



Progetto monitoraggio innovativo con la tecnologia in fibra ottica per la parete rocciosa del Santuario della SS Trinità di Vallepietra

Ing. Olimpia Spiniello

10 maggio 2024





Dott. Ing. Olimpia Spiniello (Responsabile Convenzione ISPRA/Comune di Vallepietra, Convenzione e Protocollo Intesa ISPRA/ENEA e Gruppo di Lavoro)

Gruppo di Lavoro.

Dott. Geol. Ing. Vittorio Chiessi

Dott. Geol. Danilo D'Angiò

Dott. Ing. Alessandro Fraccica

Dott. Geol. Matteo Maggi

Dott. Geol. Gennaro Maria Monti

Dott. Geol. Saverio Romeo

In collaborazione

Sindaco di Vallepietra (RM) Flavio De Santis



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA

Organo Cartografico dello Stato legge 68/1960

Dipartimento Difesa del Suolo

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ISPRA, istituito con la legge 133/2008 **è un ente pubblico di ricerca** con autonomia scientifica e finanziaria.

L'ISPRA è sottoposto alla vigilanza del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.

Tra i suoi compiti istituzionali l'Ispra svolge anche **divulgazione, educazione e formazione** anche post-universitaria in materia ambientale, con riferimento alla tutela delle acque, alla difesa dell'ambiente atmosferico, del suolo, del sottosuolo, della biodiversità marina e terrestre.

Dal 1960, con Legge 2 Febbraio n.68 il Servizio Geologico d'Italia è **organo cartografico dello Stato**. Tra i suoi compiti svolge l'attività di monitoraggio sugli interventi strutturali urgenti per la riduzione del rischio idrogeologico finanziati dal D.L. 180/98 e successive modifiche ed integrazioni.



ing. Olimpia Spiniello (ISPRA), ing. Alessandro Fraccica (ISPRA), dott. Michele Arturo Caponero (ENEA)



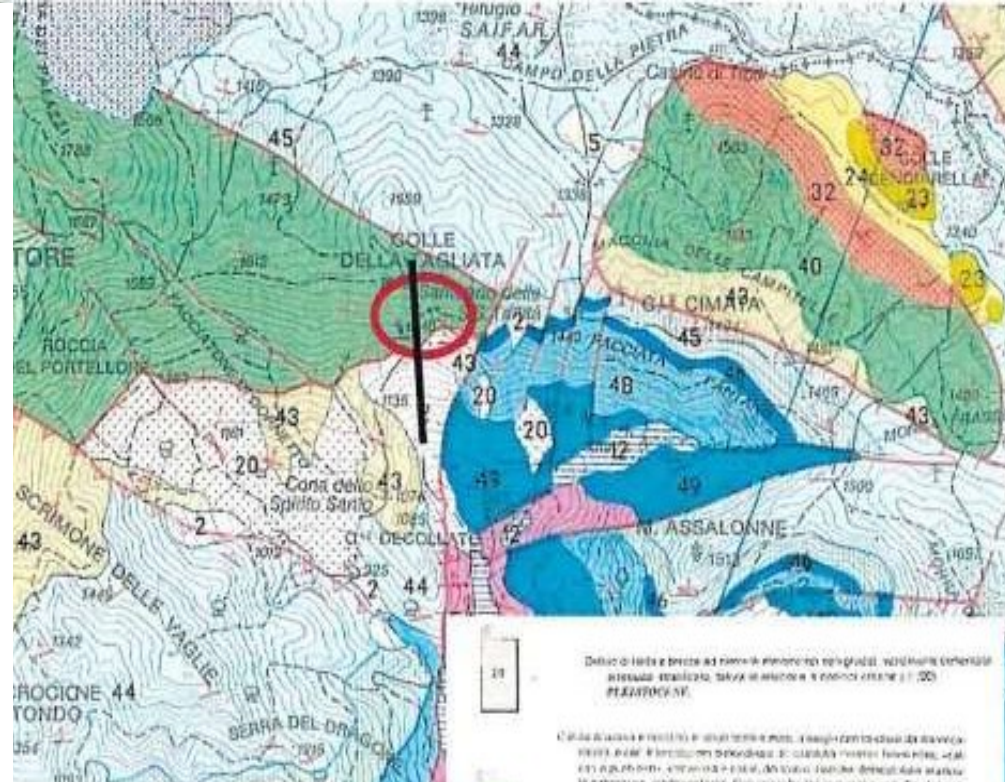
E' importante che la ricerca sui sistemi usati per l'allerta, per informare le persone dell'imminenza di un collasso o per valutare lo stato e l'evoluzione di un dissesto siano considerati prioritari dai ricercatori per salvare in tempi utili più vite umane possibili. La messa a punto di metodi low cost e distribuiti per il monitoraggio con la fibra ottica si spera porti ad un maggior utilizzo di questi strumenti in grado di monitorare ad alta risoluzione grandi aree di interesse con sempre maggiore affidabilità ed utilizzo. Sicuramente il lato economico di accesso a questa strumentazione sarà importante per testare strutture di difesa da calamità naturali e grandi opere.

GRUPPO DI LAVORO ISPRA, LABORATORIO IN FASE EMBRIONALE

Il primo gruppo di lavoro interdipartimentale era nato con l'intento di sviluppare, come compito prioritario, la tecnologia in fibra ottica per monitoraggi geotecnici, idrogeologici e strutturali con una sperimentazione a scala reale finalizzata alla verifica della capacità di stabilizzazione dei versanti.

L'importanza della sperimentazione per la definizione di un modello a larga scala ha indotto la ricerca ISPRA ad avvalersi della collaborazione di altri enti come l'ENEA, stipulando una Convenzione Attuativa nell'ambito del protocollo di intesa ISPRA/ENEA, in particolare con il Laboratorio Micro e Nano Strutture per la Fotonica, che dispone di specifiche competenze nel campo della tecnologia dei sensori in fibra ottica per lo sviluppo e l'applicazione di sistemi di monitoraggio distribuito nei campi dell'ingegneria civile e della geotecnica. L'obiettivo della ricerca era quindi di effettuare osservazioni su un modello fisico a scala reale per presentare e discutere i risultati di un'indagine sperimentale condotta su un esempio rappresentativo. Lo scopo era quello di misurare e interpretare efficacemente le tensioni in evoluzione come segnali scatenanti dell'evento di frana. La scelta è ricaduta sulla parete rocciosa del Santuario della Santissima Trinità di Vallepietra. In effetti il Comune aveva in programma un progetto esecutivo già finanziato di un milione e duecentomila euro su un settore della parete e questo per noi rappresentava il giusto settore su cui sperimentare. Per tale ragione viene stipulata una convenzione ISPRA con il Comune di Vallepietra (RM). L'intervento in oggetto, "Intervento di Messa in Sicurezza della parete rocciosa del Santuario della SS. Trinità e della relativa strada di accesso" cod. ReNDiS 121R225/GI del POR FESR Lazio 2014-2020, Azione 5.1.1 – CUP G72B17001750002 è stato finanziato per l'importo complessivo di €1.200.000,00, a favore del comune di Vallepietra (RM).

In riferimento alla Carta Geologica 1:50.000 (Folio 376 - Subiaco) (Figura 2) la parete rocciosa sovrastante il Santuario sella S.S. Trinità è costituito da bancate di calcilutiti (40) riferita all'intervallo Aptiano-Cenomaniano e presenta una potenza pari a 500 metri circa. In affioramento le calcilutite si presenta fortemente tettonizzata e fratturata, con una immersione caratterizzata con un basso angolo verso N e generando pareti e bastionate verticali in evidente dissesto di tipo gravitativo essenzialmente per fenomeni di crollo e ribaltamenti. A valle della struttura religiosa, il versante presenta con una pendenza dell'ordine del 60% e ricoperto da un deposito costituito da elementi eterometrici non cementati e di natura affine a quella delle rocce sovrastanti e databili al periodo Pleistocene.



La sezione geologica è rappresentata dalla traccia di colore nero.

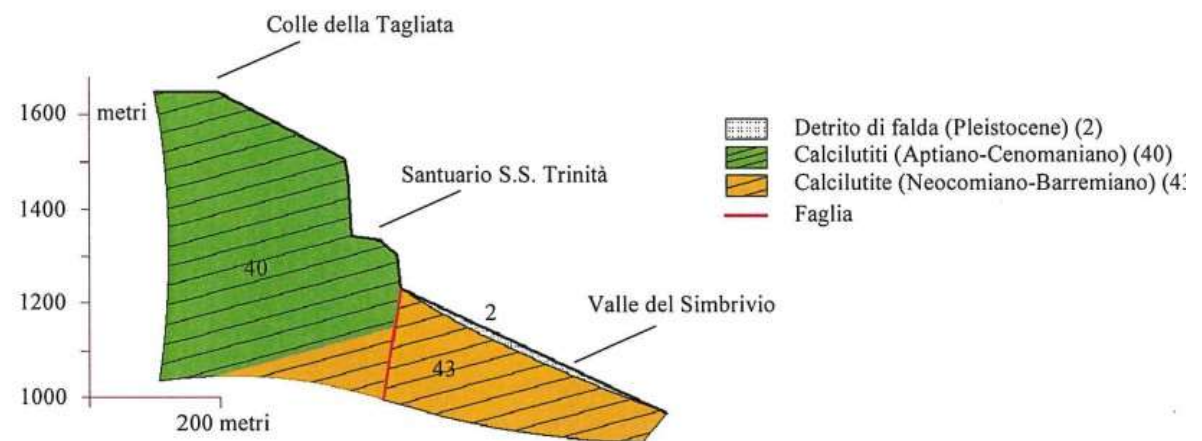


Figura 3 – Sezione geologica dell'area di studio. La traccia è riportata nello Stralcio della Carta Geologica (Figura 2).



Figura 5: Veduta del Santuario della Santissima Trinità (Immagine acquisite durante la ripre:

ing. Olimpia Spiniello (ISPRA), ing. Alessandro Fraccica (ISPRA), dott. Michele Arturo Caponero (E

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi appli

L'area in esame ricade è strettamente legata al Santuario della Santissima Trinità che si trova a circa 12 km dal centro abitato di Vallepietra e ad una quota pari a 1373 m s.l.m. La struttura religiosa si trova, in particolare, su un ripiano ubicato alle pendici di una imponente falesia rocciosa alta 300 metri circa denominata Colle della Tagliata del gruppo montuoso del Monte Autore che rappresenta il versante sud-ovest della catena dei Monti Simbruini zona protetta dall'omonimo Parco Regionale. A valle il ripiano si affaccia sulla sottostante valle del Simbrivio ricca di sorgenti d'acqua caratterizzata, data la natura carsica del sottosuolo, solo da un fiume con modeste portate: il Torrente Simbrivio il quale, in località Comunacque, confluisce nel Fiume Aniene.



Da segnalare la presenza di piccole venute d'acqua ai piedi della falesia rocciosa calcarea in corrispondenza del piazzale del Santuario della S.S. Trinità legate ad una circolazione lungo le diverse discontinuità che caratterizzano l'ammasso roccioso. Tali sistemi in genere funzionano sia come condotti, sia come zone di elevata fratturazione comportandosi come livelli acquiclude e favorendo pertanto la nascita delle sorgenti. Le portate si presentano variabili dell'ordine di pochi litri al minuto ma con un regime perenne. Tali emergenze sono captate con piccoli e rudimentali bottini di presa e convogliate in serbatoi ubicati nell'area di studio per essere utilizzate per l'attività del Santuario nel periodo di apertura ai fedeli



Parete rocciosa del Santuario della S.S. Trinità Comune di Vallepietra (RM)

Le Convenzioni attive sono:

1. ISPRA/ENEA (2019) in merito all'utilizzo della tecnologia dei sensori in fibra ottica per lo sviluppo e la applicazione di sistemi di monitoraggio distribuito su una porzione precisa di parete rocciosa;
2. ISPRA/Comune di Vallepietra (2020) che ha permesso attività di laboratorio ISPRA e sul campo, indagini Laser scanner ed indagini geomeccaniche su una porzione precisa di parete rocciosa;
3. ISPRA/Comune di Vallepietra/ENEA (2024) che permetterà indagini specialistiche su tutta la parete rocciosa (1 km circa);
4. ISPRA/ENEA (2024) che permetterà lo studio e la sperimentazione delle fibre ottiche su progetti specifici.

Nelle nuove Convenzioni si prevede sempre con il gruppo di Lavoro Geo/App uno "studio avanzato" su tutta la parete rocciosa oltre ad approfondire il livello di dettaglio. Il lavoro futuro servirà a confermare/approfondire alcune osservazioni ed i modelli realizzati nel primo livello di studio. Le attività comprese in questo secondo livello di studio, ed elencate solo a carattere indicativo, sono:

- rilievo termografico delle pareti rocciose, al fine di individuare zone con maggior presenza di acqua(e potenzialmente più instabili), con metodologie qualitative-quantitative;
- prove meccaniche di laboratorio sulla resistenza al taglio delle discontinuità della roccia;
- carotaggi orizzontali in continuo in parete, con possibilità di prelievo di campioni indisturbati e prove sismiche in parete per conoscere lo stato/spessore di alterazione della parete rocciosa;
- monitoraggio degli spostamenti di blocchi rocciosi critici con tecnologie da definire in futuro.



Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale (A.G.S. s.r.l. Spin off) “ANALISI PRELIMINARE DELLE CONDIZIONI DI STABILITA’ DELLA PARETE ROCCIOSA E STIMA DEGLI INTERVENTI DIMITIGAZIONE DEL RISCHIO”

