

Rapporti tecnici

INGV

**Sistema integrato di monitoraggio
(TCM - Tuff Cliff Monitoring) dei
fenomeni di dissesto lungo il
costone tufaceo di Coroglio (Napoli)**

309



Direttore Responsabile

Stefano Gresta

Editorial Board

Luigi Cucci - Editor in Chief (INGV - RM1)

Andrea Tertulliani (INGV - RM1)

Nicola Pagliuca (INGV - RM1)

Umberto Sciacca (INGV - RM2)

Alessandro Settimi (INGV - RM2)

Aldo Winkler (INGV - RM2)

Salvatore Stramondo (INGV - CNT)

Milena Moretti (INGV - CNT)

Gaetano Zonno (INGV - MI)

Viviana Castelli (INGV - BO)

Antonio Guarnieri (INGV - BO)

Mario Castellano (INGV - NA)

Mauro Di Vito (INGV - NA)

Raffaele Azzaro (INGV - CT)

Rosa Anna Corsaro (INGV - CT)

Mario Mattia (INGV - CT)

Marcello Liotta (INGV - PA)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860068

redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:

Barbara Angioni (INGV - RM1)



Rapporti tecnici INGV

SISTEMA INTEGRATO DI MONITORAGGIO (TCM - TUFF CLIFF MONITORING) DEI FENOMENI DI DISSESTO LUNGO IL COSTONE TUFACEO DI COROGLIO (NAPOLI)

Marco Sacchi¹, Teresa Caputo², Giuseppe Esposito¹, Renato Somma², Fabio Matano¹,
Mauro Caccavale¹, Umberto del Vecchio^{1*}, Alberto Fortelli^{1*}, Giuseppe Maria Grimaldi^{1*},
Sabato Iuliano¹, Giuseppe Latte Bovio³, Ermanno Marino⁴, Ciro Di Meglio³, Aldo Minardo⁵,
Antonio Pignalosa⁴, Rosario Terracciano⁴, Claudia Troise², Luigi Zeni⁵, Giuseppe De Natale²

¹CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per l'Ambiente Marino Costiero) *consulenti

²INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano)

³BOVIAR s.r.l.

⁴STAGE s.r.l.

⁵SUN (Dipartimento di Ingegneria dell'informazione)

309

Indice

Introduzione al Progetto MONICA	7
1. Il Sistema Informativo Territoriale del Progetto MONICA	8
1.1. Tipologia dei dati	9
1.2. Sistema di coordinate di riferimento	9
1.3. Struttura del database: tematismi di base e tematismi derivati	10
1.4. La banca dati del dissesto idrogeologico nell'area flegrea	11
2. Obiettivi e finalità del progetto di monitoraggio	13
3. La rilevazione dei precursori di frane di crollo in roccia	15
3.1. Individuazione dei parametri fisico-ambientali dei sistemi di monitoraggio	15
4. Inquadramento geologico-strutturale e geomorfologico della Caldera dei Campi Flegrei	16
5. Studio geologico e geo-strutturale del sito di Coroglio	17
5.1. Geologia dell'area di Coroglio	17
5.2. Rilievi topografici di dettaglio 3D mediante <i>Terrestrial Laser Scanner</i> (TLS)	20
5.2.1. Tecnica laser <i>scanning</i> e procedura di rilievo	21
5.2.2. I rilievi TLS di Coroglio	23
5.3. Analisi giacitura e geostrutturale per il sito di Coroglio	24
5.4. Rilievi geostrutturali in parete	28
5.5. Definizione delle problematiche di instabilità del sito	38
6. Progettazione di una rete di monitoraggio	40
6.1. Architettura del sistema	41
7. Posizionamento ed installazione dei sensori del sistema di monitoraggio	42
8. Il sistema di monitoraggio statico "tradizionale"	48
8.1. Fessurimetri elettrici centesimali	48
8.2. Inclinatori a parete	49
8.3. Sensori di Temperatura	50
8.4. I collegamenti e le protezioni da sovratensione	51
8.5. La stazione di acquisizione dati	53
9. Il sistema di monitoraggio delle deformazioni con le fibre ottiche	55
10. Il sistema di monitoraggio dinamico	57
10.1. Strumentazione dinamica	58
11. Il sistema di monitoraggio meteorologico	62
Conclusioni	66
Ringraziamenti	67
Bibliografia	67

Introduzione al Progetto MONICA

Il progetto per il sistema di monitoraggio integrato della falesia di Coroglio rappresenta una delle azioni previste nell'ambito di un più ampio progetto PON - Ricerca e Competitività 2007-2013 per le Regioni della Convergenza denominato: "MONitoraggio Innovativo per le Coste e l'Ambiente marino (MONICA)", codice identificativo PON01_01525, recentemente finanziato dal MIUR. Scopo del progetto MONICA è di contribuire efficacemente alla prevenzione e alla gestione delle emergenze ambientali, in particolare quelle marine e costiere, attraverso la realizzazione di un sistema di monitoraggio ambientale innovativo, basato su una infrastruttura di comunicazione in fibra ottica, installata su fondale marino ed in corrispondenza della zona costiera, che colleghi in rete una serie di sensori, sia innovativi che già esistenti [Somma et al., 2013].

L'area di sperimentazione di queste nuove tecnologie è il settore costiero dei Campi Flegrei, corrispondente al Golfo di Pozzuoli, ideale perché caratterizzata da rischio vulcanico, sismico, da maremoto, da movimenti franosi, nonché da rischi antropici quali l'inquinamento e il traffico marittimo. L'area di studio del Progetto MONICA comprende il settore orientale del territorio della Provincia di Napoli, che dal 1° gennaio 2015 lascerà il posto alla Città Metropolitana di Napoli, istituita ai sensi della Legge 7 aprile 2014 n. 56, ed include i territori costieri dei Comuni di Napoli, Pozzuoli, Bacoli e Monte di Procida.

Le attività di ricerca dell'IAMC-CNR nell'ambito di questo progetto includono lo sviluppo e la messa a punto di un sistema di monitoraggio innovativo (con tecnologie e metodiche sperimentali) di tratti selezionati della falesia tufacea costiera del litorale Flegreo, al fine di valutarne le condizioni di stabilità e di vulnerabilità generale rispetto ai rischi naturali ed antropici.

Nell'ambito del Segmento Costiero del progetto "MONICA" è stata dedicata particolare attenzione allo studio ed al monitoraggio multi-parametrico dell'evoluzione delle falesie tufacee costiere dell'area flegrea, dovuta alle problematiche di instabilità geomorfologica connesse all'interazione tra evoluzione vulcano-tettonica dell'area, trasformazione antropica del territorio e processi di degradazione ed erosione proprie della fascia costiera [Matano et al., sub. EJRS; Matano et al., 2015].

La scelta dei 5 siti di studio (Fig. 1), selezionati per la fase di analisi e monitoraggio dei processi di instabilità sulle falesie costiere, è stata realizzata tenendo conto di numerosi elementi, sia naturali che antropici, in modo da rendere particolarmente proficua l'attività di monitoraggio, nell'ottica di poter mettere a punto un sistema di *early warning* multirischio, di fondamentale utilità per le popolazioni esposte ai rischi.

Lo studio ha fra gli obiettivi principali la verifica sperimentale di modelli teorici della stabilità di costoni tufacei. A tal fine è stato definito un progetto per un sistema di monitoraggio denominato TCM (*Tuff Cliff Monitoring*), che ha come scopo principale il monitoraggio di stabilità della falesia di Coroglio, lungo la costa dell'area Flegrea, interessata da fenomeni franosi e da distacchi di blocchi di varie dimensioni dalle pareti, e definisce i requisiti principali dell'architettura tipo del sistema di monitoraggio.

La scelta per la progettazione e l'installazione del sistema di monitoraggio multiparametrico è ricaduta sulla falesia di Coroglio (Napoli), in quanto ubicata in un'area urbana di interesse nazionale ed è stata interessata in passato da numerosi fenomeni di crollo e scivolamento di blocchi tufacei e da interventi di consolidamento [Somma et al., 2014].

Le attività di studio e progettazione sono state finalizzate all'integrazione di una rete di monitoraggio per:

- (i) la prevenzione e/o mitigazione dei rischi connessi all'instabilità dei versanti in area costiera;
- (ii) la validazione dei modelli geotecnici, idrogeologici e meteorologici comunemente utilizzati per la quantificazione del rischio;
- (iii) la gestione delle fasi di emergenza a seguito di un evento calamitoso;
- (iv) la programmazione delle politiche di gestione territoriale a medio e lungo termine.

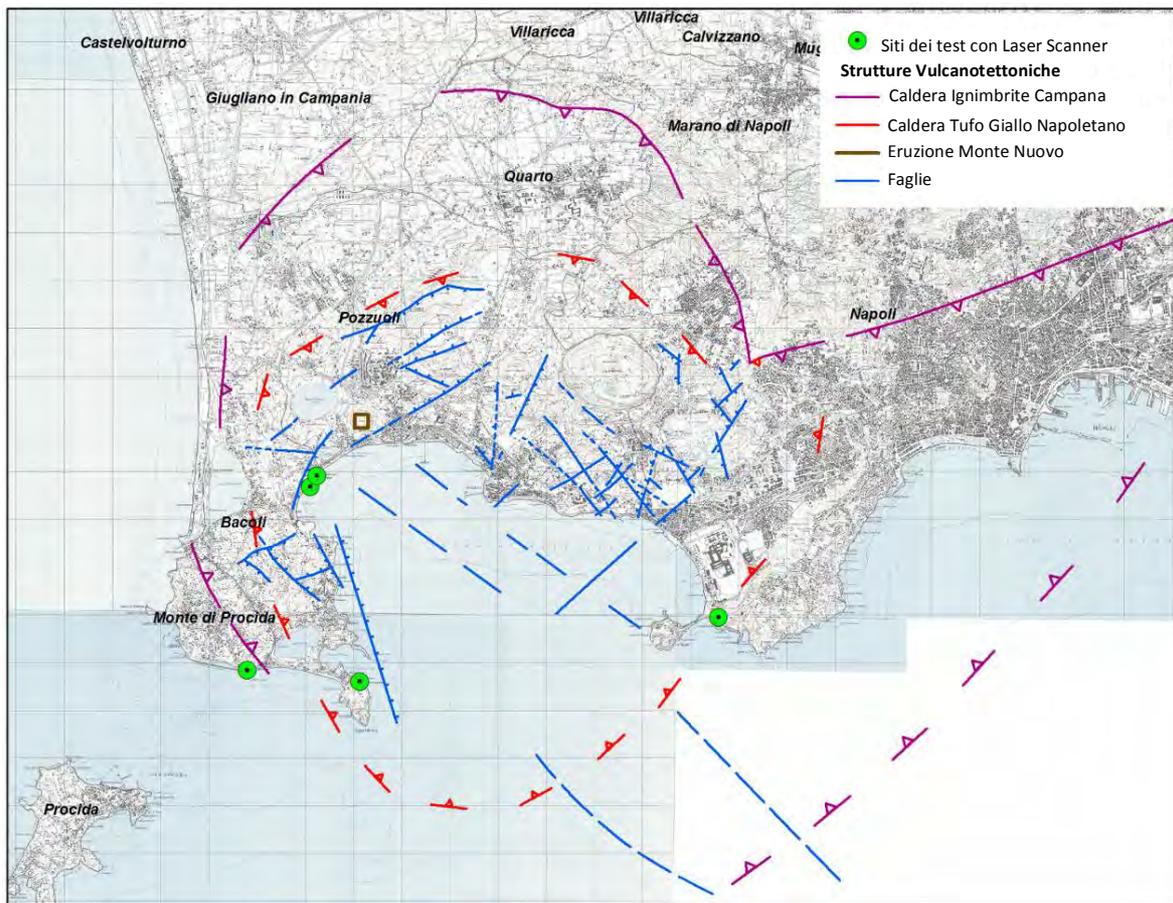


Figura 1. Mappa dei Campi Flegrei con evidenziati i cinque siti di monitoraggio costiero del Progetto Monica e i principali elementi vulcano-tettonici da Orsi et al. [1996].

Nelle attività di monitoraggio costiero considerate nell’ambito del Progetto MONICA è prevista l’utilizzazione sia di sensori innovativi a fibre ottiche che di sensori geotecnici “tradizionali” [Minardo et al. 2012; Gagliardi et al. 2008]. I sensori basati sulla tecnologia delle fibre ottiche verranno installati lungo i costoni per monitorare i parametri fisici che possono costituire i precursori di evento rispetto ai fenomeni di instabilità, come i crolli ed i ribaltamenti [Varnes, 1978; Cruden e Varnes, 1996]. Gli stessi dovranno essere predisposti in maniera tale da considerare le variabili fisiche (umidità, temperatura, vento, ecc.) che potrebbero compromettere le misure. La taratura dei dati ottenuti e la loro affidabilità verrà effettuata attraverso un sistema di monitoraggio parallelo, basato su sensori tradizionali come accelerometri, estensimetri, misure topografiche, ecc.

Le procedure, le tecnologie e la sensoristica previste nel progetto possono trovare utile applicazione anche in altri campi “strategici” della sicurezza dei territori urbani e costieri, quali il monitoraggio di infrastrutture ed il controllo della stabilità di edifici e di strutture antropiche.

1. Il Sistema Informativo Territoriale del Segmento Costiero del Progetto MONICA

Nel corso delle fasi preliminari della ricerca è stato implementato un **Sistema Informativo Territoriale** (SIT) dedicato, comprendente i tematismi concernenti gli aspetti geografici, geologici, geomorfologici ed evolutivi dell’area costiera dei Campi Flegrei, ed in seguito implementato con i risultati delle analisi e delle elaborazioni dei vari tematismi.

Il Sistema Informativo Territoriale del (SIT-MONICA-COSTA) ha permesso di gestire in maniera efficiente e dinamica i diversi tematismi progressivamente acquisiti e/o prodotti, ed in particolare per poter soddisfare le specifiche esigenze di:

- (i) esecuzione di misure e calcoli di distanze, superfici e volumi;

- (ii) applicazione di funzioni di ricerca tematica e geografica;
- (iii) sovrapposizione e confronto dei tematismi;
- (iv) adozione di adeguate scale di rilievo e di restituzione;
- (v) applicazione di controlli di tipo geometrico e topologico;
- (vi) individuazione e mappatura delle variazioni temporali;
- (vii) derivazione delle informazioni dai tematismi di base;
- (viii) elaborazione dei tematismi derivati;
- (ix) rappresentazione dei risultati conseguiti.

A tal fine i tematismi, provenienti da fonti diverse e, pertanto, sovente caratterizzati da formati, risoluzioni e riferimenti geografici differenti, sono stati processati e convertiti in formati digitali omogenei, più aderenti alle specifiche esigenze del Progetto e conformi alle direttive ed agli standard cartografici nazionali ed internazionali di riferimento.

1.1. Tipologia dei dati

I dati informativi territoriali si possono distinguere principalmente in dati di tipo vettoriale e dati di tipo *raster*. Tuttavia, tra le due tipologie di dati esistono alcuni formati intermedi che possiedono caratteristiche comuni sia ad uno che all'altro. Il dato vettoriale è costituito da coordinate cartesiane che possono definire nel sistema informativo geografico punti, linee o poligoni. Il dato *raster*, invece, fornisce la rappresentazione di un'immagine attraverso una matrice le cui celle (*pixel*) ordinate secondo linee e colonne, possono contenere informazioni come ad esempio il tipo di colore, la temperatura o la pendenza ecc.. (<http://centrogis.consortioterrecablata.it/?q=glossario>). Sia i dati di tipo vettoriale che quelli di tipo *raster* presentano delle specifiche potenzialità tali da far preferire una tipologia all'altra in funzione del tematismo da rappresentare.

I dati vettoriali permettono un'ottima rappresentazione della struttura dei dati, hanno una dimensione fisica molto compatta, descrivono esaustivamente la topologia dei dati spaziali, consentono l'immediato aggiornamento del corredo informativo tabellare e presentano una restituzione grafica molto accurata e dettagliata. Al tempo stesso questi dati possono avere una struttura molto complessa e possono richiedere trattamenti di analisi spaziale più limitati e laboriosi.

I dati *raster*, invece, hanno una struttura molto semplice, permettono velocemente la loro sovrapposizione e combinazione, consentono trattamenti di analisi spaziali semplici ed immediati e sono caratterizzati da una tecnologia molto sviluppata ed in continuo miglioramento. Di contro essi hanno una dimensione fisica molto grande, laddove utilizzati per rappresentare vaste aree con grande accuratezza, penalizzano spesso la rappresentazione dei dati lineari e puntuali, a causa della presenza dei *pixel* e rendono talvolta le restituzioni più ridondanti e complesse.

Esempi molto ricorrenti di file vettoriali sono l'ubicazione di stazioni meteo, di sondaggi geognostici, di campionamenti di sedimento (geometrie puntuali), la posizione della linea di riva, del reticolo idrografico, delle faglie (geometrie lineari), l'affioramento di una litologia, la distribuzione di una classe granulometrica, la perimetrazione di una zona a rischio (geometrie areali). Tra i file *raster* più comuni, invece, si possono ricordare le foto aeree, le immagini da satellite e le cartografie storiche.

1.2 Sistema di coordinate di riferimento

Un SIT ha la proprietà peculiare di definire la posizione reale di ogni singolo oggetto rappresentato attraverso l'assegnazione di coordinate metriche di un predefinito sistema di riferimento oppure mediante i gradi di latitudine e longitudine utilizzando il sistema geografico; le coordinate sono memorizzate senza conversione di scala. Mediante conversioni di proiezioni cartografiche e di sistemi di riferimento dei dati è possibile l'utilizzo contemporaneo di cartografia redatta in paesi diversi o semplicemente con criteri fra loro differenti. Questa funzionalità permette la visualizzazione dei dati a qualsiasi scala, combinando nello stesso spazio informazioni ricavate anche da carte a differente scala d'acquisizione che diventa, quindi, un parametro per stabilire il grado di dettaglio della rappresentazione. Il concetto di scala sul GIS, quindi, risulta legato solo alla scala di visualizzazione a video dei dati inseriti utile sia in fase di consultazione del dato che in fase di output su supporto cartaceo.

In Italia tra le proiezioni o rappresentazioni più utilizzate, in grado di rappresentare la superficie approssimativamente sferica della Terra su di un piano, oltre alla rappresentazione geografica vi sono la proiezione Universale Trasversa di Mercatore nota come UTM (*Universal Transverse Mercator*) e la proiezione di Gauss-Boaga. Molto raramente viene invece usata, la proiezione conica conforme di Lambert. Per

ogni proiezione viene definito anche un sistema di riferimento, utilizzato per il calcolo delle coordinate. Ad esempio nel sistema UTM si utilizzano spicchi predeterminati ampi sei gradi di longitudine, detti fusi, con un sistema di coordinate ortogonali all'interno di ogni fuso. Il territorio italiano ricade nei fusi 32, 33 e in parte nel fuso 34; nel sistema Gauss-Boaga, il riferimento è il meridiano centrale di Monte Mario (a Roma) e vengono utilizzate coordinate chilometriche misurate convenzionalmente partendo da 1.500 Km a sinistra e da 2.520 Km a destra del meridiano di riferimento, definendo così rispettivamente il fuso Ovest ed il fuso Est).

Il sistema di coordinate di riferimento utilizzato per la rappresentazione di tutti i tematismi del SIT del Progetto MONICA è quello metrico basato sul Datum WGS84 (*World Geodetic System 1984*) che utilizza la proiezione UTM, fuso 33 N. I tematismi restituiti in sistemi di coordinate di riferimento differenti sono stati riproiettati nel sistema di coordinate prescelto, mentre quelli del tutto privi di riferimenti geografici e/o spaziali sono stati direttamente georeferiti in tale sistema di coordinate.

1.3. Struttura del database: tematismi di base e tematismi derivati

I **tematismi di base**, rappresentano i dati territoriali, topografici e geotematici prodotti da Enti terzi, che sono stati inseriti nel SIT del Progetto MONICA senza alcuna modifica. Di seguito sono elencati per tipologia:

(i) Topografia:

- A. Carta Topografia d'Italia dell'Istituto Geografico Militare (IGM) – scala 1/25000.
- B. Carta Tecnica Regionale della Campania – scala 1/5000.
- C. Modello Digitale del Terreno della Regione Campania – scala 1/5000.
- D. Modello Digitale del Terreno del Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare (MATTM) – scala 1/20000.
- E. Carte Topografiche Storiche – scale varie.

(ii) Geografia:

- A. Ortofoto del 1998, 2004, 2008 e 2011.
- B. Foto aeree del 1954.

(iii) Geologia:

- A. Carta Geologica d'Italia - scala 1/100000.
- B. Carta Geologica Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) – scala 1/15000.
- C. Carta Geologica dell'Autorità di Bacino (AdB) – scala 1/5000.
- D. Carta degli spessori delle coperture ADB – scala 1/5000.

(iv) Geomorfologia:

- A. Carta Geomorfologica AdB - scala 1/5000.

(v) Dissesti ed instabilità geomorfologici:

- A. Frane Inventario Fenomeni Franosi d'Italia (IFFI) – scala 1/25000.
- B. Inventario frane AdB – scala 1/5000.
- C. Dati Aree Vulnerate Italiane- Sistema Informativo sulle Catastrofi Idrogeologiche (AVI-SICI).
- D. Dati ATI Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica del CNR.
- E. Erosione costiera.

(vi) Rischi idrogeologici:

- A. Perimetrazioni delle aree a rischio da frana AdB.
- B. Perimetrazioni delle aree a rischio da alluvioni AdB.
- C. Perimetrazioni delle aree a rischio da erosione costiera AdB.

(vii) Geofisica:

- A. Dati gravimetrici.
- B. Dati magnetici.
- C. Dati sismologici.

(viii) Dati da telerilevamento:

- A. Rilievo *Light Detection and Ranging* (LIDAR) del MATTM (da aereo).

- B. *Permanent Scatters* della *European Remote-Sensing* (ERS) 1992-2000, da satellite.
- C. *Permanent Scatters* della *Radar Satellite* (RADARSAT) 2003-2007.
- D. *Permanent Scatters* della *Environmental Satellite* (ENVISAT) 2002-2010.

(ix) Uso del territorio:

- A. Carte dell'Utilizzazione Agricola dei Suoli della Campania (CUAS) della Regione Campania – scala 1/25000.
- B. Carta dei Sistemi di Terre della Regione Campania.
- C. *Corine Land Cover* (CLC) – scala 1/100000.

(x) Aree protette:

- A. Zone di Protezione Speciale MATTM.
- B. Siti di Interesse Comunitario MATTM.
- C. Parchi.
- D. Riserve.

I **tematismi derivati**, invece, provengono dall'elaborazione e/o interpretazione dei dati territoriali, topografici e geotematici prodotti da Enti terzi. Tali processamenti hanno determinato nuovi livelli informativi strettamente riferiti all'area di studio, che sono stati successivamente inseriti nel SIT-MONICA-COSTA.

Essi sono:

1. Unione della Carta Tecnica Regionale.
2. Mosaico del Modello Digitale del Terreno.
3. Modelli Digitali del Terreno ottenuti da dati LIDAR.
4. Mosaico delle Ortofoto 2004, 2008, 2011.
5. *Dataset Permanent Scatter* ERS, RADARSAT e ENVISAT.
6. Database geografico delle isoipse in scala 1/5000.
7. Carta delle pendenze da DTM LIDAR.
8. Carta dell'esposizione da DTM LIDAR.
9. Database geografico degli edifici in scala 1/5000.
10. Database geografico delle infrastrutture in scala 1/5000.
11. Database geografico dell'idrografia naturale e artificiale.
12. Carta dell'uso del suolo in scala 1/5000.
13. Database geografico delle linee di costa storiche e recenti in scala 1/5000.

1.4. La banca dati del dissesto idrogeologico nell'area flegrea

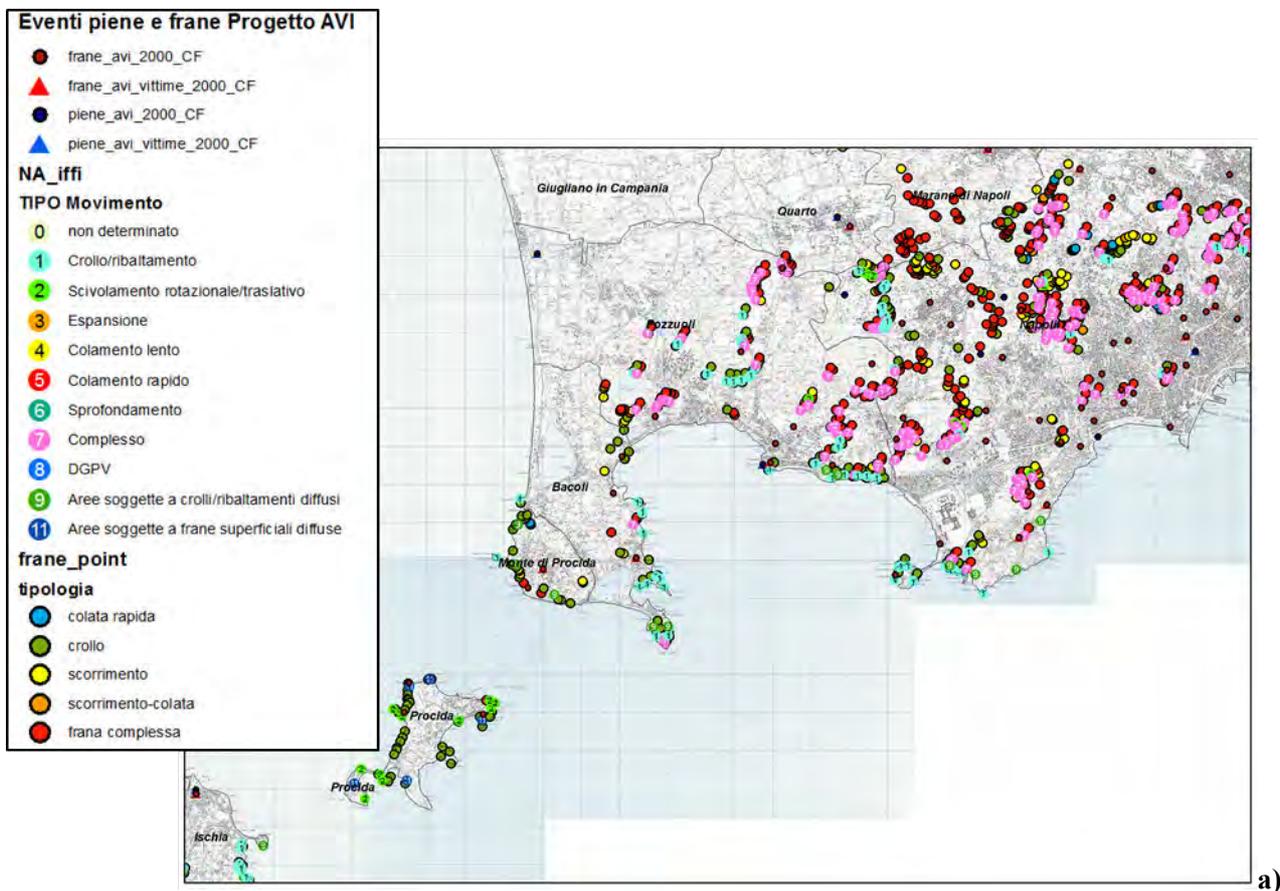
Nella fase iniziale dello studio è stato realizzato un database che include tutti gli eventi di frane, alluvioni e fenomeni di erosione costiera che si sono verificati nell'area flegrea a partire dall'epoca storica (Fig. 2). I dati sono stati acquisiti dalla bibliografia disponibile, dai *database* preesistenti e da fonti primarie come le testate cronachistiche *on-line* e dai rilievi effettuati mediante sopralluoghi. Le tipologie dei dati sono sia di tipo puntuale che areale, in quanto per alcuni eventi è stato possibile definire le aree interessate dai processi a partire da fotografie o cartografie di dettaglio. Di seguito vengono riportate le fonti consultate:

- (i) Frane censite nell'IFFI scala 1/25000 (Fig. 2A).
- (ii) Inventario frane dell'AdB scala 1/5000 (Fig. 2A).
- (iii) Dati dell'AVI-SICI (Fig. 2A).
- (iv) Dati ATI IRPI-CNR (Fig. 2A).
- (v) Perimetrazioni delle aree a rischio da frana AdB.
- (vi) Perimetrazioni delle aree a rischio da alluvioni AdB.
- (vii) Perimetrazioni delle aree a rischio da erosione costiera AdB.
- (viii) Bibliografia (Fig. 2B).
- (ix) Fonti cronachistiche *on-line* e *blog* (Fig. 2B).
- (x) Comunicazioni personali e materiale fotografico ricevuto da geologi locali (Fig. 2B).

Inoltre, sono stati acquisiti dalla Protezione Civile Regionale i dati meteo-pluviometrici delle stazioni di monitoraggio presenti nell'area di studio, per l'intervallo temporale compreso tra la messa in opera delle stazioni (gennaio 2000) e marzo 2013.

Da una prima analisi dei dati è stato possibile correlare una parte degli eventi franosi ed alluvionali con le piogge innescanti, mentre un'analisi globale di tutti i dati ha consentito di riconoscere un certo numero di eventi pluviometrici significativi a cui probabilmente sono associati dei dissesti. Ciò sarà verificato con un'attività di ricerca presso le emeroteche, dove verranno consultate le fonti cronachistiche locali per l'individuazione di notizie utili ai fini dello studio.

Attraverso l'analisi dei dati a piccola scala è stato possibile individuare i principali processi di dissesto che avvengono nell'area di studio, distinguere i fattori che li controllano, e verificarne la frequenza temporale. Nello specifico, le falesie costituite da litologie piroclastiche più o meno coerenti sono interessate da fenomeni di crollo, ribaltamento o scivolamento; i versanti con coperture piroclastiche incoerenti e parzialmente pedogenizzate sono interessati da fenomeni di *soil slip* che evolvono in colate rapide; i bacini idrografici impostati nelle morfologie vulcaniche sono interessati da *flash floods* in concomitanza di precipitazioni particolarmente intense [Cruden e Varnes, 1996]. Tutti i fenomeni elencati concorrono all'evoluzione morfologica del territorio, talvolta con modificazioni significative che si concentrano in poche decine di anni.



