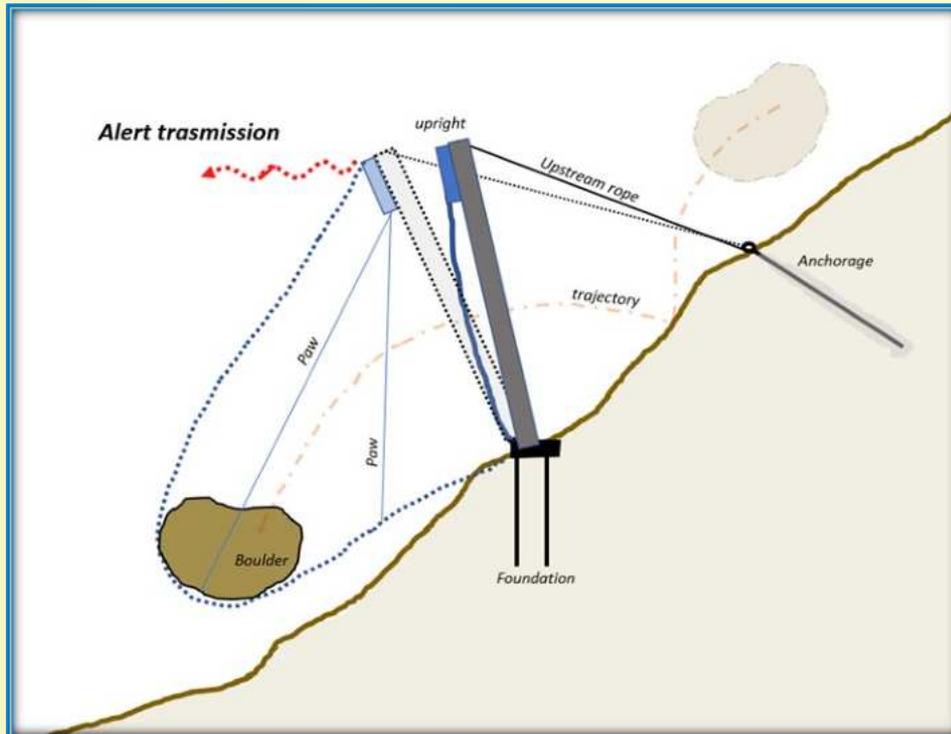
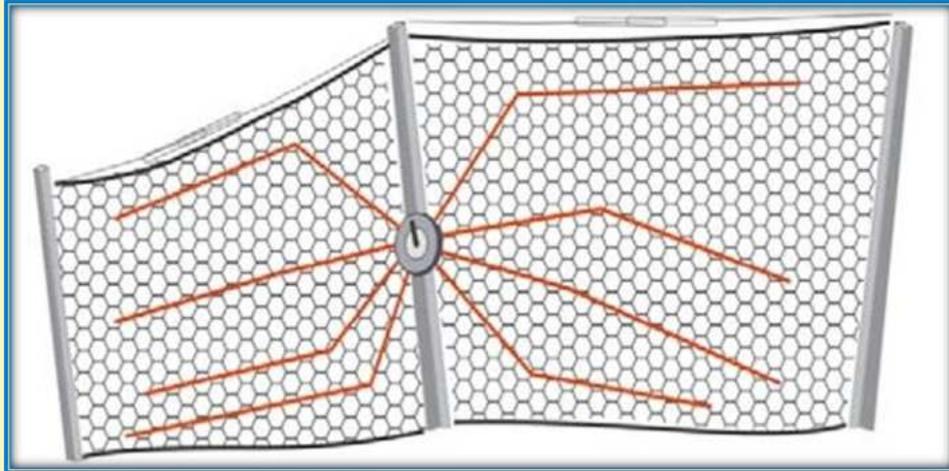
Nuovi ancoraggi dei controventi laterali



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'innesco di un sistema di allarme.