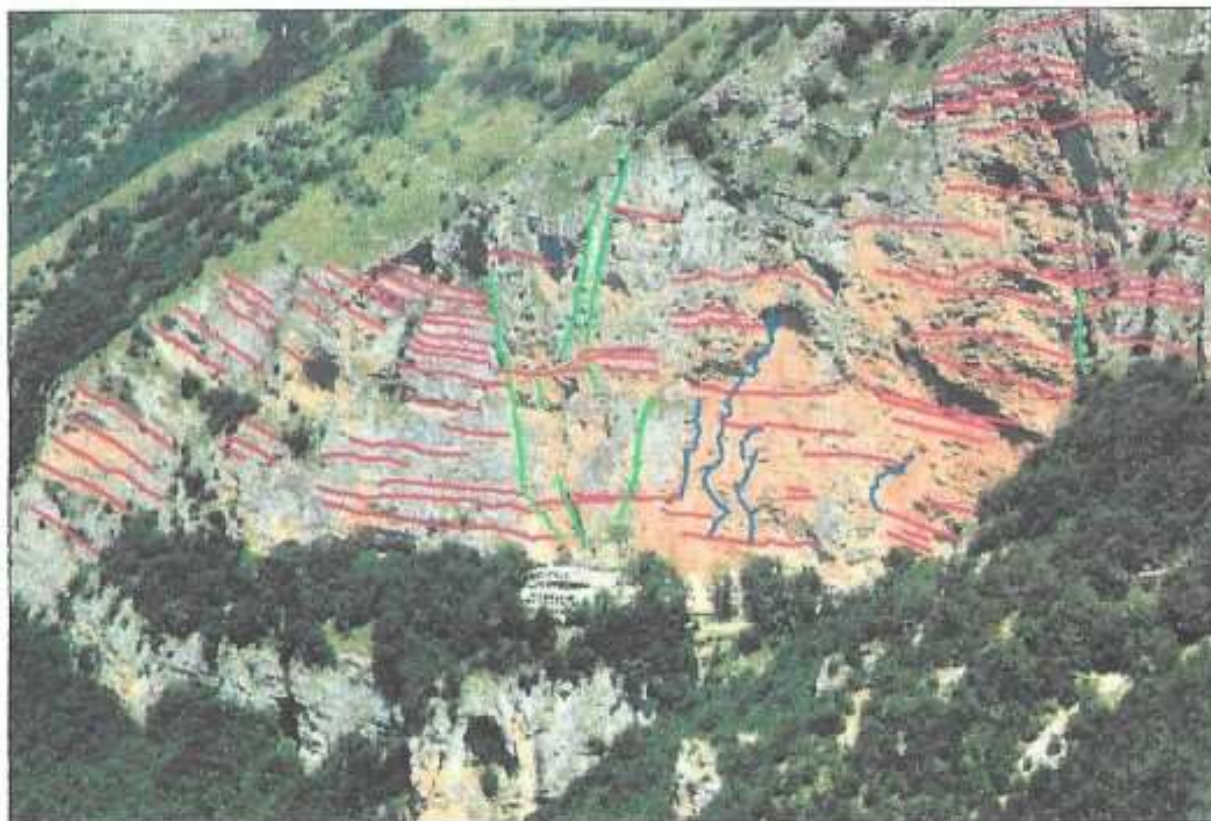
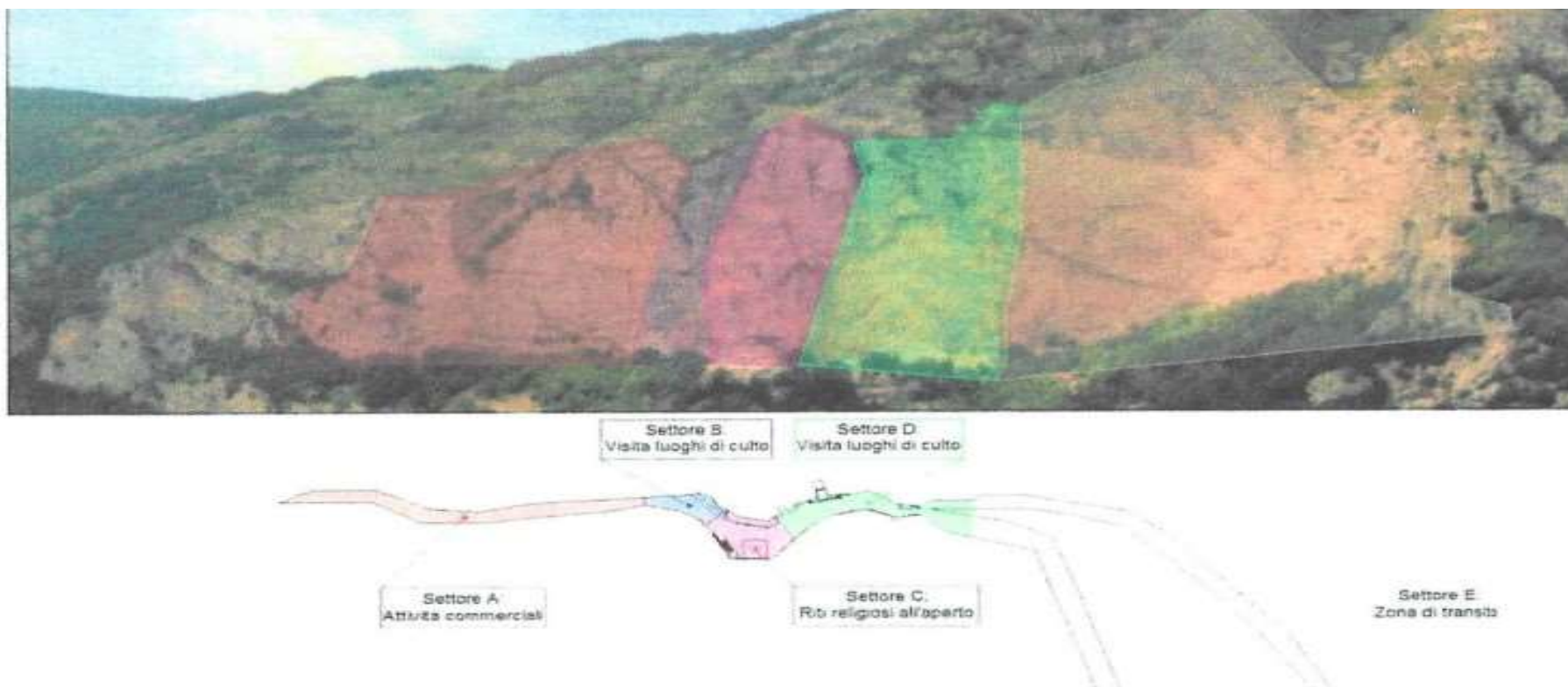


Figura 3.2: Immagine d’insieme della parete rocciosa con le famiglie principali di discontinuità: rosso - discontinuità con giacitura sub orizzontale; blu - giacitura verticale parallela alla parete; verde - giacitura sub verticale ortogonale alla parete rocciosa.



Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale (A.G.S. s.r.l. Spin off) “ANALISI PRELIMINARE DELLE CONDIZIONI DI STABILITA’ DELLA PARETE ROCCIOSA E STIMA DEGLI INTERVENTI DIMITIGAZIONE DEL RISCHIO”

Settore E Il settore E” non è stato suddiviso in sottozone in quanto si presenta più omogeneo degli altri; l’intera porzione di parete presenta infatti unitamente ad uno stato di alterazione spinto, che origina il fenomeno della caduta di pietrame, anche uno stato fessurativo molto intenso che isola blocchi di materiale potenzialmente instabili. La sua sistemazione porterebbe il disgaggio degli elementi rocciosi potenzialmente instabili e la disposizione di una rete metallica di protezione su tutta l’estensione della parete. Si può immaginare ragionevolmente la disposizione a terra di un sistema passivo, costituito da una struttura lineare di protezione (galleria artificiale) all’interno della quale possano transitare le persone ed i mezzi. Il cumulo di detriti a monte della galleria favorirebbe l’assorbimento di gran parte dell’energia dei massi in caduta dalla parete, consentendo così di alleviare le sollecitazioni sulla *galleria artificiale* ed i costi necessari per la sua realizzazione. Si evidenzia inoltre la presenza ne1 versante superiore di un impluvio delle acque piovane, che favorisce la caduta di frammenti di roccia e di altro materiale. A tale situazione deve essere posto rimedio realizzando una rete paramassi associata a periodiche operazioni di manutenzione.





Parete rocciosa del Santuario della S.S. Trinità Comune di Vallepietra (RM)

A seguito delle competenze citate Il Comune di Vallepietra ha chiesto al Gruppo di Lavoro ISPRA di rispondere a due punti richiesti al Comune dalla Regione Lazio:

1) Rilievo di dettaglio mediante drone o laserscanner della PORZIONE DI PARETE SOVRASTANTE L'AREA DI INTERVENTO DEL PROGETTO cod. ReNDiS 121R225/GI del POR FESR Lazio 2014- 2020, Azione 5.1.1 – CUP G72B17001750002

2) Rilievo Strutturale sulla BASE DEL RILIEVO DI DETTAGLIO della PORZIONE DI PARETE SOVRASTANTE L'AREA DI INTERVENTO DEL PROGETTO cod. ReNDiS 121R225/GI del POR FESR Lazio 2014- 2020, Azione 5.1.1 – CUP G72B17001750002

La Regione richiedeva i punti di cui sopra per verificare eventualmente se il progetto presentato dovesse essere modificato dai progettisti alla luce di nuove osservazioni sul modello geotecnico da loro individuato.



Lo studio oggetto di tale convenzione è localizzato nell'area di studio degli interventi previsti dal POR-FESR Lazio 2014-2020, attuazione dell'azione 5.1.1, intervento codice ReNDiS N. 121R225/G1, previsto nel settore E individuato in precedenza della parete del Santuario della Santissima Trinità.



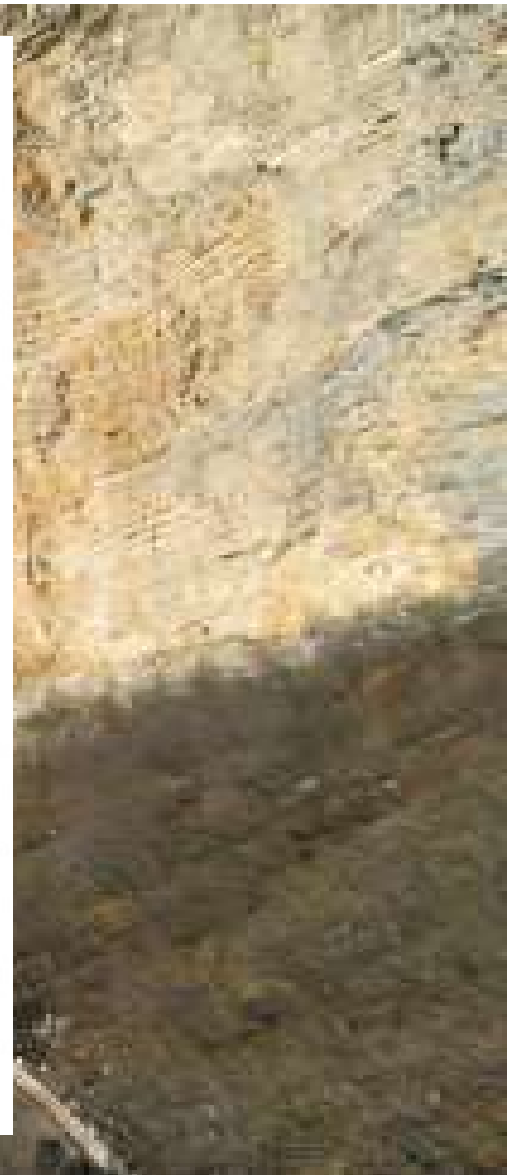
Parete rocciosa del Santuario della S.S. Trinità Comune di Vallepietra (RM)

4 ATTIVITÀ ESEGUITE

Tutti gli elementi raccolti con l'ausilio di indagini laser scanner e prove geomeccaniche hanno permesso di distinguere i principali tratti geomeccanici dell'ammasso e del materiale roccioso. I valori delle proprietà fisiche e meccaniche attribuite sono state dedotti anche dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di materiale roccioso.

4.1 RILIEVO MEDIANTE LASER SCANNER TERRESTRE E DRONE (UAS)

Nell'ambito delle attività previste a seguito dell'atto aggiuntivo della convenzione tra ISPRA e Comune di Vallepietra del 3 giugno 2020, i tecnici dell'ISPRA hanno eseguito, il giorno 13 febbraio 2023, il rilievo del versante oggetto di studio mediante l'impiego di Laser Scanner terrestre (Figura 9). L'obiettivo dell'attività è stato quello di acquisire una serie di nuvole di punti tridimensionali per la ricostruzione di un modello digitale di dettaglio, anche al fine di condurre una caratterizzazione da un punto di vista geostrutturale (c.d. c. geomeccanica) attraverso l'uso di metodologie innovative.





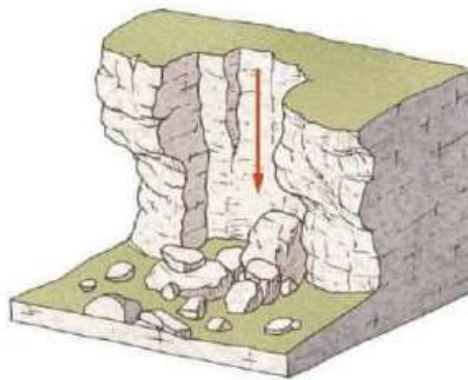
Parete rocciosa del Santuario della S.S. Trinità Comune di Vallepietra (RM)

Dall'analisi condotta sono state individuate 4 famiglie di discontinuità principali. I valori riportati nel presente documento confermano, almeno per l'area presa in esame, le risultanze della campagna di indagini geomeccaniche condotte dal Dott. Geol. Carlo Severa (Geoplan) svolte nel luglio 2020. **Pertanto, le condizioni cinematiche più critiche si hanno all'aumentare della verticalità del versante studiato, nonché in specifici quadranti laddove l'esposizione della parete risulta sfavorevolmente orientata rispetto ai set di discontinuità rilevati.** Dal rilievo geomeccanico di sito sono state anche derivate indicazioni circa scabrezza, apertura e riempimento delle discontinuità oltre che rilevare condizioni asciutte delle **superfici di discontinuità nello specifico settore di ammasso studiato.** Ad ogni modo, al fine di ottenere una stima conservativa dell'indice RMR, sono state considerate condizioni umide delle superfici dal momento che la presenza di acqua e/o umidità anche legata alla presenza di neve nel periodo invernale, agisce a sfavore di stabilità. Sono stati riportati i valori dell'indice SMR computato secondo le varie casistiche ed il valore minimo fra di essi può essere assunto come un indice rappresentativo della **qualità dell'ammasso roccioso studiato che ricade in classe IV, corrispondente ad un ammasso roccioso scadente in cui possono attivarsi instabilità lungo piani** o cunei di roccia che in particolare sono quelli della famiglia J2 o dei cunei formati dall'intersezione fra le famiglie J2-J3. A valle dell'analisi cinematica effettuata per diversi meccanismi di instabilità, le maggiori criticità riguardano il possibile scorrimento planare o per cunei, così come anche riscontrato dalla classificazione SMR (Romana, 1993).

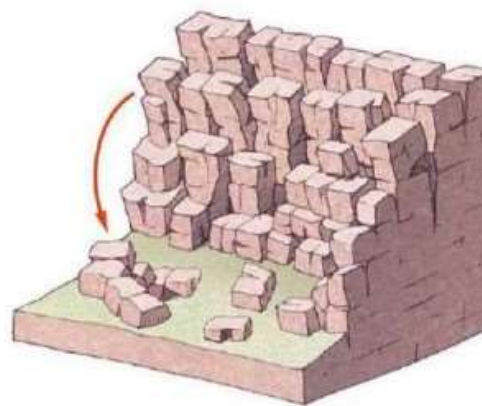


Parete rocciosa del Santuario della S.S. Trinità Comune di Vallepietra (RM)

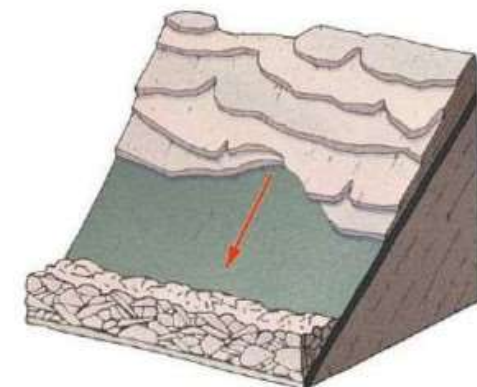
Le condizioni sopra esposte, unite alla costante azione della gravità, fanno sì che la parete in esame sia soggetta a diversi fenomeni di instabilità. In particolare, le 4 famiglie di discontinuità individuate (dal confronto tra il riconoscimento automatico delle discontinuità con rilievo geostrutturale del Laser Scanner terrestre e con il rilievo manuale geomeccanico) isolano all'interno dell'ammasso blocchi di materiale di dimensioni variabili. Sulla base di tali semplici osservazioni, si deve supporre che i meccanismi di collasso prevalente siano di scivolamento planale (sub-verticale), crollo e ribaltamento.