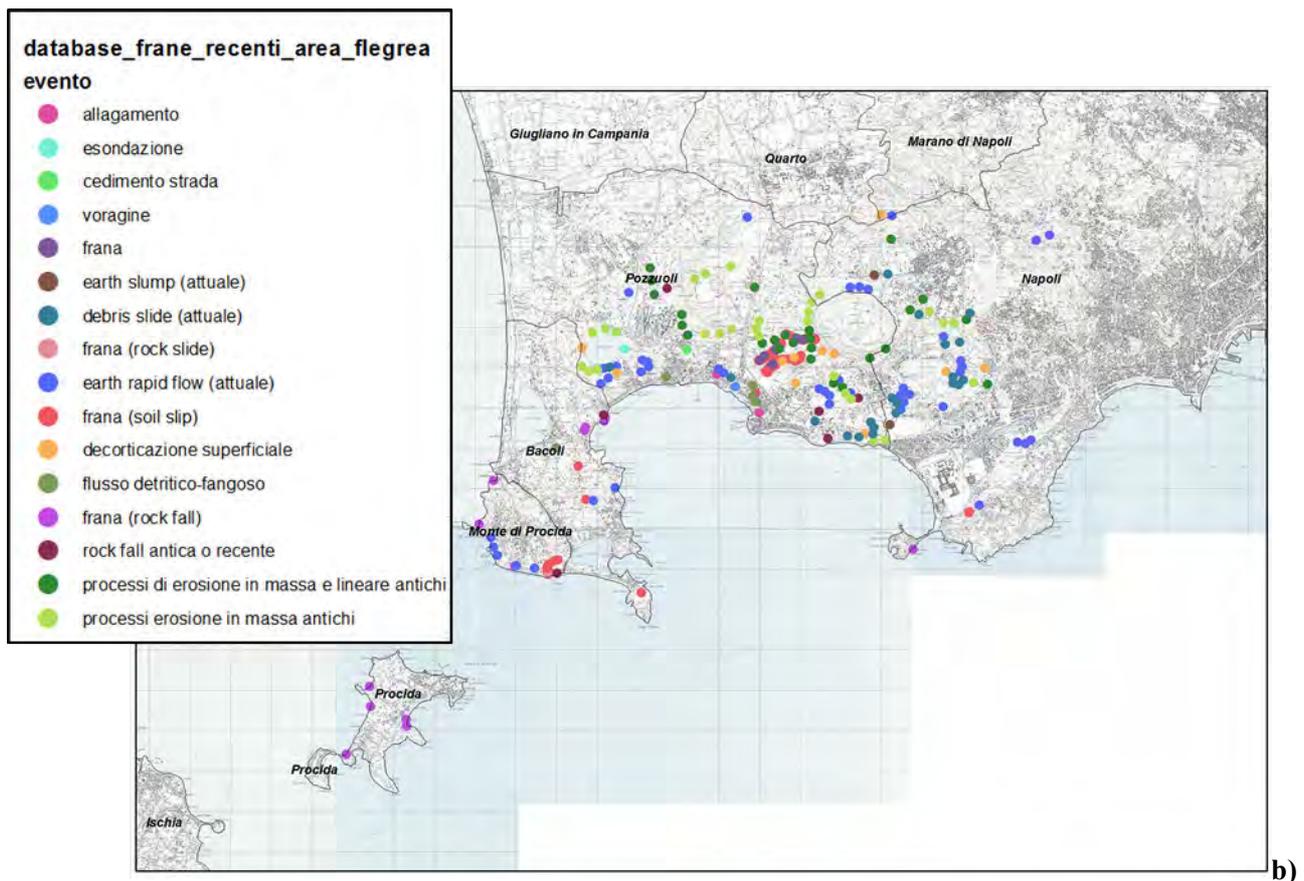


Figura 2. a) Eventi di frane ed alluvioni censiti dall'AdB e dai progetti nazionali AVI ed IFFI. b) Eventi di frane ed alluvioni individuati da fonti primarie nell'ambito dell'attività di ricerca del Progetto MONICA.

2. Obiettivi e finalità del progetto di monitoraggio

Il monitoraggio di un fenomeno franoso è considerato un intervento “non strutturale” di mitigazione del rischio, in quanto consente di approfondire la conoscenza di un fenomeno e della sua pericolosità, attivando azioni che possono ridurre gli effetti indotti sul sistema antropico. Un efficace monitoraggio di un fenomeno franoso comporta l'attivazione di un processo articolato in varie fasi [ARPA Lombardia, 2005]:

- FASE 1 - Inquadramento dei fenomeni;
- FASE 2 - Approfondimento delle conoscenze;
- FASE 3 - Progettazione rete di monitoraggio;
- FASE 4 - Realizzazione rete di monitoraggio;
- FASE 5 - Gestione del monitoraggio.

Sebbene sia disponibile un'estesa bibliografia scientifica di livello internazionale sulla tipologia di strumentazione più indicata e sulle tecniche di elaborazione dei dati acquisiti, ogni sito richiede sempre un adattamento delle metodologie e degli strumenti al fine di massimizzare il rendimento del sistema installato.

Nella fase iniziale sono stati identificati i fenomeni di dissesto in atto o potenziali presenti nel versante da monitorare ed i parametri che controllano la loro evoluzione. In particolare l'analisi di tali parametri deve essere orientata alla identificazione dei tempi e delle modalità con cui un certo parametro evolve in maniera significativa. Solo a questo punto è stato possibile valutare i metodi ed i mezzi (sensori, sistema di acquisizione e trasmissione dei dati, supporti *hardware* e *software* necessari alla loro memorizzazione, organizzazione ed analisi, ecc.) che possono essere utilizzati per la misura dei parametri di interesse, finalizzata all'ottimizzazione funzionale del sistema.

La definizione di corrette procedure di validazione dei dati acquisiti e di analisi e di sintesi sull'intero complesso dei dati disponibili (anche quelli di letteratura e di monitoraggi e/o indagini pregresse) costituisce un'ulteriore fase estremamente importante.

Nelle attività di gestione del monitoraggio sono da considerare anche la manutenzione dei sistemi di monitoraggio, la frequenza delle rilevazioni, i *software* per l'acquisizione e l'archiviazione dei dati, la gestione e il trattamento dei dati (*database*), la definizione di soglie nei dati misurati, la successiva condivisione e divulgazione delle informazioni rilevate. Risulta pertanto, molto importante la predisposizione di rapporti tecnici, destinati a creare informazione specifica, corretta e commisurata alle finalità dello studio ed indirizzati ad operare valutazioni circa l'andamento spazio-temporale dei parametri di interesse.

L'approccio metodologico integrato, adottato per lo studio delle falesie nel progetto MONICA (Fig. 1), ha previsto le seguenti fasi:

- (i) Analisi storica (dati archeologici, cartografia antica, carte topografiche storiche ed attuali, foto aeree e ortofoto) per la definizione delle variazioni della linea di costa a lungo termine (Periodo Romano - attuale);
- (ii) Analisi da *Remote Sensing* (dati lidar, dati radar interferometrici, dati ottici) per lo studio delle deformazioni a medio termine (1990-2010);
- (iii) Individuazione di siti rappresentativi delle varie tipologie di instabilità e delle diverse condizioni di rischio per lo studio di dettaglio;
- (iv) Rilievi topografici di dettaglio multi-temporali con *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) e con metodi di aerofotogrammetria da drone, *Unmanned Aerial Vehicle*, (UAV) in siti selezionati;
- (v) Rilievi ed analisi geologico-strutturali e geomorfologiche per la definizione della condizione di stabilità attuale delle falesie;
- (vi) Progettazione ed installazione di una rete di monitoraggio meteorologico;
- (vii) Progettazione di un sistema di monitoraggio con sensori tradizionali ed in fibra ottica per il controllo in continuo dell'evoluzione delle falesie;
- (viii) Installazione e *testing* del sistema di monitoraggio;
- (ix) Acquisizione ed elaborazione dei dati di monitoraggio e definizione di uno schema per un sistema di *early warning* multi-parametrico.

Le risposte attese dal sistema di monitoraggio progettato nello studio del dissesto di Coroglio e degli altri siti di progetto sono molteplici. Tra di esse ricordiamo la comprensione dei meccanismi in atto sul versante, la definizione dell'area e dei volumi interessati, il riconoscimento delle possibili interazioni tra i diversi fattori che incidono sul dissesto (ad esempio piogge, alternanze caldo-freddo, umidità, gelo-disgelo, sovraccarichi dinamici legati a sismi, traffico, moto ondoso, vento, ecc.). Non si deve dimenticare, infine, una funzione di previsione dei fenomeni e di supporto a situazioni di emergenza.

La fase preliminare della ricerca ha riguardato lo studio geologico e geomorfologico dell'area di riferimento del Progetto MONICA, che comprende i tratti di costa alta del litorale flegreo. In particolare, sono stati svolti attività di ricerca bibliografica e sopralluoghi mirati per individuare i siti idonei alla sperimentazione del sistema di monitoraggio innovativo. Le caratteristiche geologico-geomorfologiche e quelle urbanistico-territoriali rendono l'area molto esposta ai rischi geologici (vulcanico, sismico, idrogeologico), che spesso coesistono in zone densamente abitate. Infatti, la scelta dei siti è stata realizzata tenendo conto di numerosi elementi, sia naturali che antropici, in modo da rendere particolarmente proficua l'attività di monitoraggio, nell'ottica di poter mettere a punto un sistema di *early warning* multirischio, di fondamentale utilità per le popolazioni esposte ai rischi.

Attraverso un primo *screening* della fascia costiera del Golfo di Pozzuoli sono stati individuati 14 costoni tufacei, suscettibili al distacco di blocchi rocciosi di volumetria dell'ordine del metro cubo o superiore, che possono coinvolgere strade, spiagge ed abitazioni sottoposte alle falesia o ubicate sul suo ciglio. Attraverso sopralluoghi sul campo è stata eseguita una fase di studio preliminare dei costoni individuati per verificare se le condizioni fisiografiche e logistiche sono idonee all'esecuzione di rilievi mediante *laser scanner* per la definizione di un dettagliato modello digitale delle superfici esposte e dei piani di discontinuità meccanica (fratture, faglie, piani di strato o di *layering*, ecc.). Tale analisi ha consentito di individuare le criticità presenti lungo i costoni rocciosi e di definire i sistemi integrati di monitoraggio in sito (Fig. 1).

3. La rilevazione dei precursori di frane di crollo in roccia

Rilevare i precursori di frana è un obiettivo molto difficile e delicato, anche se risulta fondamentale nell'ambito dei sistemi di *early warning* nella mitigazione del rischio. In letteratura le frane sono state raggruppate in 5 principali tipologie [Cruden e Varnes, 1996]: frane per crolli e ribaltamenti, caratterizzati da caduta libera di blocchi di roccia, detrito o terra; frane per scorrimenti rotazionali, con movimenti di rotazione intorno ad un punto, esterno al versante e al di sopra del baricentro della massa in movimento; frane per scorrimenti traslazionali, con un movimento di traslazione lungo una superficie di scivolamento prevalentemente planare; frane da colate lente, con movimento dato dalla deformazione plastica e frane per colate rapide, in cui il materiale è scarsamente coesivo.

Le diverse tipologie di frana non sempre vengono precedute da fenomeni precursori identificabili, molte infatti sono improvvisi ed imprevedibili. Ciò nonostante si sta facendo un notevole sforzo in campo scientifico per poter giungere alla realizzazione di un valido sistema di *early warning*, che vede la collaborazione di diverse figure scientifiche quali geologi, fisici ed ingegneri.

Le frane maggiormente investigate dalla comunità scientifica sono quelle ad evoluzione rapida, poiché mettono in serio pericolo la vita delle persone. Si tratta delle frane da crollo/ribaltamento; di seguito si elencano alcuni dei fenomeni precursori che le caratterizzano ed i sensori sperimentali utilizzati per il monitoraggio.

Sono molto poche le conoscenze relative ai fenomeni precursori che caratterizzano queste tipologie di frana, tant'è che in tutto il mondo non esiste ancora un sistema di *early warning* affidabile che possa essere impiegato per la salvaguardia degli elementi a rischio. Di certo, si tratta di frane molto rapide in cui il materiale che si distacca dalla zona di nicchia impiega pochi secondi per raggiungere quella di deposito, a seconda delle locali situazioni morfologiche. Esse avvengono nell'ambito di costoni rocciosi fratturati, costituiti da un singolo litotipo, oppure da un'alternanza di litotipi con diverse proprietà meccaniche, e perciò con diversa risposta agli agenti erosivi.

I fattori predisponenti all'innescò sono molteplici e dipendono sia dalla litologia esposta che dall'ambiente naturale in cui si colloca il costone. Attualmente, i sistemi di monitoraggio sperimentali si stanno concentrando sull'osservazione di fenomeni pre-rottura che consistono prevalentemente in deformazioni fragili degli ammassi rocciosi. A seconda del campo di stress che agisce sull'ammasso, le deformazioni fragili possono consistere nell'apertura di fratture *ex-novo* oppure nell'ampliamento di quelle pre-esistenti.

Gli attuali sistemi di monitoraggio sperimentali, testati in zone come la catena alpina, mirano ad individuare e possibilmente a misurare le piccole deformazioni ritenute precursori di rotture più importanti, attraverso diversi tipi di sensori, come accelerometri, trasduttori piezoelettrici, estensimetri, clinometri e sensori in fibra ottica capaci di rilevare i piccoli movimenti degli ammassi rocciosi o i segnali acustici ed accelerometrici emessi dalla propagazione delle rotture nella roccia. Nuove tecnologie, inoltre, si stanno testando anche nel campo dell'interrogazione dei sensori e nella trasmissione dei dati, in quanto spesso le zone di innescò sono collocate in aree di difficile accesso o sono soggette ad atti vandalici, per cui c'è bisogno di avere il dato da remoto e nel più breve tempo possibile. Spesso, ai sensori appena elencati vengono associati ulteriori sensori che monitorano le condizioni fisiche della roccia, come l'umidità o la temperatura, le cui oscillazioni determinano variazioni volumetriche dell'ammasso che risultano propedeutiche all'instabilità.

3.1. Individuazione dei parametri fisico-ambientali dei sistemi di monitoraggio

Le condizioni fisiche dei costoni rocciosi, su cui sono stati eseguiti i rilievi con tecnica *laser scanner* e l'analisi geologico-strutturale per l'individuazione dei siti di installazione della sensoristica tradizionale ed innovativa in fibre ottiche, sono caratterizzate dai seguenti parametri fisico-ambientali:

- (i) **Litologia** - Le rocce che costituiscono i costoni presenti nell'area pilota sono dei tufi originati da flussi piroclastici occorsi durante le eruzioni esplosive. Essi sono costituiti dalle seguenti componenti: pomice, scorie ed inclusioni litoidi immerse in una matrice cineritica, costituendo nell'insieme una roccia tenera con livelli di variabile competenza. L'ammasso roccioso è interessato da una fitta rete di discontinuità di varia natura con spaziatura generalmente dell'ordine metrico. Localmente, essi sono ricoperti da depositi piroclastici incoerenti, costituiti prevalentemente da pomice e scorie. Dal punto di vista dell'erosibilità, i tufi risentono in maniera particolare dell'azione operata dall'acqua, sia di precipitazione che marina, e dalle variazioni termiche stagionali e giornaliere che inducono deformazioni volumetriche. Dove l'azione

dell'acqua di infiltrazione si concentra lungo i piani di discontinuità pre-esistenti, si possono formare fratture beanti che possono isolare blocchi di varie dimensioni. Esse sono organizzate in sistemi, spesso ortogonali fra di loro, che favoriscono i fenomeni di crollo e ribaltamento. Nell'area, i singoli ammassi rocciosi sono soggetti all'azione sismica, non trascurabile a causa della presenza di faglie attive e di fenomeni vulcanici, vulcanotettonici e bradisismici. I depositi piroclastici pomicei e scoriacei, invece, essendo sciolti e facilmente erodibili, possono essere rimobilizzati dalle acque di ruscellamento superficiale. Le pomici, in particolare, sono caratterizzate da un basso peso specifico dovuto all'elevata porosità che le caratterizza. Localmente, sono presenti dei suoli che si sono evoluti dalle coperture piroclastiche stesse, e sono soggetti a saturazione e fluidificazione in particolari condizioni pluviometriche.

- (ii) **Pendenza** - Le pendenze dei costoni sono generalmente di tipo sub-verticale. Nei tratti a contatto con il mare, le rocce possono essere aggettanti a causa dello sgrottamento operato dal moto ondoso oppure per il verificarsi di crolli nelle porzioni sottostanti.
- (iii) **Esposizione** - Per i costoni presenti lungo il Golfo di Pozzuoli, l'esposizione prevalente è verso E-NE, tranne che per il costone di Coroglio esposto a W-SW. Per quelli localizzati lungo il litorale domizio le esposizioni prevalenti sono verso SW e NW.
- (iv) **Temperatura** - Il regime delle temperature annuali è caratterizzato da valori massimi nel periodo estivo, con picchi maggiori di 35°C, e minimi nel periodo invernale, con valori vicini allo zero. Le escursioni termiche giornaliere possono superare i 20°C nel periodo primaverile ed in quello autunnale. I processi di gelivazione, seppur minimi, sono comunque presenti alcuni giorni all'anno.
- (v) **Umidità** - L'umidità può oscillare in un intervallo compreso tra il 10% ed il 98% durante tutto l'anno, mentre giornalmente può variare anche del 70%. I giorni più umidi sono quelli compresi nei mesi di agosto e settembre.
- (vi) **Vento** - La velocità del vento può variare da 0 a circa 16 m/s, in base alla posizione del costone.
- (vii) **Azione delle onde** - Il vento forte può indurre potenti mareggiate che possono accelerare l'erosione delle falesie a contatto col mare.

In particolare i sensori basati sulla tecnologia delle fibre ottiche, la cui installazione lungo i costoni tufacei è in fase di progettazione, saranno utilizzati per monitorare i parametri fisici che possono costituire i precursori di evento rispetto ai fenomeni di instabilità, come i crolli ed i ribaltamenti. Gli stessi dovranno essere predisposti in maniera tale da considerare le variabili fisiche (umidità, temperatura, vento, ecc.) che potrebbero compromettere le misure. La taratura dei dati ottenuti e la loro affidabilità verrà effettuata attraverso un sistema di monitoraggio parallelo, basato su sensori tradizionali come accelerometri, estensimetri, fessurimetri, misure topografiche ed altro.

4. Inquadramento geologico-strutturale e geomorfologico della Caldera dei Campi Flegrei

Il Distretto Vulcanico dei Campi Flegrei rappresenta un'area vulcanica molto vasta nella quale rientrano la città di Napoli, le isole di Procida e di Ischia e i Campi Flegrei. La Caldera dei Campi Flegrei è il risultato di due principali collassi eruttivi (Fig. 1). La prima di queste due eruzioni catastrofiche è stata quella dell'Ignimbrite Campana (IC) [Rosi e Sbrana, 1987] risalente a 39000 anni fa, secondo studi recenti di Fedele et al., [2008]. I suoi depositi ricoprono un'area circa di 30000 km², mentre è stato stimato che il volume di magma eruttato è di circa 150 km³ [Fisher et al. 1993; Civetta et al., 1997]. La seconda grande eruzione è stata quella del Tufo Giallo Napoletano (TGN) [Orsi et al., 1996], risalente a 14900 anni fa [Deino et al., 2004; Smith et al., 2011]. Essa ricopre un'area di circa 1000 km² con un volume di materiale emesso superiore a 40km³ [Wohletz et al., 1995].

L'attività eruttiva della caldera pre-IC, era caratterizzata da magmi eruttati da bocche situate esternamente all'attuale struttura calderica ed il sistema magmatico era caratterizzato da un sistema aperto. Successivamente la trasformazione in un sistema chiuso ha portato, all'enorme eruzione dell'IC [Pappalardo et al., 1999]. Tra le due attività eruttive, quella dell'IC e del TGN, i prodotti emessi sono il risultato di eruzioni che vanno dalle idromagmatiche a quelle esplosive [Orsi et al., 1996]. Successivamente all'eruzione del TGN Di Vito et al. [1999] hanno suddiviso l'attività in tre epoche. La prima epoca segue l'eruzione dei TGN fino a 9500 anni fa ed è stata caratterizzata da 34 eruzioni esplosive. La seconda epoca va da 8600 a 8200 anni fa con sei eruzioni esplosive e infine la terza epoca dai 4800 ai 3800 anni fa, ed ha prodotto 16

eruzioni esplosive e 4 eruzioni effusive. Ciascun'epoca si distingue per il differente intervallo di accadimento degli eventi eruttivi, oltre che dalla localizzazione delle bocche eruttive in relazione alla caldera dei Campi Flegrei. Infine studi di Smith et al. [2011] sull'analisi geochimica mostrano un grado di evoluzione differente tra i magmi appartenenti alle varie epoche passando da un magma meno evoluto per quelli appartenenti alla prima epoca a magmi più evoluti per quelli della terza epoca. Il sistema è tutt'oggi ancora attivo come testimoniato dall'eruzione del Monte Nuovo del 1538 e dalle due crisi bradisismiche del 1970-1972 e del 1982-1984 e dall'attività fumarolica sparsa. Secondo D'Auria et al. [2011] analizzando il periodo dopo l'ultima crisi bradisismica ci sono stati almeno cinque episodi di sollevamento del suolo accompagnato da eventi sismici. La micro-sismicità studiata è quella data dai *long period*, ovvero eventi con una bassa frequenza ed associati al trasferimento dei fluidi in superficie che determinano le fumarole.

5. Studio geologico e geo-strutturale del sito di Coroglio

La prima attività finalizzata all'approfondimento dello studio geologico dell'area di Coroglio è consistita nell'inquadramento topografico dell'area, con l'identificazione dell'ambito in cui si localizzano i fenomeni di dissesto e la loro individuazione su una carta topografica in scala adeguata. A tal fine i primi supporti utili per inquadrare e localizzare i fenomeni sono stati la Carta Topografica dell'IGM in scala 1:25000 e la Carta Tecnica Regionale (CTR) e l'ortofoto della Regione Campania (ORCA in scala 1:5000. Inoltre il Comune di Napoli dispone di cartografia topografica in scala 1:1000 da rilievi aerofotogrammetrici di dettaglio.

Una base cartografica di dettaglio è necessaria per evidenziare tutte le caratteristiche significative (geologiche, geomorfologiche, geostrutturali ed idrogeologiche, ecc.) del territorio e per individuare e localizzare gli aspetti del rilievo di dettaglio ed ubicare sondaggi e/o altre indagini pregresse. In fase di monitoraggio essa inoltre consente l'ubicazione precisa degli strumenti installati e dei punti di misura definiti.

In questa fase preliminare si è condotta una ricerca dei dati disponibili in letteratura scientifica, quali carte geologiche e pubblicazioni specifiche, e tecnica, quali relazioni tecnico-professionali a corredo di progetti di intervento, studi geologici per lavori di pianificazione sia a scala comunale (PRG, PUC, ecc.) che provinciale, regionale e di AdB.

I rilievi diretti di superficie sono stati eseguiti, sulla base cartografica individuata, finalizzando le osservazioni a tutti gli aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici, strutturali degni di nota e significativi dal punto di vista dell'oggetto delle osservazioni (tipo di dissesto, tipo di terreni coinvolti ecc.).

5.1. Geologia dell'area di Coroglio

La falesia di Coroglio (Figg. 3-7) è il fronte roccioso esposto verso SW della collina di Posillipo battuta dal mare. La collina di Posillipo è un altro strutturale posizionato sul bordo orientale della CCF. Essa rappresenta l'evoluzione morfologica del bordo calderico del TGN. Litologicamente è costituita da un tufo estremamente litificato, associato all'eruzione del TGN, su cui si poggiano i prodotti dell'attività più recente dei Campi Flegrei [Rittmann, 1950]. La punta più estrema della collina è formata dal cono di tufo di Trentaremi (20000 a.). Tale cono è massivo e meno zeolitizzato del sovrastante tufo giallo (M. Piochi comunicazione personale). La falesia di Coroglio ha un'altezza di circa 150 m ed una larghezza di almeno 200 m. Essa risulta composta da diverse litologie, tutte di natura vulcanica, e localmente da paleosuoli. In particolare, dall'alto verso il basso sono presenti:

- (i) depositi piroclastici eterometrici sciolti, sia da caduta che da flusso;
- (ii) depositi tufacei riconducibili alla formazione del TGN, aventi una struttura massiva, con estese superfici di discontinuità che interessano la parte più esterna dell'ammasso; le stesse tendono ad isolare dei blocchi suscettibili a crolli o ribaltamenti;
- (iii) lave vescicolate e stratificate in cui sono presenti alcune cavità formate dall'azione erosiva del mare.

Tra gli elementi a rischio si riconoscono la spiaggia sottostante, il sovrastante Parco Virgiliano e via Coroglio (Figg. 3-7).



Figura 3. Immagine satellitare (Google Maps[®]) con indicata l'area oggetto di studio.



Figura 4. Vista prospettica della collina di Posillipo (Google Map[®]).



Figura 5. Veduta del costone di Coroglio dall'isola di Nisida.



Figura 6. Veduta del costone di Coroglio dall'istmo per Nisida.



Figura 7. Vista laterale della falesia di Coroglio.

5.2. Rilievi topografici di dettaglio 3D mediante *Terrestrial Laser Scanner (TLS)*

L'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero (IAMC) del CNR ha eseguito, con il supporto tecnico di Stage srl, il rilievo tridimensionale realizzato con tecnica TLS del sito di Coroglio (Napoli). I rilievi con la tecnica laser scanning rientrano tra le analisi svolte alla scala di dettaglio.

Le diverse attività di progetto si sono susseguite nel seguente ordine:

- (i) Sopralluoghi finalizzati alla definizione delle problematiche specifiche dei siti d'indagine e delle metodologie di rilievo e analisi dei dati più idonee;
- (ii) Pianificazione delle strategie di rilievo e progettazione del rilievo tridimensionale *laser scanning* e GPS-GNSS;
- (iii) Materializzazione di una rete di inquadramento topografico per ogni sito, composta da un numero di capisaldi in numero variabile e da *target*, e rilievo a mezzo di stazione totale (*total station* - TS) dei capisaldi materializzati e dei *target* installati nell'area di rilievo;
- (iv) Rilievo geometrico tridimensionale (con metodologia *laser scanning* - TLS) dell'area;
- (v) Rilievo GNSS della rete di capisaldi materializzati utilizzando la rete permanente ITALPOS, collegata alla Rete Dinamica Nazionale (RDN) per ogni sito;
- (vi) Trattamento dei dati derivanti dai rilievi (TS, TLS, GNSS);
- (vii) Realizzazione di un modello tridimensionale (*mesh* triangolare) di ogni sito, escludendo le aree intensamente vegetate, per l'analisi geostrutturale su piattaforma GIS;
- (viii) Analisi di ogni sito in ambiente GIS per la definizione di modelli 3D contenenti informazioni giacitureali;
- (ix) Analisi giacitureale su basi statistiche per la definizione dei *sets* geostrutturali principali per il sito di Coroglio e rilievo in parete di dati geostrutturali;
- (x) Realizzazione di *Triangulated Irregular Network (TIN)* e *Digital Elevation Model (DEM)* prospettici per ogni sito;

- (xi) Elaborazione e restituzione di cartografia di base prospettica (curve di livello, ortofotocarta) in scala di dettaglio (1:500) per il sito di Coroglio.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati spaziali è la seguente:

- (i) Stazione Totale mod. Leica TS12 3" R1000 per il rilievo celerimetrico;
- (ii) Laser Scanner mod. Riegl VZ1000 corredato di fotocamera reflex mod. Nikon D90;
- (iii) GNSS, mod. Leica Viva GS08plus.

5.2.1. Tecnica laser scanning e procedura di rilievo

La tecnica del *laser scanning* rappresenta un efficiente metodo per la digitalizzazione e la modellizzazione di porzioni di versanti [Abellán et al., 2010; Abellán et al., 2009]. La digitalizzazione avviene in modo discreto attraverso la misurazione della posizione di un elevato numero di punti.

La tecnica del laser scanning si basa sul metodo di misurazione delle distanze per mezzo di onde elettromagnetiche ed è anche noto con il nome LIDAR (*Light Detection and Ranging*); lo strumento che permette tali misurazioni è il Laser Scanner. Gli strumenti delle principali case costruttrici presenti sul mercato sono estremamente precisi ed affidabili e possono misurare la posizione di punti ad elevata velocità e con un'accuratezza e precisione dell'ordine del millimetro. La meccanica dello strumento permette di materializzare una direzione di acquisizione mentre il distanziometro laser acquisisce una distanza lungo la direzione stessa.

La posizione di ogni singolo punto è contraddistinta dalle posizioni spaziali (x, y, z) acquisite nel sistema di riferimento avente origine nel centro di acquisizione strumentale; essi inoltre hanno anche una posizione matricale (righe e colonne) che danno alla nuvola di punti una struttura ordinata. Il risultato dell'acquisizione è un insieme di punti sparsi nello spazio secondo una maglia regolare che comunemente viene chiamata "nuvola di punti strutturata". Quanto maggiore è la risoluzione impostata per l'acquisizione, tanto più densa sarà la nuvola di punti e quindi più elevato il dettaglio della rappresentazione. La risoluzione delle scansioni varia in base al tipo di strumentazione e alle finalità dell'impiego, da valori millimetrici a valori centimetrici.

Lo strumento utilizzato per i rilievi in oggetto è un laser scanner a tempo di volo modello Riegl VZ1000, caratterizzato da una portata prossima ai 1400m con albedo dell'90%. Il sistema laser scanner utilizzato è corredato di compensatore inclinometrico biassiale e *software* di gestione *on board* che permette di utilizzare un metodo di posizionamento su punti di coordinate note essendo provvisto anche di piombo laser. Questo strumento sfrutta la tecnica utilizzata e consolidata per gli scanner da aereo (LIDAR), basata sulla misura della completa forma dell'onda del segnale laser (*full wave form*) e sull'utilizzo di tutti i segnali ricevuti. Quando un raggio laser colpisce il bordo di un oggetto una parte del segnale torna indietro e una parte continua lungo la sua direzione, alla fine l'impulso laser verrà riflesso diverse volte lungo la stessa direzione producendo diversi echi. Questa caratteristica dello strumento, definita multi-target, permette di "attraversare" le aree parzialmente coperte (Figura 10). I differenti echi che vengono registrati sono classificati a secondo della loro progressione in "primi", "ultimi" e "altri". [Caputo et al., 2014]. Ciò permette, in fase di trattamento del dato laser, di poter selezionare e distinguere in modo automatico tutti i segnali ricevuti.

Lo strumento utilizzato è un laser scanner RIEGL VZ1000 (Fig. 8). Le principali caratteristiche si possono sintetizzare nell'elenco seguente:

- Portata fino a 1400 m con superfici ad elevata riflettività;
- Fotocamera metrica esterna ad alta definizione, calibrata;
- Riduzione delle zone d'ombra dovute alla vegetazione (*Full Wave Form*);
- Sensore inclinometrico integrato e piombo laser;
- Antenna GPS integrata;
- Batteria integrata;
- Memoria interna 32 GB;
- Alta velocità di acquisizione 122.000 punti/sec;
- Angoli di scansione: 360° orizzontale – 100° verticale;
- Precisione: 8mm;
- Ripetibilità: 5mm;
- Pesi contenuti (<10Kg).



Figura 8. Il laser scanner RIEGL VZ1000 utilizzato per i rilievi.

La **procedura di rilevamento** con tecnica laser scanning si è sviluppata nelle seguenti fasi:

- Definizione dei punti di stazione dello strumento (*scan positions*);
- Fase di acquisizione dei dati: scansioni laser;
- Reportage fotografico con fotocamera calibrata esterna digitale ad alta risoluzione;
- Rilievo topografico d'appoggio;
- Trattamento del dato laser;
- Fase di elaborazione dei dati laser raccolti per la modellazione tridimensionale;
- Elaborazione del modello tridimensionale per estrapolare dati giaciturelle delle discontinuità dell'ammasso roccioso e per l'estrazione di parametri morfometrici necessari all'analisi geostrutturale;
- Analisi statistica dei dati giaciturelle e confronto con i dati geostrutturali raccolti in parete;
- Elaborazione della cartografia di base e derivata.

Il **processamento dei dati laser** (Fig. 9) consiste nelle seguenti operazioni:

- Pulizia delle scansioni (vegetazione, antropico);
- Registrazione delle scansioni;
- Filtraggio delle scansioni (*noise*);
- Georeferenziazione;
- Modellazione mesh;
- Restituzioni bidimensionali in ambiente CAD-GIS.

Quanto maggiore è la risoluzione impostata per l'acquisizione, tanto più densa sarà la nuvola di punti e quindi migliore il dettaglio della rappresentazione. La risoluzione delle scansioni variano in base al tipo di strumentazione e alle finalità dell'impiego, da valori millimetrici a valori centimetrici.

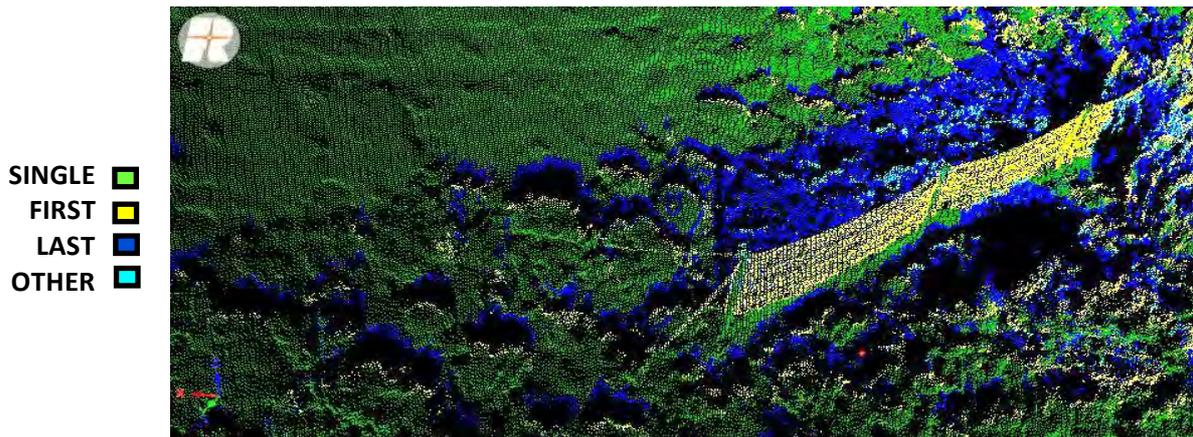


Figura 9. Un particolare della nuvola di punti con i vari echi di ritorno. In fase di *processing* la barriera paramassi è stata eliminata in modo da considerare solo la superficie “naturale” del costone per poi realizzare il DTM.

5.2.2. I rilievi TLS di Coroglio

La campagna di rilievi è stata finalizzata alla definizione di un modello 3D per il sito di Coroglio, da cui estrapolare i dati giacitureali delle discontinuità degli ammassi rocciosi ed i principali parametri morfometrici. I rilievi sono stati condotti sui tratti di costone roccioso, ritenuti rappresentativi delle condizioni geologiche e morfologiche e delle situazioni di rischio.

Il rilievo del sito Coroglio ha coperto un'area di 250m (L) x 140m (H), ed è stato articolato in 6 scansioni con risoluzione di 5cm (Fig. 10) [Esposito et al., 2013]. Le litologie rilevate consistono in piroclastiti incoerenti parzialmente pedogenizzate, tufi in facies litoide e semi-coerente (TGN e tufi vescicolati), e detrito di versante alla sua base. Gli elementi a rischio sono una spiaggia localizzata alla base della falesia ed un parco pubblico localizzato a monte.

L'analisi preliminare dei dati ha consentito la caratterizzazione di uno dei principali piani di discontinuità individuati per il sito Coroglio (Fig. 11).

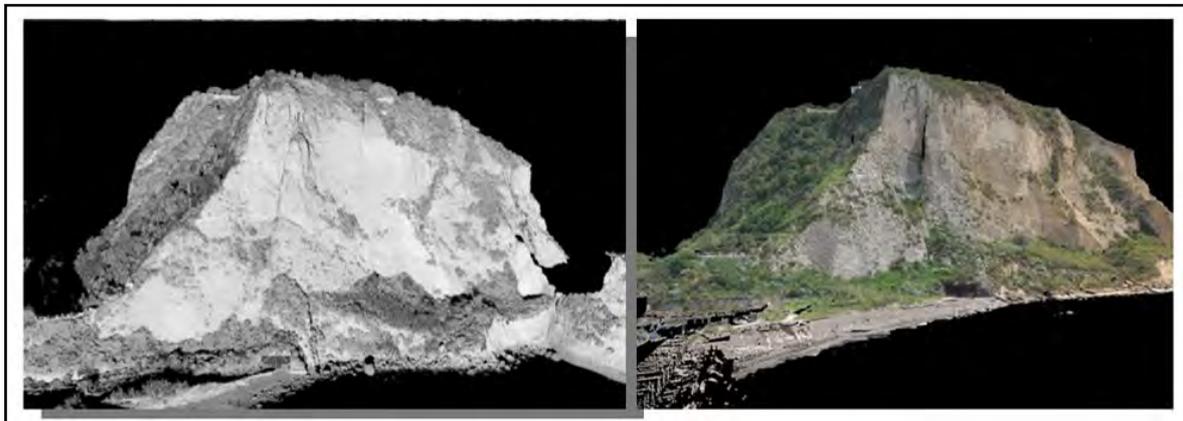


Figura 10. Sito di Coroglio: a sinistra, nuvola di punti grezza relativa al rilievo; a destra, la nuvola di punti è sovrapposta ad un'immagine in RGB scattata dalla fotocamera accoppiata al laser scanner RIEGL VZ 1000.

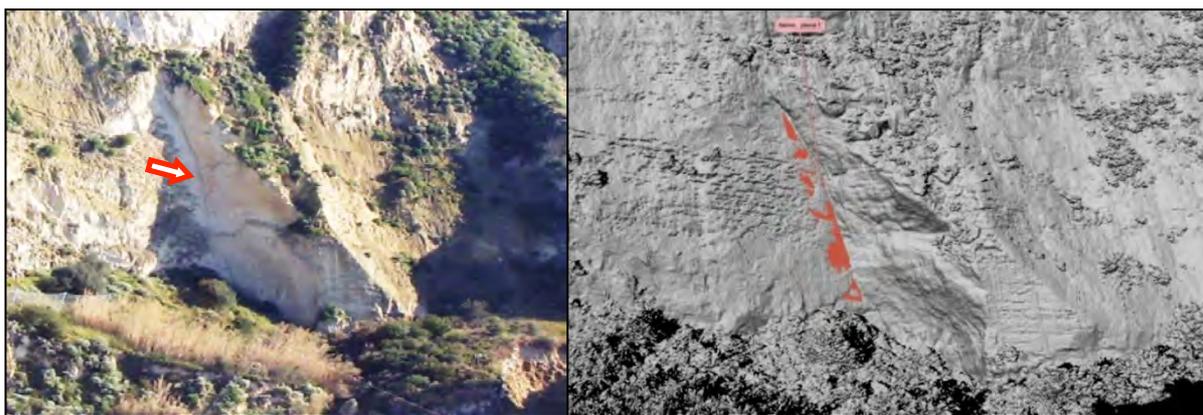


Figura 11. Caratterizzazione preliminare di uno dei piani di discontinuità individuati per il sito Coroglio.

5.3. Analisi giaciturale e geostrutturale per il sito di Coroglio

Il trattamento e l'elaborazione dei dati acquisiti ha avuto come obiettivo principale la realizzazione di un modello tridimensionale (*mesh* triangolare) del versante, derivato dalla una nuvola di punti ottenuta con i rilievi TLS, dopo che è stata opportunamente filtrata e pulita dalla vegetazione, conservando le morfologie originarie. In tal modo si è ottenuto un modello il più realistico possibile e confrontabile con dati acquisiti in campagne successive in un ottica di monitoraggio multitemporale; il modello è stato inoltre utilizzato per ricavare informazioni circa l'assetto geostrutturale dei fronti, attraverso analisi spaziali effettuate in ambito GIS.

L'analisi in chiave geostrutturale dei modelli tridimensionali ottenuti è valida e proficua in funzione del controllo strutturale che caratterizza il fronte analizzato. La suddivisione delle discontinuità in famiglie risulta basilare sia nell'ambito geomeccanico, ai fini di una caratterizzazione dei cinematismi di rottura, sia nell'ambito dell'analisi strutturale, al fine di schematizzare i rapporti geometrici tra le diverse discontinuità [Rosser et al., 2007].

Un'approfondita analisi statistica ha permesso di definire le famiglie principali di discontinuità, e la comparazione con i dati meso-strutturali acquisiti direttamente sul versante e/o di letteratura ha permesso di validare l'analisi effettuata.

Per ciascun sito rilevato, è stato effettuato inizialmente il filtraggio del rumore e della vegetazione e quindi le scansioni, tramite il *software* RiscanPro[®] (Riegl), sono state allineate in un sistema locale cartesiano derivato dal WGS84, quindi orientato rispetto al nord e dotato di quota ellissoidica. In seguito è stata realizzata una unica nuvola di punti in RGB con risoluzione di 5 cm, da cui è stata derivata una *mesh* triangolare decimata (10-20cm), che è stata successivamente importata in ArcGIS[®] sotto forma di formato poligonale e rototraslata per riportarla nel sistema assoluto UTM-WGS84. Infine, sono state eseguite in ambiente GIS analisi spaziali finalizzate alla definizione, come attributi di ogni poligono, del valore di *dip* e *dip direction* delle superfici esposte del fronte. In tal modo è stato definito un "modello giaciturale" per ogni sito, da cui sono stati realizzati DEM e TIN verticali e sono state effettuate analisi statistiche per la definizione delle famiglie di discontinuità principali. In dettaglio si riportano le risultanze delle analisi eseguite per il sito di Coroglio.

Nuvola di punti georeferita e modello 3d per analisi giaciturali - Il rilievo tridimensionale con laser scanner dotato di fotocamera esterna calibrata ha permesso di ottenere una nuvola di punti (Fig. 12) caratterizzata da un passo di campionatura di circa 5cm georeferita nel sistema UTM-WGS84. Dall'elaborazione e dal filtraggio mediante i processi di analisi su esposti si è generato un modello 3D (*mesh* triangolare) decimata a 20cm per poterla meglio gestire ed elaborare in ambiente GIS (Fig. 13).

Cartografia di base - In ambito GIS sono stati generati un TIN verticale e un DEM verticale che hanno permesso di generare una carta prospettica a curve di livello in scala 1:500 (Fig. 14). L'acquisizione di numerose fotografie con fotocamera calibrata ad alta risoluzione ha permesso di redigere, avvalendosi del modello digitale del terreno e di *software* dedicati, una ortofoto prospettica RGB in scala 1:1000. La sovrapposizione delle curve di livello con l'ortofoto redatta sul medesimo modello digitale e nello stesso sistema di riferimento ha permesso la restituzione di cartografia di base combinata (ortofoto con curve di livello) in scala 1:500, costituente una ortofotocarta prospettica RGB (Fig. 14-D). L'interpolazione della nuvola di punti opportunamente disposta in un sistema di coordinate locale parallelo al fronte ha permesso,

grazie all'utilizzo di *software* GIS, di ricavare anche un modello spaziale continuo, un DEM raster, caratterizzato da pixel contigui di dimensione costante pari a 20 cm che conservano le informazioni spaziali come posizione matricale, posizione cartesiana ed elevazione, in cui l'elevazione corrisponde alla distanza da il piano di riferimento definito, coincidente con il piano di proiezione utilizzato, nella direzione normale allo stesso; inoltre è stato realizzato un DTM (TIN) che ha come riferimento lo stesso piano (Fig. 14).

Modello giaciturale - L'integrazione numerica dei dati di acclività (immersione o *dip-angle*) con i dati di esposizione nella rappresentazione in relazione al piano orizzontale e con asse parallelo al nord geografico (*azimut* o *dip-direction*), permette di attribuire i valori giaciturali (*dip* e *dip direction*) alla *mesh* triangolare poligonale rappresentativa del fronte rispetto al Nord geografico ed al piano orizzontale (Fig. 15 e 16). Mediante l'interrogazione del modello giaciturale, si può evidenziare e selezionare, tramite una *query*, una famiglia dotata di un intervallo di *dip* e *dip direction* definiti (Fig. 17).

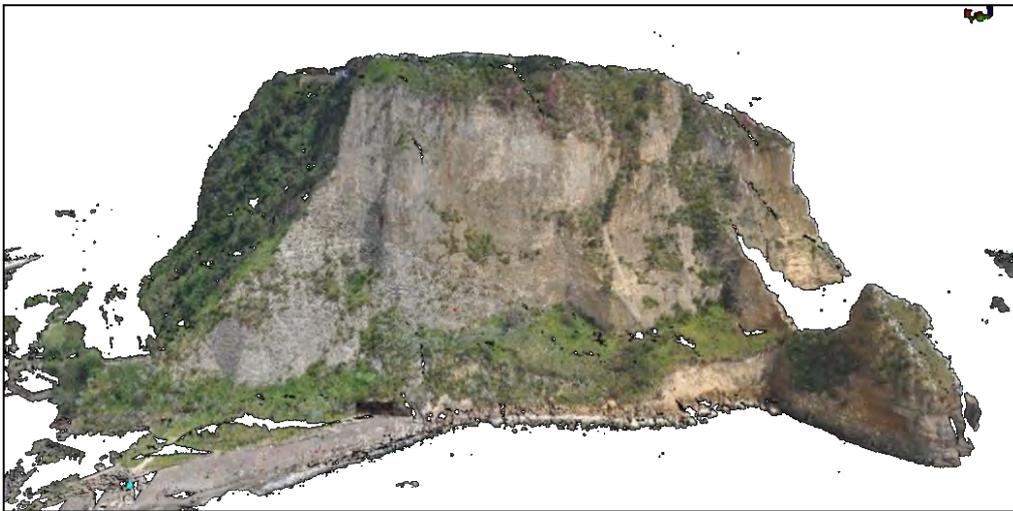


Figura 12. Nuvola di punti RGB.



Figura 13. *Mesh* triangolare RGB realizzata dalla nuvola di punti filtrata e pulita dalla vegetazione.

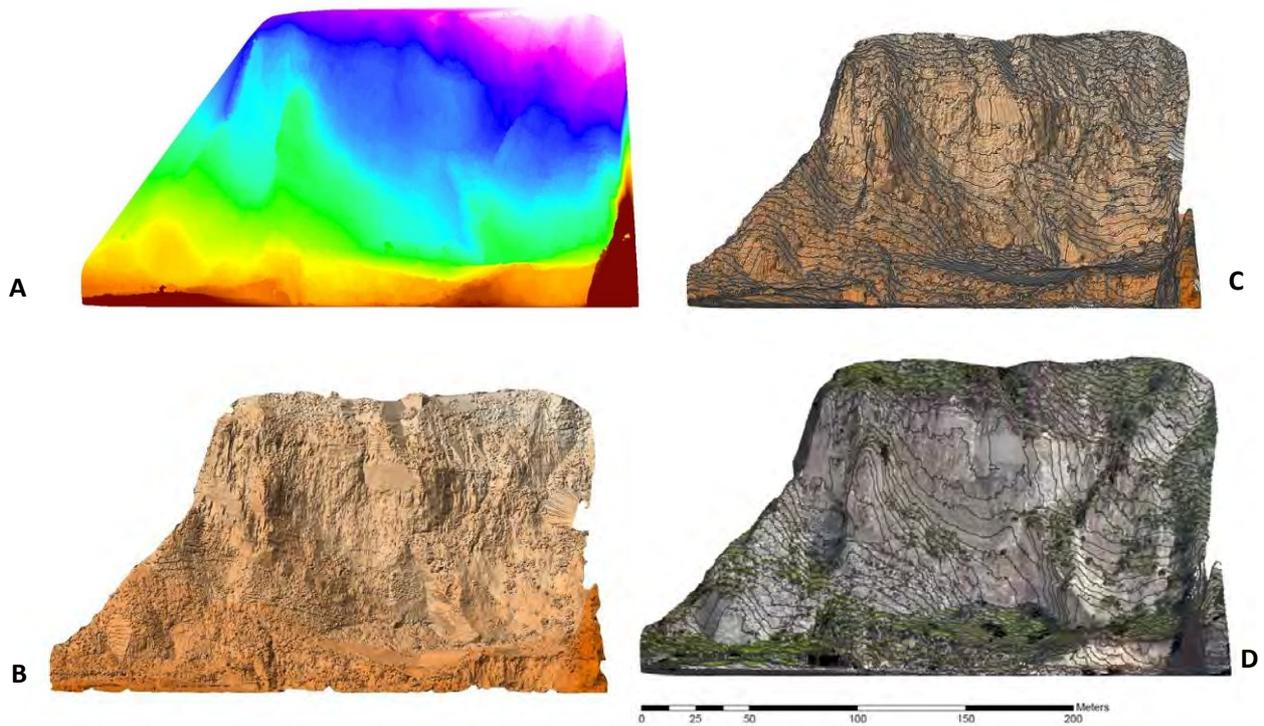


Figura 14. Restituzioni prospettiche, DEM (A), TIN (B), Curve di livello sul TIN (C) e Ortofotocarta (D), restituita in scala 1:500 e plottata in scala adattata. La scala metrica si riferisce a tutte le rappresentazioni.

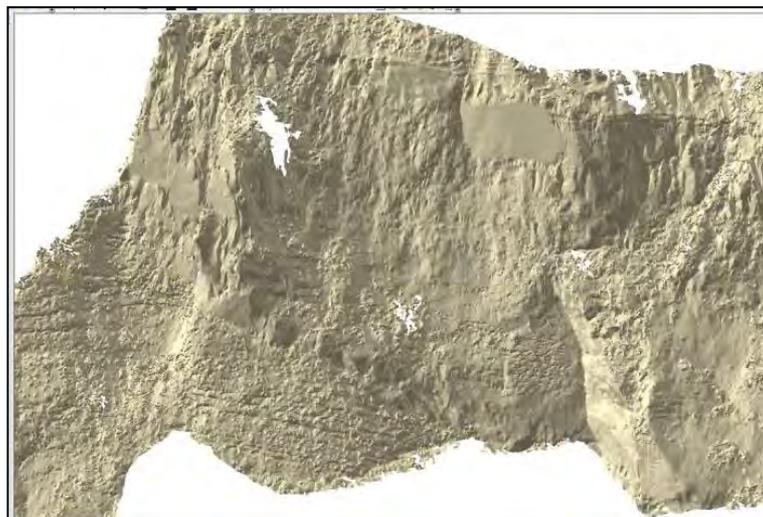


Figura 15. Mesh triangolare in ArcGIS®.

FID	Shape	ID	E_ELMIN	E_ELMAX	E_SLOPE	E_ASPECT	E_ELEV	DIPDIR	DIP
0	Polygon ZM	0	59,084	59,184	95,964	100,3	59,138	280	84
1	Polygon ZM	1	59,084	59,146	90,107	251,7	59,116	72	90
2	Polygon ZM	2	59,001	59,084	99,304	289,6	59,044	90	81
3	Polygon ZM	3	59,048	59,184	99,642	96,1	59,105	276	80
4	Polygon ZM	4	59,001	59,118	95,387	250,2	59,068	70	85
5	Polygon ZM	5	58,908	59,001	94,606	263,1	58,962	83	85
6	Polygon ZM	6	58,908	58,976	95,944	281,1	58,946	101	84
7	Polygon ZM	7	58,976	59,048	93,493	84,8	59,008	265	87
8	Polygon ZM	8	58,953	59,048	94,21	102,8	58,992	283	86
9	Polygon ZM	9	59,146	59,206	1,022	98	59,179	278	78
10	Polygon ZM	10	59,118	59,206	95,175	70,3	59,157	250	85
11	Polygon ZM	11	58,818	59,001	1,031	256,4	58,909	76	77

Figura 16. Tabella degli attributi collegata alla mesh triangolare, in evidenza i valori di dip e dip direction di ogni poligono.

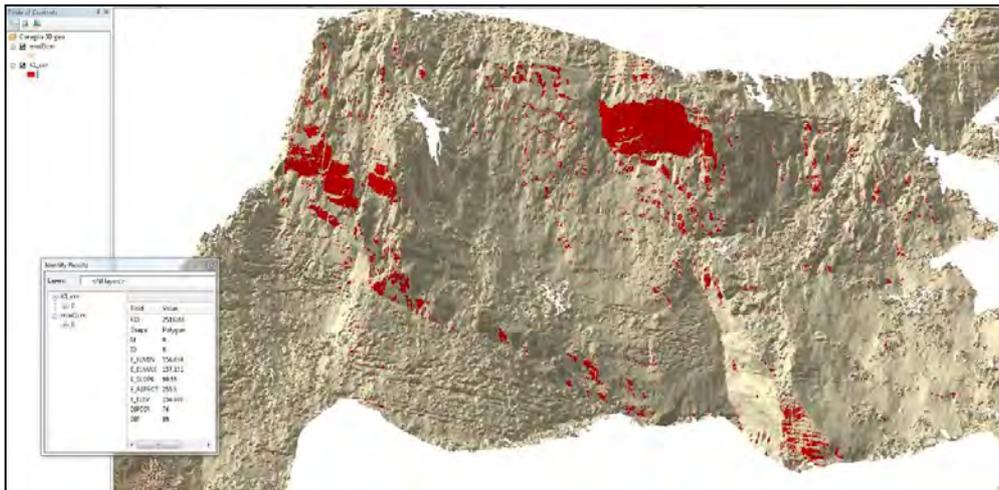


Figura 17. Interrogazione del modello giaciturale dove è stata evidenziata e selezionata una famiglia (tramite una semplice *query*) dotata di un intervallo di *dip* e *dip direction* definiti.

Carta delle giaciture prospettiche - I dati giaciturali di ogni poligono della *mesh* triangolare possono essere rappresentati per classi opportunamente scelte in funzione degli obiettivi delle analisi, e proiettati sullo stesso piano utilizzato per le rappresentazioni prospettiche per realizzare una carta geostrutturale. Questa cartografia tematica costituisce un elemento propedeutico alla elaborazione di cartografie di sintesi numeriche della suscettività all'innesco di crolli, in quanto permette di individuare, sulla base delle analisi dei cinematismi possibili derivanti dalle risultanze dei rilievi geomeccanici e geostrutturali, le zone di fronte suscettibili alle diverse tipologie di crollo garantendo la copertura dell'intero fronte analizzato.

Per il costone di Coroglio sono disponibili i risultati dei rilievi geostrutturali in parete eseguiti nell'ambito di campagne di indagini per conto del Comune di Napoli, finalizzate ad interventi di stabilizzazione del costone roccioso eseguiti negli ultimi anni. Tali rilievi hanno evidenziato la presenza di 11 famiglie di discontinuità (Tab. 1), di cui cinque misurate in parete con rilievi geostrutturali e sette misurate con metodi topografici [Froldi, 2000].

Scogliera di Coroglio-Parco Virgiliano di Posillipo Tabella riassuntiva delle discontinuità rilevate				
Set	Dip (°)	Dip Dir. (°)	Posizione rel. versante	Frequenza
Discontinuità medie statistiche misurate in parete con rilievo geostrutturale				
K1	83	81	obliqua	elevata
K2	90	260	obliqua	alta
K3	85	307	subortogonale	media
K4	81	167	obliqua	bassa
K5	88	11	subparallela	scarsa

Discontinuità medie statistiche misurate topograficamente (dalle superfici strutturali)				
KS1	80	212	subparallela	elevata
KS2	85	92	obliqua	scarsa
Superfici morfologiche misurate topograficamente				
SL1	50	211	subparallela	
SL2	37	194	subparallela	
SL3	65	284	subortogonale	
SL4	56	185	obliqua	

Tabella 1. Famiglie di discontinuità riconosciute con rilievi geostrutturali sulla parte di Coroglio [Froldi, 2000].

L'analisi statistica dei dati del modello giaciturale ha permesso di evidenziare solo i due sistemi di discontinuità principali, dato che il controllo strutturale del sito in oggetto non è elevato (Fig. 18).

La successiva analisi comparativa dei risultati dell'analisi statistica e dei dati geostrutturali raccolti [Froldi, 2000] ha permesso, mediante *query* spaziali in ambiente GIS, di riconoscere ed ubicare le principali famiglie di discontinuità sul modello giaciturale del fronte (Fig. 19).

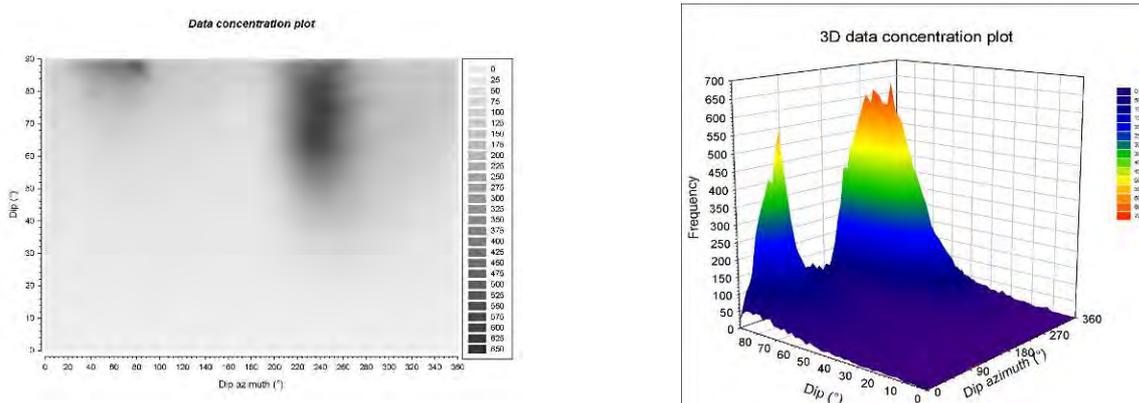


Figura 18. Analisi statistica dei dati giacitureali ricavati dall'analisi del modello giacitureale (2d e 3d).

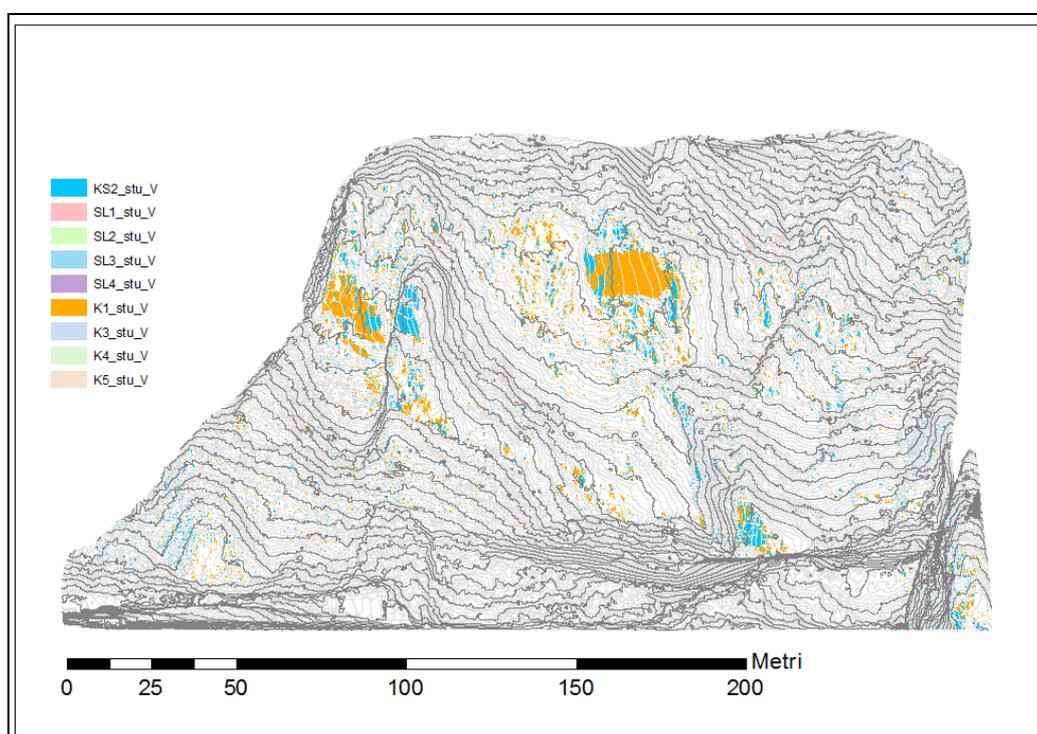


Figura 19. Carta geostrutturale con evidenza delle famiglie di discontinuità riconosciute da Frolidi [2000].

5.4. Rilievi geostrutturali in parete

Il rilievo geologico-strutturale è stato finalizzato all'ottenimento dei seguenti risultati:

- raccolta in parete di misure di orientazione spaziale delle fratture prevalenti e più significative per la definizione delle caratteristiche dello stato di fratturazione dell'ammasso roccioso;
- individuazioni di blocchi di tufo in condizioni "instabili" e con caratteristiche adatte all'applicazione di sensori di monitoraggio sia di tipo tradizionale che in fibra ottica;
- caratterizzazione delle superfici di discontinuità che delimitano i blocchi individuati;
- definizione dei possibili cinematismi di rottura.

A tal fine sono state individuate due zone di ispezione (Fig. 20); la **Zona 1** sul lato sud della falesia e la **Zona 2** sul lato nord, quest'ultima già interessata da interventi di stabilizzazione eseguiti circa 10 anni fa. I punti di rilievo della **Zona 1** sono illustrati in Fig. 21. Le schede di sintesi dei rilievi sono riportati nelle figure da 22 a 29.