CROLLO



RIBALTAMENTO

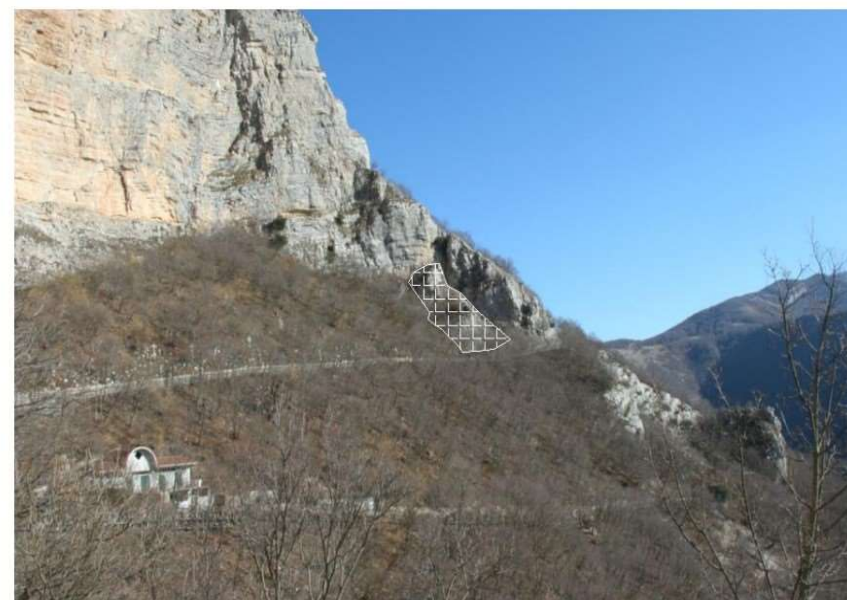


SCIVOLAMENTO



La grotta per la sua esposizione a mezzogiorno, per la sua ricchezza di acqua e la facile difesa degli accessi, è stata abitata già nei tempi preistorici: ne farebbero fede due frecce silicee trovate in una ricognizione del 1894. Si ritiene che il santuario sia sorto su un antico tempio pagano di epoca romana, i cui resti sono stati rinvenuti all'interno della grotta, e che successivamente questo luogo di culto sia stato dedicato alla Santissima Trinità dai Benedettini di Subiaco e dai monaci Basiliani. Per questo motivo il Sindaco Flavio De Santis si è reso promotore perchè tale posto diventi **PATRIMONIO MONDIALE DELL'UNESCO**.

L'autenticità della sacralità del luogo discende da un miracolo: un contadino che arava il terreno vide precipitare nel vuoto i buoi con l'aratro; disceso nella valle, si accorse che gli animali erano sopravvissuti e stavano inginocchiati dinanzi a un'immagine della Santissima Trinità, apparsa sulla parete di una cavità. Inoltre vi è la "Bolla della SS.ma Trinità di Vallepietra " in cui l'interessantissimo testo descrive l'origine dello stesso santuario. Si tratta di una grande pergamena (lunga 67,5 cm, alta 53,5 cm), scritta nella direzione del lato maggiore per un totale di cinquanta righe, redatta nel trecento, con il privilegio solenne di essere la 'Bolla' per l'appunto, con tanto di protocollo iniziale ed escatocollo finale, nel quale si afferma trattarsi di privilegio concesso addirittura da san Pietro e confermato da tutti i suoi successori. In tale Bolla si descrive che due cristiani ravennati, per sfuggire alla persecuzione di Nerone, si rifugiarono in una grotta sul monte Autore, dove incontrarono i santi Pietro e Giovanni, sbarcati a Francavilla dall'Oriente verso Roma; in questa occasione si manifestò la visione della Santissima Trinità.



Tutti gli elementi raccolti dal Gdl ISPRA con l'ausilio di indagini laser scanner e prove geomeccaniche e dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno hanno permesso la definizione dei valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche di una porzione della parete. I risultati derivanti dai rilievi effettuati mediante Laser Scanner terrestre e fotogrammetria aerea da drone (UAS), in aggiunta alle informazioni acquisite nel corso dei sopralluoghi tecnici, sono stati interpretati considerando il contesto geologico e geomorfologico dell'area di interesse. Si è dunque condotta una caratterizzazione da un punto di vista geostrutturale secondo le norme ISRM sul rilievo geomeccanico, anche con il fine di confrontare e validare due differenti metodi di rilievo delle famiglie di discontinuità di conoscenze raggiunto, dell'affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica. D'altronde il monitoraggio anche con fibre ottiche, previsto nella Convenzione in itinere tra ISPRA, ENEA e Comune di Vallepietra (RM), avrà lo scopo di verificare la corrispondenza tra le ipotesi progettuali e i comportamenti osservati e di controllare la funzionalità dei manufatti nel tempo. Nell'ambito del metodo osservazionale, il monitoraggio avrà lo scopo di confermare la validità della soluzione progettuale adottata o, in caso contrario, di individuare la più idonea tra le altre soluzioni ipotizzate dai progettisti.

4.1. INTERVENTI DI PROGETTO

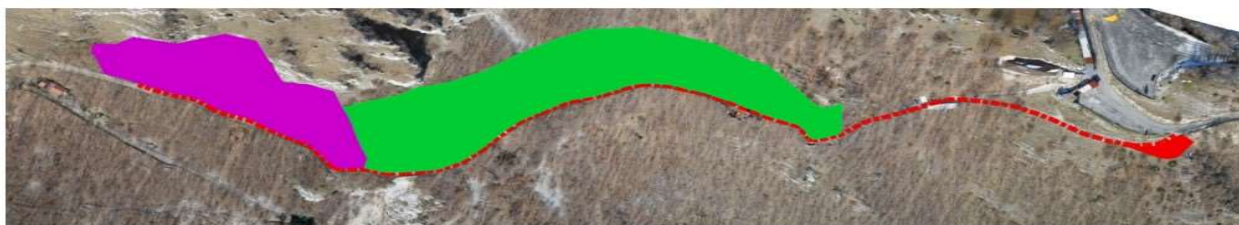


Figura 5-Planimetria delle zone di intervento

ZONA A

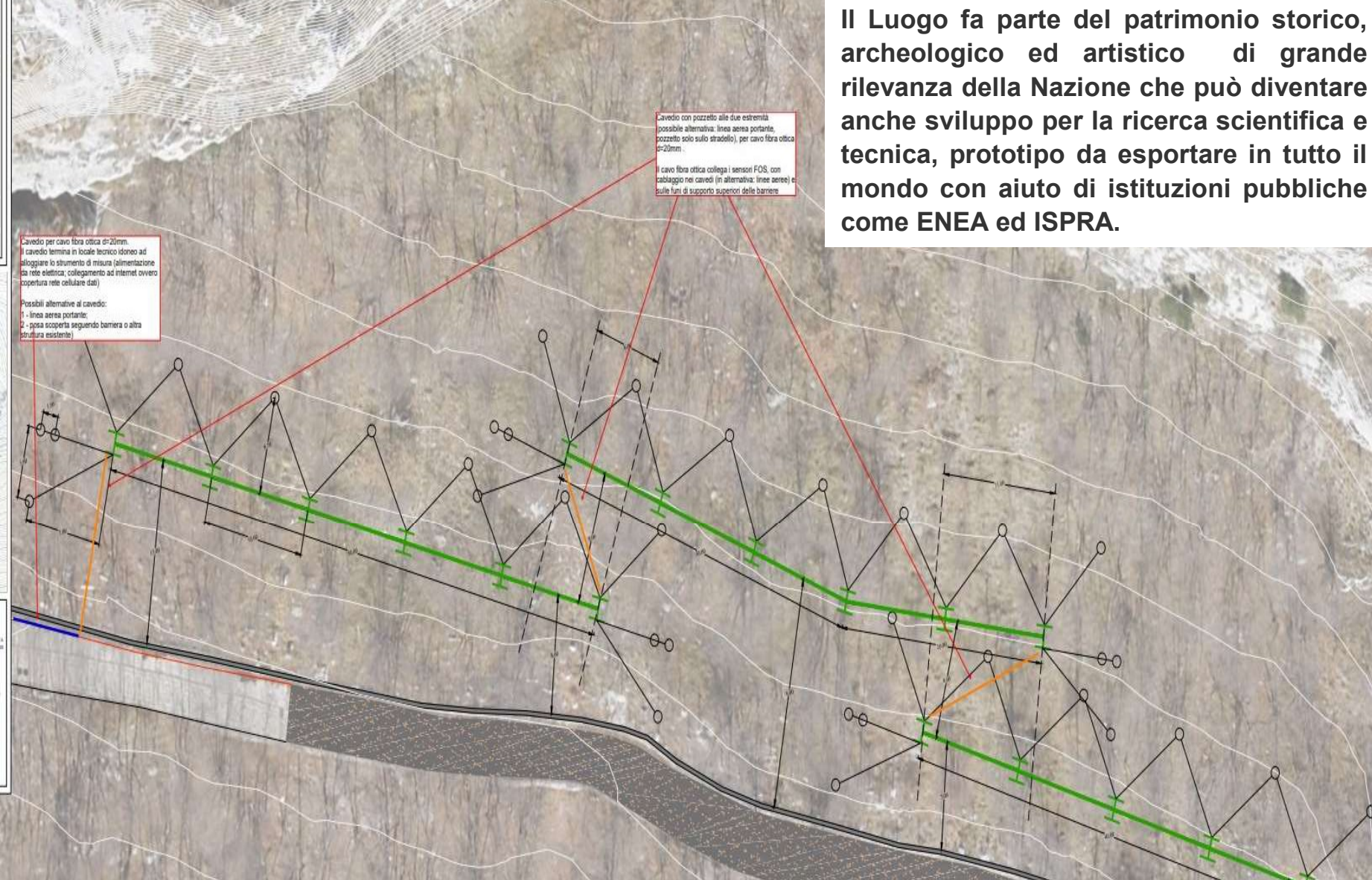
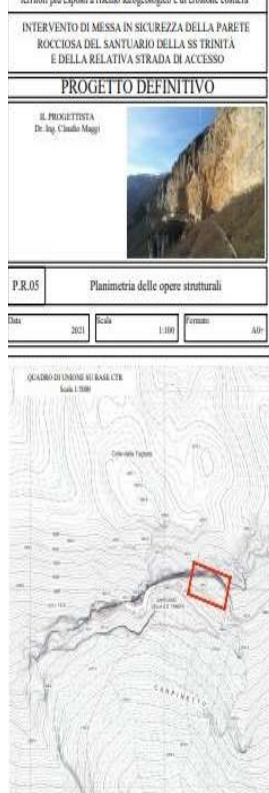
ZONA B

ZONA C

I interventi previsti in progetto sono stati quindi suddivisi secondo 2 diverse tipologie di lavorazioni articolare attenzione al consolidamento e alla protezione del versante:

Interventi diffusi (Zona A) – Disgaggi, Rivestimento di scarpate con rete metallica e Barriere paramassi;

Interventi puntuali (Zona B e Zona C) – Disgaggi, allargamento della sezione stradale con conseguente protezione della scarpata di monte con muratura in elevazione, opere di ingegneria naturalistica (palizzata in legname di castagno) e nuova pavimentazione della strada di accesso al santuario per permettere il passaggio in sicurezza sia dei mezzi di soccorso che dei mezzi utilizzati per la messa in sicurezza della parete rocciosa.



Il Luogo fa parte del patrimonio storico, archeologico ed artistico di grande rilevanza della Nazione che può diventare anche sviluppo per la ricerca scientifica e tecnica, prototipo da esportare in tutto il mondo con aiuto di istituzioni pubbliche come ENEA ed ISPRA.

In tale contesto l'impianto di fibre ottiche sui 200 mt, dove previsto il progetto esecutivo, si avvarrà delle nostre professionalità ISPRA per un monitoraggio ottimale al fine di esportare un modello su roccia come prototipo.

TEST PROVA IMPORTANTE PER CREARE UN PROTOTIPO, NON SOLO SULLA RESTANTE PORZIONE DI PARETE MA ANCHE PER ESPORTARLO IN ALTRI CONTESTI.



ing. Olimpia Spiniello (ISPRA), ing. Alessandro Fraccica (ISPRA), dott. Michele Arturo Caponero (ENEA)

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale

10 / 05 / 2024

pag. 17



Progetto monitoraggio innovativo con la tecnologia in fibra ottica per la parete rocciosa del Santuario della SS Trinità di Vallepietra

Ing. Alessandro Fraccica

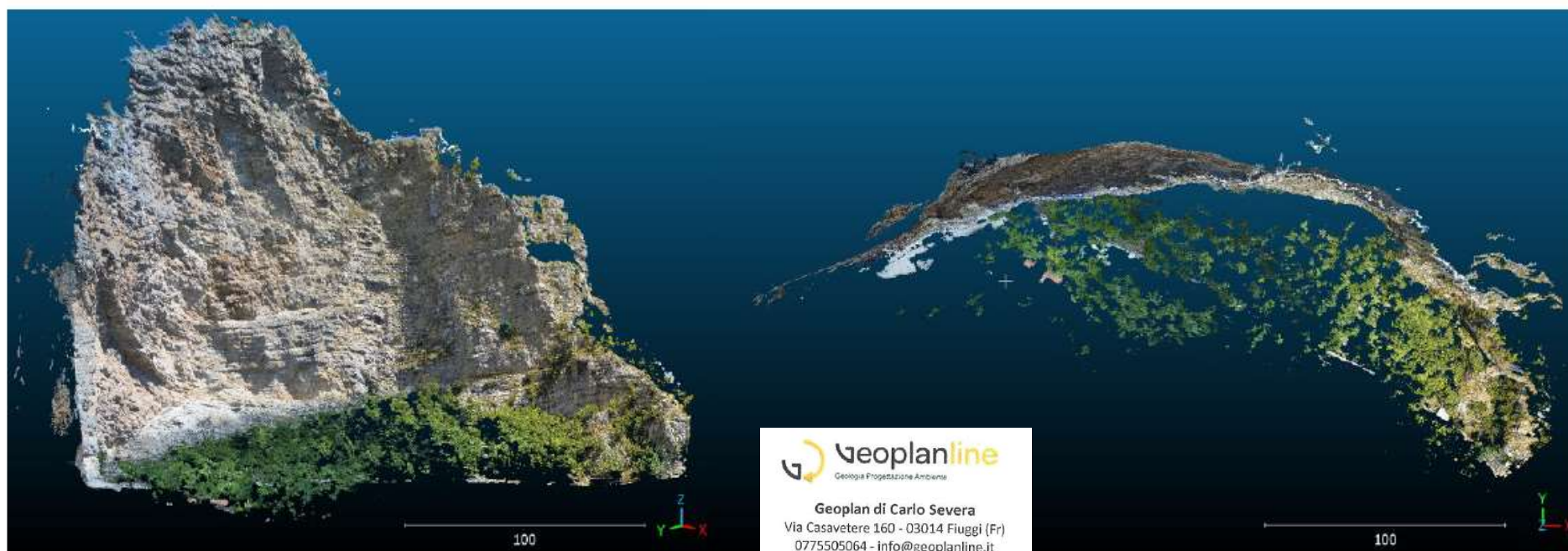
10 maggio 2024





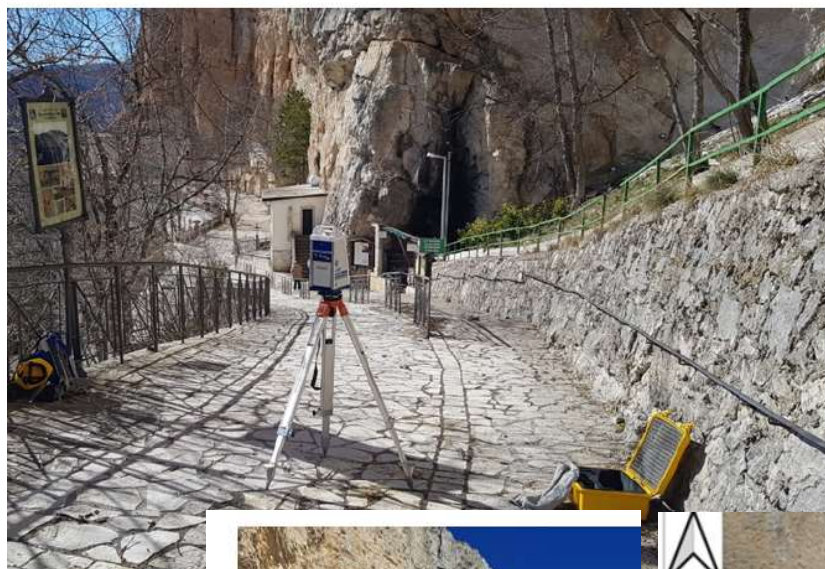
Rilievo geostrutturale: Aerofotogrammetria da drone