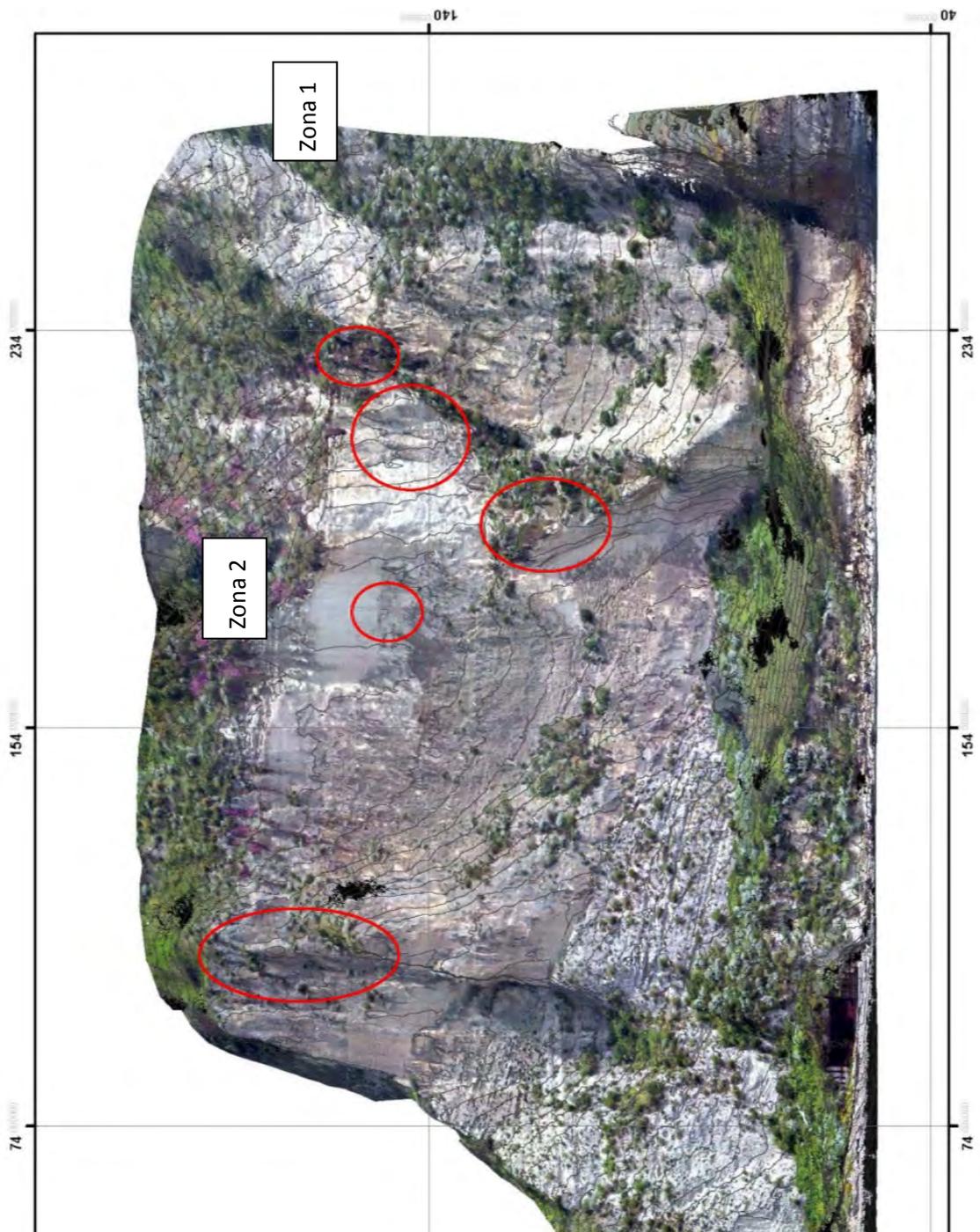


Figura 20. Zone di ispezione e di rilievo geologico-strutturale in parete.

ZONA 1

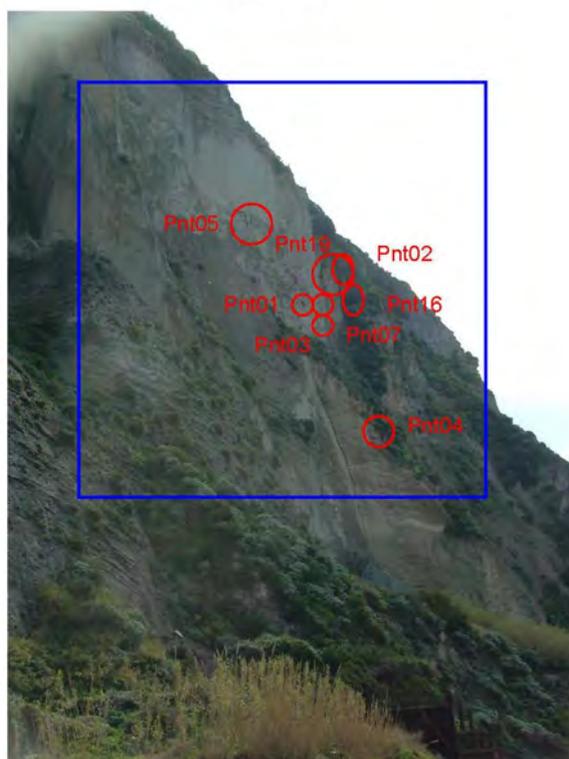


Figura 21. Punti di rilievo nella Zona n.1.

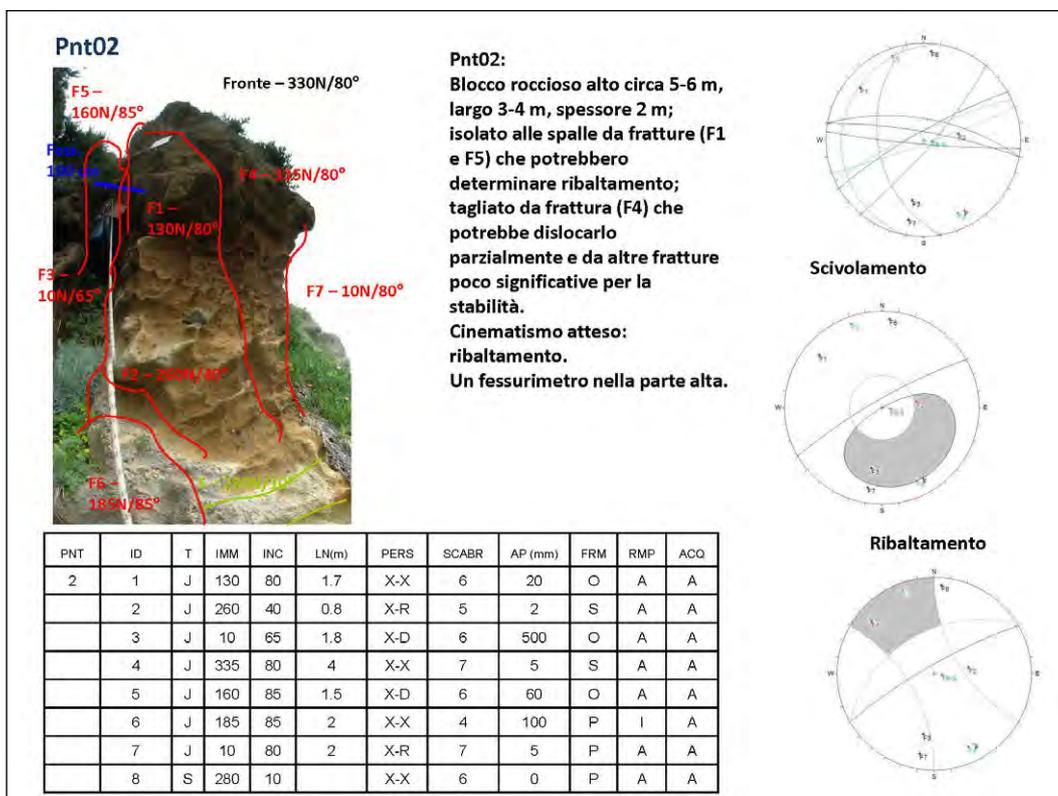


Figura 22. Scheda punto n.02.

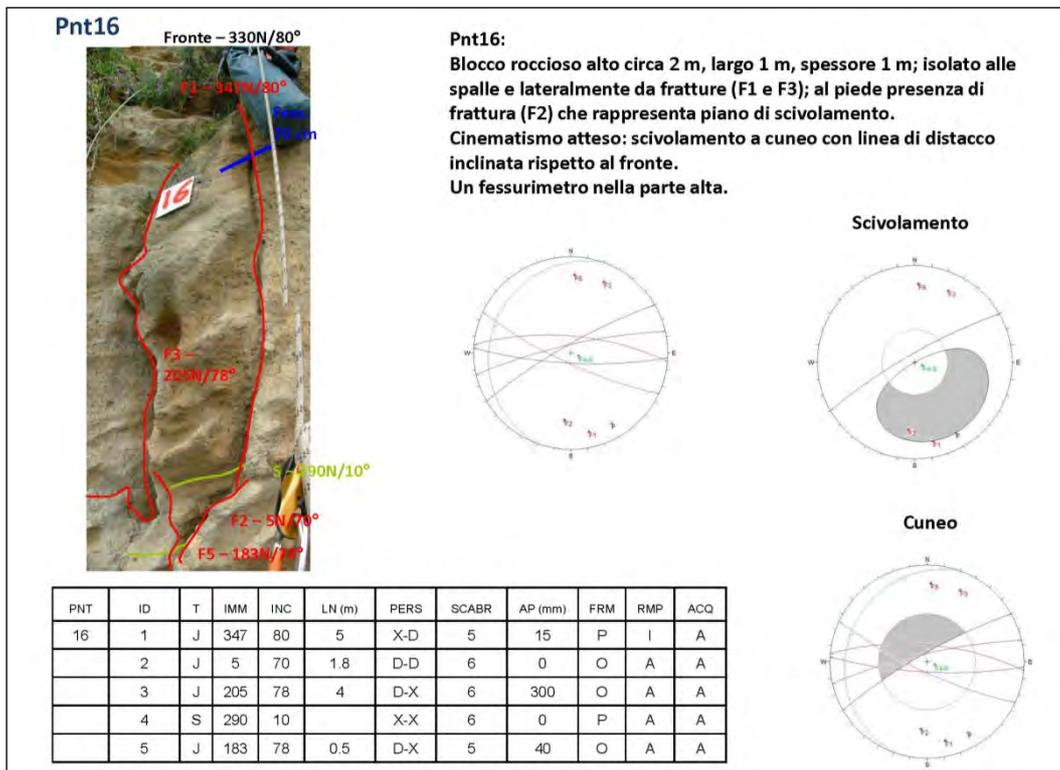


Figura 23. Scheda punto n.16.

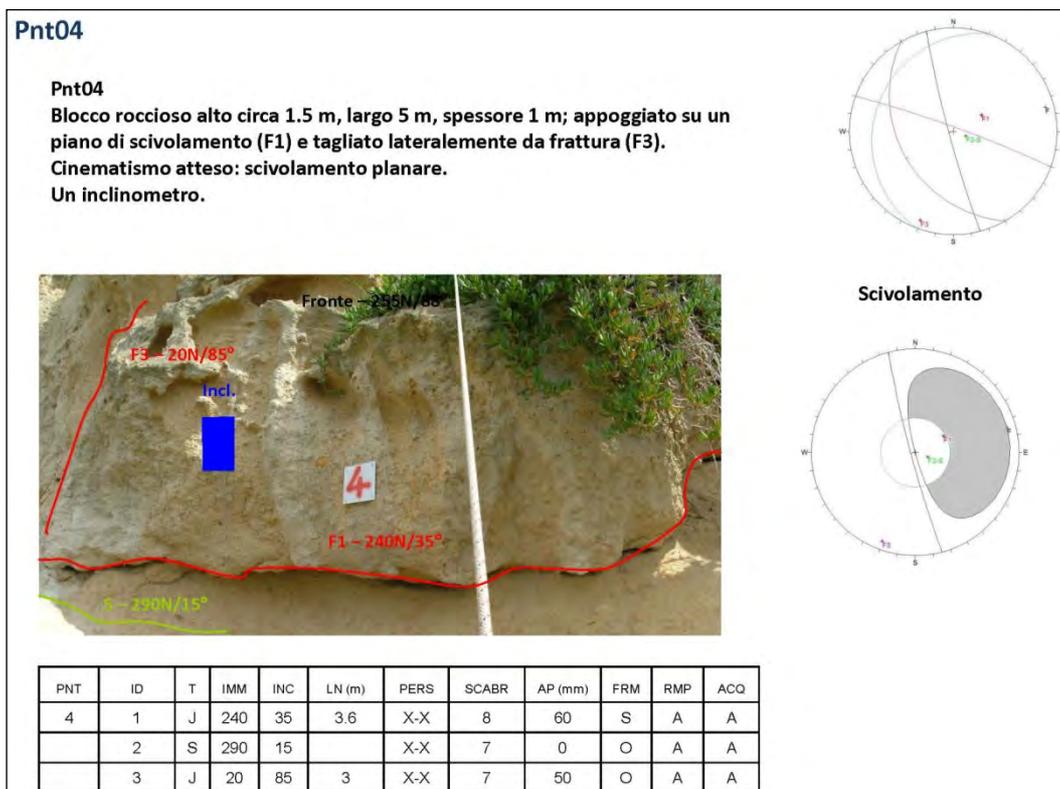


Figura 24. Scheda punto n.04.

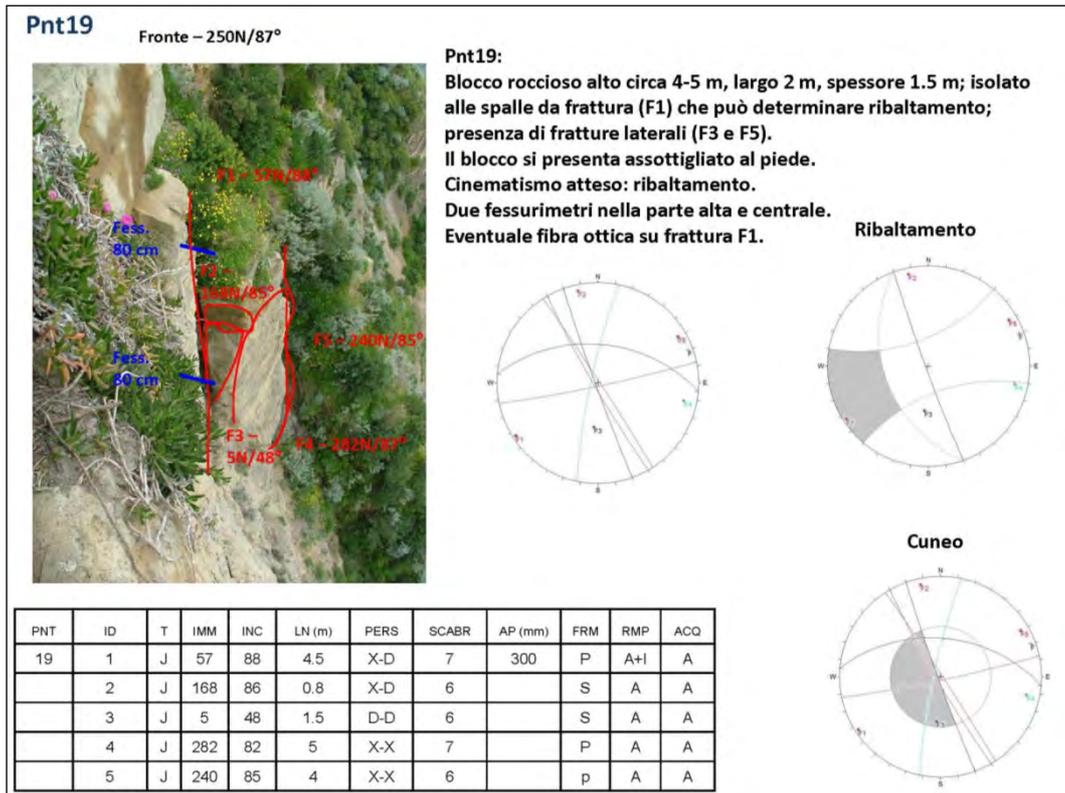


Figura 25. Scheda punto n.19.

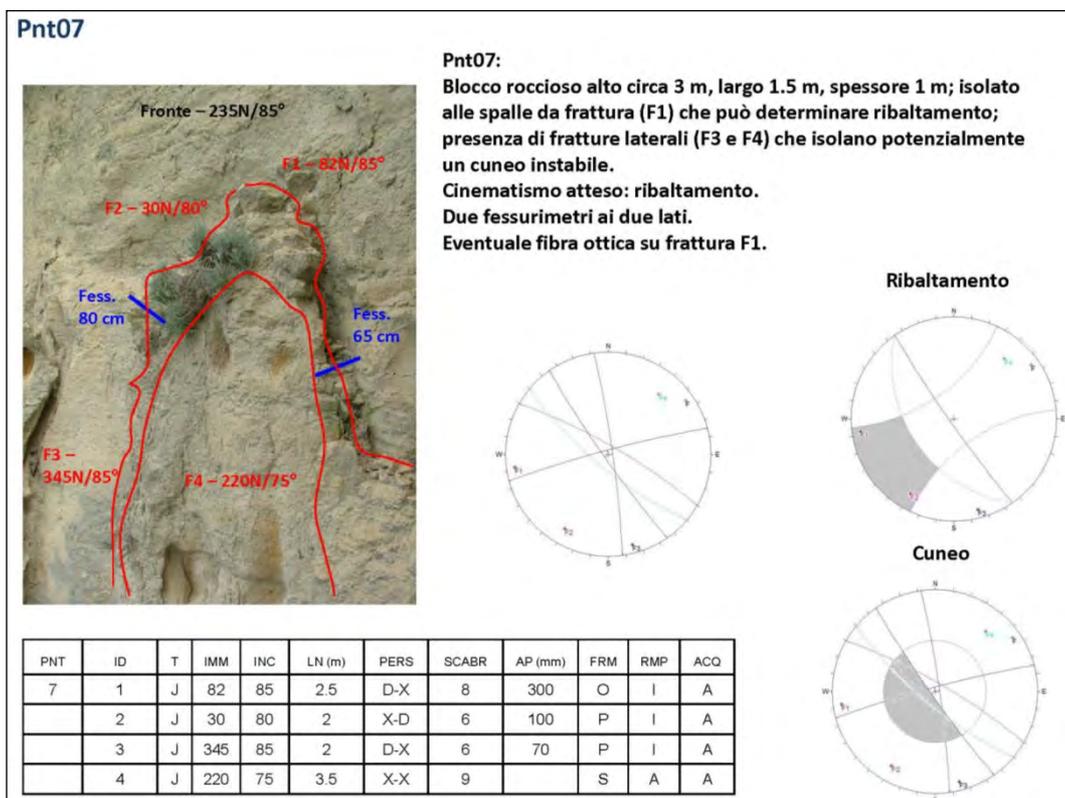


Figura 26. Scheda punto n.7.

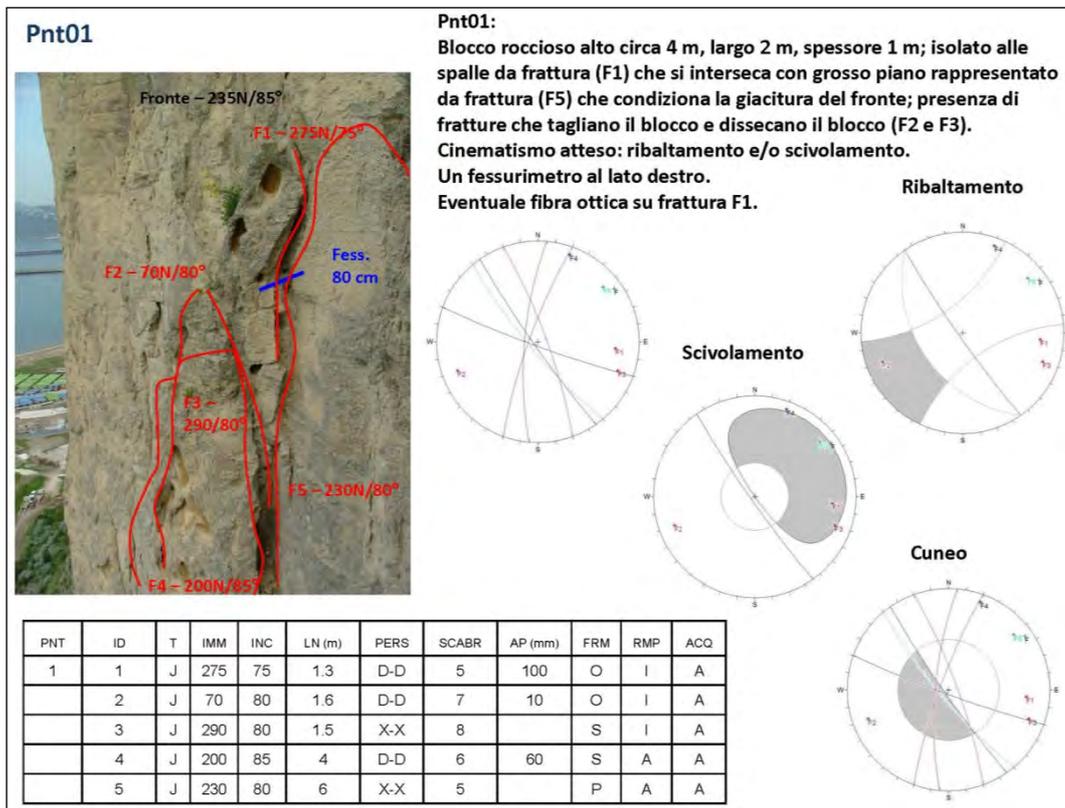


Figura 27. Scheda punto n.1.

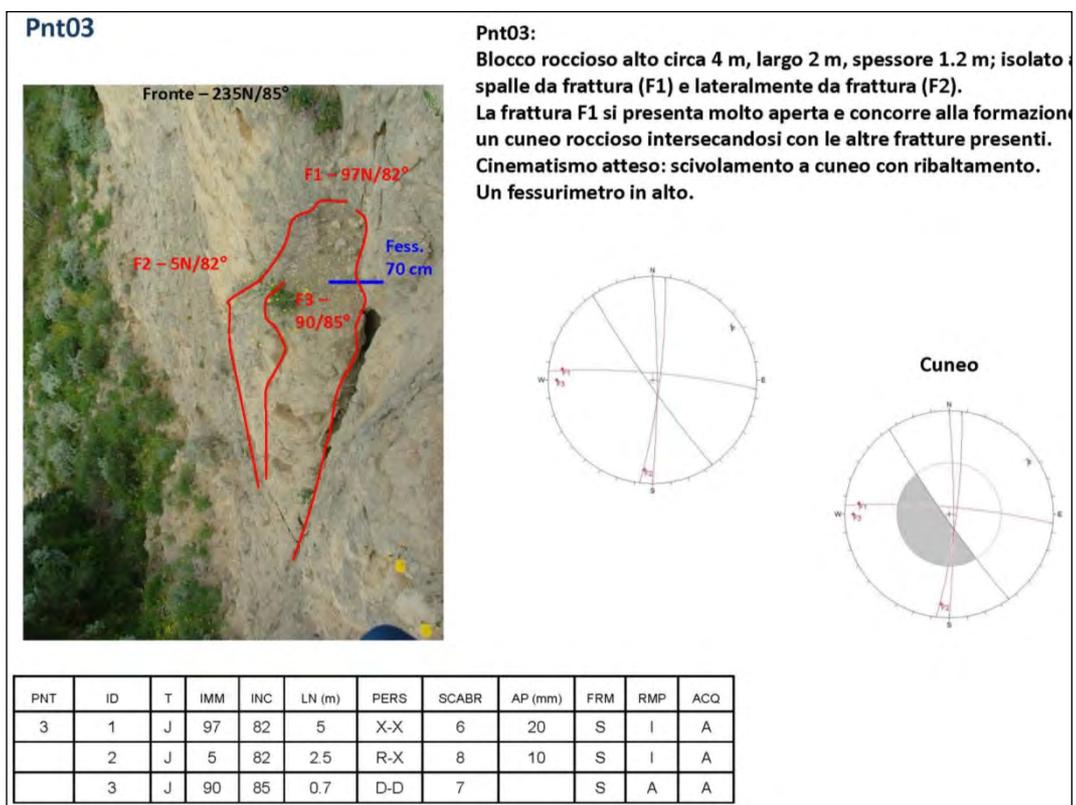


Figura 28. Scheda punto n.3.

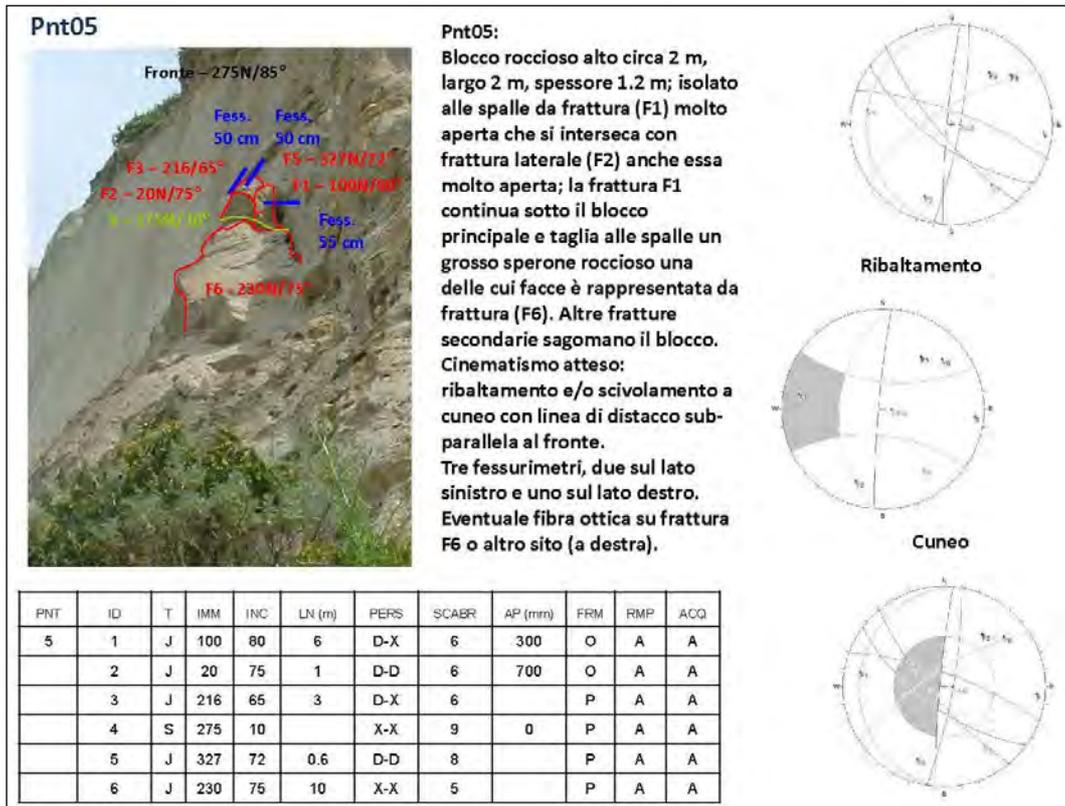


Figura 29. Scheda punto n.5.

I punti di rilievo della **Zona 2** sono illustrati in Fig. 30. Le schede di sintesi dei rilievi sono riportati nelle figure da 31 a 35.

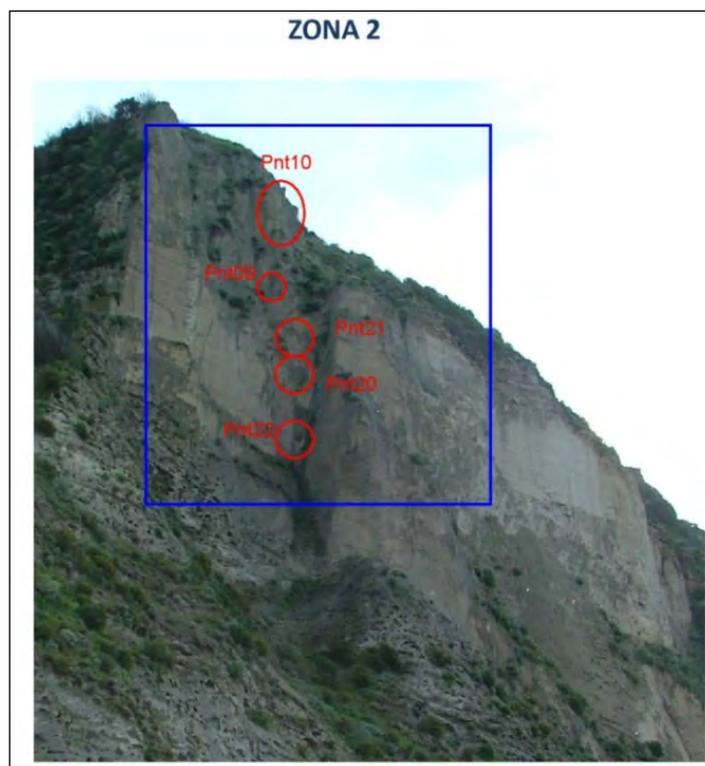


Figura 30. Punti di rilievo nella Zona n.2.

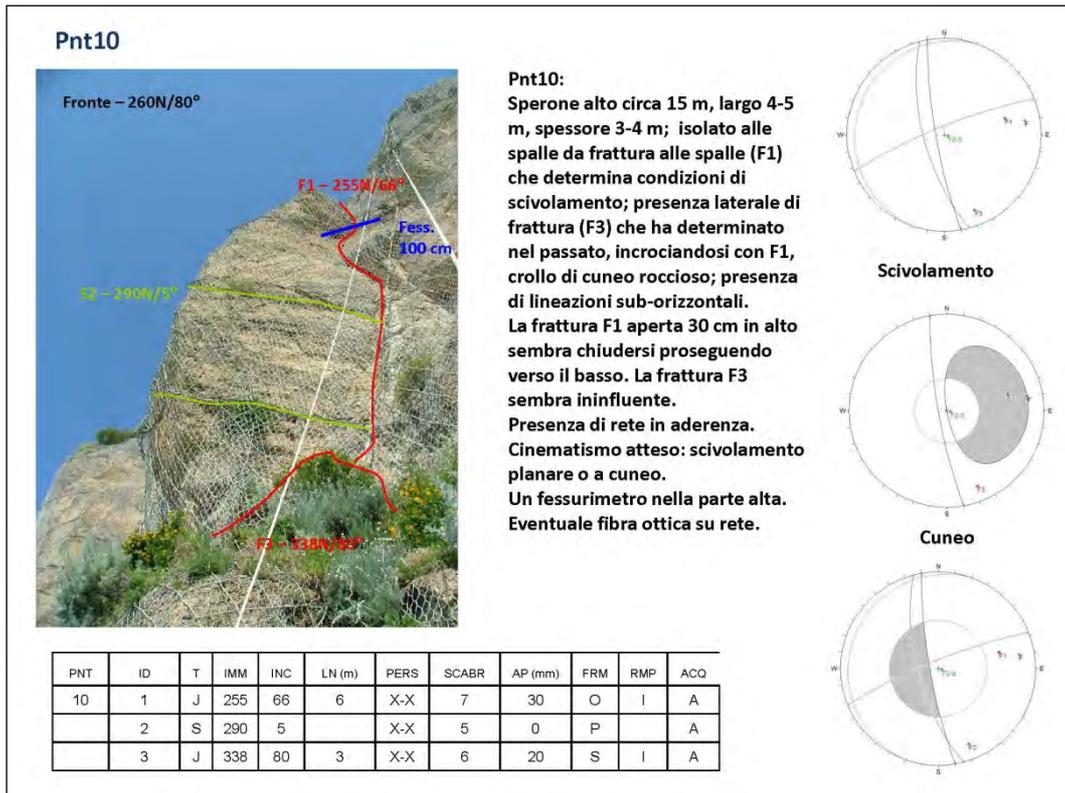


Figura 31. Scheda punto n.10.

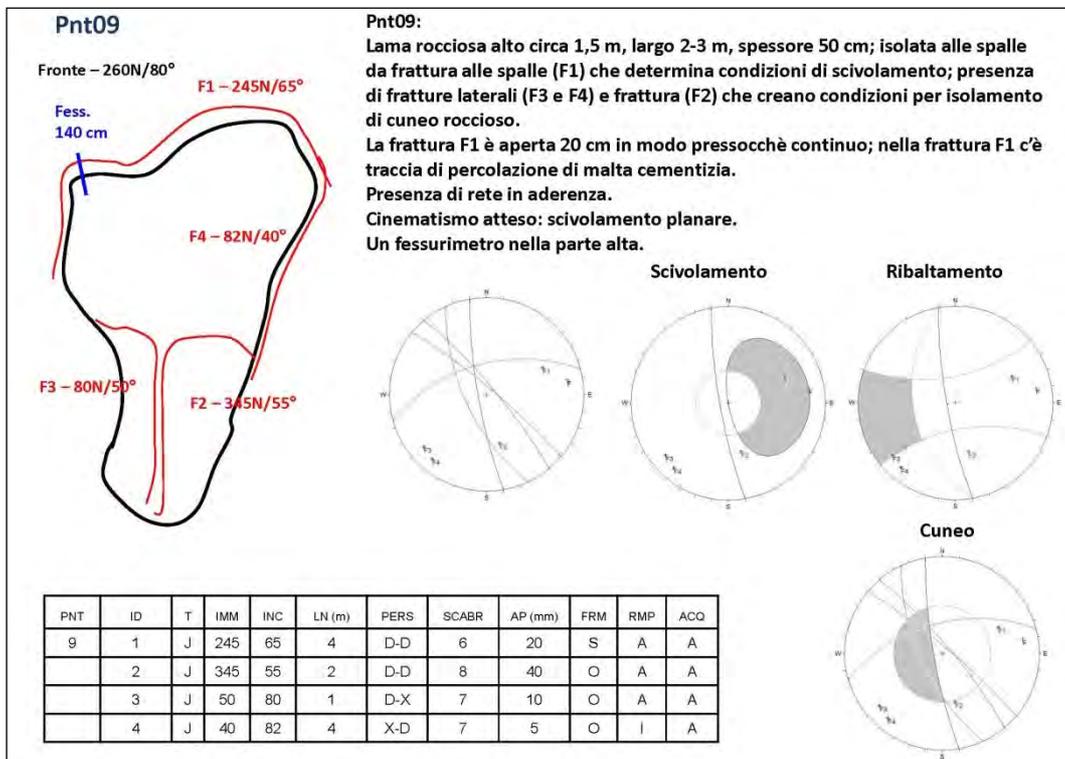


Figura 32. Scheda punto n.9.

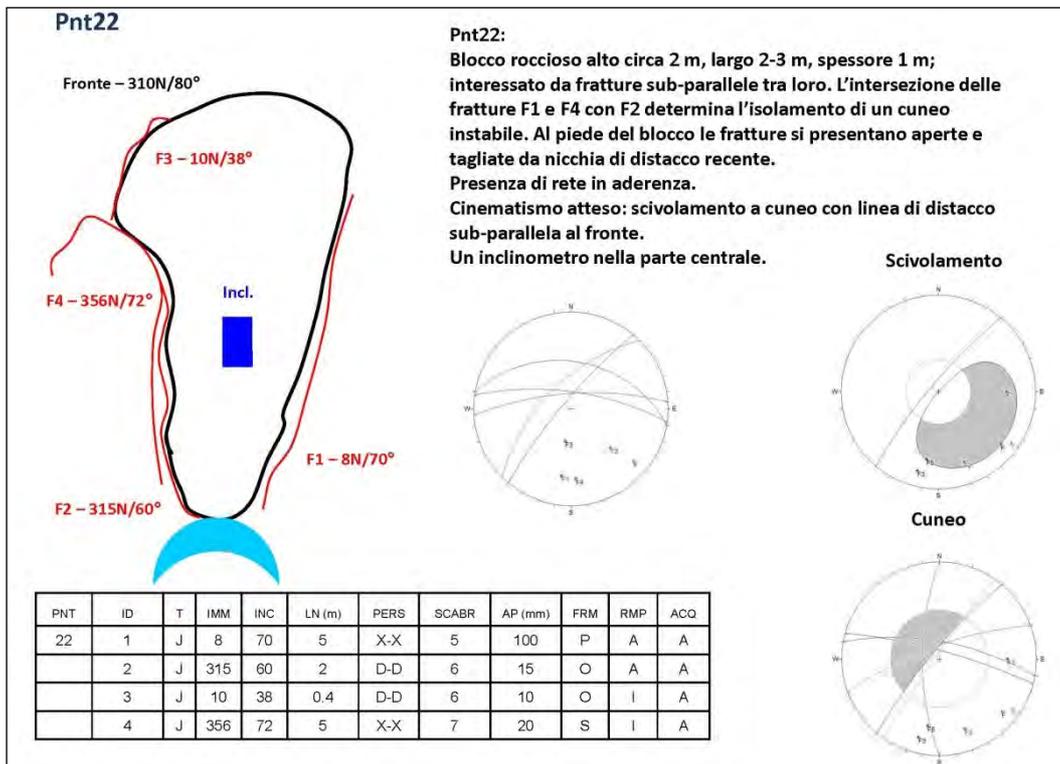


Figura 33. Scheda punto n.22.

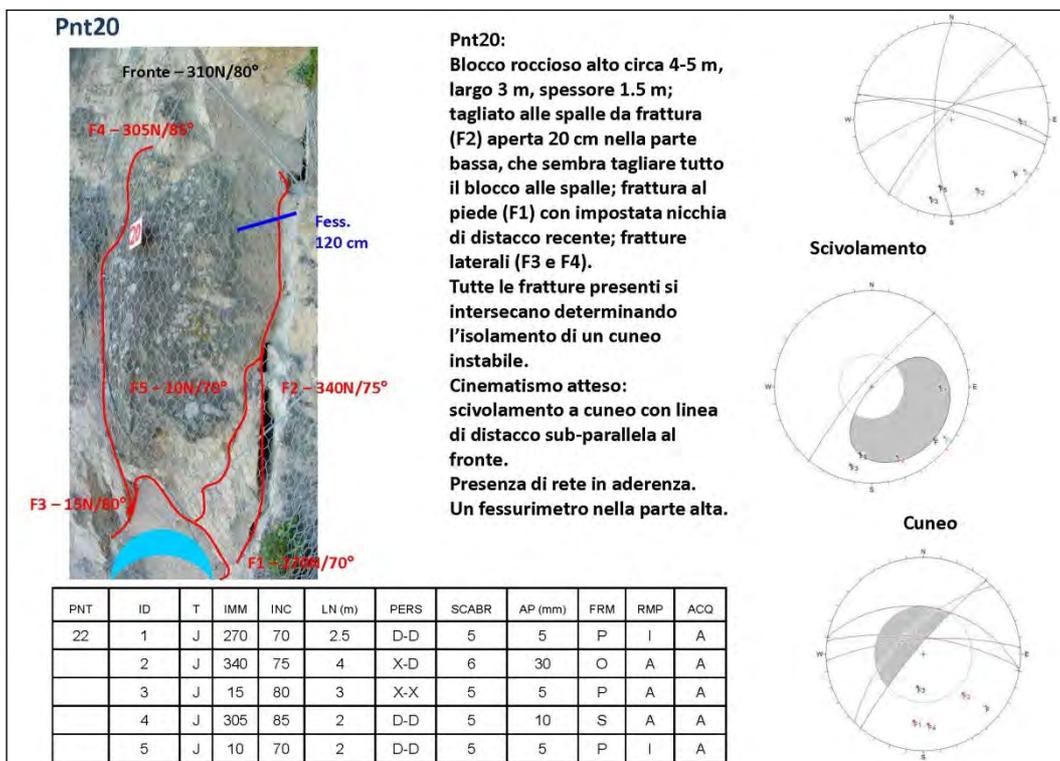


Figura 34. Scheda punto n.20.

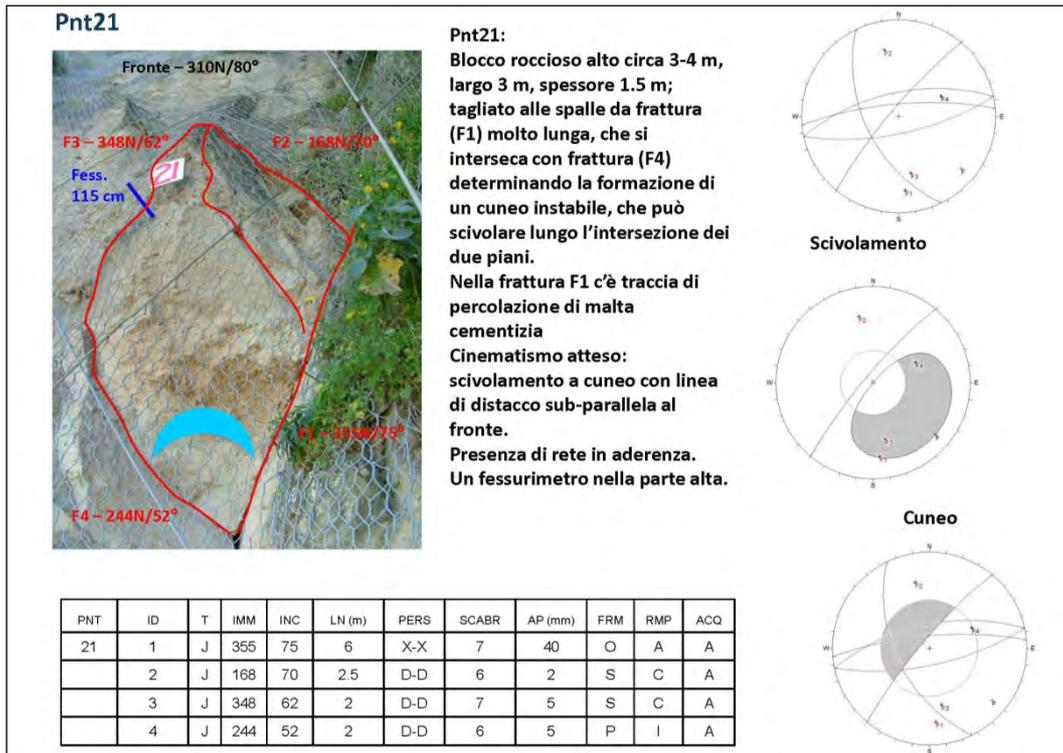


Figura 35. Scheda punto n.21.

Nel complesso sono state misurate 59 fratture significative (Fig. 36), che unitamente a considerazioni di carattere geomeccanico e sul cinematismo dei dissesti hanno consentito di individuare 6 principali famiglie strutturali (Tab. 2 e Figg. 36-37).

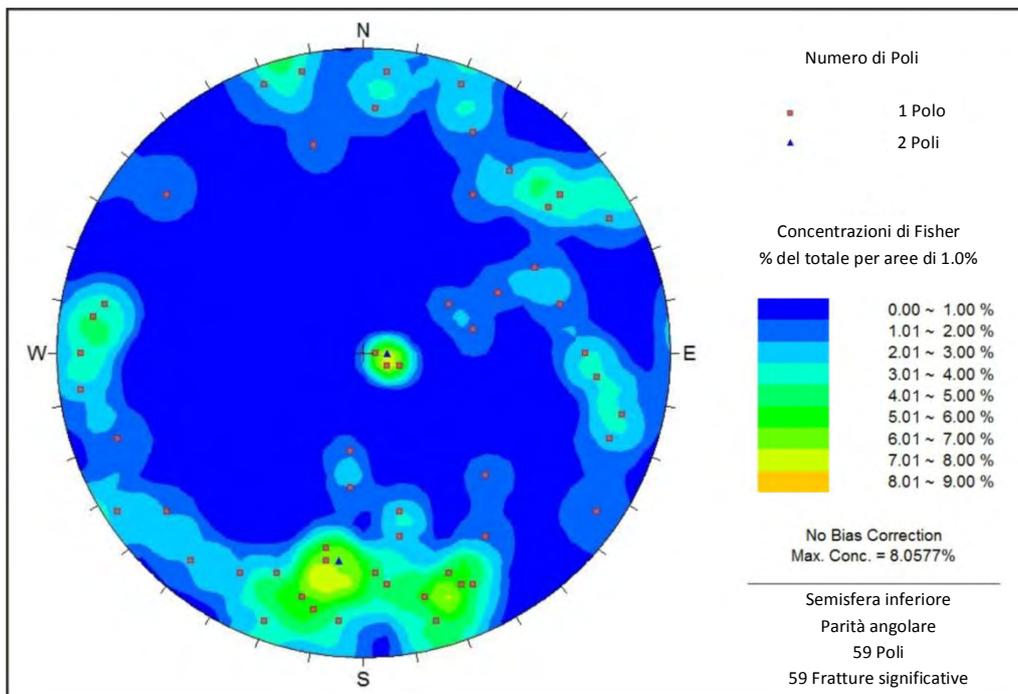


Figura 36. Diagramma di sintesi delle fratture rilevate.

<i>set</i>	<i>query dip</i>	<i>query dip-dir</i>	tipo
F1	> 65	220-255; 35-65	erosionale
F2	> 65	180-220; 0-30	strutturale
F3	> 70	60-110; 255-280	strutturale
F4	> 70	110-180; 300-355	strutturale
F5	20-65	50-195	stratigrafico e/o strutturale
F6	< 20	60-145	stratigrafico

Tabella 2. Famiglie di discontinuità riconosciute sulla parte di Coroglio sulla base delle risultanze dei rilievi geostrutturali eseguiti in parete.

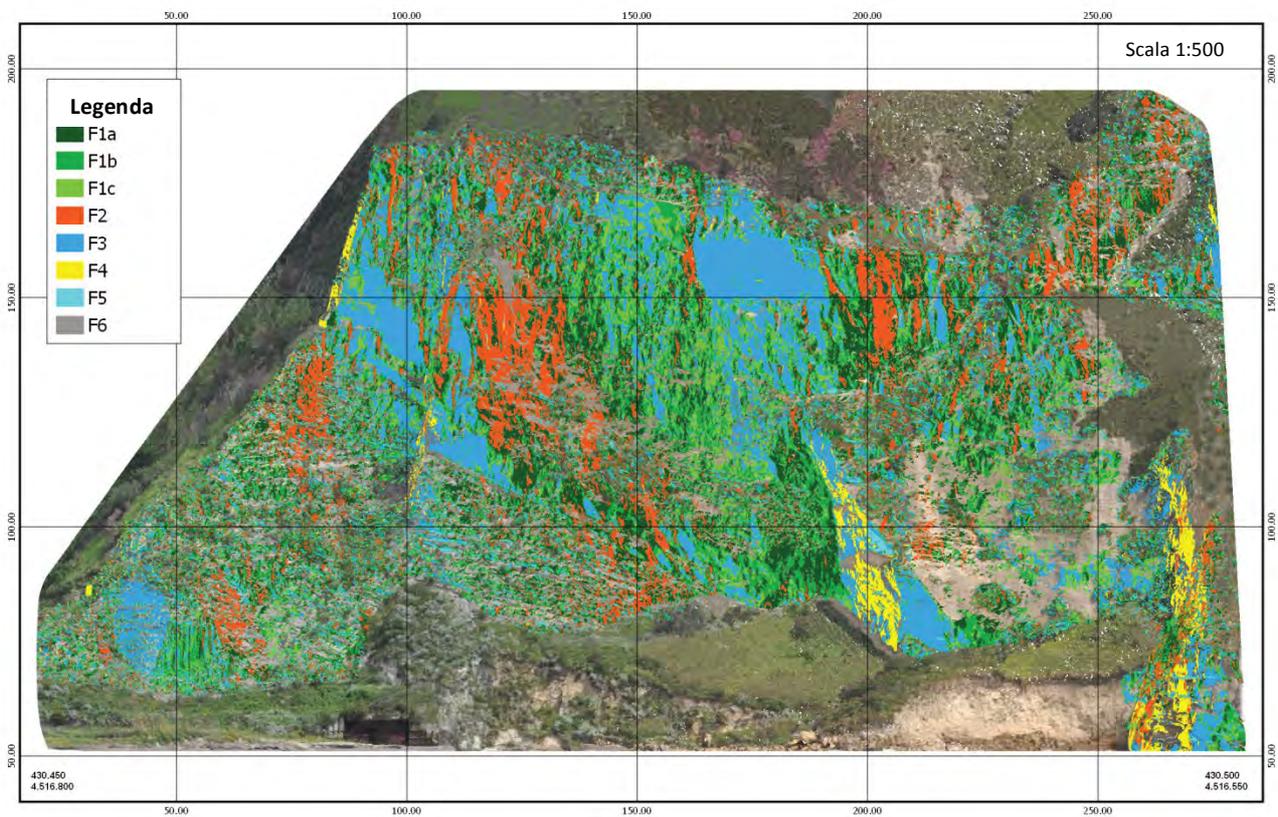


Figura 37. Carta geostrutturale con evidenza delle famiglie di discontinuità riconosciute dallo studio comparativo dei dati rilevati in parete e dell'analisi statistica dei dati giaciturali della MESH. Plottata in scala adattata.

5.5. Definizione delle problematiche di instabilità del sito

Analizzando i dati derivanti dai rilievi topografici di dettaglio, dalla geologia del sito e dai rilievi geostrutturali in parete è possibile individuare i principali meccanismi di instabilità per crollo. In particolare, il costone di Coroglio è interessato principalmente da fenomeni franosi tipo scivolamento planare di lastre di tufo e scivolamento di cunei mentre molto più rari sono i fenomeni di ribaltamento. Un ulteriore aspetto da portare in conto per la verifica della stabilità dei blocchi instabili rilevati riguarda i fenomeni erosivi diffusi che interessano l'intera parete. Infatti, come è emerso dai rilievi topografici e geostrutturali, la falesia tufacea mostra evidenti segni di erosione, sia diffusa che concentrata, specialmente lungo le principali discontinuità strutturali che, in concomitanza di intensi eventi pluviometrici, rappresentano le vie preferenziali di ruscellamento superficiale.

Mediante le analisi di stabilità preliminari sono state valutate le condizioni di stabilità dei blocchi potenzialmente instabili sia nella configurazione attuale e sia in seguito al possibile instaurarsi di fenomeni erosivi concentrati lungo le discontinuità strutturali presenti alla base del blocco stesso. I codici di calcolo utilizzati per tali analisi sono stati *Wedge Failure Analysis*, *Plane Failure Analysis* [Kroeger, 2002] e *PLAXIS-2D* (<http://www.plaxis.nl/plaxis2d/>). I primi due esprimono le condizioni di stabilità mediante il coefficiente di sicurezza globale calcolato con i metodi dell'equilibrio limite mentre il codice *PLAXIS* è un *software* agli elementi finiti [Griffiths et al., 1999] per le analisi tenso-deformative che fornisce valori sia locali che globali del coefficiente di sicurezza valutato mediante gli approcci proposti da Griffith & Lane [1999].

Per quanto riguarda la distribuzione delle pressioni neutre sono stati ipotizzati due approcci: blocco instabile impermeabile con saturazione delle sole discontinuità strutturali; tufo poroso con permeabilità satura inferiore di 1-2 ordini di grandezza rispetto a quella delle discontinuità.

Di seguito si riportano, a titolo esemplificativo, i risultati delle analisi di stabilità condotte sul blocco riportato con l'ID-04 nei rilievi geostrutturali (Fig. 38).

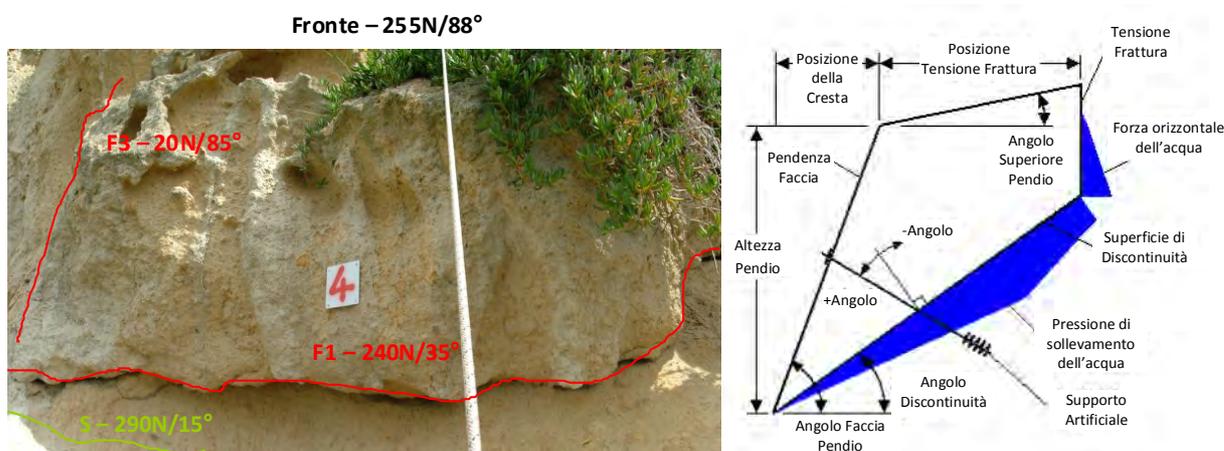


Figura 38. Analisi di stabilità sul blocco instabile pnt.04.

In particolare, le analisi sono state condotte mediante il codice di calcolo *Plane Failure Analysis* utilizzando le caratteristiche geometriche del fenomeno e delle discontinuità riportate in Tab. 3.

Altezza [m]	Dip Fronte [°]	Dip Discontinuità [°]
1.5	88	35

Tabella 3. Caratteristiche geometriche.

I risultati, in termini di coefficiente di involuppo di resistenza in condizioni di discontinuità asciutte e sature e peso per unità di volume pari a 25kN/mc sono riportati in Fig. 39.

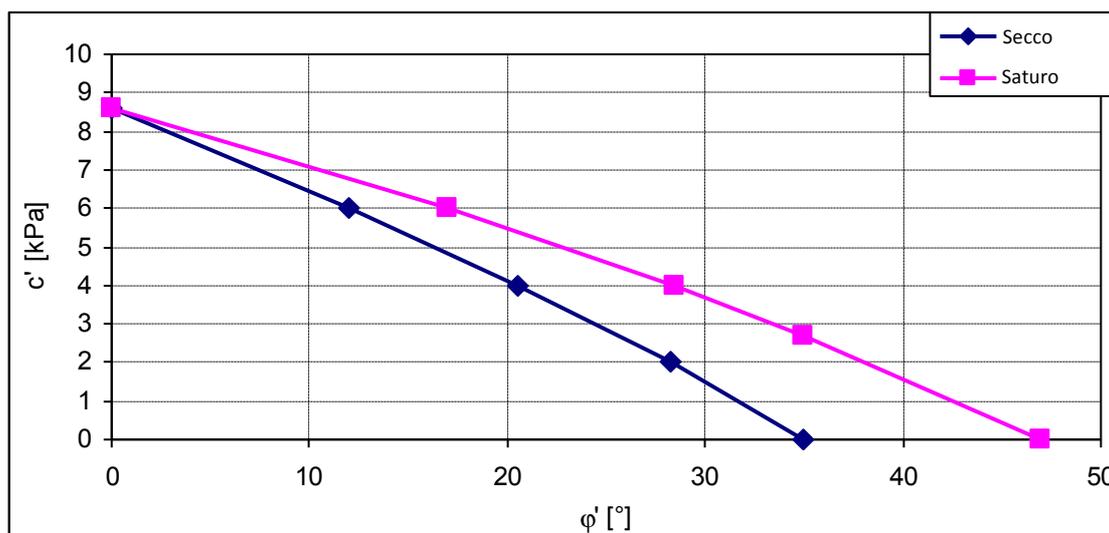


Figura 39. Coefficiente di involuppo di resistenza.

6. Progettazione della rete di monitoraggio

La progettazione esecutiva della rete di monitoraggio è stata possibile grazie alla fase di studio geologico-strutturale, derivante sia da indagini pregresse che da rilievi geologici eseguiti in parete ed integrati dall'analisi dei dati spaziali acquisiti mediante TLS, permettendo di definire con estremo dettaglio le aree da monitorare.

Le fenomenologie di dissesto associate ai materiali lapidei definite come frane da crollo risultano piuttosto rilevanti, in quanto spesso vengono coinvolte vie di comunicazione, insediamenti umani, attività commerciali e turistiche, e quasi sempre sono caratterizzate da un elevato grado di imprevedibilità. La strategia utilizzata usualmente per ridurre il rischio connesso a queste fenomenologie è quella basata sull'utilizzo di strutture di protezione, che spesso tuttavia richiedono interventi costosi ed invasivi. In molti casi l'integrazione con sistemi di monitoraggio affidabili che consentano, dopo un attento e rigoroso studio per determinare i parametri in gioco, di riuscire a definire soglie di rischio crescenti, in modo da poter allertare in tempo riducendo la pericolosità e quindi la necessità di utilizzare interventi di sistemazione estremamente invasivi.

Dal mese di dicembre 2014 è iniziata la fase di operatività della sensoristica installata la quale è durata fino al mese di marzo del 2015. A partire dal mese di aprile del 2015 inizierà la fase di taratura del sistema di monitoraggio al fine di individuare quali siano le soglie di *triggering*.

La progettazione è stata impostata sull'individuazione dei parametri da misurare, che si basano sulla definizione di alcuni parametri ritenuti significativi, ma anche effettivamente misurabili nel contesto di riferimento, per raggiungere le finalità dell'attività di monitoraggio, quali la misura dei movimenti di blocchi rocciosi lungo la falesia ed il controllo in continuo dell'apertura delle fratture che delimitano tali blocchi prima del distacco, considerati come *parametri diretti*, e la misura delle variazioni dei parametri ambientali meteo-climatici (temperatura, pressione, umidità, vento) e sismici [Amitrano et al., 2010], considerati come *parametri indiretti*.

I parametri principali di monitoraggio sono la misura di spostamenti ed inclinazioni puntuali, effettuate sia con i consueti trasduttori elettrici che con sensori in fibra ottica, e la misura di parametri dinamici del terreno, mediante l'utilizzo di sismometri triassiali. Con l'integrazione di una rete mobile di monitoraggio in caso di evento, sarà altresì possibile definire in maniera estremamente accurata la risposta dinamica dell'intera struttura alle sollecitazioni sia naturali (endogene ed esogene) che antropiche. Oltre ai classici sensori di spostamento e deformazione, sono stati previsti anche dei sensori microsismici (geofoni o accelerometri) per rilevare segnali emessi dalle fratture che si propagano a seguito di fenomeni di gelo-disgelo o per *stress* indotto dal proprio peso o per fenomeni di rigonfiamento di materiale poroso (e.g., argilla) nelle fessure a seguito di eventi idrometeorologici, ecc.. Si tratta di sensori che richiedono una lettura continua nel tempo e una connessione ad una unità di digitalizzazione e registrazione.

La progettazione del sistema di monitoraggio ha tenuto conto di alcuni elementi di base, che hanno orientato le scelte progettuali, quali la finalità del monitoraggio, la modalità di lettura e trasmissione dei dati misurati, la frequenza di misura dei parametri individuati, il grado di affidabilità e la durata del monitoraggio, i problemi logistici di installazione e gestione del sistema ed i costi da affrontare sulla base del *budget* di progetto disponibile. Il grado di affidabilità, ovvero la capacità del sistema di svolgere il compito per cui è stato progettato per il periodo di tempo previsto, è stato considerato prioritario nella scelta dei materiali e dei sensori.

Con riferimento alla modalità di lettura e di trasmissione dei dati misurati, la scelta è ricaduta su un sistema misto, con lettura automatica e trasmissione dei dati in remoto per i dati di spostamento ed i dati meteorologici, con lettura ed archiviazione automatica dei dati in locale e lettura manuale per i dati sismici ma con avvisi automatici in caso di superamento di soglie predefinite, e lettura manuale periodica per i sensori in fibra ottica. Tale scelta è stata governata principalmente da considerazioni di carattere economico e logistico.

Lo scopo per cui si è realizzato il sistema di monitoraggio nell'ambito del Progetto di Ricerca MONICA è duplice, in quanto se da un lato le finalità prevalenti sono di studio della cinematica e dei meccanismi geomeccanici dei fenomeni di distacco di blocchi di tufo in ambiente costiero, non manca l'interesse per un preliminare studio di fattibilità di un sistema integrato di sensori geotecnici "classici" e di sensori innovativi con tecnologie in fibra ottica finalizzato ad un *early warning* rivolto ai fenomeni di dissesto con cinematisimo da rapido a molto rapido, quali i crolli e gli scivolamenti di roccia.

Trattandosi dello studio di fenomeni ad evoluzione rapida, si è preferito definire, dove tecnicamente e logisticamente possibile, una frequenza di misura dei parametri monitorati molto elevata (in continuo per le aperture delle fratture e per i dati meteorologici, a superamento di soglia per i dati sismici). L'evoluzione dei fenomeni studiati potrà guidare nella ridefinizione della frequenza di lettura durante il monitoraggio. La durata del monitoraggio prevista è di almeno un anno, in modo da poter studiare gli effetti ciclici stagionali sulla variazione dei parametri.