fotogrammetria aerea da drone: a sx visione frontale, a dx visione in pianta





Rilievo geostrutturale: Laser Scanner terrestre



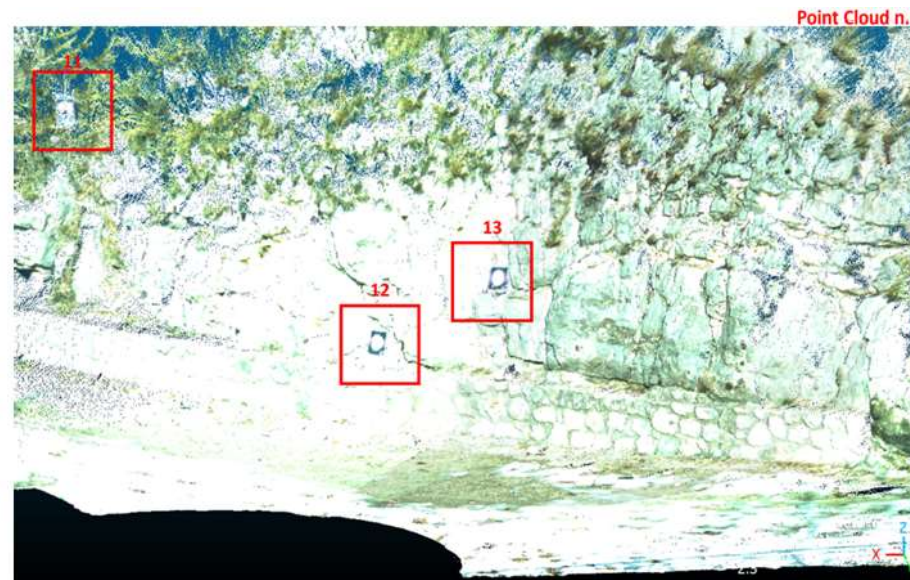
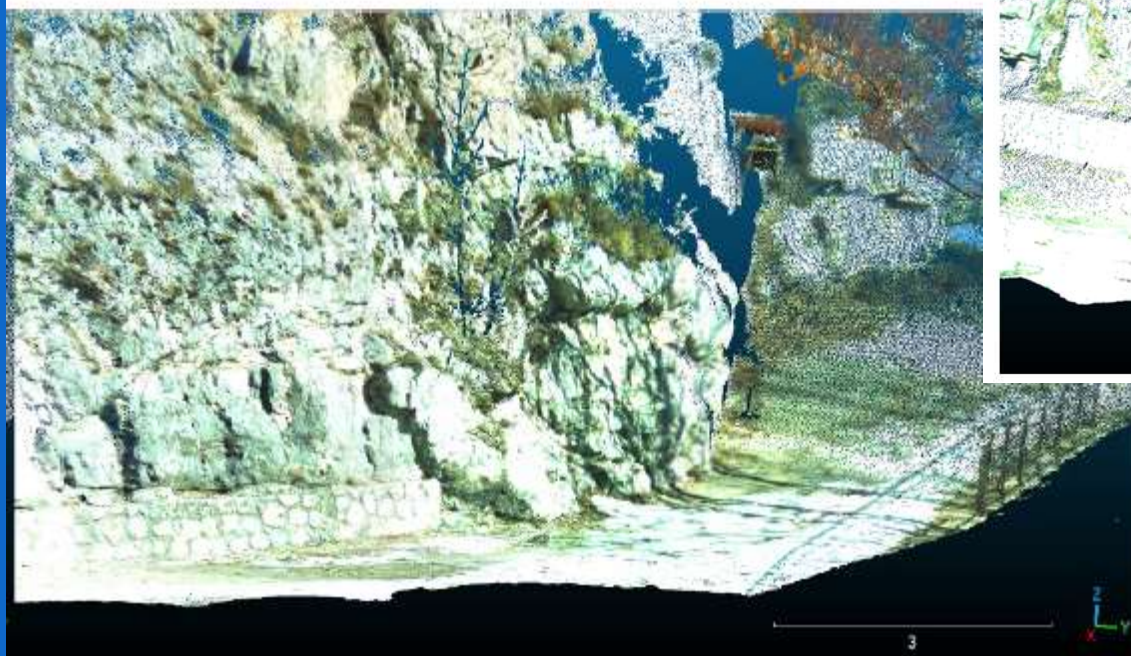
Sensore LASER modello Stonex X300 (ISPRA)

- distanza massima di acquisizione di circa 300m.
- fotocamera integrata con 5 Megapixel
- campo visivo orizzontale di 360° e verticale di 90°
- velocità di lettura 40000 pts/s



Rilievo geostrutturale: Laser Scanner terrestre

Pre-processing e georeferenziazione delle nuvole di punti sulla base dei **dati acquisiti sul campo** in corrispondenza delle stazioni di rilievo e dei **target** posizionati sullo scenario



Nuvola di punti	Punti totali
1	16.022.041
2	12.948.435
3	10.392.332
5	8.359.084
	47.721.892

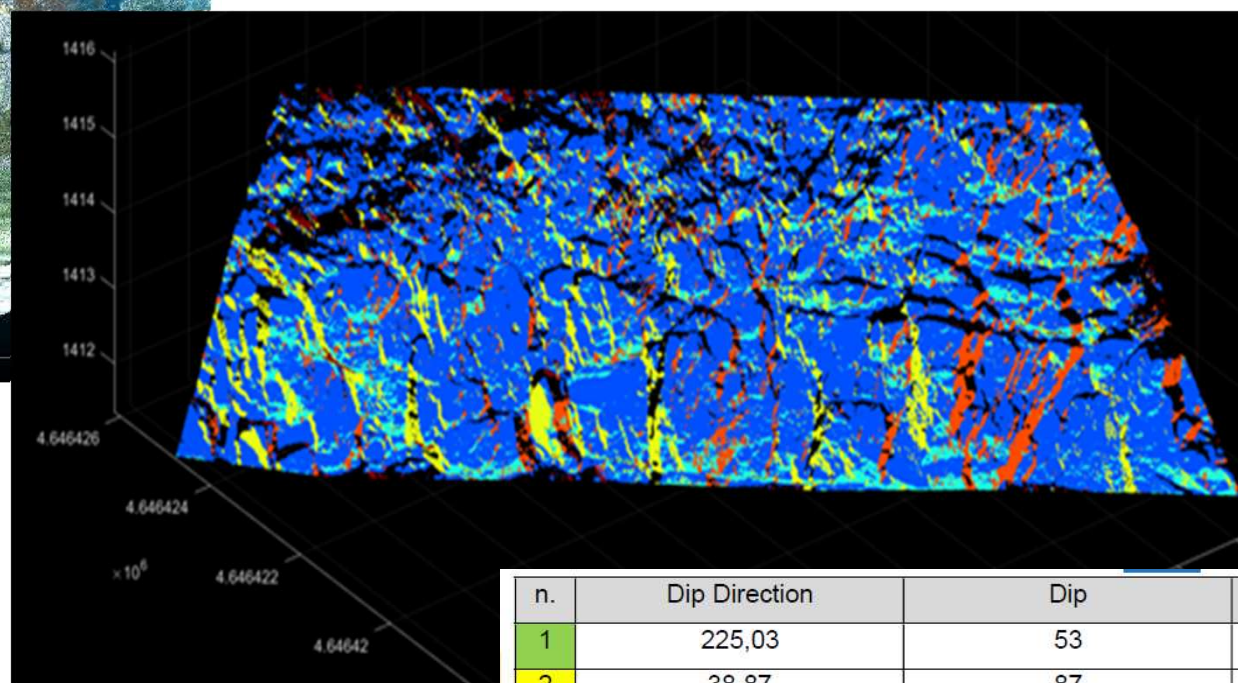


Rilievo geostrutturale: Laser Scanner terrestre

Estrazione, per ogni nuvola di punti, di finestre di analisi (box)

Analisi geostrutturale automatica tramite software open source

Discontinuity Set Extractor (DSE) (Riquelme et al., 2016)

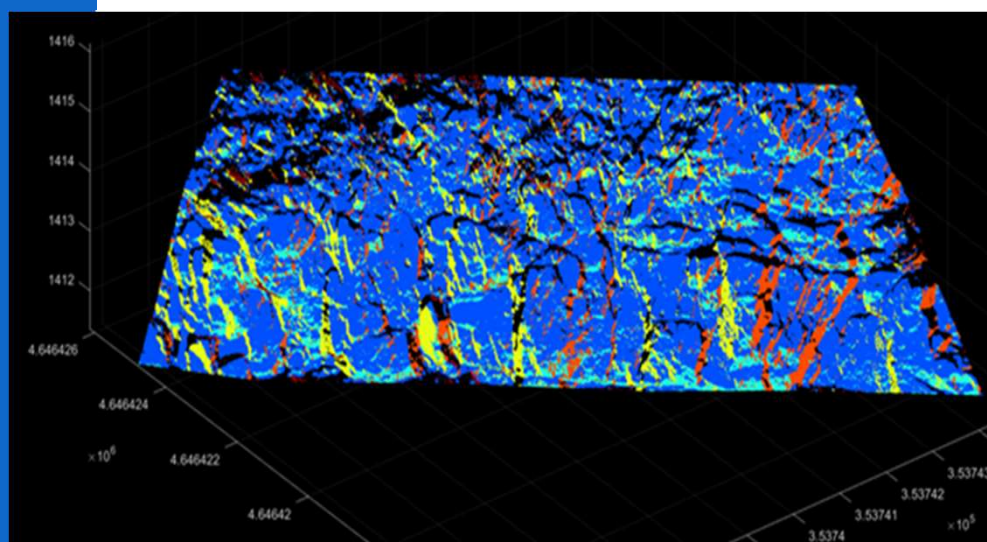


n.	Dip Direction	Dip
1	225,03	53
2	38,87	87
3	256,99	87
4	181,39	88
5	78,65	40



Rilievo geostrutturale: Laser Scanner terrestre e rilievo geomeccanico manuale

Confronto tra riconoscimento automatico e manuale delle discontinuità (ed orientazioni)
Individuate 4 famiglie di discontinuità principali



Posizione		41°57'23.45"N		13°14'4.79"E	
Dip-Dir/Dip fronte		230/65			
Famiglia		<i>J1</i>	<i>J2</i>	<i>J3</i>	<i>J4</i>
Dip-Dir	°	16	213	287	140
Dip	°	18	64	83	63
Spaziatura	<i>cm</i>	25.8	15.3	18.0	43.8
σ_c	<i>MPa</i>	63	95	65	85

$$J_v = 18 \text{ giunti / m}^3$$

$$RQD = 115 - (3,3 \times J_v) \quad RQD \text{ di } 55.$$

Descrizione	J_v (giunti/m ³)
Blocchi molto grandi	< 1
Blocchi grandi	1 - 3
Blocchi di dimensione media	3 - 10
Blocchi piccoli	10 - 30
Blocchi molto piccoli	> 30



ing. Olimpia Spiniello (ISPRA), ing. Alessandro Fraccica (ISPRA), dott. Michele Arturo Caponero (ENEA)

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale



Caratterizzazione geomeccanica

Prove nel laboratorio di Meccanica delle Rocce e delle Terre (ISPRA)

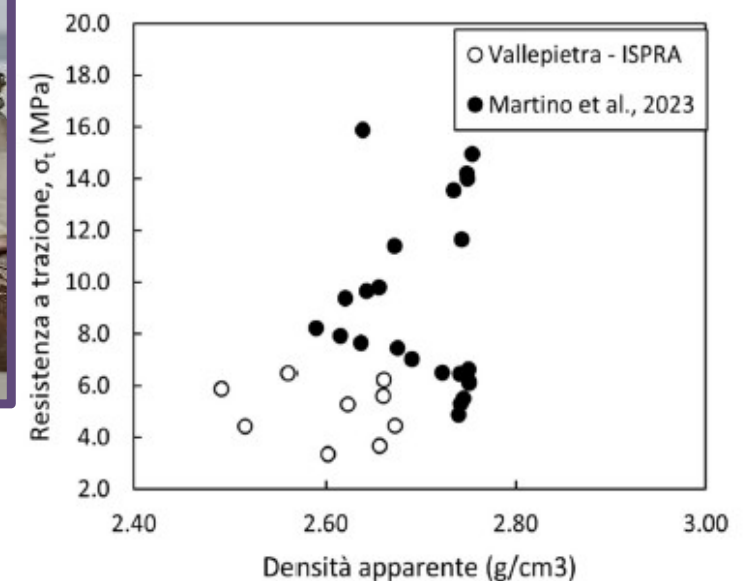
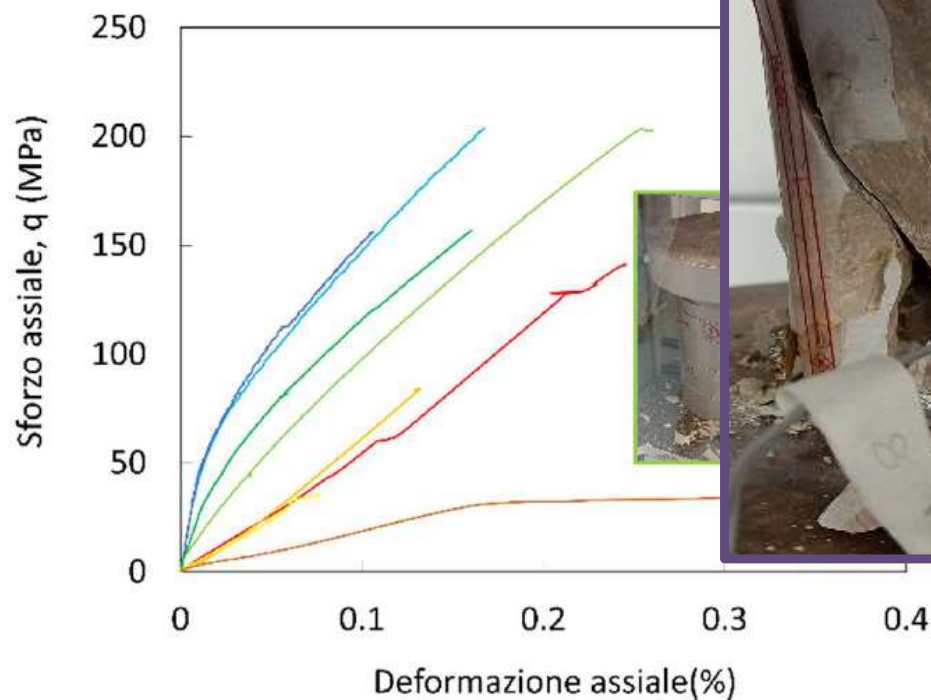
Prove di resistenza a compressione uniassiale (UCS)

Prove di resistenza a trazione indiretta (TI)

Campionamento: per UCS ortogonale a stratificazione, per TI trazione ortogonale a stratificazione

UCS: H/D tra 2.0 e 2.5 (ASTM D7012/04)

TI: H/D tra 0.20 e 0.75 (ASTM D3967/95)





Caratterizzazione geomeccanica Prove nel laboratorio di Meccanica delle Rocce e delle Terre (ISPRA)

Valori medi di resistenza a compressione (MPa) nei differenti punti di recupero: l'area dell'intervento da monitorare è tra quelle con le resistenze a compressione più basse (stato dell'ammasso peggiore)





Caratterizzazione geomeccanica

Prove nel laboratorio di Meccanica delle Rocce e delle Terre (ISPRA)

Prove di tilt test (*US Bureau of Reclamation*) su giunti rocciosi prelevati in parete e preparati in laboratorio con sega diamantata (giunti lisci)