6.1. Architettura del sistema

L'architettura del sistema di monitoraggio traduce, in uno schema descrittivo tipologico e funzionale, le scelte progettuali e le soluzioni adottate per tutte le componenti del sistema, quali strumenti, sensori, collegamenti, sistemi di acquisizione, trasmissione, gestione ed archiviazione dei dati (*hardware* e *software*). La definizione dell'architettura del sistema di monitoraggio si è resa necessaria anche per la richiesta di offerte e proposte a possibili fornitori di componenti e/o servizi e sarà utile come linea-guida per lo sviluppo del progetto esecutivo del sistema.

Nell'architettura del sistema sono state definite:

- il tipo di strumento avente le caratteristiche tecniche più idonee alle finalità progettuali;
- il tipo di sensore, avente le caratteristiche metrologiche ed elettriche definite in progetto, per ciascun strumento;
- le tipologie di collegamenti, con indicazione della loro natura (cavo, radio, rete wireless, ecc.) e delle caratteristiche tecniche e di configurazione, tra strumenti ed unità di acquisizione dati, tra unità periferiche ed unità centrale e tra questa e gli eventi remoti;
- le caratteristiche del sistema di acquisizione e di gestione dati.

La definizione dei punti di misura, con la loro individuazione fisica in parete, e delle modalità di collegamento tra gli strumenti e le varie componenti il sistema è risultato un elemento di particolare rilevanza nella progettazione del sistema di monitoraggio.

L'ubicazione dei punti di misura ha tenuto conto di vari aspetti:

- le risultanze delle ispezioni e dei rilievi geologico-strutturali condotte in parete;
- la tipologia strumentale prescelta e l'architettura complessiva del sistema;
- la significatività e la rappresentatività dei punti in funzione della tipologia di fenomeni di dissesto e degli scopi del monitoraggio;
- le condizioni operative, logistiche e ambientali del sito, tra cui gli aspetti connessi all'accessibilità in parete, alla sicurezza degli addetti all'installazione e dei fruitori del parco pubblico sovrastante e della spiaggia sottostante, alle difficoltà di installazione e di realizzazione dei collegamenti, alla distanza tra i punti da collegare in funzione del tipo di segnale trasmesso e del tipo di trasmissione da utilizzare.

Insieme alle varie attività connesse agli aspetti di impianto del sistema di monitoraggio, è stato necessario espletare una serie di verifiche anche formali per una corretta impostazione del monitoraggio, quali richieste di permessi ed autorizzazioni, e di licenze (*software*, uso radio), verifica di schede di installazione, certificati, e schede strumento.

7. Posizionamento ed installazione dei sensori del sistema di monitoraggio

Il sistema di monitoraggio nella sua architettura generale è composto da due sottosistemi, uno dedicato alla strumentazione geotecnica per le grandezze statiche (ossia lentamente variabili nel tempo) posizionati nei luoghi indicati, ed un altro dedicato alla strumentazione dinamica *stand alone* posta all'interno dell'area oggetto del sistema di monitoraggio. Le stazioni di misura degli spostamenti sono ubicate come illustrato nelle figure 40 e 41, nei luoghi individuati sulla base dello studio preliminare geologico-strutturale e geomorfologico eseguito. Per la strumentazione statica è previsto una connettività remota *on line* mentre per quella dinamica è stato considerato solo la registrazione e la gestione locale del sistema.

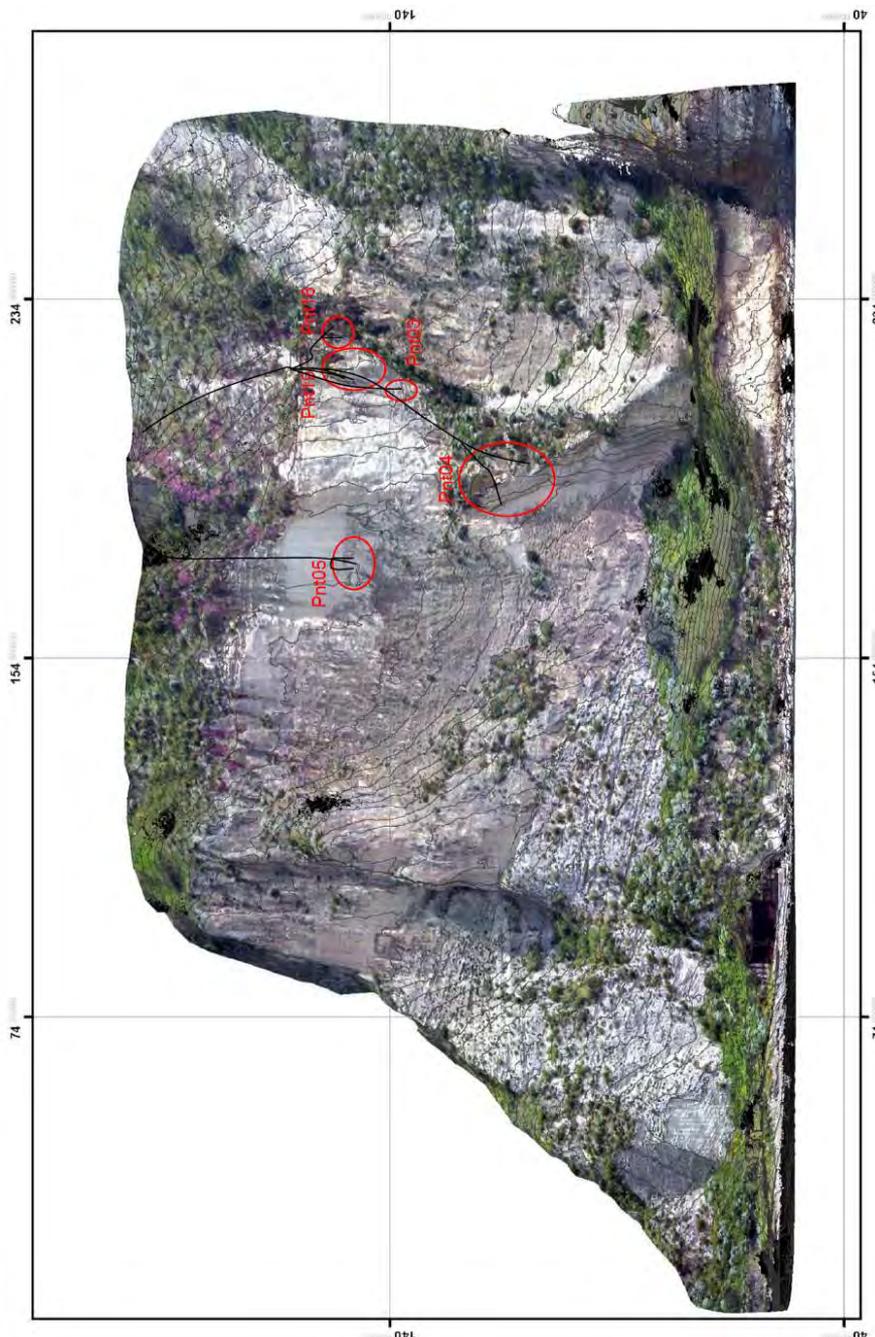


Figura 40. Prospetto con posizionamento della rete di monitoraggio.

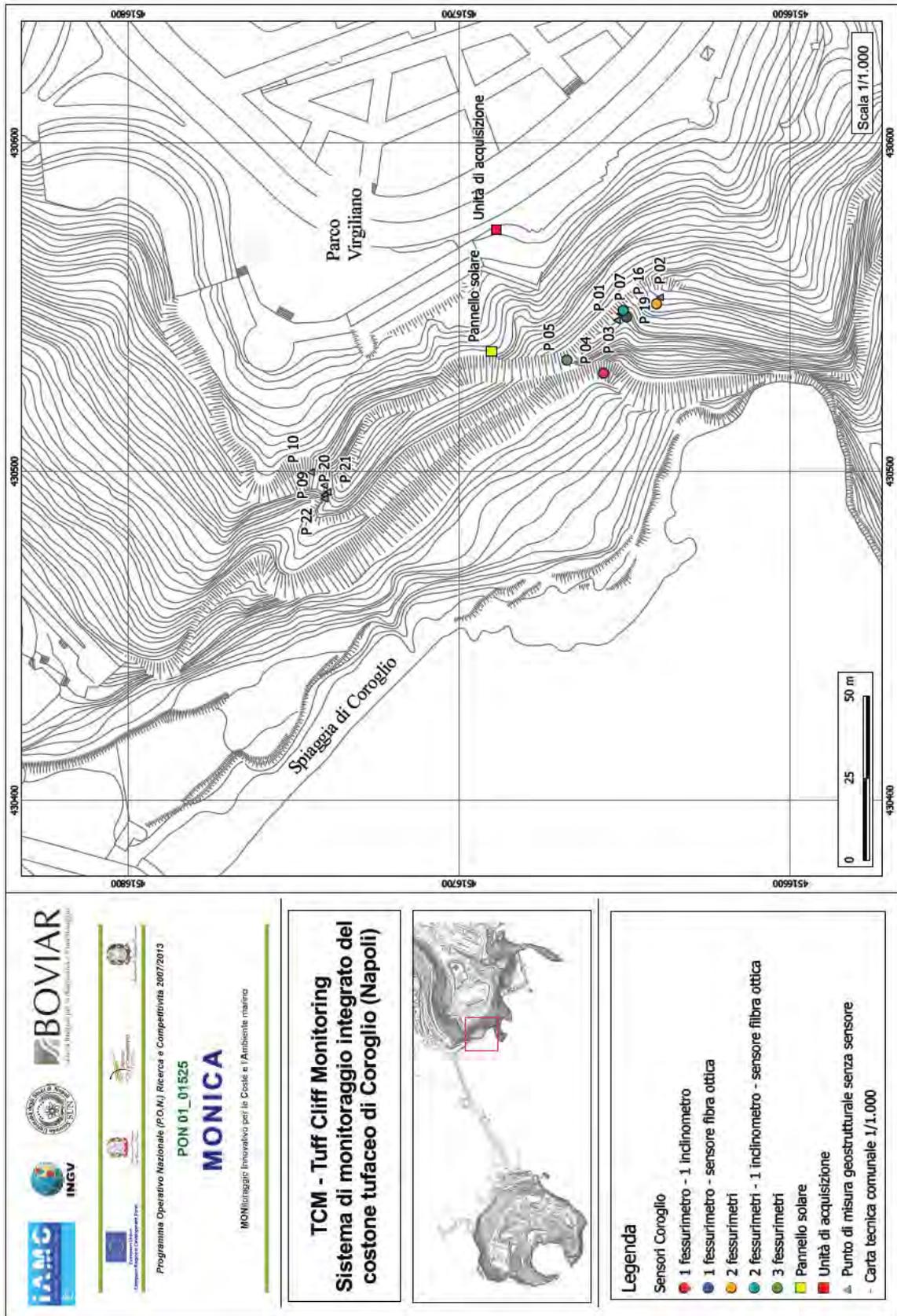


Figura 41. Planimetria di progetto.

Nel complesso sono previsti 13 sensori statici (Tab. 4) ed 1 sensore dinamico.

PUNTO	SENSORI
PUNTO 16	2 FESSURIMETRI
PUNTO 4	1 FESSURIMETRO, 1 INCLINOMETRO, 1 FIBRA OTTICA, 1 TERMOMETRO
PUNTO 19	1 INCLINOMETRO, 2 FESSURIMETRI, 1 TERMOMETRO
PUNTO 1	1 FESSURIMETRO, 1 FIBRA OTTICA
PUNTO 5	3 FESSURIMETRI, 1 FIBRA OTTICA

Tabella 4. Schema riassuntivo posizione/sensori.

I sensori costituenti il monitoraggio statico sono:

- 9 fessurimetri a base lunga
- 2 termometri
- 2 inclinometri biassiali

Il sensore per il monitoraggio dinamico è rappresentato da 1 velocimetro triassiale.

L'ubicazione dei sensori e delle attrezzature è stata definita a seguito ai sopralluoghi operativi preliminari concordati nei quali sono stati individuati anche i punti utili per l'installazione della *master station*.

I sensori statici sono stati installati nelle postazioni illustrate nelle figure 39-40. Tutti i sensori saranno messi in opera con opportune protezioni per l'irraggiamento solare diretto. I cavi di collegamento – uno per ogni sensore e ove necessario uno per 2 sensori – sono stati opportunamente fissati alla parete rocciosa e raccolti in punti strategici per facilitare il cablaggio. Nella parte semi-pianeggiante dal ciglio della falesia fino al punto di raccolta, presso gli armadi di acquisizione, sono stati protetti da opportuni tratti di guaina corrugata mentre nella rimanente parte sono liberi in aria. Per il solo sensore velocimetrico è stata al momento prevista l'installazione a ridosso del muro di contenimento individuato per il posizionamento degli armadi di acquisizione (statico e dinamico). Nella successiva figura 42 sono indicati i dettagli relativi.

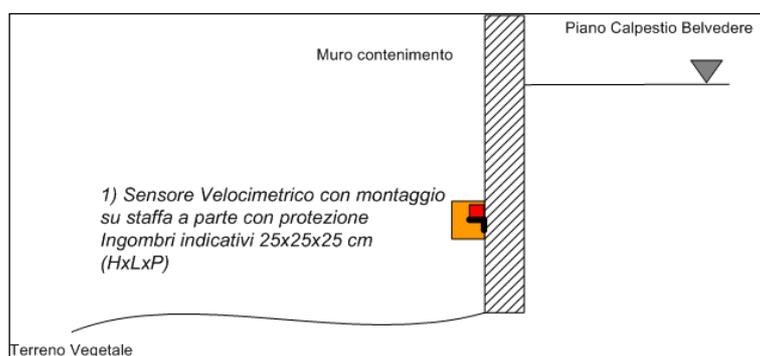


Figura 42. Schema di installazione del velocimetro a parete.

La posa in opera di fessurimetri su costoni rocciosi è stata eseguita con operai specializzati in lavori ad alta quota (un rocciatore e un preposto). La verifica del funzionamento delle installazioni è stata eseguita al completamento del singolo sensore e successivamente del sito. Ad installazione ultimata è stato dato seguito l'installazione dei dispositivi *hardware* e *software* presso il centro di controllo, con erogazione di formazione al personale preposto e conseguente collaudo finale. Il tempo di installazione del sistema di monitoraggio, previsto in 3/4 settimane lavorative a partire dalla disponibilità di tutti gli elementi, a seguito delle

complicazioni derivanti dalle condizioni operative (avverse condizioni meteo, problemi di accesso ai luoghi, difficoltà logistiche, ecc.) è stato di circa 10 settimane.

Nelle figure 43 e 44 sono indicati i dettagli del posizionamento degli armadi di acquisizione e degli accessori relativi.

Tutti i sensori e gli accessori sono stati fissati nei punti convenuti della roccia mediante barre filettate con ancoraggio chimico. Tale soluzione garantisce una migliore tenuta dei punti di fissaggio ed una esecuzione adeguata alla modalità di lavoro (montaggio in parete). Per il solo sensore velocimetrico è stato realizzato l'opportuno alloggiamento con posizionamento in verticale del piano di appoggio e protezione meccanica intorno ad esso.

I sensori sono stati coperti da opportune protezioni in materiale termoplastico (Fig. 45).

Per il cablaggio dei sensori si adatterà un singolo cavo per ogni sensore ad eccezione dei due sensori di temperatura che potranno essere connessi ad un cavo di un sensore di spostamento o inclinometrico opportunamente scelto.



Figura 43. Ubicazione degli apparati (immagine da Google Earth[®]).

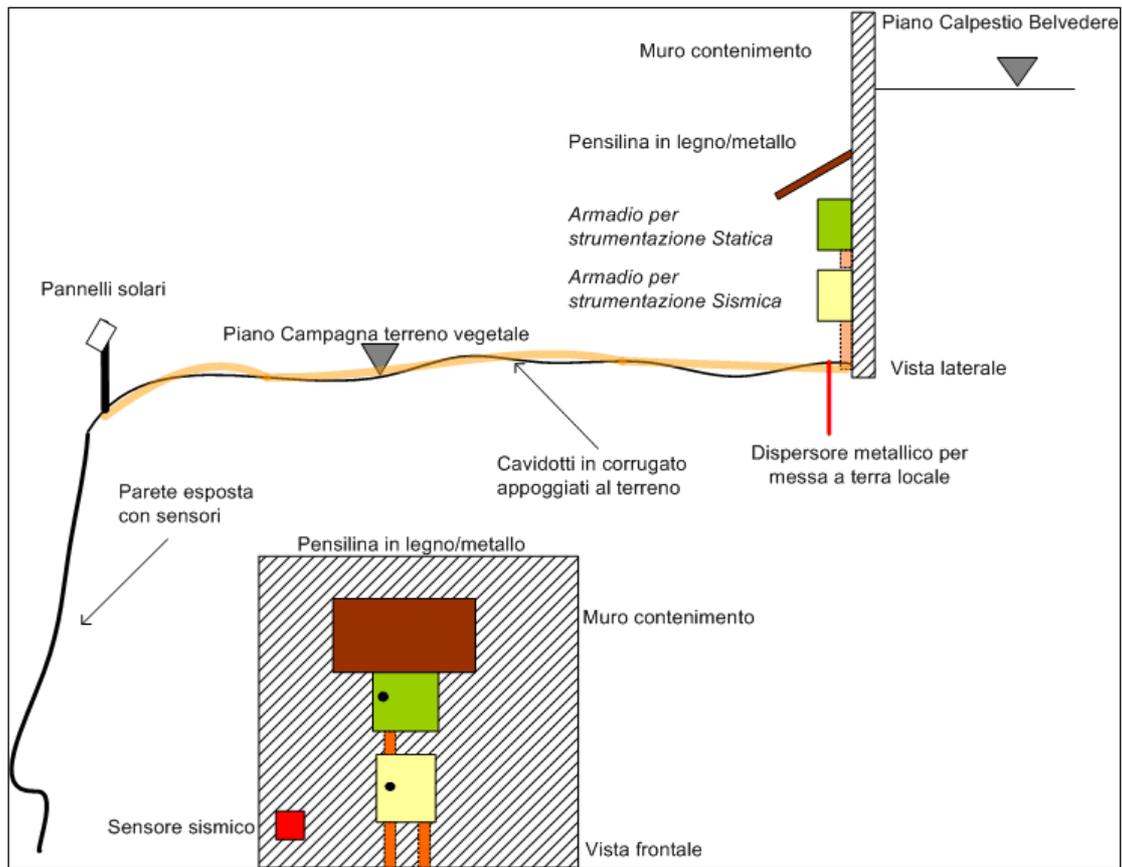


Figura 44. Schema installazione degli armadi e degli accessori.

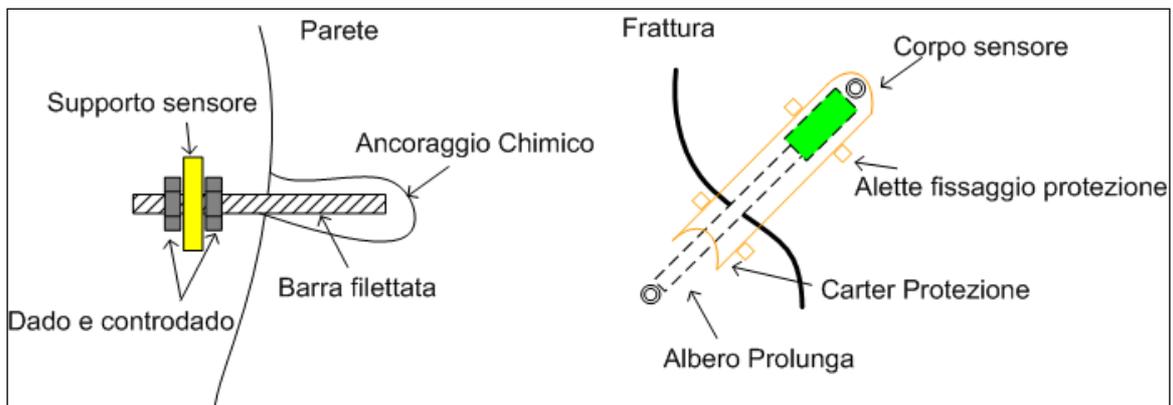


Figura 45. Dettagli installazione dei sensori.

I cavi, provenienti dalle diverse verticali, saranno raccolti durante il percorso ascendente dal sensore alla unità di acquisizione, in gruppi a seconda della facilità del percorso dei cavi (Fig. 46). I fasci di cavi così ottenuti saranno fissati in parete mediante punti di ancoraggio opportunamente distanziati. Nel solo tratto pianeggiante anteriore agli armadi di acquisizione tali cavi saranno posizionati all'interno di guaine corrugate posate sul terreno con eventuali punti di fissaggio.

Nella tabella 5 sono sintetizzate le voci dei dispositivi elencati nel progetto esecutivo.

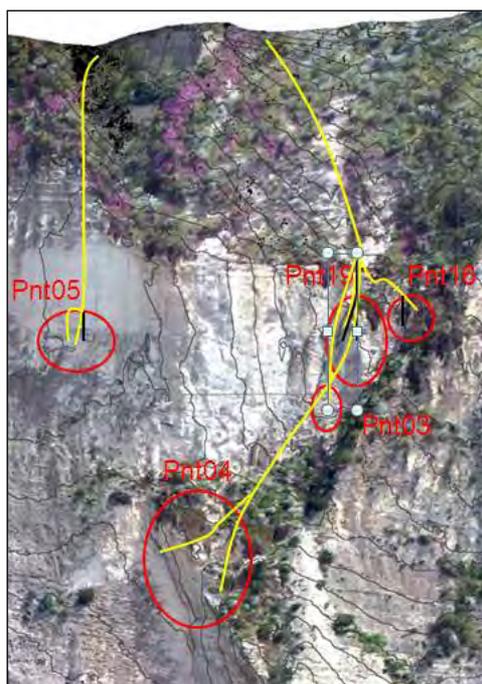


Figura 46. Percorso indicativo dei cavi.

Strumentazione/Sensore	Descrizione	Quantità
Fessurimetri a base lunga	BTS LWG 100 opportunamente modificato per installazione in sito con accessori di protezione e montaggio (prolunga 0,1 - 1m)	9
Sensore di temperatura per esterni	NTC	2
Inclinometro biax	Piezoresistivi con piastra di montaggio	2
Accessori fissaggio sensori	Materiale ferramenta e protezione	11
Cavo multipolare	Cavo speciale 6 poli con conduttori in rame stagnato isolamento in Poliolefina, schermo a treccia di rame stagnato, guaina in PUR Opaco UV resistente	2000
Acquisitore Dati Master	eDAS 16 ch	1
Box di alimentazione per esterni solare	eDas box	1
Modulo comunicazione GPRS	Modulo remoto	1
Accessori installazione acquisitore master	Tettoia protezione	1
Protezioni da sovratensioni	Moduli scaricatori da sovratensioni atmosferiche indirette ed accessori	12
Assistenza Specializzata Installazione (squadra 2 rocciatori)	2 settimane (2 persone)	2
Assistenza installazione e configurazione (tecnico laureato, tecnico specializzato), Progettazione, Collaudo, Rischi tecnico, Formazione, Spese Generali, Oneri di sicurezza	Attività di <i>back office</i> preliminare, 1,5 settimana (2 persone) in campo, formazione 1 g, redazione documentale	1
Spese logistiche integrative di preparazione	Preparazione cavi ed accessori protettivi	1
Servizio Dati GPRS/FTP		1

Sistema accelerometrico con <i>software</i>	Dymas USB 3 ch + GPS + Box solare + <i>Software</i> Vibrosoft	1
Sensore Velocimetrico Triassiale	1- 315 Hz Veloget	1
Accessori sistema dinamico	Preparazione condizionamento sito + tettoria protezione	1
Assistenza programmata Installazione	Vedi voce a parte	1
Assistenza programmata annuale	Fino a tre interventi giornalieri con operatore rocciatore	1
Tariffa oraria di assistenza fino ad un anno dal collaudo	Tecnico on site/assistenza remota	1

Tabella 5. Sensori e dispositivi previsti nel progetto esecutivo.

8. Il sistema di monitoraggio statico “tradizionale”

Le tipologie strumentali previste nel monitoraggio del costone tufaceo di Coroglio sono classificabili in base al tipo di misura da effettuare, che riguardano spostamenti superficiali, rotazioni, deformazioni e parametri meteorologici e sismici di tipo dinamico.

Tra gli strumenti per la misura degli spostamenti superficiali sono stati prescelti gli **estensimetri a barra o fessurimetri**, che offrono garanzie di affidabilità e di precisione, e permettono di eseguire misure lineari (variazione di distanza) per la valutazione della variazione dell’apertura delle fratture, e misure angolari (rotazioni in due piani perpendicolari) per ottenere le componenti dello spostamento reciproco dei riferimenti. Tali strumenti, seppur hanno costi abbastanza elevati e lunghezza non superiore a qualche metro, consentono misure remote e sono robusti e protetti rispetto alle condizioni ambientali di lavoro.

Tra gli strumenti per la misura delle rotazione o dell’assetto sono stati prescelti gli **inclinometri fissi da parete**, che consentono di rilevare variazioni di assetto per rotazione di blocchi instabili e/o pareti rocciose. Essi forniscono misure puntuali rispetto agli assi verticali in modo automatico; il costo degli strumenti è variabile in funzione del tipo di sensore utilizzato e del grado di precisione richiesto.

Tra gli strumenti per la misura dei parametri meteorologici sono stati utilizzati **pluviometri, anemometri, igrometri e termometri**. Il parametro meteorologico più frequente è la misura della temperatura dell’aria [Gunzburger et al., 2005]. Il sensore, che attivamente rileva la temperatura, il **termometro**, è protetto da uno “schermo antiradiante” costituito da una protezione di plastica bianca alettata. Le fessure presenti tra un’aletta e l’altra permettono il passaggio dell’aria, ma isolano il sensore dall’effetto della radiazione solare diretta. Per la misura della pioggia è stato impiegato il **pluviometro**, strumento costituito da un cilindro metallico aperto superiormente, a forma di imbuto nella parte inferiore. Da qui l’acqua raccolta, attraverso un filtro a reticella e un condotto calibrato, può defluire su una bilancia, una specie di piccola bilancia a due piatti, che viene mossa dall’acqua che cade: ogni oscillazione della bilancia equivale ad un valore noto di pioggia. La misura della pioggia si esprime in mm di acqua accumulata su una superficie di riferimento definita. Ogni millimetro di pioggia caduto su un’area di un metro quadro equivale a un litro d’acqua.

8.1. Fessurimetri elettrici centesimali

Il fessurimetro elettrico mod. BTS LWG 100 (Fig. 47; Tab. 6) è dotato di un sensore potenziometrico per misurare con precisione le variazioni di posizione tra due punti. La classe di protezione è IP 65 (per installazione all’esterno). Il sensore è completo di ancoraggio meccanico e trascinalimento auto-allineante su 2 snodi sferici, foglio di taratura, barra di prolunga di lunghezza a scelta da 10 a 100cm.

Materiale contenitore	Alluminio anodizzato e Nylon
Alberino	Acciaio inox AISI 431
Temperatura d’esercizio	-30° + 100° C
Grado di protezione	IP65
Coefficiente di temperatura	< 1.5 ppm/°C
Corsa	100mm

Angolo di movimentazione	$\pm 30^\circ$
Linearità indipendente	$\pm 0,05\%$
Ripetibilità	0,01 mm
Risoluzione	infinita

Tabella 6. Caratteristiche tecniche del sensore fessurimetro elettrico mod. BTS LWG 100



Figura 47. Fessurimetro elettrico.

8.2. Inclinometri a parete

L'inclinometro "Biax" è uno strumento che consente di ottenere misure accurate e protratte nel tempo (Fig.48). Il sensore, di tipo magneto-resistivo, unitamente al circuito elettronico di condizionamento dell'uscita del segnale, è racchiuso in un contenitore in alluminio anodizzato con grado di protezione IP65. Il mod. "Biax" è configurabile in versione monoassiale (BIAX-M) o biassiale (BIAX-B) e con eventuale uscita condizionata (Tab. 7). La versione non condizionata è direttamente abbinabile alla centralina di lettura prevista, oppure agli acquisitori dati multicanale della serie xDAS. In caso di collegamento ad un *data logger* si consideri che ogni sensore biassiale richiede la disponibilità di due canali di acquisizione.

	Uscita non condizionata	Uscita condizionata
Sensore	Magnetoresistivo	
Campo di misura	$\pm 10^\circ$	
Tensione di ingresso (Vin)	Max. 8 Vdc	12 – 24 Vdc
Impedenza di ingresso	7 kW $\pm 30\%$	nd
Segnale di uscita	$0.75 \pm 0.15\% \text{ Vin}/1^\circ$ (angolo) (<i>Ratiometric</i>)	$\pm 1\text{Volt} / 4\text{-}20\text{mA}$ (Opz.)
Linearità	$\pm 1\% \text{ FS}$ (= $\pm 0.2^\circ$)	
Errore di temperatura a 0° di inclinazione Range di T: -20 + 80 °C	$< 0.006^\circ/\text{°C}$	
Tempo di risposta	Appr. 0.3 sec.	
Sensibilità di inclinazione (inclusa isteresi)	0.01° Max.	
Olio smorzatore (viscosità)	Olio Siliconico (200CS)	
Dimensioni (H x L x P)	140x100x70 mm	
Protezione	IP65	

Tabella 7. Caratteristiche Principali del Sensore Inclinometrico.



Figura 48. Sensore Inclinometrico biassiale per montaggio a parete.

8.3. Sensori di Temperatura

Il sensore di temperatura (Fig. 49, Tab. 8) è costituito da una sonda in acciaio inox e alluminio con supporto per il fissaggio a parete. L'elemento sensibile è un termistore NTC da 10K montato in un involucro in acciaio inox protetto da un cilindro di alluminio che al contempo funge da scudo termico contro l'irradiazione.

Sensore	NTC 10K
Sensibilità	0.1°C
Accuratezza	± 2°C
Gamma di temperatura	da -30°C a +70°C
Grado di protezione	IP65
Ingombri	87 mm x 90 mm x 52 mm

Tabella 8. Specifiche tecniche del sensore di temperatura.



Figura 49. Sensore di temperatura.

8.4. I collegamenti e le protezioni da sovratensione

I cavi per il collegamento dei trasduttori alla centraline di acquisizione dati sono formati da un cavo elettrico multipolare (6 conduttori) schermato con poliuretano lucido esente da alogeni, resistente all'abrasione, agli oli, all'idrolisi, ai raggi UV, alla salsedine, con le caratteristiche tecniche indicate in Tab. 9.

Conduttore	Rame Stagnato flessibile
Sezione	0.5 mm ²
Isolamento	Poliolfina
Schermo	Treccia di rame stagnata
Guaina esterna	PUR Opaco UV resistente, Ø 8mm
Carico rottura	100Kg.
Temperatura di esercizio °C	-20 + 80

Tabella 9. Caratteristiche tecniche principali dei cavi di collegamento.