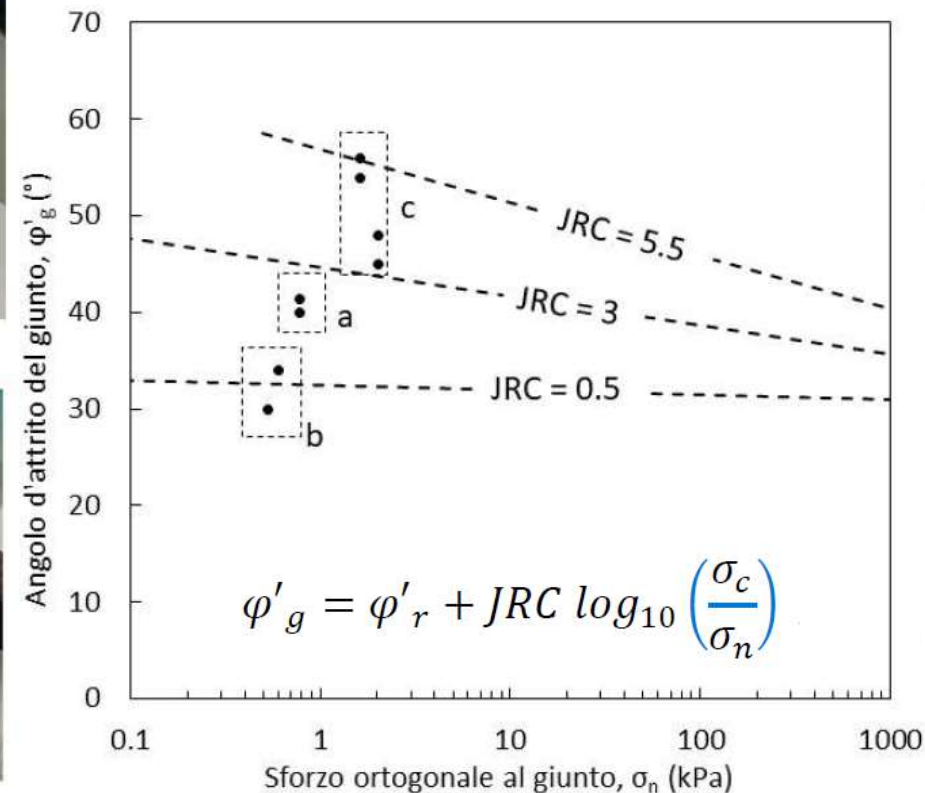
Valutazione a ritroso del JRC (*Joint Roughness Coefficient*), σ_c valutato in situ



a



b



c



Classificazione ammasso e fronte roccioso

Rock Mass Rating e Slope Mass Rating

Ammasso molto fratturato («molto a blocchi», con più di 4 famiglie di discontinuità)

$$RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 \quad RMR = 58$$

- a) A1 = resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta, stimato pari a 7;
- b) A2 = indice RQD (*Rock Quality Designation*), stimato pari a 13;
- c) A3 = spaziatura delle discontinuità, stimato pari a 10;
- d) A4 = tipo e condizioni delle discontinuità (scabrezza, alterazione delle pareti, apertura, materiali di riempimento), stimato pari a 20;
- e) A5 = condizioni idrauliche, stimato pari a 10.

RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	<=20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto buono	Buono	Mediocre	Scadente	Molto scadente

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

dove al valore di RMR vengono aggiunti anche dei fattori di correzione per tener conto dell'orientazione relativa tra discontinuità e fronte del versante (F1, F2, F3) e se è previsto un particolare metodo di scavo (F4). Una volta calcolato il valore di SMR, si possono avere indicazioni generali sul grado di stabilità della scarpata, sul tipo di cinematisma di rottura che si può instaurare e su quanto possano pesare eventuali interventi di stabilizzazione

	Famiglie		Intersezioni		
	J1, J3, J4	J2	J1-J2, J1-J3, J1-J4, J2-J4	J2-J3	J3-J4
SMR	73	38	72	38	53
Classe	II	IV	II	IV	III
Descrizione	Buono	Scadente	Buono	Scadente	Mediocre
Stabilità	Stabile	Instabile	Stabile	Instabile	Parzialmente Stabile
Rottura	Alcuni blocchi	Planare o grandi cunei	Alcuni blocchi	Planare o grandi cunei	Lungo piani o per cunei
Stabilizzazione	Occasionale	Estesa	Occasionale	Estesa	Sistematica

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)					
From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.					
STRUCTURE	SURFACE CONDITIONS				
INTACT OR MASSIVE - Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	90	80	70	60	50
VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets					
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity					
DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces					
LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					
	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A



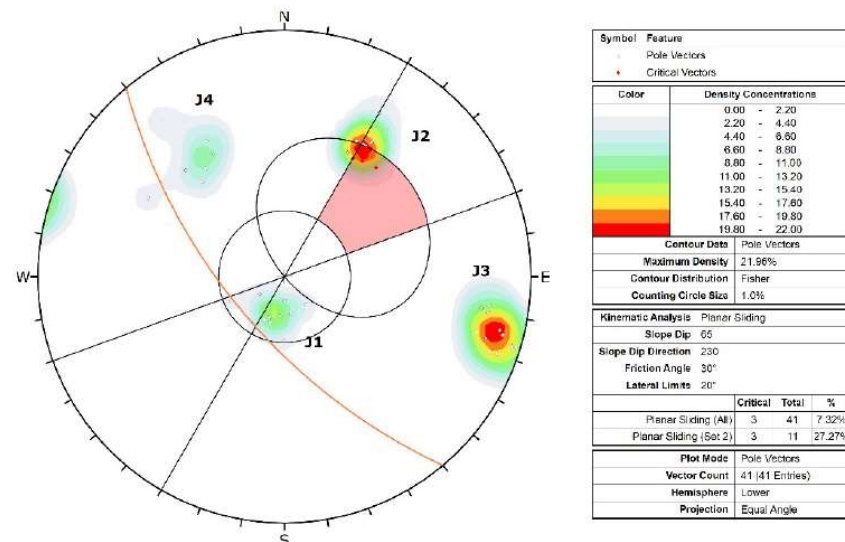
Analisi cinematiche

Dip-dir/Dip del fronte roccioso 230°/65°

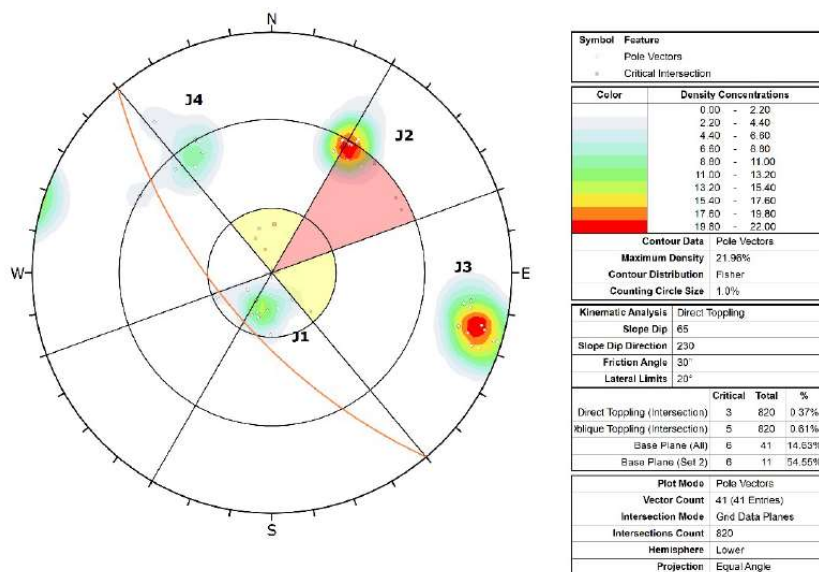
Compatibilità cinematica con scorrimento di cunei (J2-J3 e J3-J4)

Compatibilità cinematica con scorrimento lungo discontinuità planare (J2)

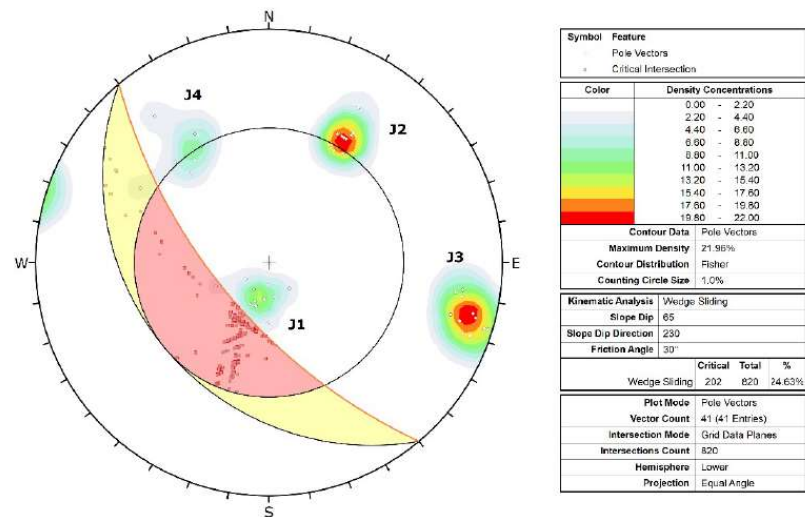
Angolo d'attrito del giunto (liscio) = 30°



Instabilità lungo discontinuità planare



Ribaltamento



Instabilità per scivolamento di cunei



Analisi FEM

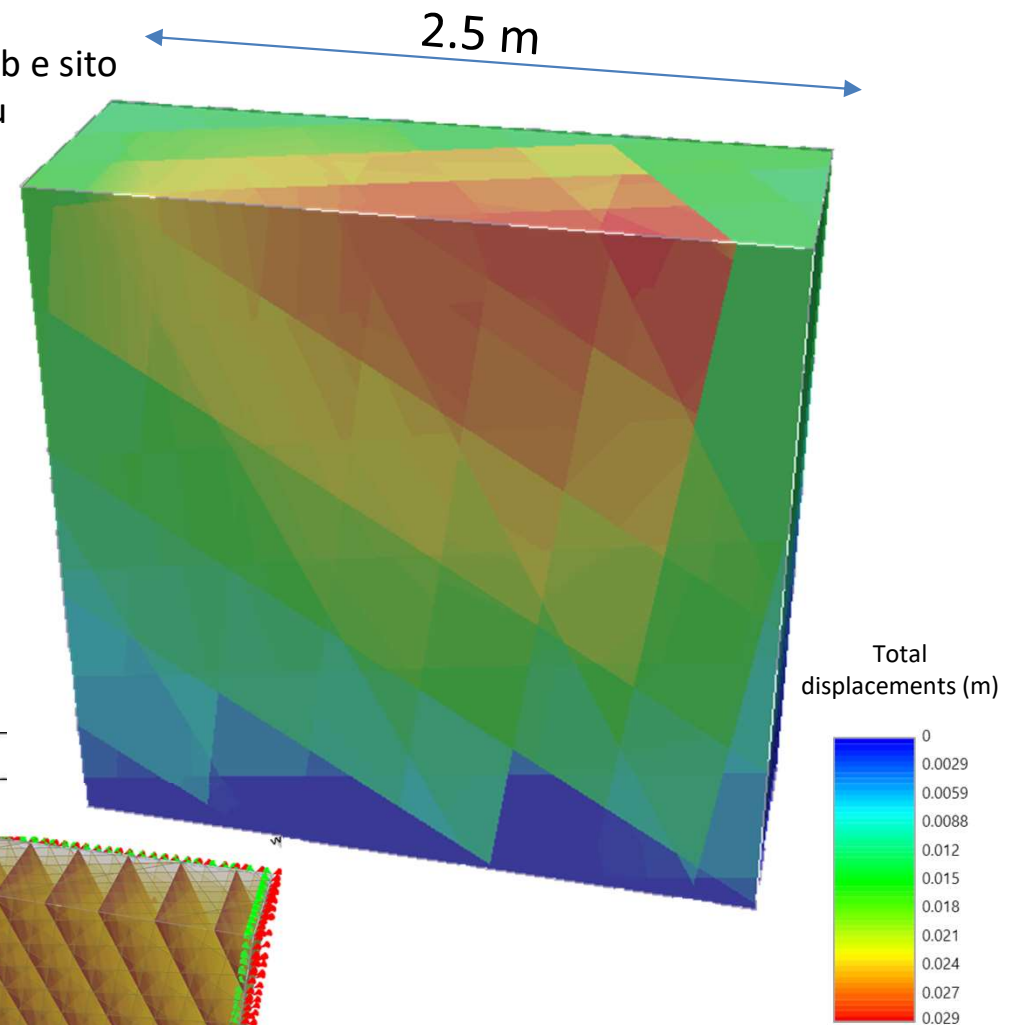
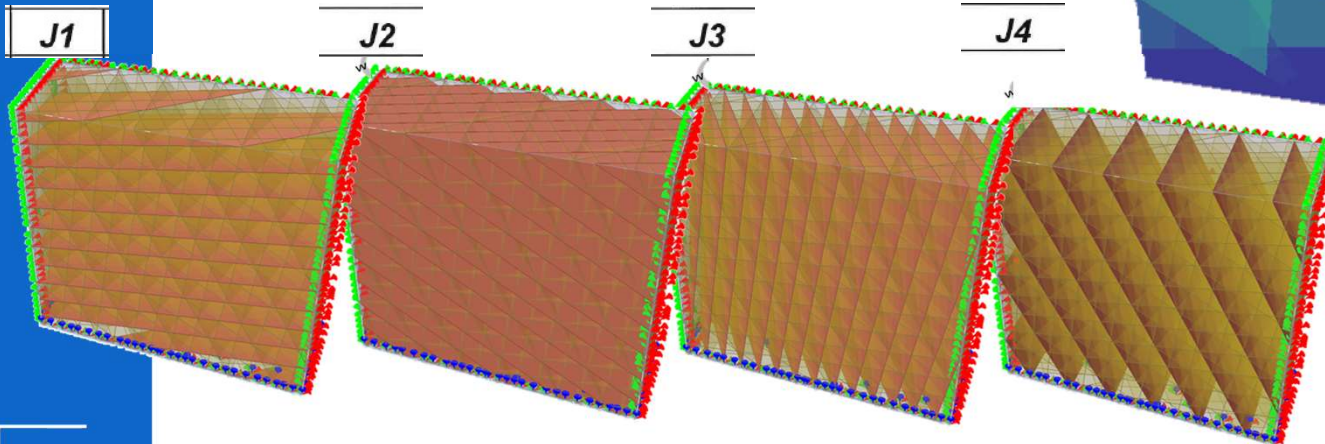
Analisi su elemento rappresentativo di volume

Caratteristiche geomeccaniche dedotte da prove di lab e sito

Caratteristiche geostrutturali dedotte dal rilievo in situ

Conferma dei cinematismi di rottura (planare/cunei)

Stima delle dimensioni medie dei blocchi in caduta

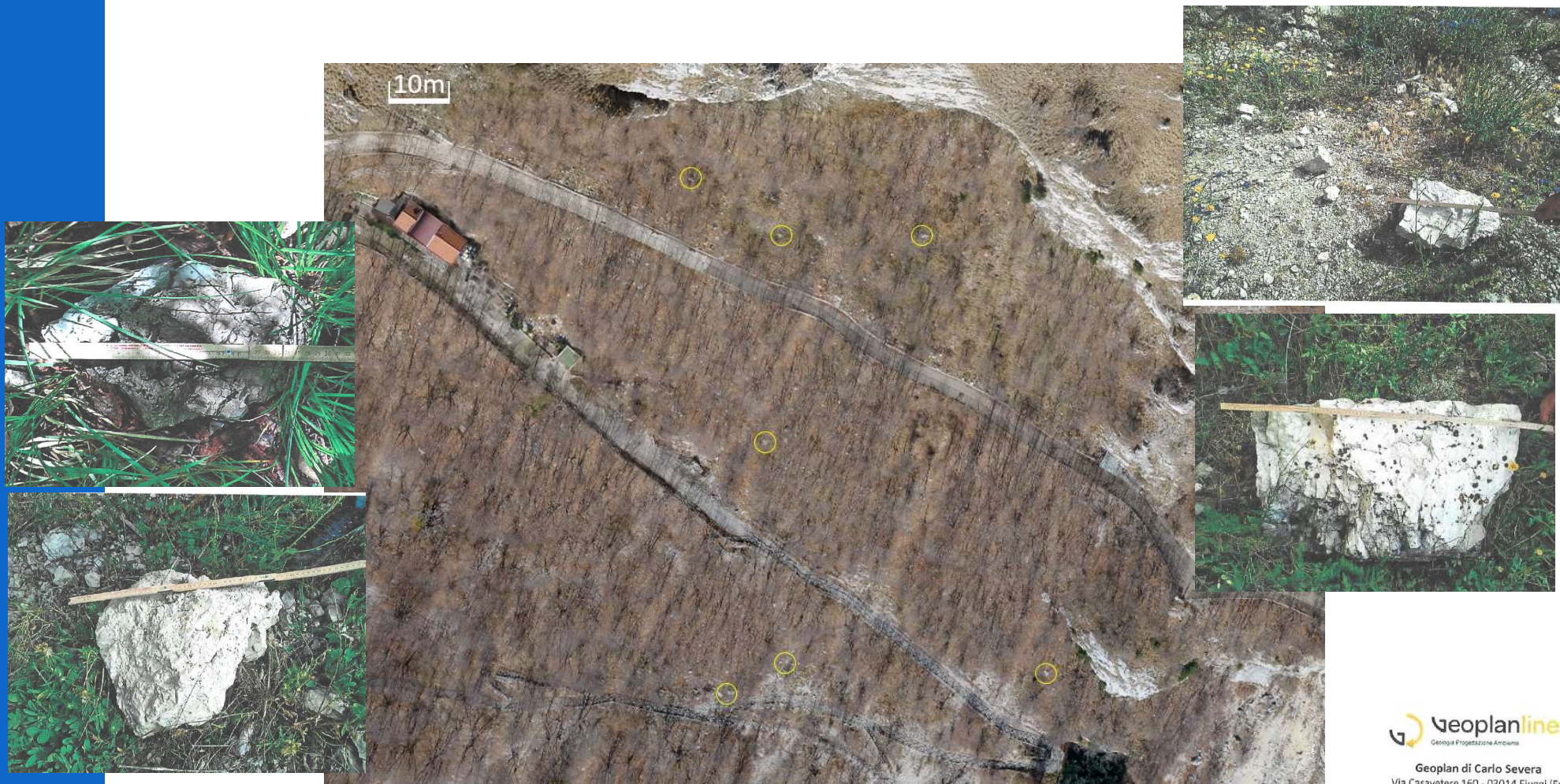




Verifica dimensioni dei blocchi

Numerosi blocchi presenti lungo tutto il pendio detritico a valle della parete rocciosa

Dimensioni tra 70 e 100 cm



Geoplan di Carlo Severa
Via Casavetere 160 - 03014 Fiuggi (Fr)
0775505064 - info@geoplanline.it



ing. Olimpia Spiniello (ISPRA), ing. Alessandro Fraccica (ISPRA), dott. Michele Arturo Caponero (ENEA)

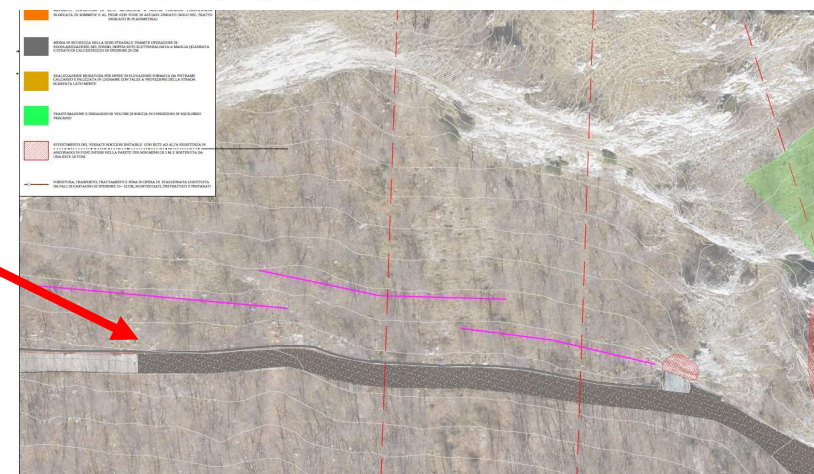
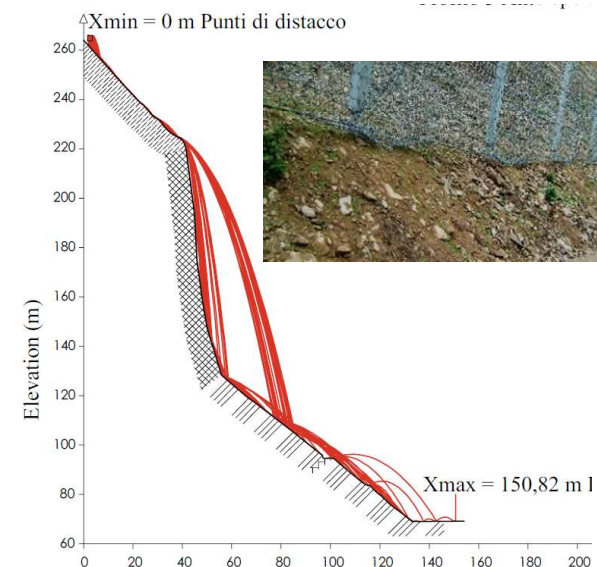
Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale



Analisi traiettografiche

Scelta dimensioni e massa del blocco di «progetto» per traiettografie (dimensionamento e posizionamento barriere paramassi)

Date le singolarità geometriche e geomorfologiche, che contribuiscono ad aumentare le incertezze del modello geostrutturale si rende fortemente interessante e raccomandabile il **monitoraggio** delle stesse opere di mitigazione



Progetto Definitivo a cura di Ing. Claudio Maggi



Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale

*Progetto di monitoraggio innovativo
con la tecnologia in fibra ottica
per la parete rocciosa del Santuario
della SS Trinità di Vallepietra*

*Michele Arturo Caponero
ENEA - Centro Ricerche Frascati*



10/05/2024



AGENZIA NAZIONALE PER
LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO
ECONOMICO SOSTENIBILE

ENEA è la Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile.

ENEA è un ente di diritto pubblico al servizio del paese per favorirne la sostenibilità economica, ambientale e sociale, offrendo supporto tecnico e scientifico alle aziende ed alla pubblica amministrazione.

Nello svolgimento della propria missione, ENEA è impegnata nel trasferimento di conoscenze e tecnologie dal mondo della ricerca al mondo produttivo, alle istituzioni ed alla società civile.





Il Centro Ricerche ENEA di Frascati è prevalentemente dedicato alla fusione nucleare, allo sviluppo ed applicazioni di sorgenti laser ed acceleratori di particelle.

Situato nei pressi di Roma, ospita circa 450 dipendenti e numerosi ospiti italiani e stranieri.

Le attività della unità FOS si svolgono nell'ambito della struttura NUC/TECFIS/MNF

MNF: Laboratorio Micro- e Nano-strutture per la Fotonica

TECFIS: Tecnologie Fisiche per la Sicurezza e la Salute

NUC: Dipartimento Nucleare

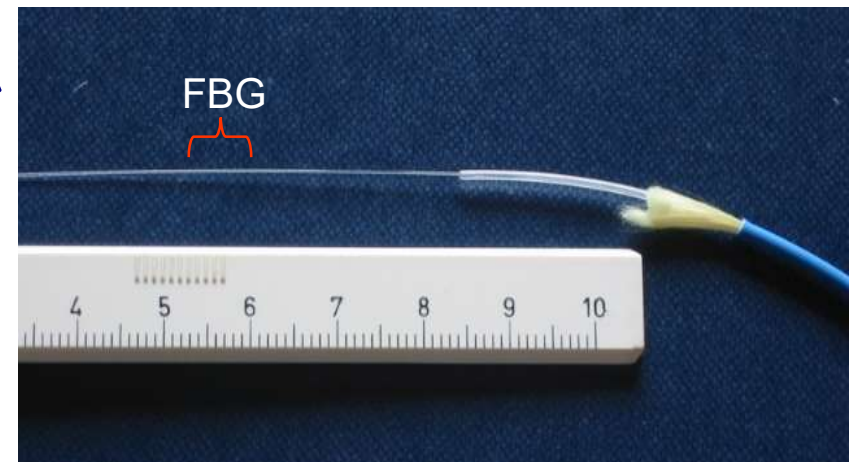




Sensore FBG (fibre Bragg grating):
reticolo di diffrazione lungo l'asse della
fibra.

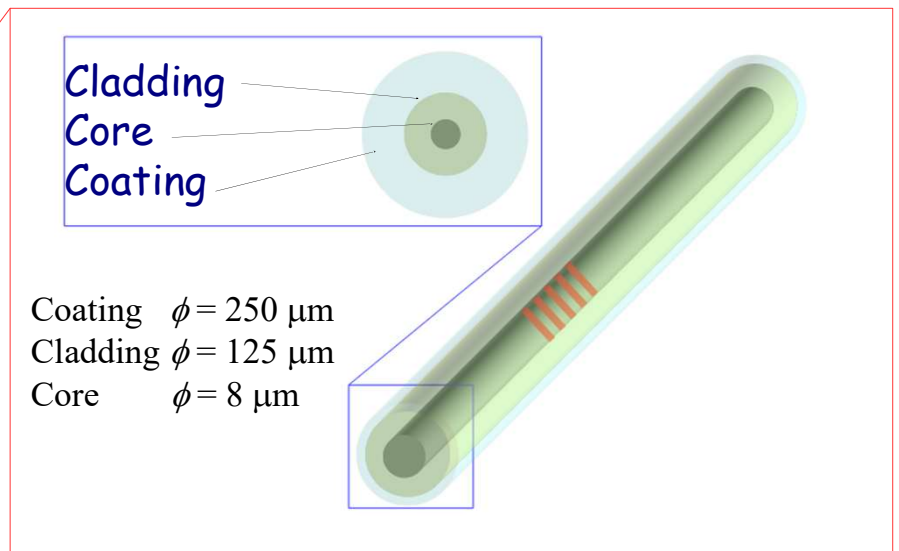
Segmento di fibra (10 mm) con
sensitivity alla

- temperatura (risoluzione 0.1°C).
- deformazione (risoluzione $1\mu\text{Strain}$).



Il reticolo di diffrazione è
prodotto modificando
l'indice di rifrazione del
nucleo della fibra.

*Approssimazione: l'indice di rifrazione ha
una modulazione sinusoidale lungo l'asse
della fibra.*

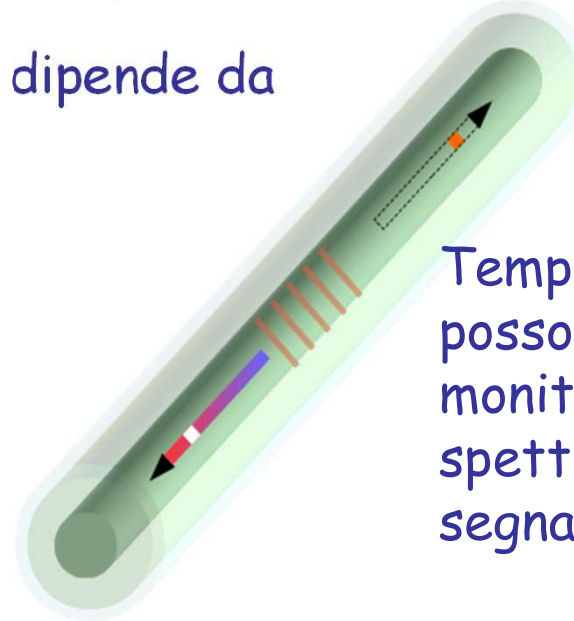




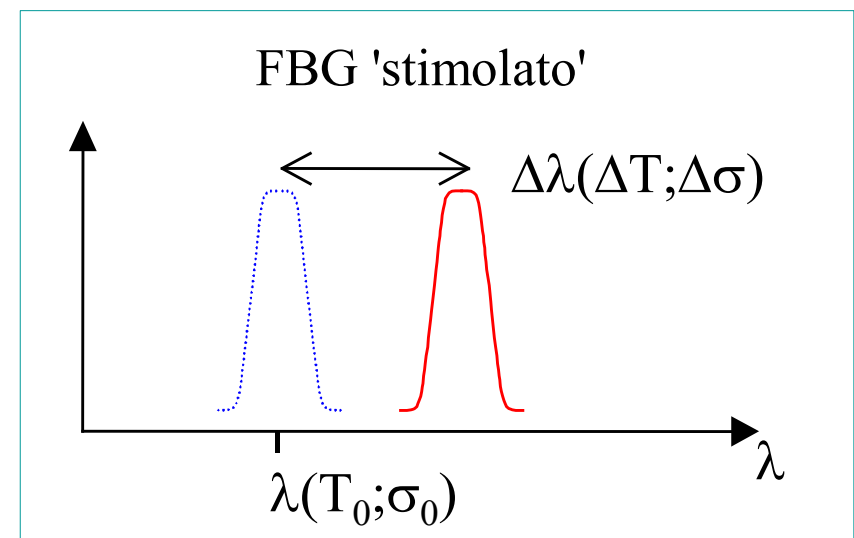
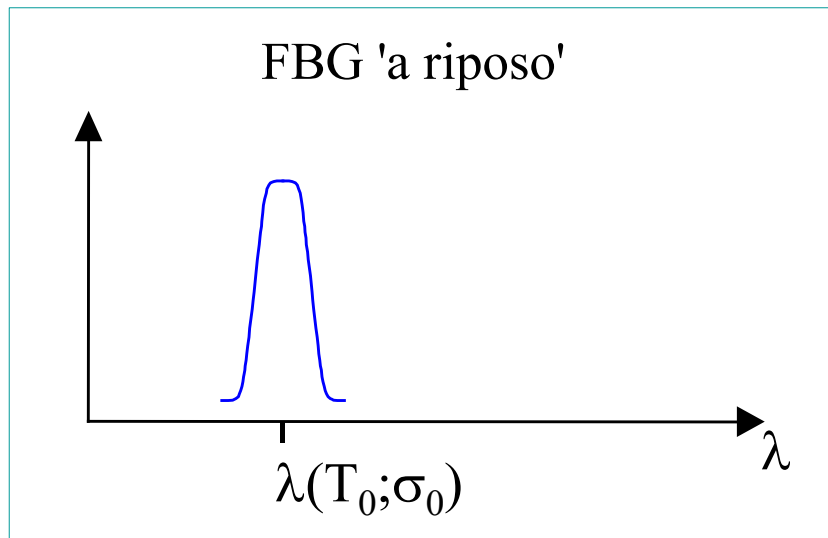
Il sensore FBG funziona come uno specchio selettivo sulla lunghezza d'onda.

La lunghezza d'onda diffratta dipende da

- Λ : passo del reticolo
 - n : indice di rifrazione
- entrambi sensibili a
- T : Temperatura
 - σ : Deformazione (strain)

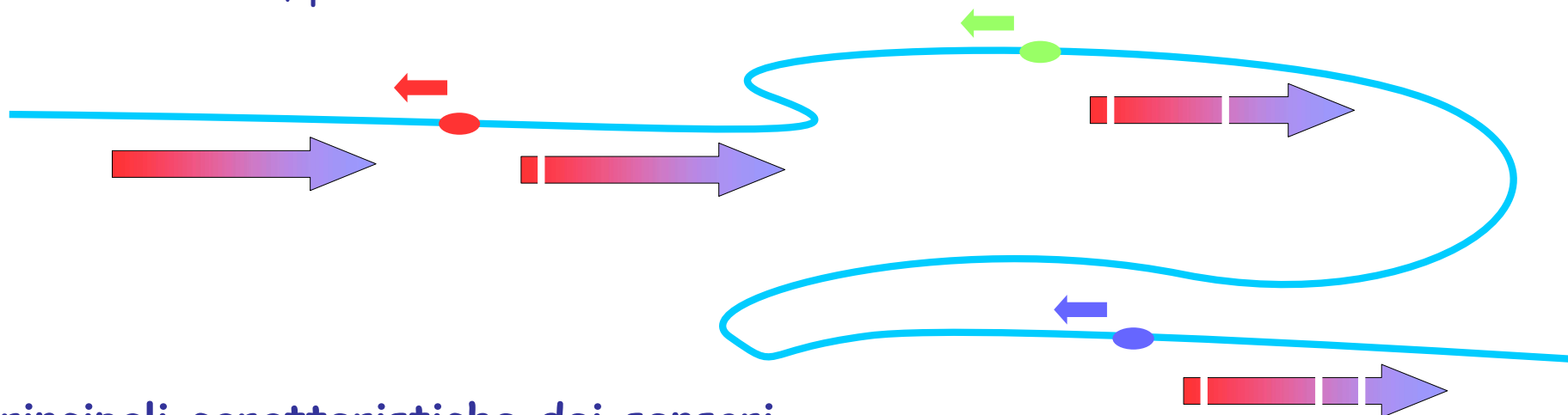


Temperatura e Strain
possono essere
monitorate da analisi
spettroscopiche del
segnale del sensore FBG.





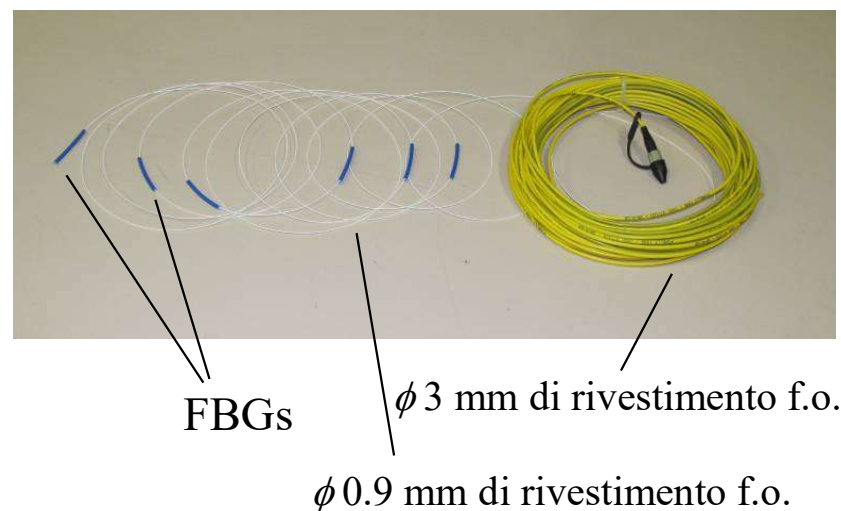
Più sensori FBG possono essere prodotti in serie lungo una fibra ottica, per funzionare in WDM.

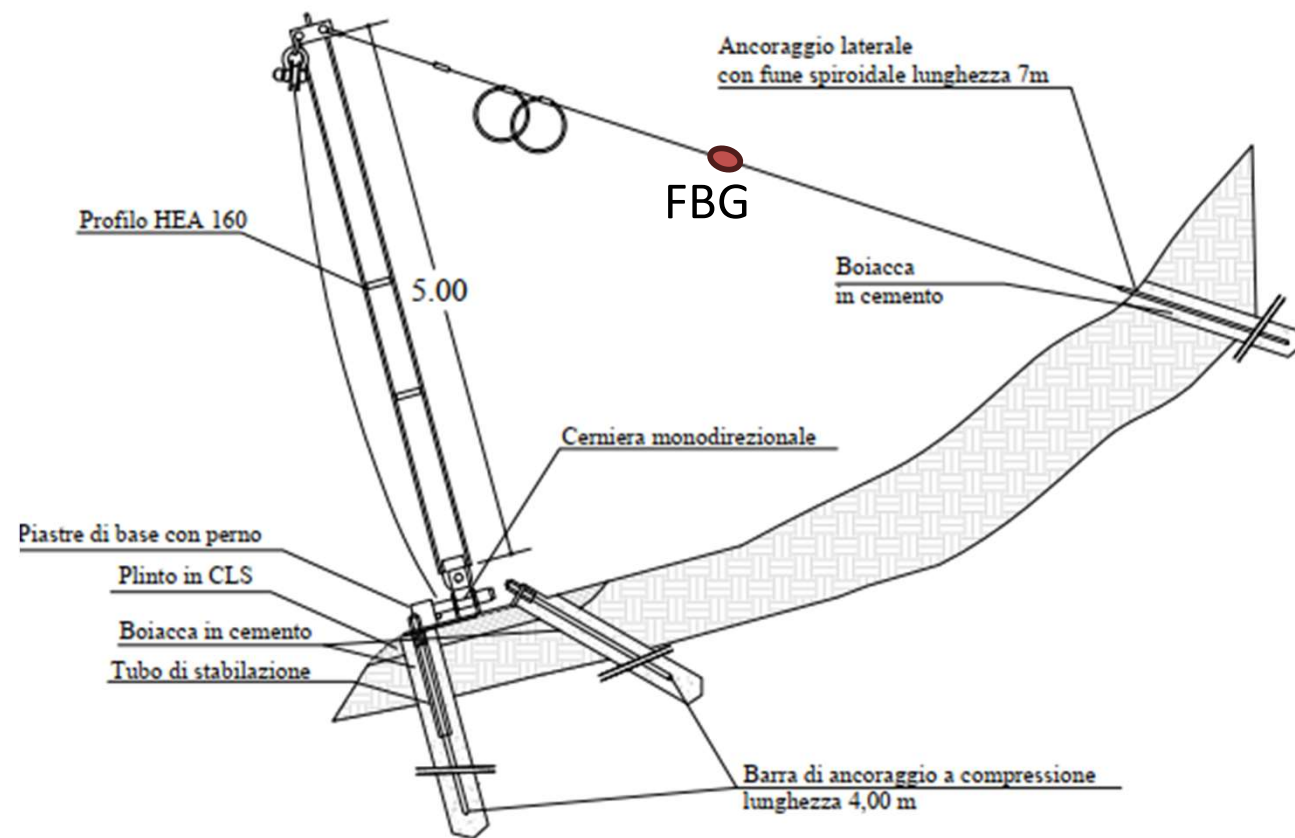
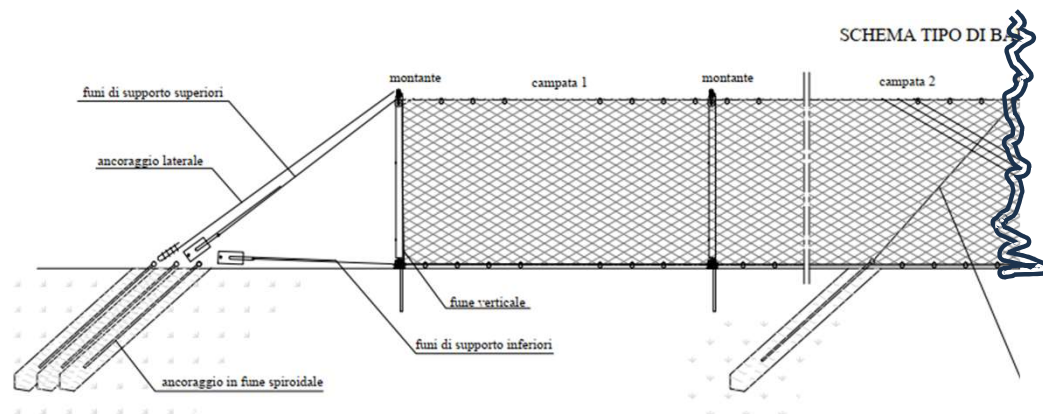


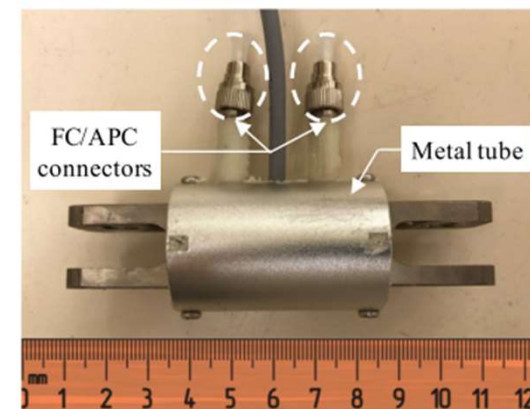
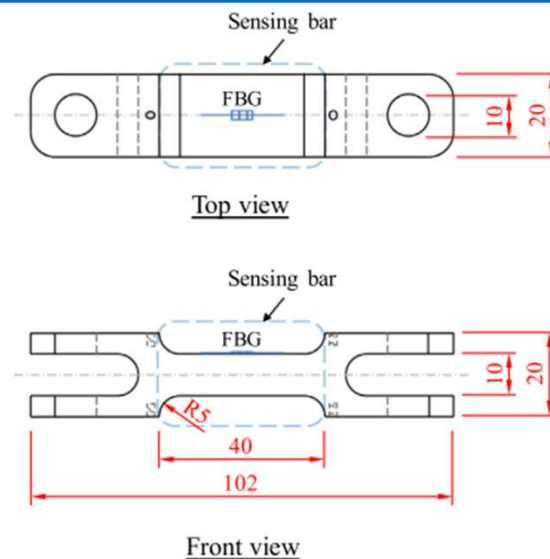
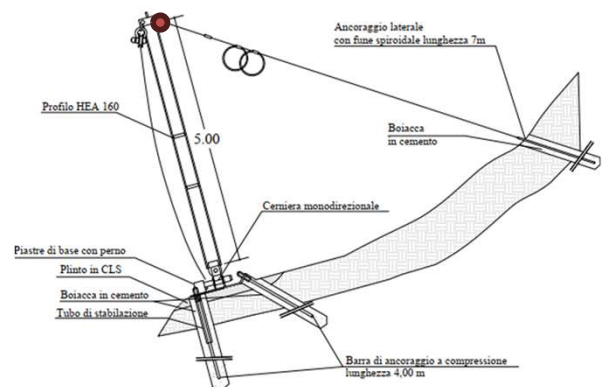
Principali caratteristiche dei sensori FBG

- facile cablaggio
- dimensioni e masse ridotte
- stabilità a lungo termine
- immunità da disturbi elettromagnetici
- risposta in regime statico e dinamico
- nessuna alimentazione elettrica presso il punto di misura

Catena di 6 FBGs (sensori di strain).



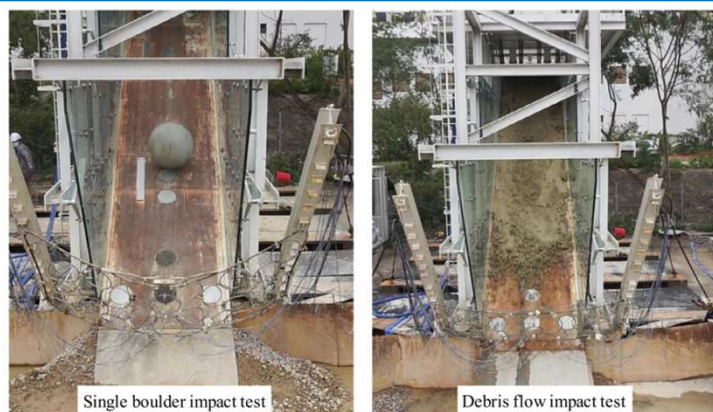




(a)

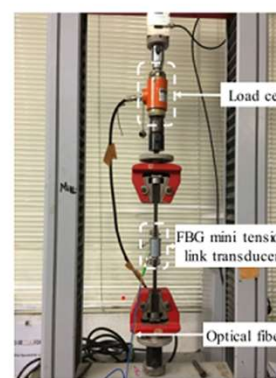
(b)

Fig. 2. Design of an FBG mini tension link transducer: (a) schematic diagram (all dimensions in mm) and (b) photograph.

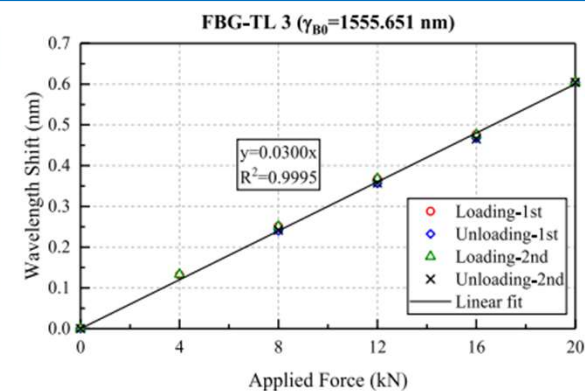


(c)

Fig. 6. Experimental process: (a) before test, (b) door flipping up, and (c) material releasing.



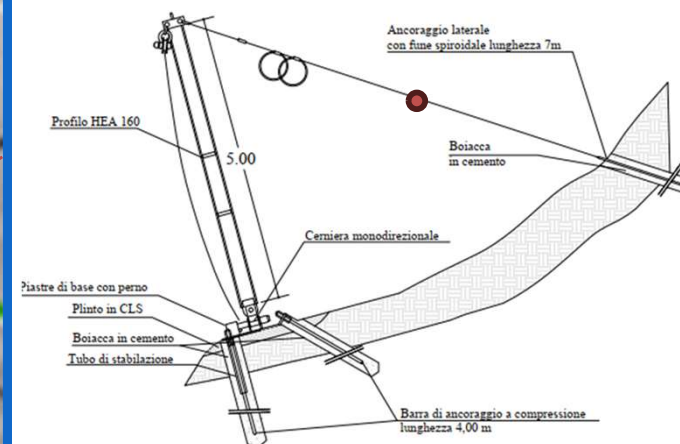
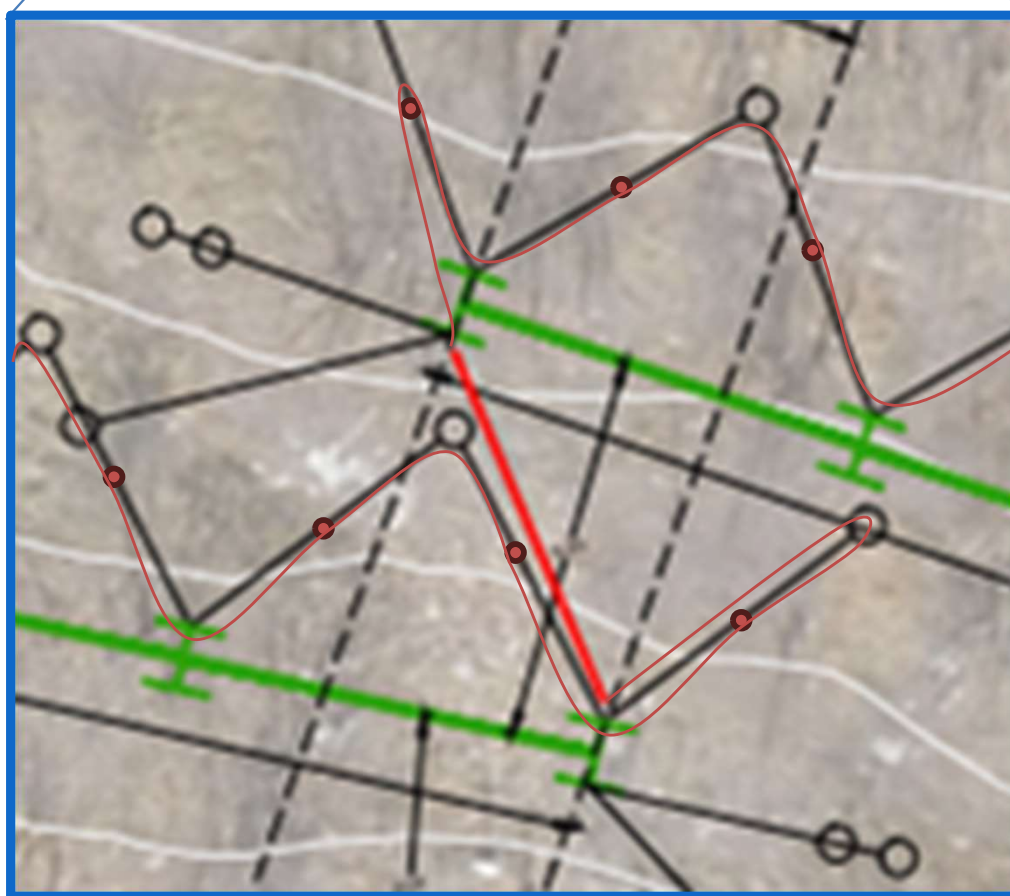
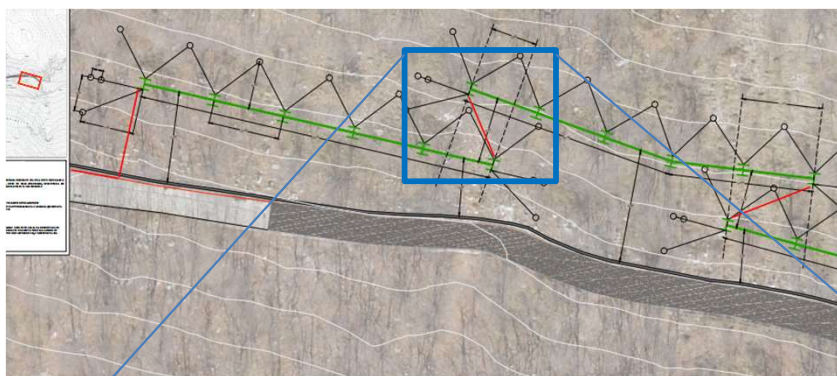
(a)



(b)

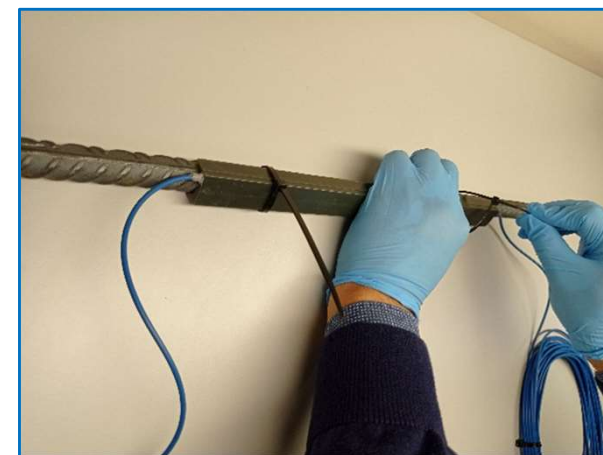
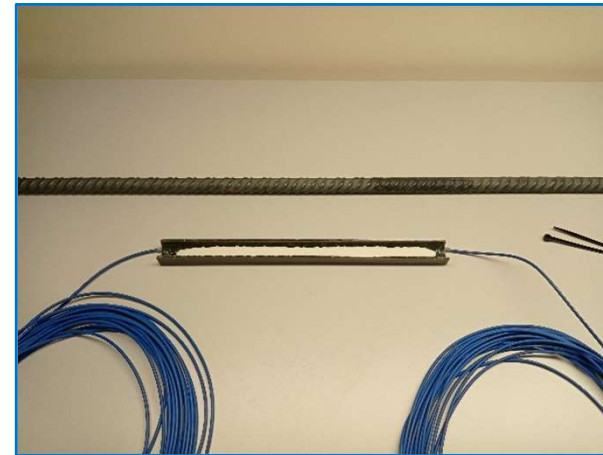
Fig. 3. Calibration of the FBG mini tension link transducers: (a) test setup and (b) test results.

J.-Q. Qin et al./Measurement 153 (2020) 107409





Sensore di strain FBG in sagomato 'a sella' per ferri di armatura



Michele Arturo Caponero - ENEA



Progetto monitoraggio innovativo con la tecnologia in fibra ottica per la parete rocciosa del Santuario della SS Trinità di Vallepietra

10 / 05 / 2024

pag. 41

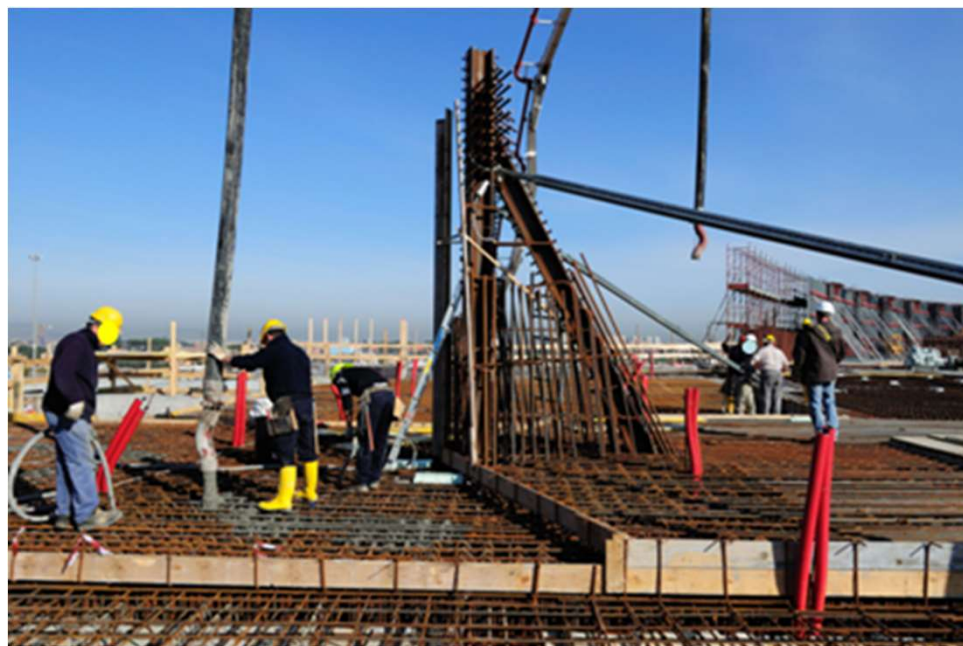
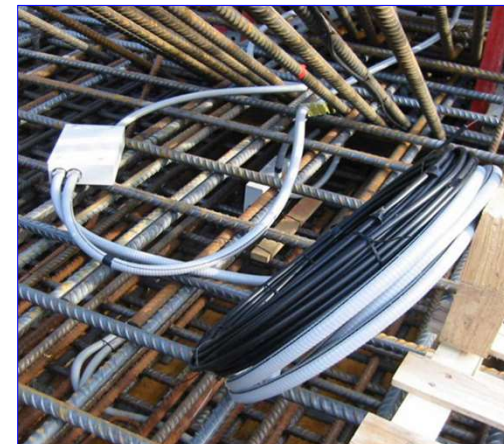


Palificata - Parco Memoriale San Giuliano di Puglia



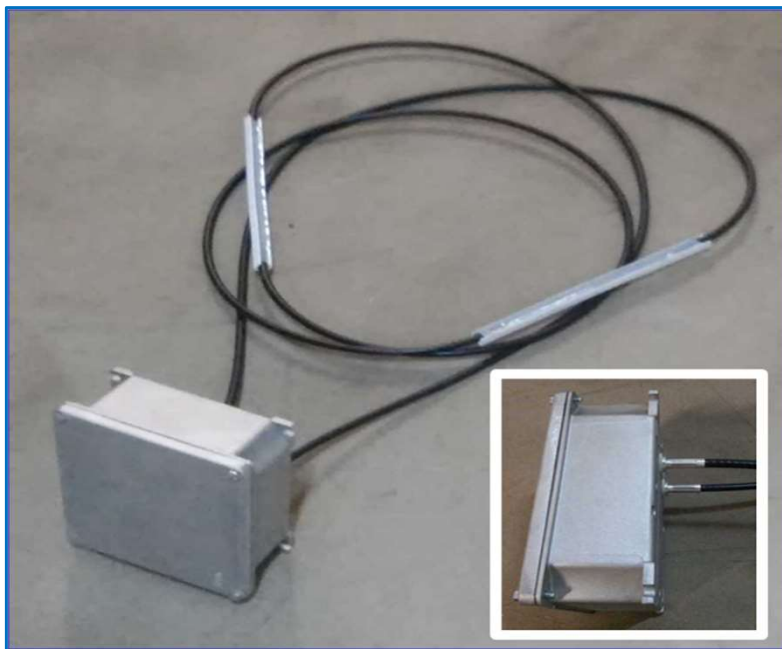


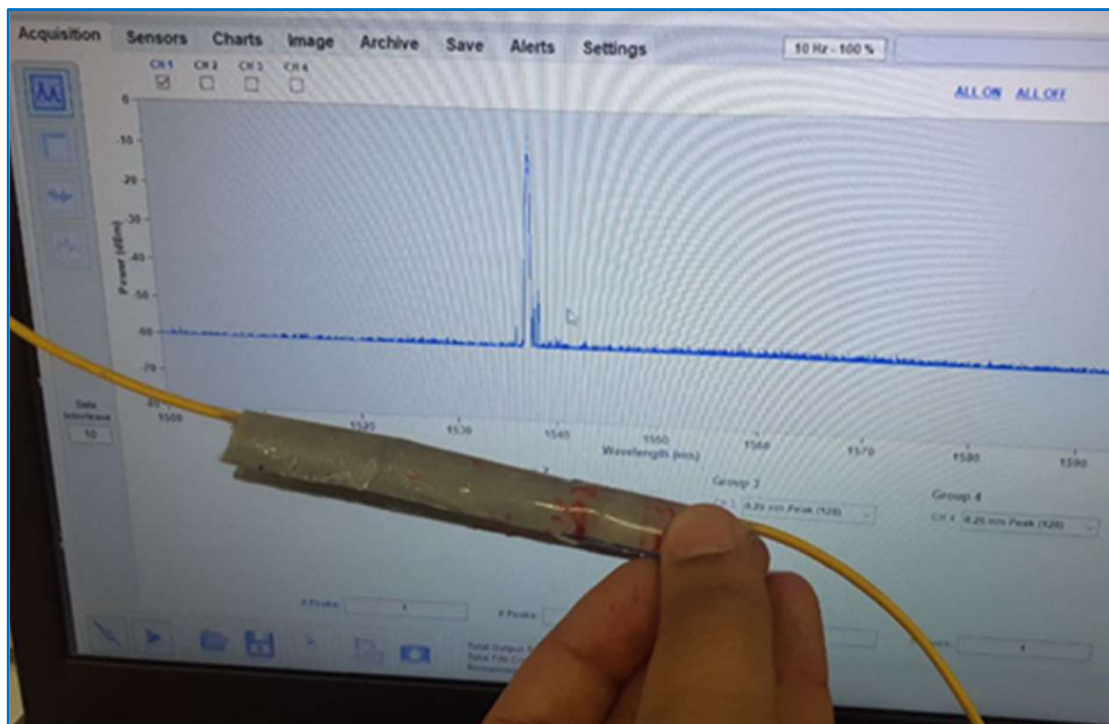
Solaio di grande spessore - Città dello Sport Tor Vergata





Conci prefabbricati - Galleria idraulica Acquedotto Pavoncelli Bis





Michele Arturo Caponero - ENEA



Progetto monitoraggio innovativo con la tecnologia in fibra ottica per la parete rocciosa del Santuario della SS Trinità di Vallepietra

10 / 05 / 2024

pag. 45

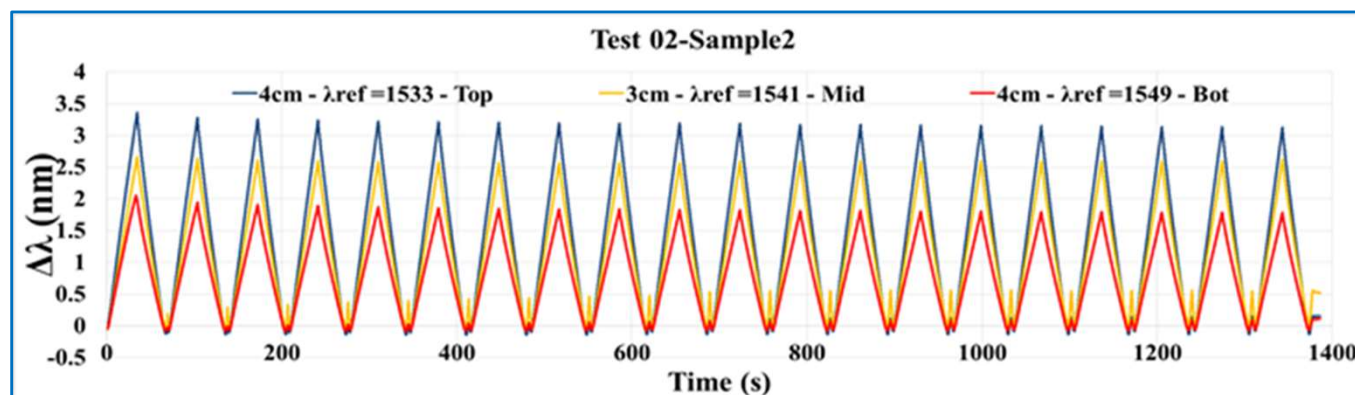


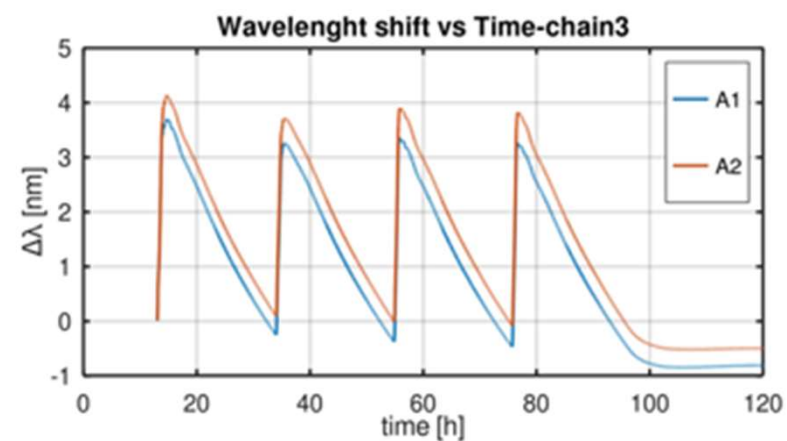
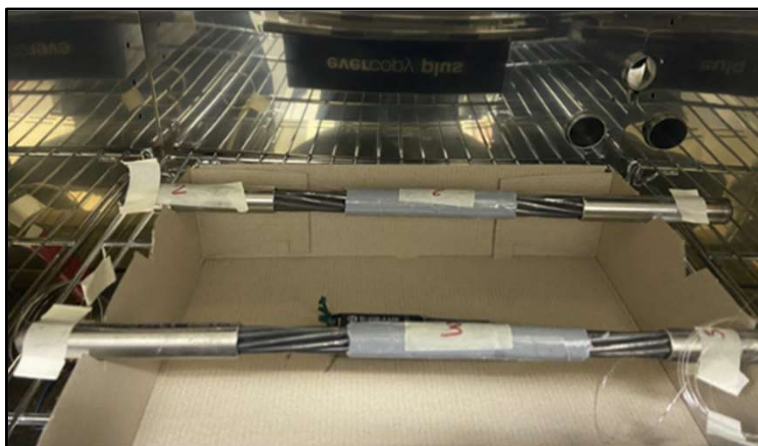
Research, Development and Innovation Project

PREFOS

Fiber optic monitoring system for prefabricated buildings

Domanda n. PROT. A0375-2020-36539 – Progetti Gruppi di Ricerca 2020







Grazie per l'attenzione



Michele Arturo Caponero - ENEA



Progetto monitoraggio innovativo con la tecnologia in fibra ottica per la parete rocciosa del Santuario della SS Trinità di Vallepietra

10 / 05 / 2024

pag. 48