La tabella 10 riporta una stima della lunghezza del cavo usato e la relativa distribuzione in sito. Il riferimento topografico è in Fig. 40.

ELENCO SENSORI DA INSTALLARE IN PARETE		
PUNTO	SENSORI	LUNGHEZZA CAVO (indicative)
PUNTO 16	FESSURIMETRO 80 cm	150-200
	FESSURIMETRO 80 cm	150-200
PUNTO 4	FESSURIMETRO 100 cm	200-250
	INCLINOMETRO	200-250
PUNTO 19	FESSURIMETRO 80 cm	100-150
	FESSURIMETRO 80 cm	100-150
	INCLINOMETRO	100-150
PUNTO 1	FESSURIMETRO 80 cm	100-150
PUNTO 5	FESSURIMETRO 50 cm	100-150
	FESSURIMETRO 50 cm	100-150
	FESSURIMETRO 80 cm	100-150
TOTALE	9 FESSURIMETRI	MIN 1400
	2 INCLINOMETRI	MAX 1950

Tabella 10. Stima lunghezze cavi di collegamento.

Al fine di tutelare la protezione della strumentazione elettronica di misura sono stati installati, per ognuno dei sensori in parete, degli scaricatori di sovratensione per eventi di sovratensione di natura atmosferica indiretti (Fig. 50 e Tab. 11).

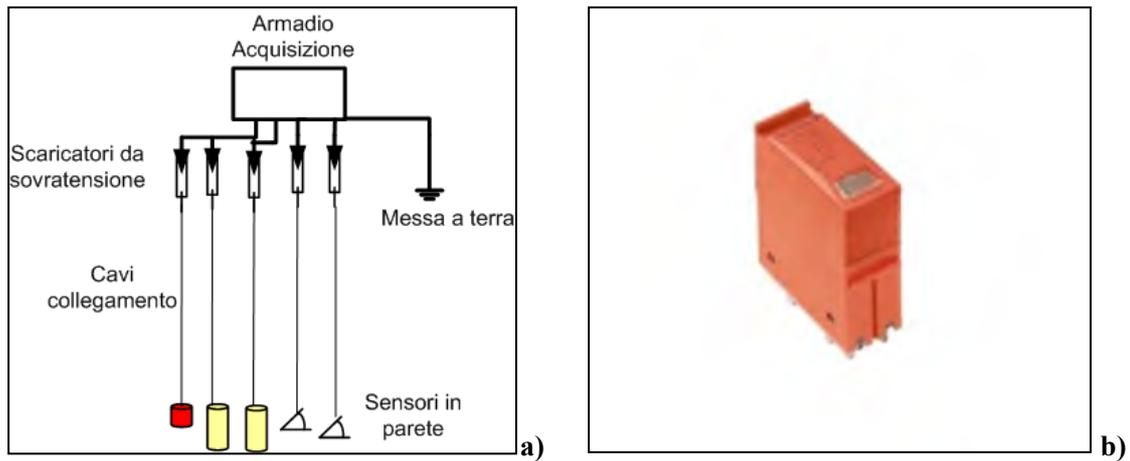


Figura 50. a) Schema delle protezioni da sovratensione; b) Modulo scaricatore.

Dimensioni e peso

Larghezza	17,8 mm	Altezza	90 mm
Profondità	69 mm	Peso netto	47 g

Temperature

Umidità	5...96 %	Temperatura d'esercizio	-40 °C...+70 °C
Temperatura di magazzino	-40 °C...+80 °C		

Probabilità di guasto

Ages	43	MTTF	2.655 Years
PFH in $1 \cdot 10^{-9}$ 1/h	7	SFF	95.33 %
SIL secondo IEC 61508	3		

Dati generali

Classe d'infiammabilità UL 94	V-0	Colore	scaricatore rosso
Grado di protezione	IP 20	Indicatore ottico di funzione	No
Segmento	misura - comando - regolazione		

Isolamento secondo EN 50 178

Classe di sovratensione	III	Grado di lordura	2
-------------------------	-----	------------------	---

Livello di protezione

Livello di protezione U_P GND - PE	450 V	Livello di protezione cavo segnali filo contro PE	38 V
Livello di protezione cavo segnali filo contro filo	80 V		

Tensione di disturbo

Livello di protezione lato uscita simm., ingresso 1 kV/ μ s, tip.	50 V	Livello di protezione lato uscita simm., ingresso 8/20 μ s, tip.	50 V
Livello di protez. lato uscita non simm., ingresso 1kV/ μ s, tip.	270 V	Livello di protez. lato uscita non simm., ingresso 8/20 μ s, tip.	800 V

dati tecnici			
Tensione nominale (DC)	24 V	Corrente nominale	450 mA
Tensione nominale (DC) max.	28 V	Tensione permanente DC max.	28 V
Corrente di scarica I_N (8/20 μ s) filo-filo	2.5 kA	Corrente di scarica I_{max} (8/20 μ s) filo-filo	10 kA
Corrente di scarica I_N (8/20 μ s) filo-PE	2.5 kA	Corrente di scarica I_N (8/20 μ s) GND-PE	2.5 kA
Corrente di scarica I_{max} (8/20 μ s) GND-PE	10 kA	Corrente di scarica I_{max} (8/20 μ s) filo-PE	10 kA
Livello di protezione U_P (tip.)	< 800 V	Livello di protezione lato uscita simm., ingresso 8/20 μ s, tip.	50 V
Livello di protez. lato uscita non simm., ingresso 8/20 μ s, tip.	800 V	Contatto di segnalazione	No
Norme	IEC 61643-21	Colore	scaricatore rosso
Umidità	5...96 %	Classe a norma IEC 61643-21	C1, C2, C3, D1
Corrente di prova fulmine I_{mp} (10/350 μ s)	2.5 kA	Corrente di prova da fulmine I_{mp} (10/350 μ s) [L-PE]	2.5 kA
Corrente di prova da fulmine, I_{mp} (10/350 μ s) [N-PE]	2.5 kA	Resistenza di passaggio	0,20 Ω
Capacità	935 pF	Tensione residua, U_P tipica	800 V
Tipo di tensione	DC	Modalità anomalia sovraccarico	Modus 2
Dati protezione CSA			
Capacità interna, max. C_i	4 nF	Induttività interna, max. L_i	0 μ H
Tensione d'ingresso, max. U_i	28 V		

Tabella 11. Caratteristiche tecniche delle protezioni da sovratensioni.

8.5. La stazione di acquisizione dati

Il sistema prevede una stazione di acquisizione dei dati statici indipendente, opportunamente allocata sul territorio in posizione di interesse per il monitoraggio dei movimenti di fessure/giunti strutturali e ammassi rocciosi. La stazione di misura, completamente autonoma sia per il funzionamento che per l'alimentazione, forma un sottosistema a se stante mediante la rete di cablaggio ad essa dedicata.

I sensori sono stati fissati alle strutture mediante barre metalliche con ancoraggio chimico. Il collegamento alla scheda di acquisizione avviene per mezzo di cavi multipolare con rivestimento in PUR. Inoltre, ove necessario si è provveduto alla protezione del sensore e del cavo con opportuni accorgimenti. La figura 51 riporta un particolare della stazione *wired*.



Figura 51. Stazione di monitoraggio statico a 16 canali.

La centralina di acquisizione **eDAS (configurazione Wired)**, programmabile e di ampia versatilità, con funzionamento a batteria, è indicata tipicamente nel monitoraggio strutturale, con particolare riferimento alla misura dello stato evolutivo di fratture, cedimenti, spostamenti differenziali, fuori piombo, ecc. Essa provvede al monitoraggio automatico per il rilievo e la memorizzazione dei dati provenienti da trasduttori elettrici analogici funzionanti in diversi ambiti applicativi, come ad esempio fessurimetri, inclinometri, sensori di temperatura, misuratori di spostamento a filo, celle di carico, trasduttori di livello, pressione, ecc. Si tratta di un apparato di raccolta dati, in versione base ad 8 canali, ideato, progettato e realizzato con l'obiettivo di fornire uno strumento affidabile ed economico, con alimentazione autonoma, di semplice utilizzo, ideale laddove si presenti l'esigenza di installare un numero limitato di trasduttori elettrici. Tuttavia, la grande versatilità di questo prodotto rende possibile il collegamento di più unità tra loro, fino a costituire una rete multipla che consente di alloggiare decine di sensori oppure l'espansione della singola unità attraverso i moduli *multiplexer*. I suoi punti di forza sono dimensioni ridotte, basso consumo, semplicità di installazione e utilizzo, espandibilità (multicanale e/o multicentralina), diagnostica Integrata, ed invio allarmi tramite SMS.

La gestione del sistema può avvenire localmente (tramite porta USB) o anche in remoto mediante connessione telefonica/GSM oppure *Wireless*. La centralina può essere connessa in rete attraverso un bus seriale RS485, permettendo la interconnessione fino a 255 centraline su tratte lunghe anche 2 km. Inoltre la centralina è in grado di gestire multiplexer esterni permettendo l'espandibilità, a basso costo, del numero di canali.

La capacità della memoria interna ammonta a circa 1.400.000 letture. L'intervallo fra le acquisizioni può essere impostato dall'utente da 1 a 5.999 min (100 h) per il singolo canale. L'autonomia del sistema con batterie standard è di 4/6 mesi in condizioni climatiche non onerose. L'alimentazione avviene con batterie al litio (non ricaricabili) facilmente sostituibili o tramite alimentazione esterna (12 Volt nominali).

Il menù di gestione allarmi via SMS consente l'invio di messaggi di testo in caso di superamenti di soglie (compresi i canali diagnostici) fino a cinque numeri. La diagnostica locale permette il monitoraggio della temperatura interna e la tensione di batteria. Il *software* fornito a corredo consente la programmazione dell'unità e il trasferimento dei dati per le successive elaborazioni, la visualizzazione e memorizzazione diretta mediante l'ausilio di un PC o notebook. Il *firmware* è aggiornabile *on board* attraverso la linea seriale collegata al PC. Le caratteristiche tecniche e meccaniche sono riportate nelle Tabelle 12 e 13.

Cassetta	resina termoplastica
Range Temperature	-20 a 85 °C
Dimensioni (indicative)	460 x 560 x 250mm (L x H x P)
Peso	~ 4,5 Kg
Protezione	IP65

Tabella 12. Caratteristiche meccaniche della centralina di acquisizione.

Microprocessore	8 Bit a 22.1 MHz
memoria Dati RAM	512 KB
memoria Programma Flash	512 KB
memoria Dati Flash	4 MB
Convertitore A/D	16 bit con precisione 1 LSB
Ingressi analogici protetti da sovratensione	8
Selezione alimentazione e tipologia ingressi	(2.5 Volt o 12 Volt) (Corrente/Tensione)
Porta I2C Bus	per controllo <i>multiplexer</i>
Porta seriale	RS-232
Porta seriale	RS-485
Porta seriale	USB oppure Wireless
Relè per attuazione allarmi esterni	(1 uscita n.o., 1 uscita n.c.)
I/O Digitali	4
Real Time Clock	1
Batteria di backup per real time clock	1
Batteria di alimentazione	litio
Sensore di temperatura on board	1

Tabella 13. Caratteristiche tecniche della centralina di acquisizione.

I dispositivi di acquisizione sono gestiti con il *Software* Gestione Acquisitori (SGA) applicativo visuale su piattaforma Windows che permette - tramite linea seriale RS232 o USB, in locale o in remoto - la programmazione, gestione e controllo delle centraline della serie *eDAS*, *Tnode*.

9. Il sistema di monitoraggio delle deformazioni con le fibre ottiche

Le applicazioni delle fibre ottiche come sensori distribuiti di deformazioni o di temperatura si sono moltiplicate negli ultimi anni [Gagliardi et al. 2008]. In particolare, tramite lo *scattering Brillouin* stimolato è possibile misurare sia deformazioni che temperatura in continuo e con altissima risoluzione spaziale [Minardo et al. 2012]. Opportunamente collegata all'oggetto da monitorare, una singola fibra ne può infatti registrare deformazioni o temperatura medie ogni 20 cm per tutto il tratto strumentato, che può raggiungere una lunghezza di alcune decine di chilometri. Separando opportunamente le funzioni di due fibre installate in parallelo, è possibile acquisire sia deformazioni, fino a valori di $4\mu\epsilon$ nel campo compreso fra -3% e +3%, che variazioni di temperatura, fino a 0.2°C nel campo fra -273 e 1000°C .

Le fibre ottiche sono di modestissimo ingombro, e quindi facilmente occultabili, leggere, flessibili, immuni da interferenze elettromagnetiche, corrosione o alterazione per contatto con agenti chimici. Queste caratteristiche consentono di contenere enormemente i costi di installazione e manutenzione, assicurando nel contempo un altissimo rendimento in termini di qualità ed affidabilità delle misure.

Gli sviluppi degli ultimi anni rendono le fibre ottiche strumenti affidabili per il monitoraggio distribuito e permanente di qualsiasi tipo di manufatto e per ulteriori applicazioni speciali in tutti i campi dell'ingegneria e per la difesa dell'ambiente.

Collegando una centralina di misura ad una singola fibra installata sulla struttura da monitorare (un metanodotto come una diga di terra, una soletta da ponte come un geosintetico, un ancoraggio come un binario ferroviario e così via), è possibile misurare in continuo spaziale e temporale le deformazioni indotte da fenomeni meccanici o termici e/o le variazioni di temperatura prodotte da fenomeni ambientali o di qualsiasi altro tipo. Sensori più complessi, ancora basati sull'uso di fibre ottiche, possono essere realizzati quando si intenda acquisire grandezze derivabili dalle deformazioni longitudinali della fibra, come rotazioni o spostamenti in direzione qualsiasi.

Il principale vantaggio del monitoraggio distribuito sta nella possibilità di tenere sotto controllo la grandezza di interesse in ogni punto della struttura a cui la fibra è collegata, e questo per estensioni spaziali fino a decine di chilometri ed altissima frequenza di acquisizione (fino ad alcune volte al secondo). Questo permette di prescindere da una scelta a priori dei punti, ritenuti critici, da tenere sotto controllo come richiesto dal monitoraggio tradizionale.

Tramite verifiche sulle condizioni di lavoro del manufatto, è possibile intervenire in tempo reale, se necessario, per adeguarne il funzionamento agli standard per i quali esso è stato concepito.

Il cavo che si intende utilizzare per le misure di deformazione nella falesia di Coroglio è un cavo speciale per applicazioni sensoristiche prodotto dalla *Brugg Cables* in Svizzera (http://www.bruggcables.com/site/index.cfm/id_art/31789). Il cavo è denominato *Brusens strain V1*.

Riportiamo nella figura 52 uno schema della sezione del cavo. Il cavo è composto dai seguenti strati:

- 1) Rivestimento esterno in poliuretano (PUR).
- 2) Strato plastico di protezione con sistema di *interlocking*.
- 3) Multistrato "cuscinetto" e strato di trasferimento *strain* con sistema di *interlocking*.
- 4) Fibra ottica singolo modo *bend insensitive*.

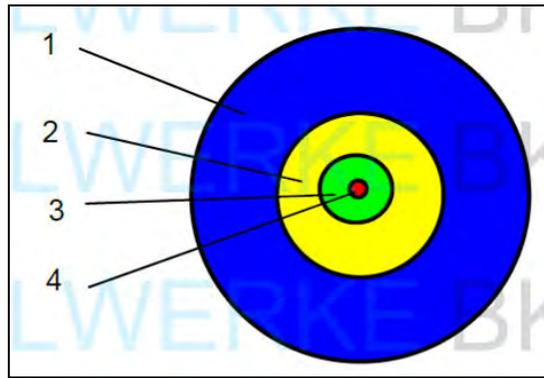


Figura 52. Schema della sezione del cavo per misure di deformazione.

Il cavo è longitudinalmente e trasversalmente impermeabile, e non contiene parti metalliche. Il diametro esterno è di 3.2 mm, mentre il peso è di 7.5 kg/km. La resistenza a trazione del cavo è pari a 10 N, mentre il carico necessario ad una elongazione dell'1% è pari a 27 N.

La fibra ottica impiegata ha uno *shift Brillouin* nominale pari a circa 10.6 GHz (alla temperatura di 20 °C), ed una sensibilità allo *strain* pari a 450MHz/%.

Lo schema a blocchi della centralina optoelettronica è mostrato in figura 53. Il set-up si basa sull'impiego di una singola sorgente laser a banda stretta, operante alla lunghezza d'onda di 1.55 μm . Tale lunghezza d'onda consente di utilizzare componenti standard per le telecomunicazioni, con notevoli vantaggi sia in termini di costi che di affidabilità. Inoltre, a tale lunghezza d'onda l'attenuazione delle fibre ottiche standard in silice è molto bassa ($\sim 0.2\text{dB/km}$), il che rende possibile l'esecuzione di misure su fibre di notevole lunghezza ($> 10\text{km}$).

Come sorgente laser viene utilizzato un diodo laser a *feedback* distribuito (DFB-LD), con potenza massima in uscita di circa 40 mW e larghezza di riga di 1 MHz. Il *chip* laser, con *package* di tipo *butterfly*, è montato su un alimentatore con controllo sia della corrente che della temperatura, tale dunque da garantire una stabilità sia del livello di potenza che della lunghezza d'onda emessa dal laser. L'uscita del laser è resa disponibile su fibra a mantenimento di polarizzazione di tipo "PANDA", con allineamento sull'asse lento. La radiazione laser è suddivisa in due fasci per mezzo di un accoppiatore 50/50, realizzato in tecnologia *fused fiber* anch'essa a mantenimento di polarizzazione. Una delle due porte di uscita dell'accoppiatore è connessa ad un primo modulatore di intensità elettro-ottico (IM1), impiegato per la generazione della radiazione di probe, mentre l'altra porta è connessa ad un secondo modulatore elettro-ottico (IM2) deputato alla generazione degli impulsi di pompa. Entrambi i modulatori sono caratterizzati da una banda di modulazione pari a 12 GHz e fibra di ingresso a mantenimento di polarizzazione di tipo "PANDA". È importante sottolineare la necessità di impiegare esclusivamente componenti a mantenimento di polarizzazione nel percorso di collegamento tra il laser e i modulatori. Infatti, quest'ultimi operano efficacemente, in termini di rapporto di estinzione, solo se alimentati con luce laser allineata secondo l'asse del cristallo elettro-ottico di Niobato di Litio. In una prima versione della centralina, tale condizione veniva assicurata mediante l'inserzione di un controllore elettrico di polarizzazione a monte di IM2 (PC). Successivamente, tale controllore di polarizzazione è stato eliminato, in quanto l'impiego di componenti a mantenimento di polarizzazione più stabili rendevano superfluo il suo utilizzo.

La generazione del fascio di probe, *shiftato* in frequenza rispetto al fascio di pompa, avviene pilotando il modulatore IM1 con un segnale a RF prodotto da un sintetizzatore PLL alle microonde. Quest'ultimo è caratterizzato da un *range* in frequenza compreso tra i 10 GHz e i 12 GHz, e da una potenza in uscita pari a 17 dBm. Il modulatore IM1 produce in uscita un fascio con due bande laterali ottiche, ciascuna spostata in frequenza rispetto alla frequenza laser di una quantità pari alla radiofrequenza applicata in ingresso al modulatore stesso. Il filtro ottico FBG, caratterizzato da una banda passante di circa 6 GHz, lascia passare solo delle due bande laterali prodotte da IM1. La scelta della riga da filtrare viene effettuata settando la corrente e la temperatura di esercizio del laser. In particolare, impostando una corrente di 250 mA ed una temperatura di 25 °C, la lunghezza d'onda del laser è tale per cui solo la componente di Stokes, ossia la banda laterale a frequenza minore, viene lanciata nella fibra di *sensing*. Considerando sempre il ramo di probe, il fascio in uscita al filtro viene amplificato attraverso un amplificatore ottico in fibra (EDFA1) fino ad una potenza pari a circa 0 dBm. A valle dell'EDFA è posto infine un isolatore ottico, utile a bloccare la radiazione di pompa proveniente dalla direzione opposta.

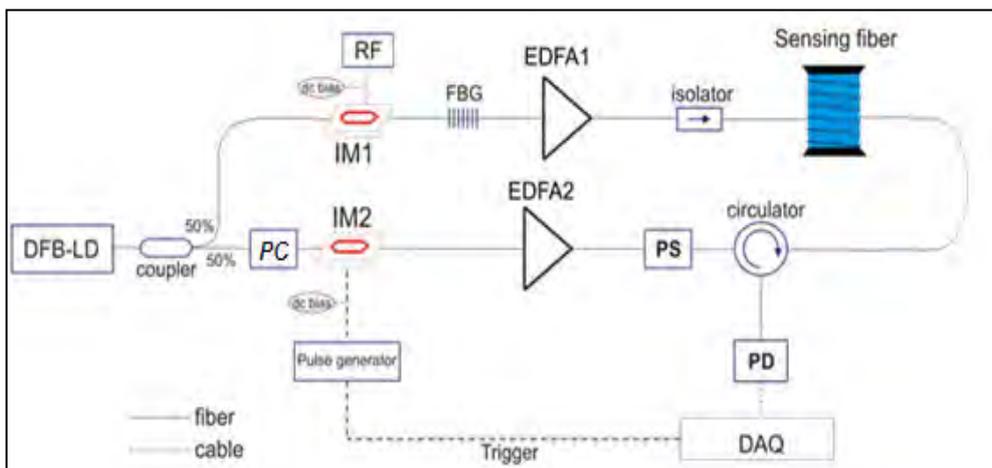


Figura 53. Set-up sperimentale del sensore distribuito di temperatura e deformazione in fibra ottica.

Sul ramo di *pump*, il modulatore IM2, pilotato da un generatore elettrico di impulsi, genera impulsi ottici della durata di alcuni ns, i quali vengono amplificati mediante un secondo amplificatore ottico (EDFA2) settato ad una potenza di uscita pari a circa 10 dBm. Prima del lancio nella fibra di *sensing*, gli impulsi di pompa vengono depolarizzati attraverso uno *scrambler* di polarizzazione (PS), che ha il compito di eliminare le fluttuazioni di guadagno *Brillouin* associate alle variazioni nello stato di polarizzazione lungo la fibra di *sensing*. L'impulso di pompa in uscita dallo *scrambler* interagisce con l'onda di *probe* lungo la fibra di rilevamento. L'onda di *Stokes* retro-riflessa, generata per effetto SBS, viene inviata al foto-rilevatore DET attraverso un circolatore a tre porte. L'uscita del foto-rilevatore è infine campionata mediante una scheda di acquisizione analogico/digitale, *triggerata* dallo stesso generatore elettrico di impulsi impiegato per il pilotaggio di IM2. La scheda A/D è caratterizzata da una banda passante di 1 GHz, una massima frequenza di campionamento pari a 4 GS/s (equivalente ad un punto di misura ogni 2.5 cm), e dalla presenza di una FPGA *on-board* per il *processing* dei dati acquisiti. Il foto rilevatore, invece, è caratterizzato da una banda passante di 3.5 GHz e da un guadagno di trans conduttanza pari a circa 400 V / W.

L'intero sistema è completamente automatizzato e gestito attraverso un PC montato su scheda mini ITX. In particolare, il PC viene impiegato per settare di volta in volta la frequenza del sintetizzatore a microonde, la durata degli impulsi di pompa, il guadagno degli EDFA, nonché tutti i parametri orizzontali e verticali della scheda A/D. I segnali acquisiti da quest'ultima vengono trasferiti al PC, il quale provvede alla loro elaborazione in ambiente MATLAB al fine di estrarre il profilo di temperatura e/o deformazione lungo la fibra di *sensing*.

10. Il sistema di monitoraggio dinamico

La rete di monitoraggio progettata prevede anche l'utilizzo di sensori con acquisizione dei dati in campo dinamico. Il dispiego di accelerometri in configurazione di *array* risulta di grande utilità ed interesse in particolare nell'area vulcanica dei Campi Flegrei, e ricopre un ruolo imprescindibile nella caratterizzazione dinamica del sito in esame.

I diversi fenomeni naturali e/o antropici riscontrabili nell'area in esame: traffico veicolare, moto ondoso e ventoso, eventi sismici naturali o indotti o più in generale il così detto "rumore ambientale" rappresentano dei segnali che si propagano nel suolo con delle frequenze proprie caratteristiche. Quando questi segnali interagiscono con la falesia subiscono delle alterazioni sia in termini di ampiezza del segnale sia in termini di contenuto in frequenza. La falesia, infatti, può interagire (interagisce) con i segnali che possono presentarsi deboli alla sua base fino a renderli distintamente percepibili alla sommità o viceversa.

L'amplificazione e/o deamplificazione delle differenti frequenze che compongono le vibrazioni interagenti con la falesia ne caratterizzano la risposta dinamica. Per comprendere e definire tale comportamento si può ricorrere all'analisi spettrale del microtremore (rapporto spettrale H/V o tecnica di Nakamura) [Nakamura, 1989] registrato dalle stazioni sismiche. In questo caso si parla di microtremore poiché le vibrazioni che si vuole osservare sono caratterizzate da accelerazioni dell'ordine di 10^{-15} m/s².

La metodologia dei rapporti spettrali si applica prevalentemente su lunghe registrazioni (giorni e/o mesi) di rumore sismico al fine di aumentare la stabilità dei risultati. La tecnica di Nakamura consente di definire le frequenze di risonanza di un terreno, consentendo quindi di comprendere quali sorgenti antropiche o naturali possono essere più pericolose per la stabilità della falesia a per tutte le infrastrutture presenti sulla sua sommità. Supponendo di poter considerare la falesia sottoposta mediamente al medesimo rumore di fondo e disponendo di un sistema di più stazioni sismiche (dalle caratteristiche equivalenti) disposte in diversi punti del sito è possibile confrontare i risultati ottenuti alle diverse stazioni (caratterizzazioni puntuali) per caratterizzare il comportamento globale del sito.

La possibilità di disporre, grazie all'intervento dell'Osservatorio Vesuviano, di un elevato numero di stazioni sismiche (non inferiore a 4) tutte caratterizzate dai medesimi sensori, e la possibilità di collocarle in punti chiave della falesia (sommità, base e all'interno di gallerie longitudinali e perpendicolari alla falesia) in corso di evento, rappresenterà un notevole sviluppo nel campo dei sistemi di monitoraggio attivo delle linee di costa.

10.1. Strumentazione dinamica

L'acquisitore digitale dinamico ad alta risoluzione Dymas 24 offre una soluzione ai diversi problemi di monitoraggio dinamico. La filosofia costruttiva si basa sul modulo base disponibile a tre o sei canali e nelle diverse combinazioni ottenibili utilizzando il singolo modulo o più moduli con l'aggiunta di schede, componenti accessori e versioni *software*. Ad esso possono essere collegati sismometri, accelerometri di vario tipo (*force balance*, ICP, Mems, piezoelettrici), geofoni ed anche sensori di tipo statico. I numerosi accessori disponibili (GSM, GPRS, Modem, WiFi, cavi, armadi, pannelli solari) completano il sistema.

Le configurazioni del sistema possono soddisfare varie esigenze di misura:

- Monitoraggio vibrazionale nel rispetto delle normative di riferimento DIN4150-3, DIN45669-1 e UNI9916, come ad esempio monitoraggio di vibrazioni su strutture civili e industriali (ponti, viadotti, campanili, ciminiere e strutture in genere) dovute ad attività antropiche e da eventi naturali.
- Caratterizzazione sismica dei terreni (determinazione parametro H/V, metodo Nakamura, [1989]).
- Monitoraggio *Rock Noise*.
- Monitoraggio dinamico strutturale per il controllo delle azioni sismiche e del vento sulle strutture.
- Stazioni e reti sismiche.

Ogni scheda di acquisizione può acquisire fino a 6 canali ed ha un processore DSP *on-board* che gestisce autonomamente le funzioni di:

- digitalizzazione e gestione amplificazione dei 3/6 ingressi relativi alla scheda;
- filtro *anti-aliasing* con attenuazione >120dB alla frequenza di Nyquist;
- *oversampling* e decimazione del campionamento alla frequenza desiderata;
- registrazione continua del *pre-trigger* su *buffer* circolare in RAM;
- filtro ed *event detector* in tempo reale di tutti i canali;
- calcolo e memorizzazione dei valori minimi e massimi nella *SD card on board*;
- memorizzazione sulla *SD card on board* delle registrazioni di evento;
- *range* della frequenza di campionamento da 10 Hz a 10 KHz.

Ogni scheda è dotata di sezione autonoma di alimentazione. Questa architettura *hardware* consente al sistema di continuare a funzionare anche in caso di guasto di una delle schede di acquisizione (Fig. 54).

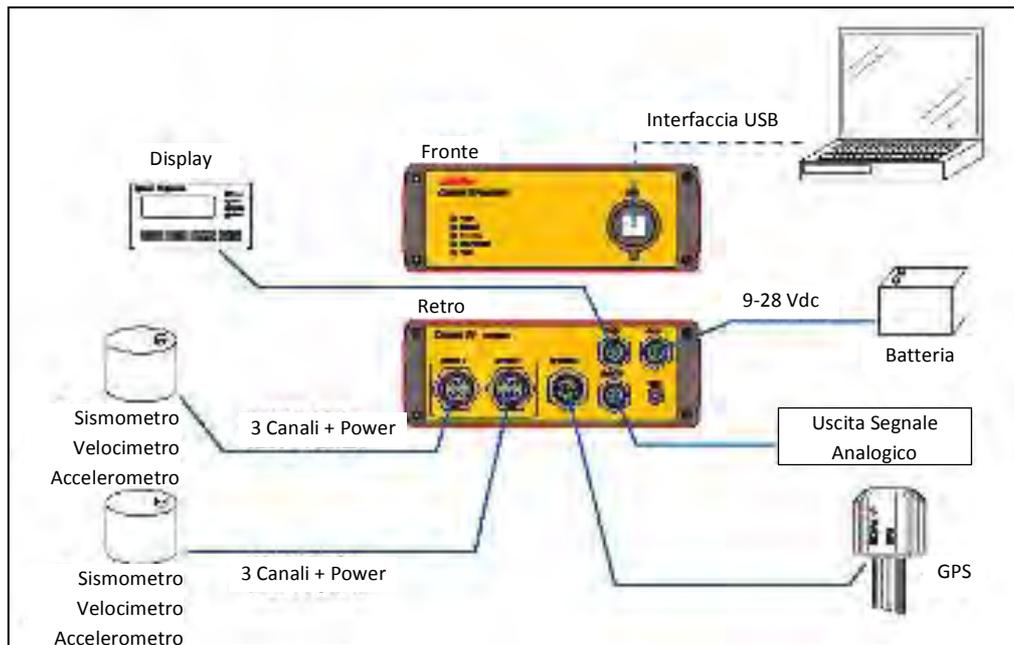


Figura 54. Schema di collegamento.

Il modello DYMAS 24-USB, la cui applicazione principale è il monitoraggio vibrazionale di strutture, è disponibile a 3 o 6 canali, ed è possibile collegare un display esterno. L'interfaccia USB consente una connessione solo in locale per la programmazione, la gestione e il download dei dati. Lavora in registrazione continua e/o a trigger, con funzioni di calibrazione sensore e memoria interna fino a 32 Gb per gruppi di 6 canali. Nel modello Dymas 24 *Master o Multichannel* è presente un vero e proprio PC dotato di sistema operativo Windows Embedded Compact, e sono garantite alcune operazioni aggiuntive quali:

- *download* automatico delle registrazioni di eventi registrati dalle singole schede di acquisizione, aggregando i dati in un unico file evento;
- *download* automatico delle registrazioni dei valori minimi e massimo registrati dalle singole schede di acquisizione, aggregando i dati in un unico file giornaliero.

Un pannello di controllo frontale permette la visualizzazione dei dati salienti e di settare le funzioni principali. Il timing assoluto delle acquisizioni è garantito dall'utilizzo di un'unità GPS, collegabile esternamente. Tutti i sistemi offrono dinamiche elevate >130 db e la versione *Multichannel* prevede una modularità fino a 60 canali. L'assemblaggio in armadi IP67 consente di concentrare, impianti fino a 60 canali a multipli di 6, dotati di alimentazione in tampone con batterie da 12V, protezioni da scariche elettriche, condizionatori ICP (opzionali) e altri accessori quali pannelli solari.

L'elevato *range* della frequenza di campionamento da 10 Hz a 10 KHz consente l'utilizzo anche per monitoraggio di tipo *Rock Noise*. Il *software* di gestione delle centraline DymasSoft, integrato con il *software* di elaborazione dati VibroSoft consentono l'elaborazione e la presentazione dei dati; i formati di comunicazione previsti rendono comunque il sistema compatibile con i più comuni software presenti sul mercato. La comunicazione delle versioni *Master & Multichannel* con il mondo esterno avviene utilizzando le varie interfacce montate per i vari sistemi di trasmissione dati (Ethernet, LAN, WiFi, GPRS,UMTS, RS422, USB).

Alla centralina possono essere collegati oltre i sensori dinamici anche sensori di tipo statico. La configurazione *Master* trova la sua migliore applicazione per piccole stazioni sismiche indipendenti (stand alone) e per monitoraggi mediante reti accelerometriche in generale aventi più di 6 canali di acquisizione configurabili per le applicazioni generali sopra descritte. La principale applicazione della versione *Multichannel* riguarda i monitoraggi accelerometrici sia di strutture di medie e grandi dimensioni, quali ad esempio dighe, ponti e viadotti e grandi edifici strategici (Fig. 55), sia la realizzazione sul territorio di reti accelerometriche locali, provinciali e regionali. Le caratteristiche tecniche sono riportate in tabella 14.



Figura 55. Dymas24 *Multichannel* utilizzato nel progetto Chiesa delle Anime Sante a L'Aquila (BOVIAR).

Canali di ingresso	Da 1 a 6 sensori per ogni unità di registrazione (fino a 60 canali).
Configurazione	Stand-alone o rete multi-stazione.
<i>Timing</i>	Interno RTC aggiornato via GPS o sul telecomando - campionamento simultaneo.
<i>Triggering mode</i>	Attivazione soglia di livello in modalità e/o STA/LTA, selezionabile per ogni canale.
Diagnostica	Tensione batteria, temperatura, sensori.
Convertitore	Individuale 24 bit Sigma/Delta per ogni canale, con DSP ogni 6 canali, filtro anti-aliasing digitale integrato.
Modalità di registrazione	Trigger interno/esterno, continuo, a tempo o remoto, lunghezza post-trigger selezionabile. Registrazione dei valori ponderati (min-max), in accordo con la DIN 4150 parte II, selezionabile da 1 a 100 secondi.
Memorizzazione dei dati	Scheda di memoria interna 2 Gb per 6 gruppo di canali (fino a 32GB opzionale).
Consumo di energia	1 W per gruppo di 6 canali (attivo).
Comunicazione	Ethernet TCP/IP via cavo/wireless, modem, GPS, USB 2.0.
Livello di ingresso	5Vpp, 20Vpp, input differenziale.
Calibrazione	<i>Built-in.</i>
Campionamento	Selezionabile tra 10 e 10.000 Hz.
<i>Bandwidth</i>	DC-8.000 Hz.
<i>Range</i> dinamico	> 130 dB.
Gain	Programmabile per canale 1,2,4,8,16,32,64,128.
Filtro anti <i>aliasing</i>	FIR, Freq. di attenuazione di Nyquist (1/2 sample rate) > -120 dB, taglio di frequenza 0.4 del sample rate.
<i>Ethernet</i>	Configurazione RJ-45 via pc o connessione remota.
Antenna GPS	Sincronizzazione GPS, interfaccia RS-422.
<i>Power</i>	Da 3VDC a 30VDC (adattatore 120/240 V AC, opzionale) spegnimento automatico quando la batteria < 10.2 V, accensione con > 11.8 V.

Sensori sismici	Sismometri, accelerometri “ <i>force balance</i> ”, ICP, piezoelettrici, MEMS geofoni.
Altri sensori (opzionale)	Estensimetri, termocoppie, idrofoni, piezometri.
Altre interfacce	USB/RS232/RS422/modem.

Tabella 14. Caratteristiche tecniche generali.

Il sismometro VELOGET 3D-1Hz (Fig. 56) è un sismometro triassiale di classe I, conforme alle normative DIN 4150-3, DIN 45669-1, UNI 9916 e UNI 9614. È uno strumento estremamente compatto, alloggiato in contenitore metallico IP67, prodotto in configurazione triassiale, biassiale e monoassiale per applicazioni verticali o orizzontali; esso è costituito da terna di geofoni linearizzata elettronicamente, con dinamica superiore a 130dB ed è il giusto complemento agli acquisitori della serie Dymas e Edax. Un particolare sistema sulla piastra di fondo permette il fissaggio a parete con unico tassello e le tre viti di regolazione garantiscono la messa in bolla. L’elettronica interna prevede la gestione dei test funzionali, programmabili dall’acquisitore.



Figura 56. Sismometro triassiale.

Il *software* VIBROSOFT consente di visualizzare l’andamento massimo di accelerazione o velocità in modo rapido. Nella figura 57 vengono riportati i valori di oscillazione massima per ogni canale con grafici a cadenza impostabile oraria, giornaliera o mensile. Nel caso di superamento delle soglie impostate i segnali sono registrati in forma non compressa e possono essere scaricati ed analizzati sia in termini di ampiezza di oscillazione massima di picco puntuale per ogni singola componente sia in termini di analisi spettrale. Questa è utilizzata per la determinazione della distribuzione spettrale dell’energia in quanto valore di riferimento fornito dalla normativa è variabile in funzione della frequenza. Grazie alla sincronizzazione dell’acquisitore tramite sistema GPS ogni evento registrato può essere datato con precisione assoluta.

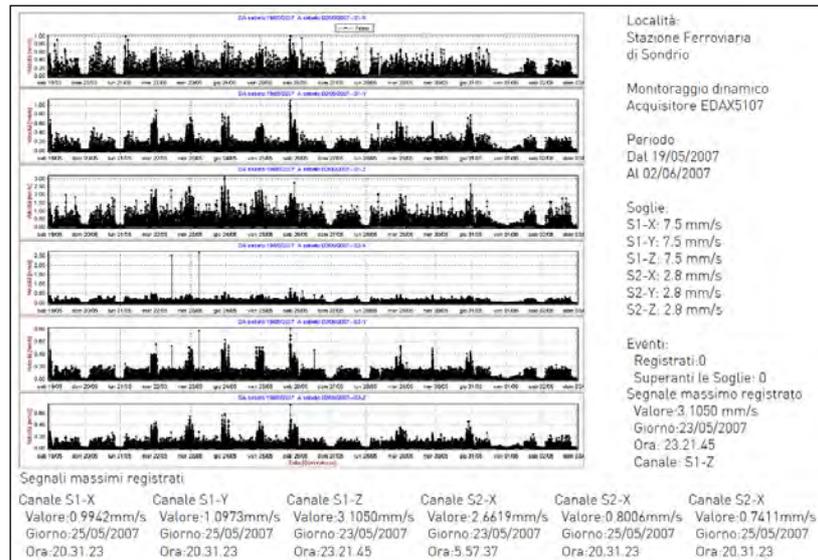


Figura 57. Esempio di valori di oscillazione massima per ogni canale con grafici a cadenza impostabile oraria, giornaliera o mensile

Un modulo *software* consente anche la registrazione continua del segnale non compresso sull'HD del PC. In questo modo è possibile procedere con un post processing al recupero automatico o manuale anche dei dati la cui ampiezza, inferiore alla soglia di registrazione, non avrebbe attivato la registrazione non compressa. Questa funzione richiede che il PC sia connesso permanentemente all'acquisitore e che il canale di comunicazione supporti la mole di dati da trasferire in tempo reale. I dati registrati possono essere convertiti in altri formati (ASCII, SEG2, ecc.) a richiesta è possibile la personalizzazione del formato.

11. Il sistema di monitoraggio meteorologico

Il sistema di monitoraggio meteorologico si compone di una centralina meteorologica wireless, opportunamente collegata ad un server dedicato, installato presso la sede dell'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero e finalizzato, tramite opportuno software, alla acquisizione, archiviazione e post-elaborazione dei dati meteorologici nonché alla loro immissione, in *real time*, nella rete locale e in internet.

Il sistema di acquisizione dei dati meteorologici è composto da un elemento operativo esterno, il modulo termo-igro-pluviometrico, gruppo ISS (*Integrated Sensor Suite*), collegato in modalità wireless alla centralina interna di acquisizione e visualizzazione dati (*console*), la quale, attraverso collegamento con *datalogger* IP, trasferisce i dati sul server locale e, attraverso apposito HUB/Switch, li immette in rete.

Il sistema è strutturato in maniera tale da realizzare N°2 livelli di *back up* dati:

- 1° livello: *storage* su server locale
- 2° livello: *storage* su server *WeatherLink*

Sul server è stato installato il software dedicato *WeatherLink*, che consente la creazione di un database contenente tutti i dati rilevati dai sensori, ad intervalli prestabiliti dall'utente (intervallo: 10 minuti). Tutti i dati sono estraibili dal DB in forma numerica (file di testo), esportabili in Excel®, trasponibili in forma grafica, con tutte le possibili combinazioni parametriche. Il *software* produce anche report in forma adottata dai principali Enti di ricerca mondiali in campo meteorologico e climatologico (Es.: stile NOAA).

Il sistema HW/SW è configurato in maniera tale da rendere disponibili sul web tutte le informazioni meteorologiche. La resa può avvenire sfruttando i grafici prodotti di default dal SW *WeatherLink* oppure da altri SW (per esempio il *Weather Display*). Di particolare interesse informativo risultano alcune Gif prodotte da tali SW (tipo: Valori rilevati ogni 10 minuti).

Nelle tabelle a seguire (Tabb. 15-18) si riportano le caratteristiche tecniche degli elementi costituenti il sistema di monitoraggio meteorologico nel suo insieme.

Temperatura interna - campo di misura	da -10°C a +60°C (da 14°F a 140°F)
Temperatura del display	da 0°C a +60°C (da 32°F a 140°F)
Corrente di alimentazione	10 mA (media), 15 mA (picco), (+80 mA per display illuminato) a 4 - 6 V DC
Trasformatore	5 V DC , 200 mA
Batterie di backup	batterie 3-C
Durata batterie (senza alimentazione AC)	circa 1 mese
Cavi	modulari RJ 11
Materiale	materiale plastico ABS resistente ai raggi UV
Tipo di display	cristalli liquidi
Dimensioni console	mm (264 x 156 x 38)
Dimensioni schermo LCD	mm (151 x 86)
Peso (con batterie)	0.850 kg

Tabella 15. Caratteristiche tecniche della *console*.

Temperatura di esercizio	da -40°C a +60°C (da -40°F a +140°F)
Fonte di alimentazione	pannello solare fotovoltaico
Cavi	modulari RJ 11
Tipo di connettori	4 fili – 26 AWG
Lunghezza cavo anemometro	12 m (fornitura) – 165 m (massimo raccomandato)
Sensore anemometrico	coppette semisferiche con <i>switch</i> magnetico
Sensore anemoscopio	banderuola con potenziometro
Tipo di pluviometro	bascula ribaltabile, 0.200 mm/ribaltamento, 214 cmq sezione di imbocco
Tipo di sensore termico	termistore a filo di platino
Tipo di sensore igrometrico	elemento a film capacitore
Materiale	materiale plastico ABS resistente ai raggi UV
Dimensioni	mm (356 x 238 x 533)
Peso	2.62 kg

Tabella 16. Caratteristiche tecniche del Vano sensori integrati (ISS) *wireless*.

Pluviometro a bascula cromata	sensibilità 0.200 mm
Imboccatura pluviometro ad alto profilo tagliente	
Sensore magnetico con contatto in ampolla di vetro per rilevamento del movimento della bascula	
Struttura in materiale PVC altamente resistente alle intemperie	
Intervallo di aggiornamento	10 secondi
Precisione	<ul style="list-style-type: none"> • per intensità di pioggia sino a 50 mm/h +/- 4% sul totale • per intensità di pioggia tra 50 e 100 mm/h +/- 5% sul totale

Tabella 17. Caratteristiche tecniche del sistema pluviometrico.

Risoluzione ed unità	<ul style="list-style-type: none"> • dati correnti: 0,1 o 1°C (selezionabile dall'utente) • dati storici e allarmi: 1°C (selezionabile dall'utente)
Intervallo	da -40°C a +65°C (da -40°F a +150°F)
Precisione	+/- 0.5°C sino a 43°C - +/- 1°C sopra i 43°C
Errore di misura della temperatura dovuto alla massima radiazione solare (ore 12.00)	+2.0°C (radiazione 1040 W/mq, velocità media vento <1 m/s) – (riferimento: RM Young Model - schermo ventilato)
Intervallo di aggiornamento	10 secondi

Tabella 18. Caratteristiche tecniche del sensore di Temperatura esterna ubicato nella ISS.

Il Centro di supporto alle apparecchiature di rilevamento meteorologico è costituito da un PC server ubicato presso un locale CNR-IAMC, dove sono presenti alimentazione elettrica, gruppo di continuità con sistema di protezione da sovratensioni e sbalzi di corrente elettrica che permetta un uso continuativo e protetto del sistema, connessione ad una linea ADSL attraverso la rete LAN.

Il PC server ad intervalli regolari acquisisce i dati rilevati dalla centralina meteo. Il pacchetto dati comprende tutte le informazioni meteorologiche del momento, comprensive degli estremi raggiunti nell'intervallo di tempo trascorso tra un aggiornamento ed un altro.

Sul PC server è costantemente attiva una sessione del software *Weather Link*, in modo da disporre di aggiornamenti meteorologici in tempo reale o comunque con un delay minimo. È possibile importare in qualsiasi momento anche collegandosi da remoto al PC server (quindi da qualsiasi PC connesso a internet tramite apposite username e password di protezione), i dati sia in forma grafica che tabulare in formato *txt* o *xls*.

Il sistema di monitoraggio meteorologico è soggetto a procedure di controllo periodiche della complessiva efficienza. Tale programma prevede:

- 1) verifica iniziale in merito alla precisione delle misure e successiva procedura di taratura del pluviometro con indicazione delle specifiche procedure adottate;
- 2) operazioni di manutenzione ordinaria in totale accordo con quanto previsto dai manuali di uso e manutenzione dei singoli componenti;
- 3) due visite ispettive per anno presso la stazione per la verifica delle condizioni generali dell'installazione e al riscontro di qualunque circostanza che possa influenzare la precisione e l'affidabilità dei rilevamenti;
- 4) controllo giornaliero sull'afflusso di dati provenienti dalle stazioni al fine di poter accertare ogni eventuale malfunzionamento ed intervenire tempestivamente per risolvere il disservizio.

Si riportano le tabelle descrittive (Tabella 19) della centralina meteorologica installata e le fotografie descrittive (Figg. 58-62).

Comune di installazione	NAPOLI
Data di installazione	27 dicembre 2013
Sito di installazione	Via Posillipo
Coordinate geografiche del sito di installazione	40° 48' 05" N – 14° 11' 9.45" E
Quota sul livello del mare (sensori esterni)	135 m
Supporto strumentazione	Palo telescopico in acciaio zincato a caldo (L = 7,50 m da piano calpestio terrazza)
Tipo di fissaggio supporto	Collari ancoranti a pilastrino d'angolo di ringhiera metallica

Tabella 19. Stazione di Capo Posillipo (c/o Istituto Francesco Denza).



Figura 58. Vista d'insieme della centralina meteo (gruppo anemometrico sulla estremità del palo, gruppo termo-igro-pluviometrico a mezza altezza).



Figura 59. Vista del sito di installazione dalla terrazza inferiore.



Figura 60. Panoramica *wide-angle* del settore tra NE e SE.



Figura 61. Panoramica *wide angle* del settore tra ESE e SSW, con Capri sullo sfondo in direzione S.



Figura 62. Panoramica dell'area verde a Nord dell'edificio ove è installata la centralina meteorologica.

Nell'attuale configurazione di progetto si prevede la gestione automatica dei dati provenienti dal sistema di monitoraggio strutturale (statico) su un server o PC dotato di opportuni accessori di comunicazione (accesso internet, gestione remota, area FTP statica pubblica) nel formato testo.

Per la strumentazione dinamica si prevede lo scarico manuale dei dati con l'eventuale opzione di configurazione dell'invio di sms a superamento della soglia. La strumentazione dinamica sarà alimentata con pacco batterie al piombo e pannello solare.

Nel primo anno di gestione del sistema sono previsti fino a 3 interventi a chiamata con operatore in parete per eventuali operazioni di regolazioni e verifiche, contemplate nel piano di assistenza programmato. Sono previsti altresì interventi on site ed in assistenza remota a chiamata su necessità.

Conclusioni

In questo rapporto tecnico sono state descritte le fasi progettuali e lavorative necessarie per la realizzazione di un sistema di monitoraggio di una falesia costiera in tufo, dall'inquadramento geologico-strutturale dell'area, fase di studio fondamentale per la scelta del sito di dettaglio, e della sensoristica più idonea, fino alla scelta della tipologia di strumentazione e di sensoristica adottata ed infine alla modalità di installazione della stessa.

Il progetto per il monitoraggio di stabilità denominato TCM (*Tuff Cliff Monitoring*) ha interessato una porzione della falesia ubicata a Coroglio (Napoli) caratterizzata dalla presenza di blocchi tufacei in condizioni di equilibrio precario, dalle dimensioni anche di diversi m³, dove si sono verificati in passato fenomenologie di crollo. L'instabilità geomorfologica è connessa all'evoluzione vulcano-tettonica dell'area, alla trasformazione antropica del territorio e ai processi di degradazione ed erosione proprie della fascia costiera dovuti all'azione erosiva del mare e degli agenti atmosferici.

L'analisi giaciturale e geostrutturale per il sito di Coroglio è stata ottenuta dalla combinazione dell'elaborazione dei dati rilevati con il *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) e dei rilievi geostrutturali in parete. Il TLS ha consentito la realizzazione di un modello tridimensionale dal quale sono state ottenute

informazioni sull'assetto giaciturale e geostrutturale del fronte, individuando alcune famiglie di discontinuità ed i loro rapporti geometrici. Questi risultati sono stati in seguito integrati e validati dai rilievi effettuati direttamente in parete, i quali hanno inoltre permesso di individuare i blocchi di tufo in condizioni di precaria stabilità, che sono stati oggetto dell'installazione di sensori tradizionali ed in fibra ottica al fine di ottenere un monitoraggio integrato e multiparametrico.

La progettazione della rete si è basata su alcuni parametri da determinare come il movimenti di blocchi rocciosi lungo la falesia e l'apertura delle fratture che delimitano tali blocchi (parametri diretti) oltre che dalle variazioni dei parametri ambientali, meteo-climatici e sismici (parametri indiretti). Il sistema di acquisizione e di trasmissione progettato è di tipo misto, ovvero con trasmissione in remoto per i dati di spostamento e meteorologici, lettura manuale periodica per i sensori in fibra ottica e in locale per quanto riguarda i dati sismici con avvisi automatici solo in caso di superamento delle soglie.

Il sistema di monitoraggio della falesia nel complesso prevede l'impiego di 13 sensori statici (9 fessurimetri a base lunga, 2 termometri, 2 inclinometri biassiali), 1 sensore dinamico (velocimetro triassiale) e l'uso di cavi in fibra ottica per le informazioni sulle variazioni di temperatura e le deformazioni in continuo con un'elevata risoluzione spaziale. Il monitoraggio è integrato con rilievi multitemporali mediante TLS e UAV.

Gli obiettivi futuri sono quelli di effettuare l'analisi dei dati raccolti a fini scientifici e di sperimentare il sistema per la definizione di protocolli per il monitoraggio in tempo reale della stabilità della falesia, che una volta validati, potranno essere estesi ad altri siti di interesse.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato interamente finanziato dal progetto MON.I.C.A. (*MONitoraggio Innovativo per le Coste e l'Ambiente marino*) PON01_01525 nell'ambito del Programma Operativo Nazionale Ricerca e Competitività 2007/2013. Inoltre, si ringraziano vivamente per la disponibilità dimostrata ed il fattivo spirito di collaborazione il dott. Giovanni Spagnuolo, la dott.ssa Monica Adamo, il dott. Osvaldo Catapano e la dott.ssa Rosa Stefanelli, facenti capo al "Servizio Protezione Civile", al "Servizio Difesa Idrogeologica del Territorio e Sicurezza Abitativa" ed al "Servizio Qualità dello Spazio Urbano" del Comune di Napoli.

Bibliografia

- Abellán A., Calvet J., Vilaplana J.M., Blanchard J., (2010). *Detection and spatial prediction of rockfalls by means of terrestrial laser scanner monitoring*. *Geomorphology*, 119:162-171.
- Abellán A., Jaboyedoff M., Oppikofer, T., Vilaplana, J.M., (2009). *Detection of millimetric deformation using a terrestrial laser scanner: Experiment and application to a rockfall event*. *Natural Hazards and Earth System Science*, 9 (2), 365-372.
- Amitrano D., Arattano M., Chiarle M., Mortara G., Occhiena C., Pirulli M., Scavia C., (2010). *Microseismic activity analysis for the study of the rupture mechanisms in unstable rock masses*. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10 (4), 831-841.
- ARPA Lombardia, (2005). *Monitoraggio. Linee guida per il controllo dei fenomeni franosi*. A cura di: Gregorio Mannucci e Adalberto Notarpietro - Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia, Volume 1, pagg. 127, IREALP, maggio 2005, Bonazzi Grafica, Sondrio.
- Caputo T., Somma R., Marino E., Troise C., De Natale G., (2014). *Mounting calibration Procedure to colorize point clouds of REIGL VZ-1000 using RISCAN PRO® SOFTWARE*. Rapporti Tecnici INGV, 267, ISSN 2039-7941.
- Civetta L., Orsi G., Pappalardo L., Fisher R.V., Heiken G., Ort M., (1997). *Geochemical zoning, mingling, eruptive dynamics and depositional processes - the Campanian Ignimbrite, Campi Flegrei caldera, Italy*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Volume 75, Issues 3-4, February 1997, 183-219.
- Cruden D.M. & Varnes D.J., (1996). *Landslides Types and Processes*. In: Turner A.K. & Schuster R.L. (Eds.) *Landslides: Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board Special Report 247. National Academy Press, WA, 36-75.

- D'Auria L., Giudicepietro F., Aquino I., Borriello G., Del Gaudio C., Lo Bascio D., Martini M., Ricciardi G.P., Ricciolino P., Ricco C., (2011). *Repeated fluid-transfer episodes as a mechanism for the recent dynamics of Campi Flegrei caldera (1989-2010)*. J. Geophys. Res., 116. doi:10.1029/2010JB007837.
- Deino A.L., Orsi G., de Vita S., Piochi M., (2004). *The age of the Neapolitan Yellow Tuff caldera-forming eruption (Campi Flegrei caldera - Italy) assessed by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating method*. J Volcanol Geotherm Res, 133:157-170.
- Di Vito M.A., Isaia R., Orsi G., Southon J., de Vita S., D'Antonio M., Pappalardo L., Piochi M., (1999). *Volcanism and deformation since 12,000 years at the Campi Flegrei caldera (Italy)*. J Volcanol Geotherm Res, 91:221-246.
- Esposito G., Iuliano S., Marino E., Matano F., Pignalosa A., Sacchi M., Sarnacchiaro G., (2013). *Rilievi con tecnica laser-scanner nell'area flegrea per il monitoraggio dei costoni tufacei e dei fondali adiacenti*. In: "Riassunti del Congresso AIQUA 2013 - L'ambiente Marino Costiero del Medi-terraneo oggi e nel recente passato geologico. Conoscere per comprendere. Napoli 19-21 giugno 2013". Miscellanea INGV, 19: 129.
- Fedele L., Scarpati C., Lanphere M., Melluso L., Morra V., Perrotta A., Ricci G., (2008). *The Breccia Museo formation, Campi Flegrei, southern Italy: geochronology, chemostratigraphy and relationship with the Campanian Ignimbrite eruption*. Bull. Volcanol., 70:1189-1219.
- Fisher R.V., Orsi G., Ort M., Heikend G., (1993). *Mobility of a large-volume pyroclastic flow-emplacment of the Campanian ignimbrite, Italy*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, Volume 56, Issue 3, June 1993, Pages 205-220.
- Froldi P., (2000). *Digital terrain model to assess geostructural features in near-vertical rock cliffs*. Bull. Eng. Geol. Env., 59:201-206.
- Gagliardi G., Salza M., Ferraro P., De Natale P., Di Maio A., Carlino S., De Natale G. and Boschi E., (2008). *Design and test of a laser-based optical-fiber Bragg-grating accelerometer for seismic applications*. Meas. Sci. Technol., 19 (2008) 085306 (7pp). doi:10.1088/0957-0233/19/8/085306.
- Griffiths D.V., Lane P.A., (1999). *Slope stability analysis by finite elements*. Géotechnique, Volume 49, Issue 3, 01 June 1999, 387-403.
- Gunzburger Y., Merrien-Soukatchoff V., Guglielmi Y., (2005). *Influence of daily surface temperature fluctuations on rock slope stability: Case study of the Rochers de Valabres slope (France)*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 42 (3), 331-349.
- Kroeger E. Bane, (2002). *Analyzing Plane Failures Using Wedge Failure Analysis Software*. In: Application Of Computers And Operations Research In The Minerals Industry. Simulation And Modeling Of Mining Systems I, pp. 11 ISBN 0-87335-219-X.
- Matano F., Pignalosa A., Marino E., Esposito G., Caputo T., Sacchi M., Somma R., Troise C., De Natale G., (submitted). *Laser Scanning Application for Geostructural analysis of Tuffaceous Coastal Cliff in the Pozzuoli Bay, Punta Epitaffio Site, Italy*, submitted to European Journal of Remote Sensing.
- Matano F., Iuliano S., Somma R., Marino E., del Vecchio U., Esposito G., Molisso F., Scepi G., Grimaldi G. M., Pignalosa A., Caputo T., Troise C., De Natale G., Sacchi M., (2015). *Geostructure of Coroglio tuff cliff, Naples (Italy) derived from terrestrial laser scanner data*. Journal of Maps, doi: 10.1080/17445647.2015.1028237.
- Minardo A., Bernini R., Amato L., Zeni L., (2012). *Bridge monitoring using Brillouin fiber-optic sensors*. IEEE Sensor Journal, 12 (1), 145-150.
- Nakamura Y., (1989). *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*. QR Railway Tech. Res. Inst., 30, 1
- Orsi G., De vita S., and Di Vito M., (1996). *The restless, resurgent Campi Flegrei nested caldera (Italy): constraints on its evolution and configuration*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 74, 3-4, 179-214.
- Pappalardo L., Civetta L., D'Antonio M., Deino A., Di Vito M., Orsi G., Carandente A., de Vita S., Isaia R., Piochi M., (1999). *Chemical and Sr -isotopical evolution of the Phlegrean magmatic system before the Campanian Ignimbrite and the Neapolitan Yellow Tuff eruptions*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 91:141-166.
- Rosi M., Sbrana A., (1987). *Phlegrean Fields: Petrography*. Quaderni de La Ricerca Scientifica, 114, 9:60-79
- Rosser N., Lim M., Petley D., Dunning S., Allison R., (2007). *Patterns of precursory rockfall prior to slope failure*. Journal of Geophysical Research - F: Earth Surface.
- Rittmann A., (1950). *Sintesi geologica dei Campi Flegrei*. Boll. Sot. Geol. Ital., 69: 117-177.

- Smith V.C., Isaia R., Pearce N., (2011). *Tephrostratigraphy and glass compositions of post-15 kyr Campi Flegrei eruptions: implications for eruption history and chronostratigraphic markers*. *Quat. Scie. Rev.*, 30: 3638-3660. doi:10.1016/j.quascirev.2011.07.012.
- Somma R., Matano F., Marino E., Caputo T., Esposito G., Caccavale M., Carlino S., Iuliano S., Mazzola S., Molisso F., Sacchi M., Troise C., and De Natale G., (2014). *Application of Laser Scanning for Monitoring Coastal Cliff Instability in the Pozzuoli Bay, Coroglio Site, Posillipo Hill, Naples*; *Engineering Geology for Society and Territory*, Volume 5, (G. Lollino et al. eds.) doi: 10.1007/978-3-319-09048-1_133, © Springer International Publishing Switzerland 2015, pp 687-690, 26 Aug 2014.
- Somma R., Caputo T., Marino E., Esposito G., Matano F., Carlino S., Sacchi M., Troise C., De Natale G., (2013). *Application of laser scanning and opto-electronic devices for monitoring cliff instability in the Gulf of Pozzuoli coast (Italy): Coroglio-Posillipo hill*. AGU 2013.
- Wohletz K., Orsi G., de Vita S., (1995). *Eruptive mechanisms of the Neapolitan Yellow Tuff interpreted from stratigraphic, chemical, and granulometric data*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Volume 67, Issue 4, September 1995, 263-290.
- Varnes D.J., (1978). *Slope movement types and processes*. (R.L. Schuster, R.J. Krizek Eds.), Special Report 176: *Landslides: Analysis and Control*, Washington D.C, TRB, National Research Council (1978), pp. 11-33.

Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/quaderni-di-geofisica/>

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Rapporti tecnici INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/>

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Miscellanea INGV

ISSN 2039-6651

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/>

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli ecc..

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2015 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia