

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/336917833>

THE USE OF DRONI AND LASER SCANNER IN ENVIRONMENTAL AND GEOLOGICAL-ENGINEERING APPLICATIONS " – University of Bari Aldo Moro – Aula Magna Department of Earth and Geo-environmental S...

Conference Paper · October 2019

CITATIONS

0

READS

58

1 author:



Biagio Palma

Idrogeo

43 PUBLICATIONS 574 CITATIONS

SEE PROFILE



Università degli Studi di Bari Aldo Moro
Dipartimento di Scienze
della Terra e Geoambientali

*International Association For
Engineering Geology
ITALIAN NATIONAL GROUP*



L'USO DI DRONE E LASER SCANNER IN APPLICAZIONI AMBIENTALE E GEOLOGICO-INGEGNERISTICHE

Università degli Studi di Bari Aldo Moro – Aula Magna Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali

GIORNATA STUDIO 25/10/2019

Procedure di elaborazione di nuvole di punti da Laser Scanner e da Droni per la caratterizzazione degli ammassi rocciosi: esempi applicativi in contesti carbonatici e vulcanici

BLAGIO PALMA

IdroGeo Srl, Vico Equense (NA), Italy

PUNTI SALIENTI

Dato di partenza

- Nuvola di punti da Laser Scanner (LST), da fotogrammetria di prossimità da UAV (zenitale ed obliqua) e combinata (LST+UAV)

Procedura di elaborazione

- Caratterizzazione delle discontinuità degli ammassi rocciosi su nuvola di punti (NP) con codici di calcolo automatici e semi automatici

Finalità

- Parametrizzazione geostrutturale e geomeccanica; scenari di rischio e cinematismi attesi; calcolo delle spaziature e della persistenza; stima del volume di progetto; scelta degli interventi di consolidamento

Casi Studio

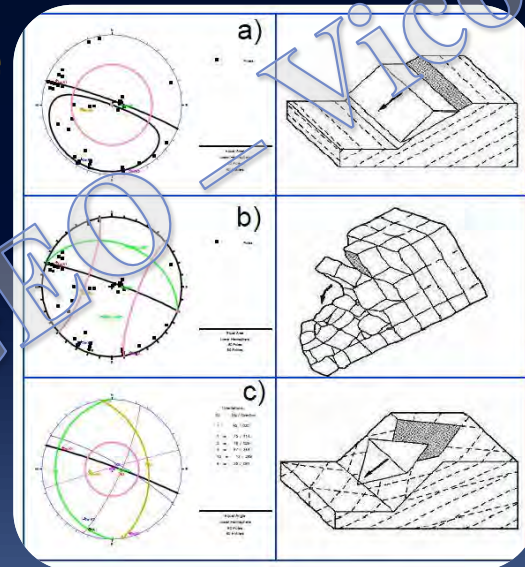
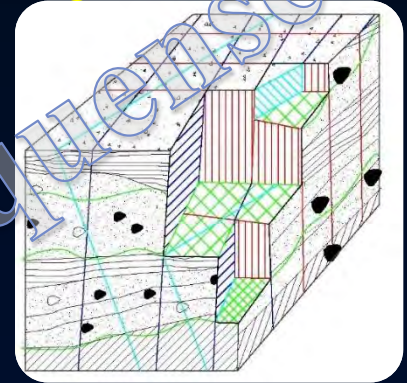
- La Grotta di Cocceio; La Grave delle Grotte di Castellana; Galleria Gradelle; Excelsior Vittoria Sorrento; Arco di Palinuro; Falesia di Santa Caterina

OBIETTIVI:

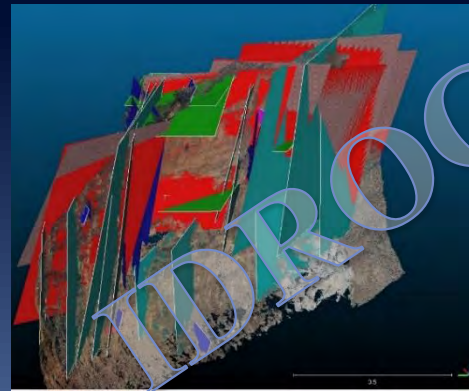
- ❖ Per la parametrizzazione geostrutturale e geomeccanica.
- ❖ Per gli scenari di rischio e cinematismi attesi.
- ❖ Per il calcolo delle spaziatore e della persistenza.
- ❖ Per la stima del volume di progetto.
- ❖ Per la scelta ed il dimensionamento degli interventi di consolidamento.

Un progetto di consolidamento degli ammassi rocciosi non può prescindere dall'analisi geomeccanica, in quanto essendo un mezzo discontinuo, è fondamentale caratterizzarne le fratture. Oggi si tende a trascurare quella «tradizionale» che comporta costi e tempi elevati. Pertanto tale studio vuole dimostrare come l'analisi geomeccanica su NP a supporto del metodo tradizionale dia un vantaggio in termini economico-temporali.

Diagramma a blocchi



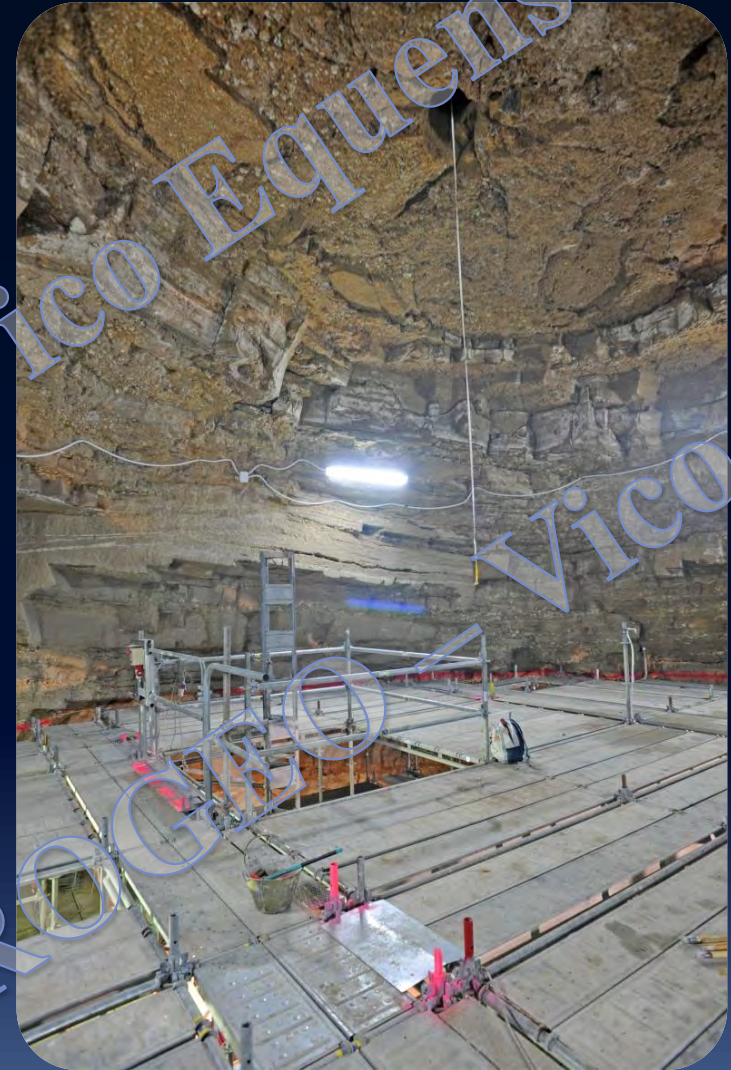
Forma e dimensione del volume dei blocchi



Estrapolazione dei piani di discontinuità su NP

Analisi dei cinematismi attesi

Il rilievo laser scanner tridimensionale è un metodo consolidato per la ricostruzione e il controllo geometrico di costoni rocciosi ed ambienti ipogei. La metodologia consente di rilevare le superfici con una maglia di acquisizione sub-centimetrica. Il risultato è un modello tridimensionale di punti caratterizzati dalle coordinate XYZ, dalla "riflettanza" legata alla tipologia del materiale rilevato (calcare, tufo, ecc.) e dai valori di colore (RGB). Il risultato è un «fermo immagine» («CRISTALLIZZAZIONE») della scena alla data dell'acquisizione, facilmente navigabile e condiviso attraverso il servizio di cloud-computing.



I dati acquisiti con LST sono elaborati con software di post-processing dedicati, al fine di unire le scansioni effettuate dalle differenti *scan position*. L'unione delle scansioni viene eseguita utilizzando i target di riferimento. La georeferenziazione avviene attraverso *ground control points* installati nell'intorno dell'area in esame. Le coordinate sono acquisite con stazione totale e GPS. Il modello numerico reale, ottenuto dalle unioni delle scansioni, sarà poi filtrato da elementi ridondanti e spuri.

La NP ottenuta viene sottoposta, attraverso diversi programmi di modellazione 3D a: DECIMAZIONE (ovvero pulizia e filtraggio); TRIANGOLAZIONE; TEXTURIZZAZIONE DELLA MESH



Il rilievo fotogrammetrico di prossimità, attraverso la fusione di una serie di fotogrammi acquisiti con macchina digitale secondo le procedure *Structure From Motion* (SFM), fornisce una NP la cui definizione è strettamente legata alle caratteristiche tecniche della macchina fotografica e della distanza di ripresa (dimensione pixel a terra).

Le fasi di lavoro sono:

- allineamento delle foto;
- editing della nuvola sparsa;
- georeferenziazione dei marker;
- editing della nuvola densa;
- Realizzazione mesh;
- redazione della texture del modello;
- produzione di DTM, ortomosaici e carte a curve di livello.



Acquafredda - Maratea

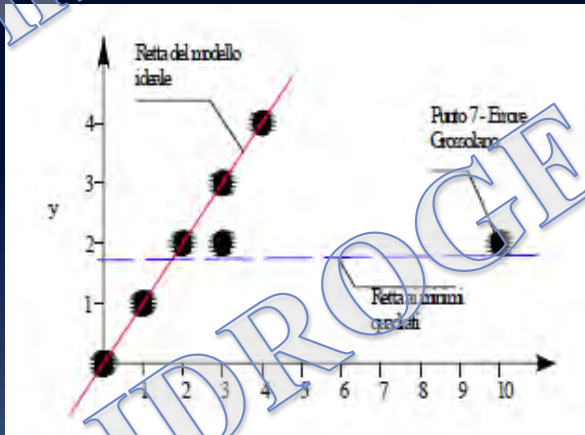
In contesti con alte ed articolate balze rocciose, l'acquisizione con LST è fortemente limitante, in quanto molto spesso non è possibile girare a 360° intorno all'oggetto da acquisire. Tale limitazione non consente di acquisire i piani dell'oggetto che non ricadono lungo la linea di vista del laser («punti bui»). Un approccio alternativo, in fase di sperimentazione da parte della IDROGEO, è quello di combinare i rilievi LTS con quelli UAV. La NP combinata così ottenuta opportunamente calibrata sui punti del LST, fornisce risultati incoraggianti nella caratterizzazione delle discontinuità.

Conca Azzurra – Massa Lubrense

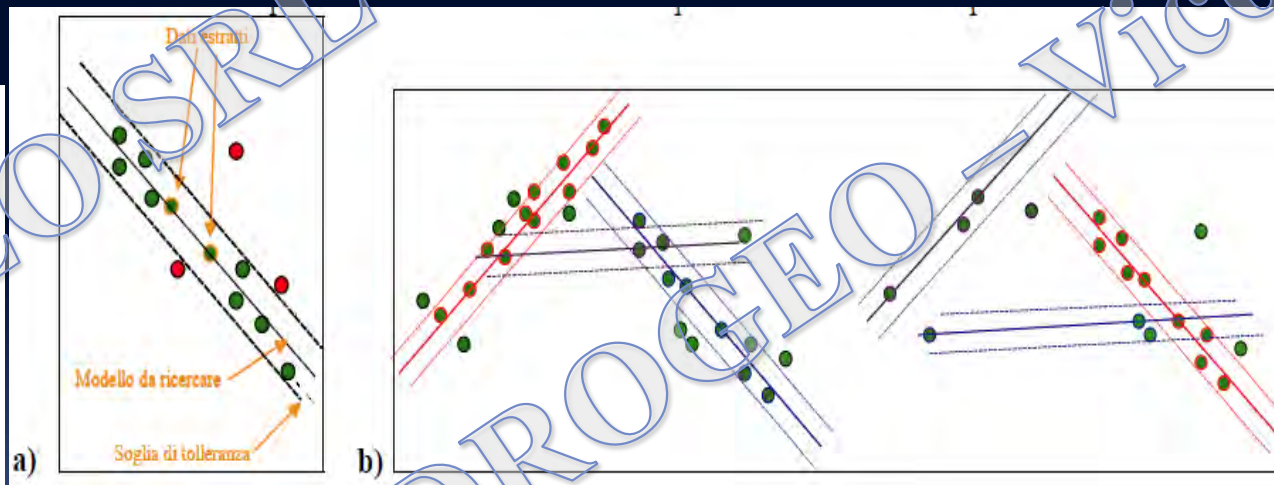


Per ottenere la giacitura media delle discontinuità a partire da una NP acquisita con LST e da fotogrammetria, si possono utilizzare due procedure:

- Manuale, ovvero delimitando un insieme di punti appartenenti allo stesso piano (procedure eseguite in questo caso con i software RiscanPro o Cyclone).
- Semiautomatica: 1) Metodo dei minimi quadrati; 2) Segmentazione geometrica del DSM (Roncella, 2004) grazie all'algoritmo RANSAC (Fischler & Bolles, 1981) che consente di isolare i punti di un piano, o di un insieme di piani, all'interno del DSM (software CloudCompare).



Il fallimento della riduzione a minimi quadrati per la stima di dati affetti da errori grossolani

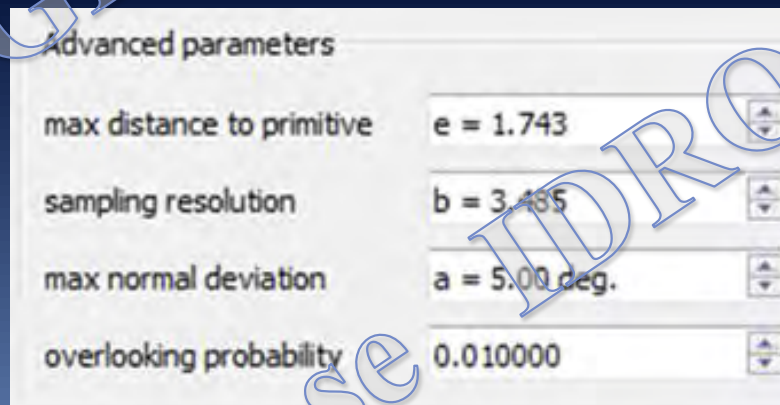


a) Individuazione della retta interpolante nel caso sia presente un solo insieme di dati

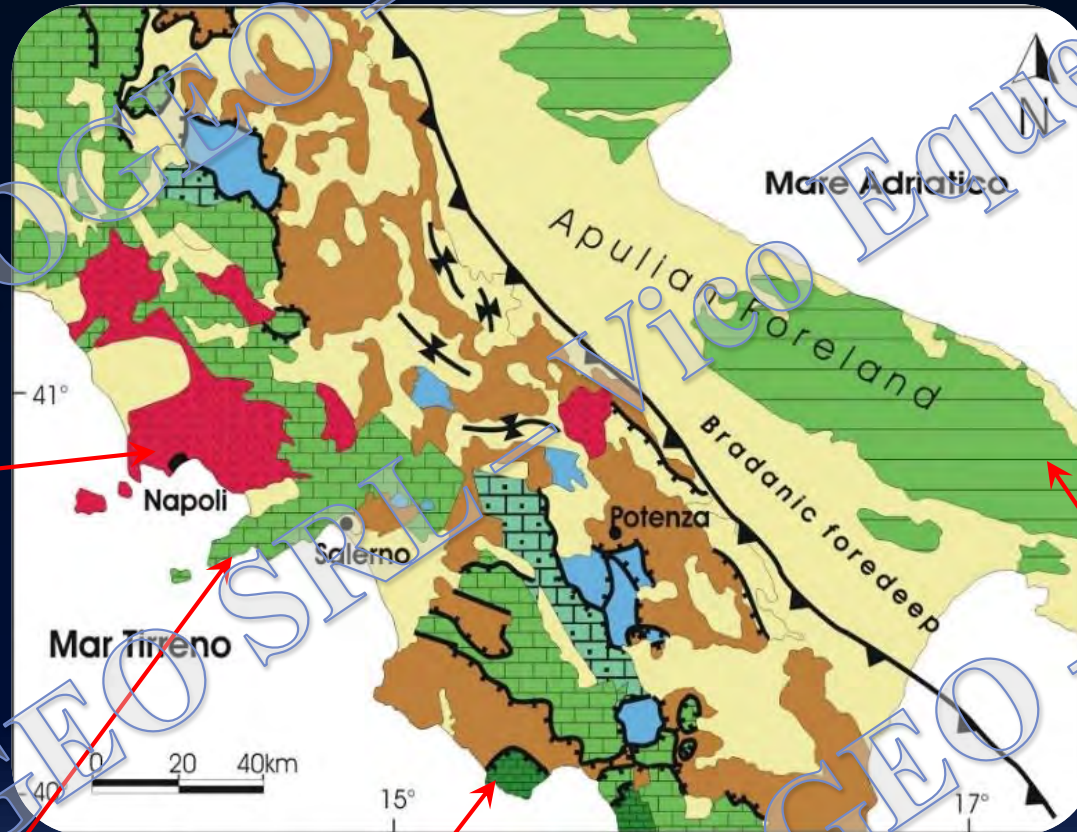
b) Individuazione della retta interpolante nel caso siano presenti più sottoinsiemi coerenti di dati (più rette)

L'estrazione delle giaciture consiste in:

- ☐ individuazione dei piani di discontinuità in maniera manuale;
- ☐ Mappatura di immersione ed inclinazione sulla nuvola di punti;
- ☐ A partire dalla mappatura viene eseguita una selezione di punti a giacitura simile entro un certo range di variabilità, sui quali verrà effettuata l'extrapolazione dei piani interpolanti aggregati di punti.
- ☐ Interpolazione e creazione dei piani che meglio si adattano alla distribuzione di punti sulla base dei seguenti parametri:
 - ❖ numero massimo di punti appartenenti allo stesso piano;
 - ❖ soglia di tolleranza della distanza tra il piano scelto e gli altri punti;
 - ❖ massima deviazione dal vettore normale al piano scelto;
 - ❖ impostazione di valori di soglia affinché il procedimento iterativo minimizzi gli errori.
- ☐ estrazione delle giacitura per ciascuno dei piani (calcolo di Dip Direction – Dip).



Schema geologico e strutturale dell'Italia meridionale



Grotta di
Cocceio (Bacoli,
NA) - Contesto
tufaceo

Penisola
Sorrentina (NA) -
Contesto
Carbonatico e
tufaceo

Arco di Palinuro (Centola, SA) -
Contesto Carbonatico

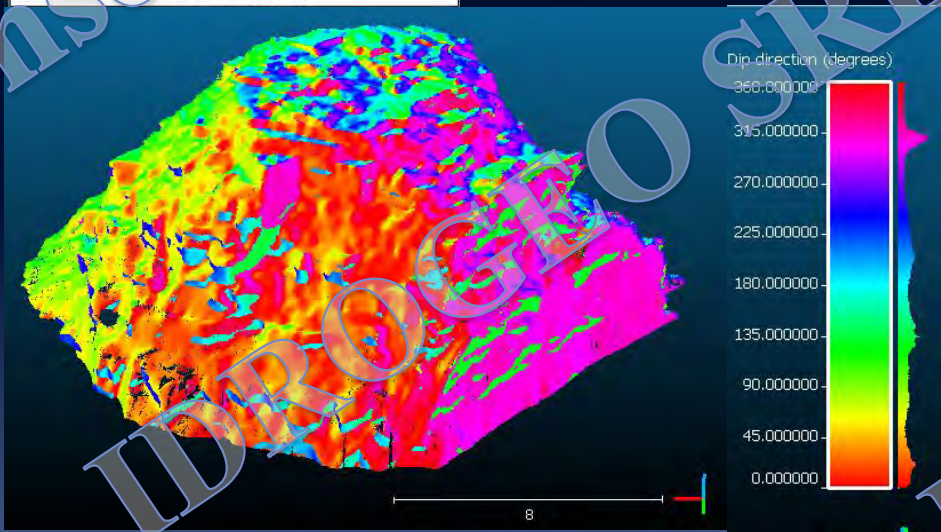
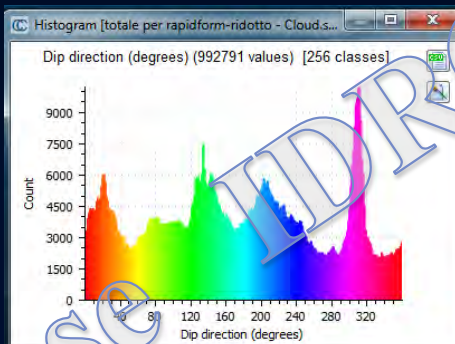
Castellana Grotte (Castellana
Grotte, BA) - Contesto
Carbonatico

La Grotta di Cocceio ubicata nell'area flegrea (Bacoli, NA), fu realizzata intorno al 37 a.C. interamente scavata in tufo (Tufo giallo dell'Archiaverno; 10,700 anni b.p.). Durante la Seconda Guerra mondiale fu utilizzata come deposito di munizioni e subì dei forti danni a seguito dell'esplosione di alcuni ordigni che generarono una "calotta di esplosione".



NP acquisita con laser scanner: Scan Position 9;
Scansioni 10; Numero di Punti 349 milioni

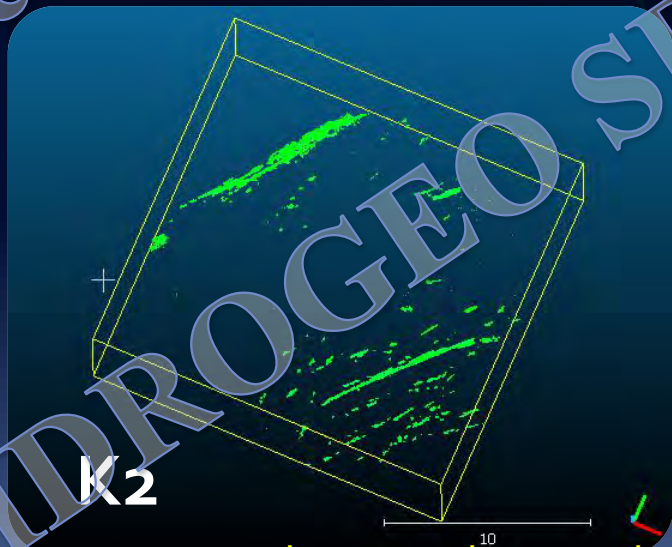
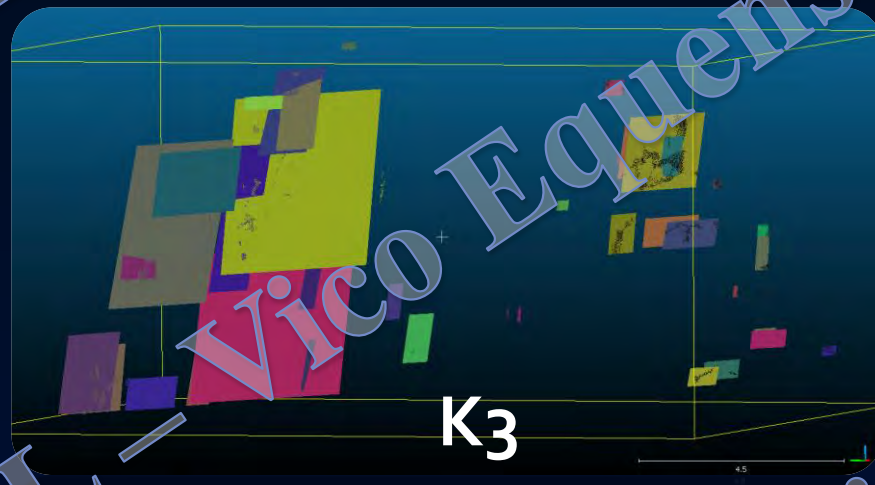
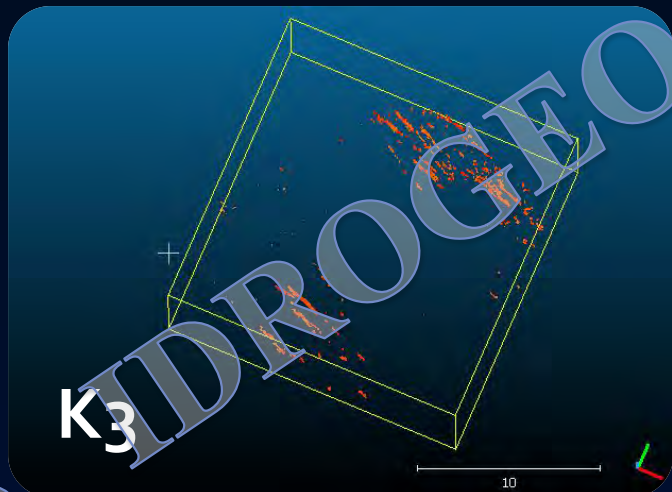
L'estrazione dei piani è stata eseguita in maniera semiautomatica con il codice Ransac attraverso il software Cloud Compare e manuale attraverso il software Riscapro.



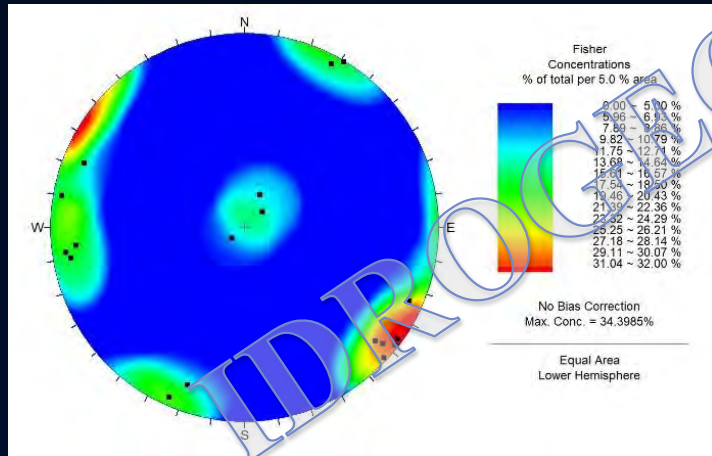
Mappatura dell'immersione



Procedura semi-automatica con il software Cloud Compare



Esempio di estrapolazione di punti con medesima giacitura media ed estrapolazione dei relativi piani



L'analisi geostrutturale su nuvola di punti LST ha consentito di individuare tre famiglie principali di discontinuità più gli strati.

Le giaciture in tal modo acquisite hanno trovato perfetto riscontro con quelle manuali.

Fa eccezione la famiglia denominata K₄, per lo più evidenziata da lineazioni lungo le pareti della calotta ma in generale scarsamente rappresentata nell'ammasso roccioso



SET	Tecniche Standard di Acquisizione		Analisi Geostrutturale su Nuvola di Punti	
ID	Immersione	Inclinazione	Immersione	Inclinazione
K1	309	85	310	82
K2	287	88	112	78
K3	208	90	20	75
K4	82	79		
S'	228	10	205	15
S''	50	7		

Stereographic poles plot of main discontinuity set

■ by standard manual geomechanical survey

■ by geostuctural analysis on terrestrial laser scanner point cloud

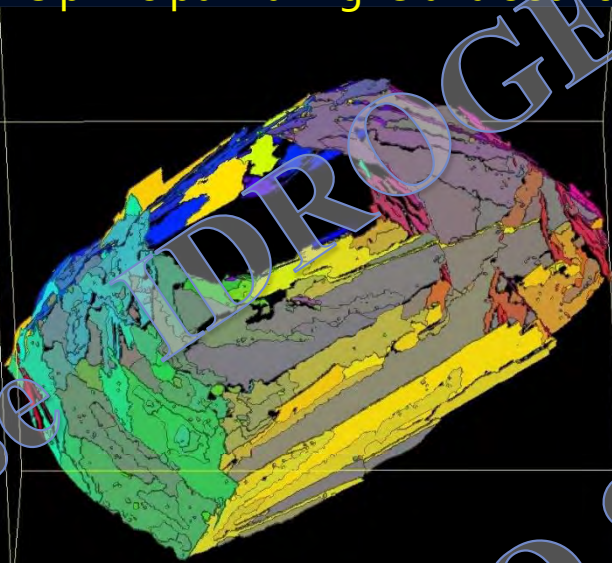
Le Grotte di Castellana costituiscono un sistema di cavità carsiche meglio conosciute della Puglia e uno dei più importanti d'Europa. Scoperte negli anni '30 da Franco Anelli, grazie alla spettacolarità del carso, in particolare la grave prodottasi a seguito del crollo della volta, sono diventate meta di notevole interesse turistico.



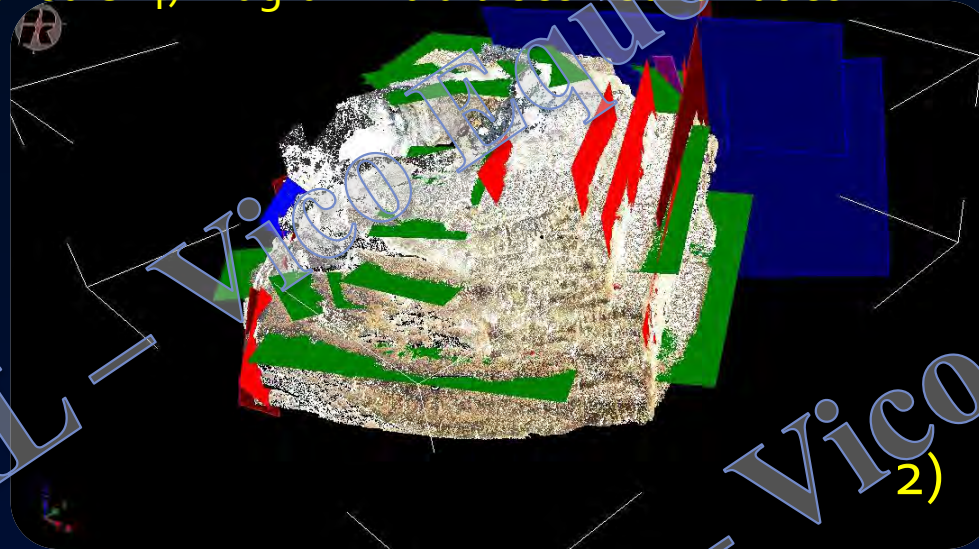
NP da laser scanner: Scan Position 20; Scansioni 42; Numero di Punti 430 milioni

1) Estrapolazione delle facet rappresentative di piani di discontinuità con giacitura media simile con procedura semi-automatica. 2) e 3) Rappresentazione dei piani di discontinuità per le principali famiglie di discontinuità manuale. 4) Diagramma a blocchi schematico.

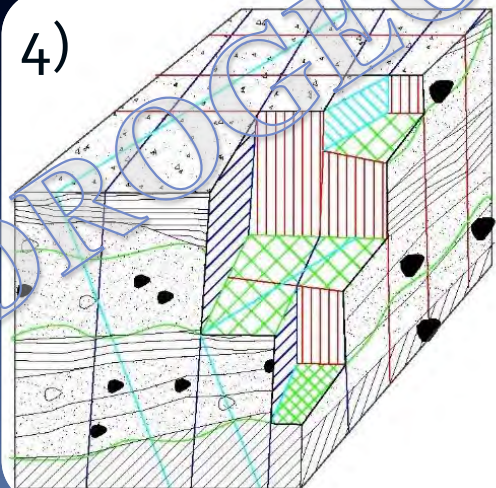
1)



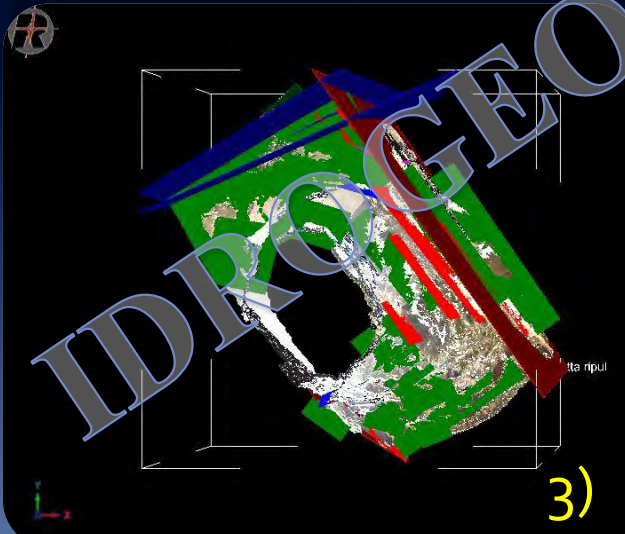
2)



4)



3)





L'analisi geostrutturale su NP ha consentito di individuare tre famiglie principali di discontinuità più gli strati.

Dal confronto dei dataset ottenuti dai diversi rilievi risulta evidente che i risultati conseguiti attraverso l'analisi geostrutturale su nuvola di punti sono congruenti con quanto acquisito dai geologi-rocciatori durante i rilievi geomeccanici in parete (n. 2 Stazioni geomeccaniche).



Famiglia	Analisi Geostrutturale su NP		Tecniche Standard di Acquisizione	
	IMM	INCL	IMM	INCL
K1	52	87	231	86
K2	151	85	309	85
K3	185	85	24	87
S'	212	4	208	8
S''	35	3	354	6

Giacitura media delle principali famiglie di discontinuità:

- da acquisizione standard manuale
- ▲ da analisi geostrutturale su nuvola di punti

Giacitura media delle principali famiglie di discontinuità identificate su NP

La Galleria di Punta Gradelle è stata realizzata per la costruzione di uno degli impianti di depurazione in-door più grandi d'Europa. Essa è ubicata in Penisola Sorrentina (comune di Vico Equese, NA). Dal punto di vista geologico siamo in presenza di rocce carbonatiche a forte fratturazione e spesso attraversate da condotti carsici.



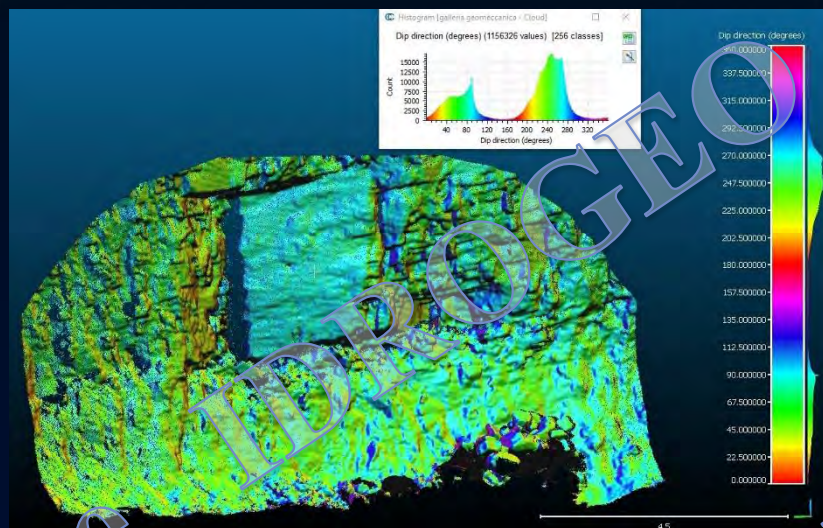
NP da Laser scanner: Scan Position 24;
Scansioni 37; Numero Punti circa 370 milioni



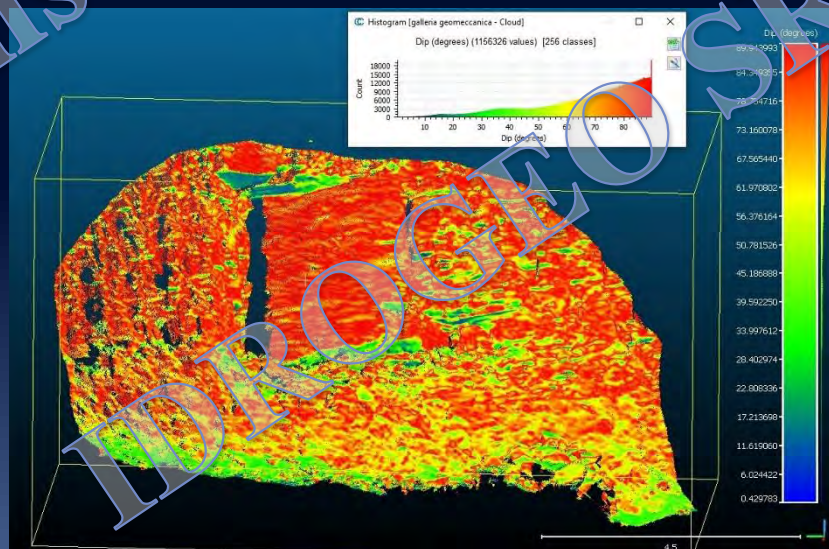
Foto della spalla del fronte



Modello 3D della NP

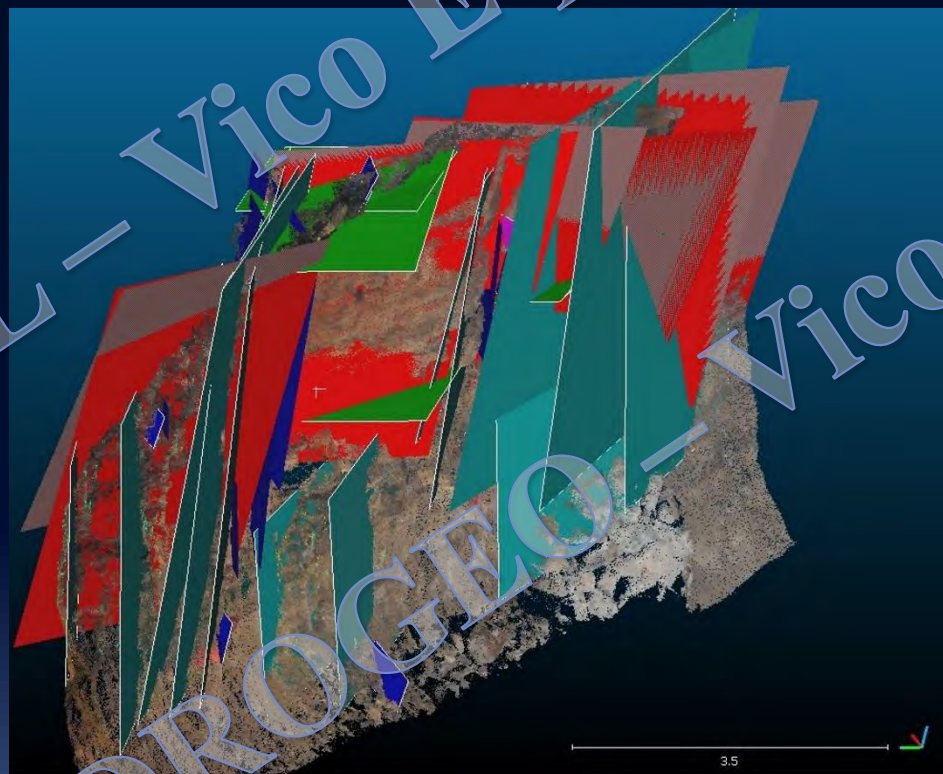


Mappatura della immersione



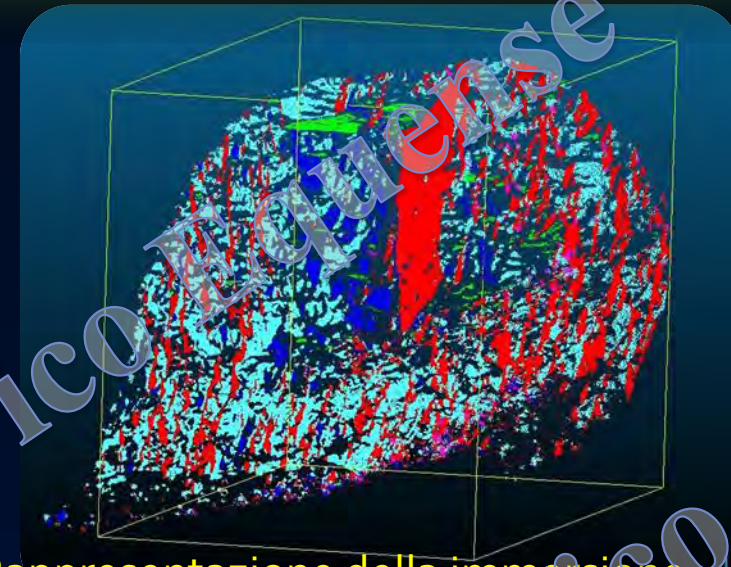
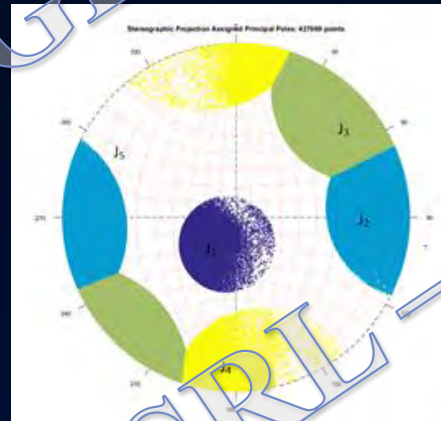
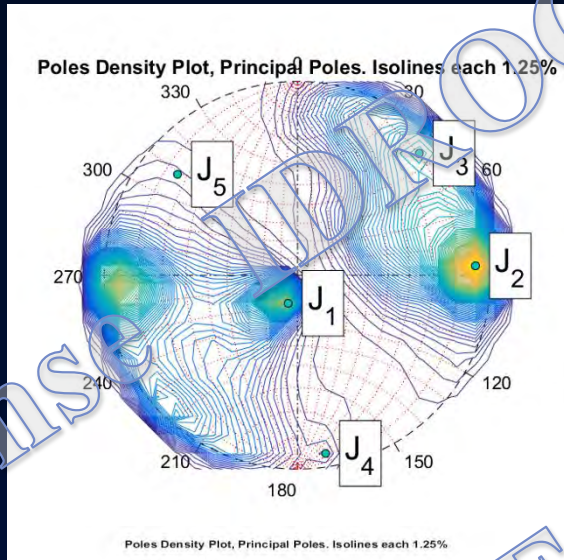
Mappatura della inclinazione

Estrapolazione dei piani di discontinuità con il codice Ransac attraverso il software Cloud Compare



Rappresentazione dei piani delle principali famiglie di discontinuità identificate su NP

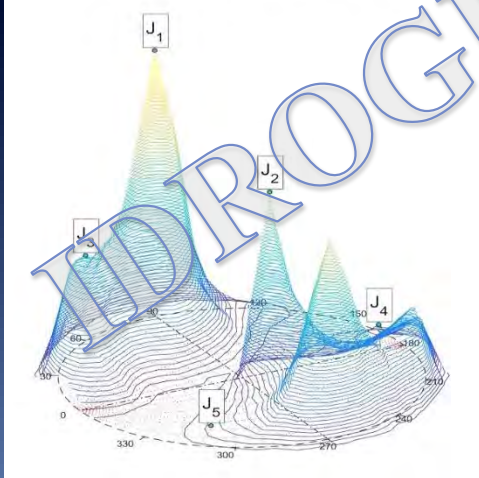
Diagramma di densità dei poli 2D e 3D delle principali discontinuità identificate su NP (Discontinuity Set Extractor – DSE, Adrian Riquelme et alii, 2016)



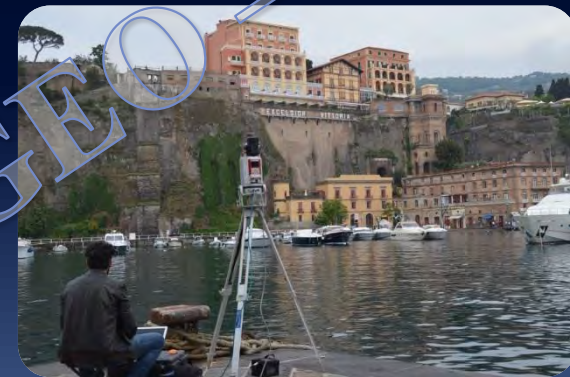
Rappresentazione della immersione su NP per ciascuna famiglia

ID	FAMIGLIA	IMMERSIONE	INCLINAZIONE
J1	S	18	17
J2	K4	266	85
J3	K1	224	83
J4	K2	351	85
J5	K3	130	78

Giacitura media delle principali famiglie di discontinuità identificate mediante analisi su NP e da acquisizione con tecniche standard

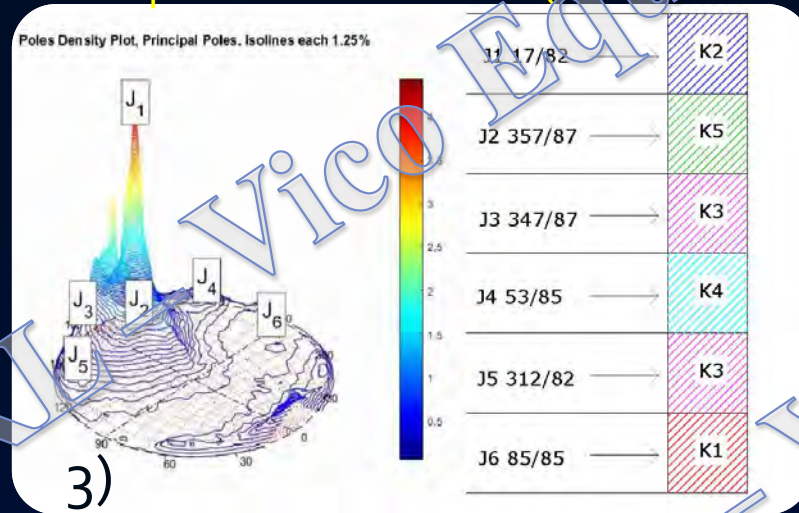
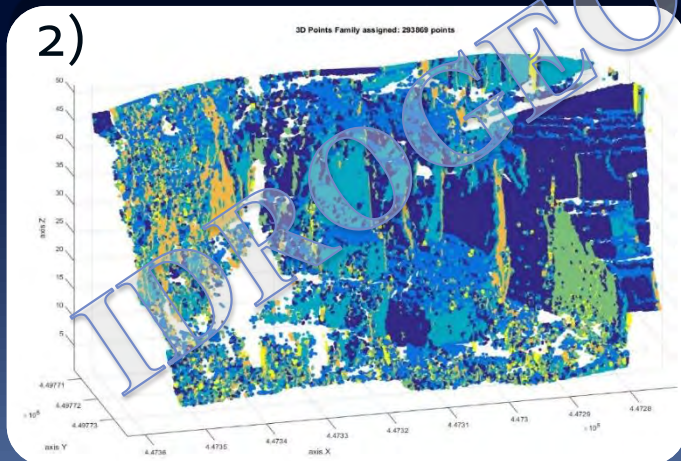
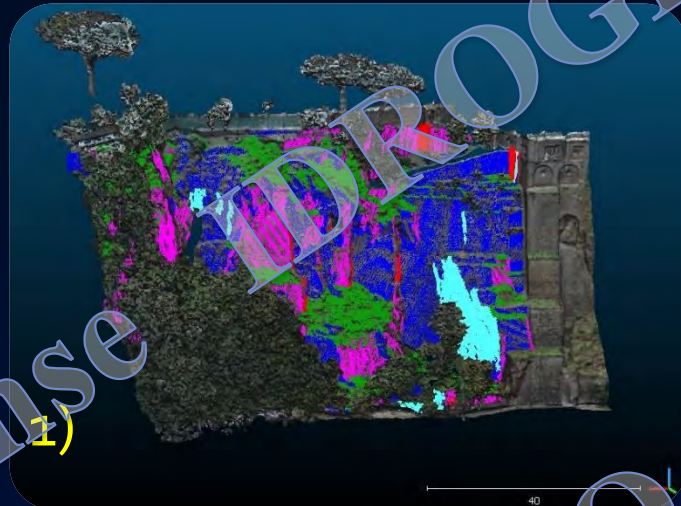


Il Grand Hotel Excelsior è una struttura alberghiera estremamente rinomata sita in Penisola Sorrentina (comune di Sorrento, NA). Dal punto di vista geologico siamo in presenza di rocce tufacee e, nello specifico, Ignimbrite Campana connessa ad un evento eruttivo generatosi nei Campi Flegrei 39.000 anni b.p. (Orsi et alii, 1996)



NP da rilievo combinato. Laser Scanner: Scan Position 16; Scansioni 40.
UAV: GSD (Ground Sample Distance) 0,56cm/px; Quota vola 40 m.
Numero di Punti 275 milioni

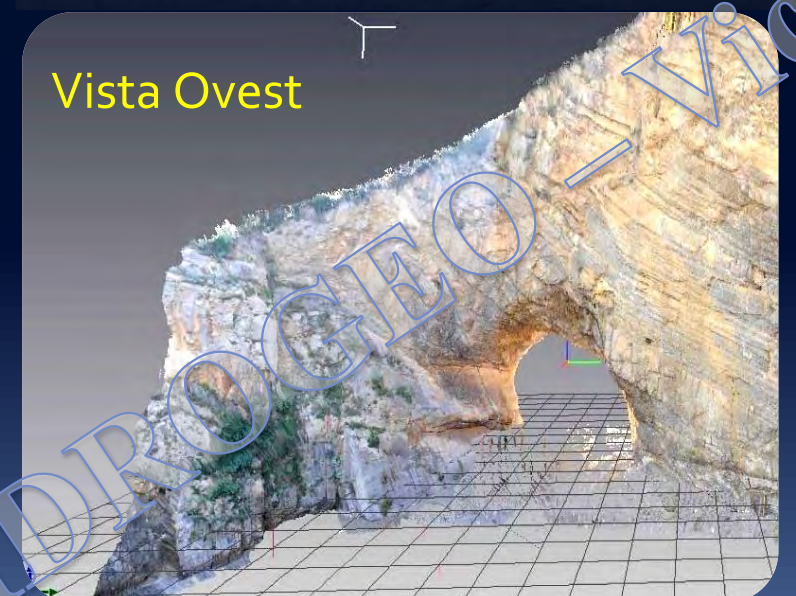
- 1) e 2) Rappresentazione delle discontinuità su NP (DSE, Adrian Riquelme et alii, 2016);
- 3) Diagramma di densità dei poli 3D della NP e giacitura media delle famiglie da NP e da acquisizione con tecniche standard (n. 8 stazioni geomeccaniche); 4) Verifica della giacitura dei piani estratti in maniera semi-automatica con procedura manuale (RiscanPro e Cyclone)



L'Arco Naturale di Palinuro (Centola, SA) è un geosito ubicato nel Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni. Esso costituisce un sito di notevole rilevanza turistica per tutta l'area cilentana.



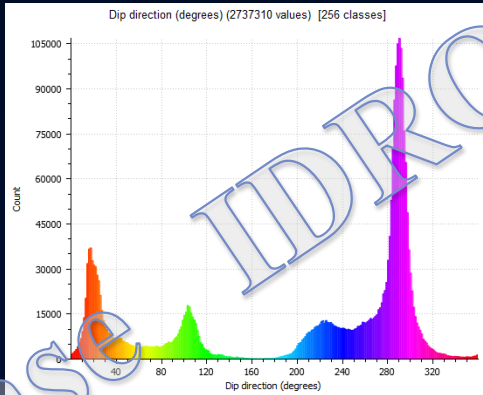
Vista Est



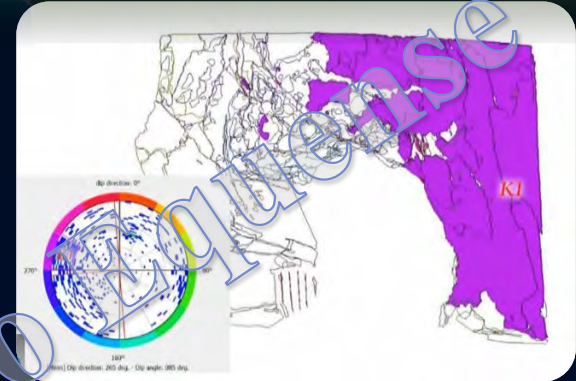
Vista Ovest

NP acquisita con laser scanner: Scan Position 10; Scansioni 23; Numero di Punti 21 milioni

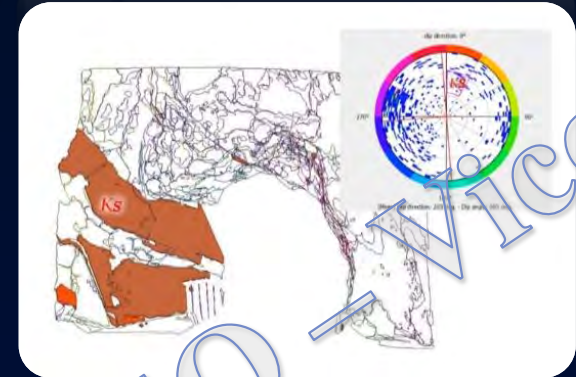
L'estrapolazione dei piani è stata eseguita in maniera automatica e semi automatica con software CloudCompare



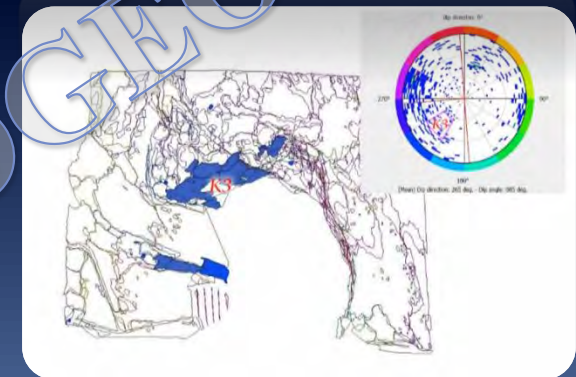
Famiglia K1



Famiglia Strati



Famiglia K3



Mappatura dell'immersione

Dall'analisi su NP, sono state identificate tre famiglie di discontinuità principali oltre alla stratificazione. I risultati ottenuti attraverso l'analisi su NP sono risultati linea con quelli delle stazioni geomeccaniche manuali standard di Budetta e Santo (2000).

Geostrutural Analysis on TLS Point Cloud			Standard Manual Geomechanical Stations	
SET	DIP DIRECTION	DIP	DIP DIRECTION	DIP
K1	112	89	107	85
K2	290	30	292	30
K3	260	55	210	60
Ks'	12	36	10	40
Ks''	14	55		

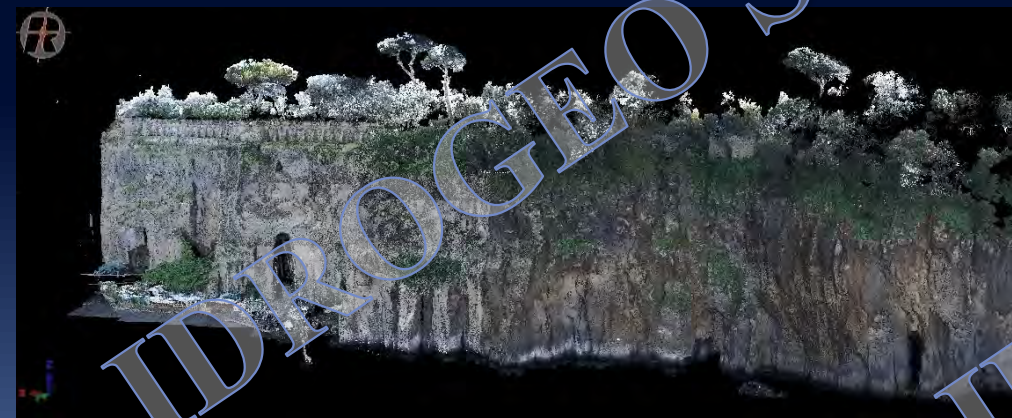


Rappresentazione dei principali piani di discontinuità estratti manualmente mediante RiscanPro.

Stereographic poles plot of main discontinuity sets:

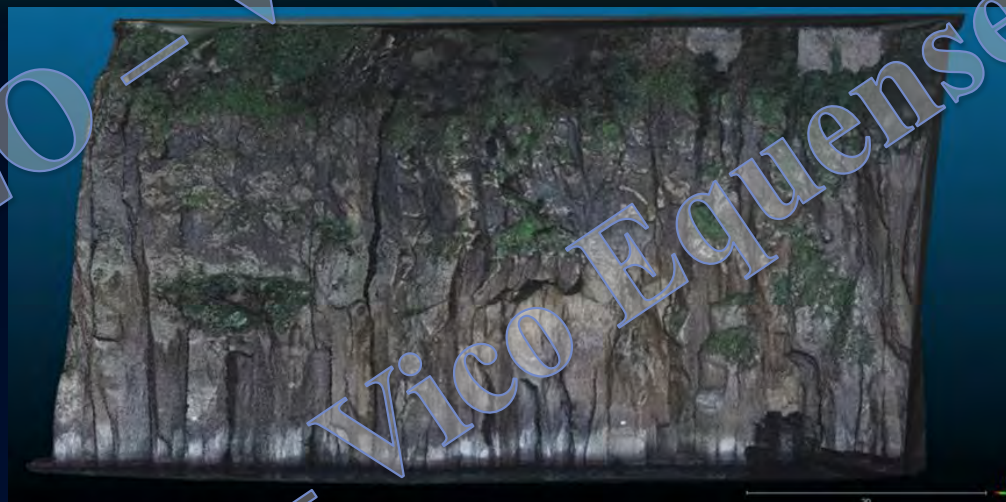
- by previous investigations using standard manual geomechanical stations (by Budetta and Santo, 2000)
- ▲ by geostructural analysis on terrestrial laser scanner point cloud

La falesia incombente sulla Spiaggia di S. Caterina è ubicata nel comune di Sant'Agnello (NA). La spiaggia nel periodo estivo è ad elevatissima frequentazione in quanto nello specchio d'acqua sottostante la falesia insiste un porticciolo da diporto. Essa è costituita dai prodotti piroclastici riferiti alla Formazione del Tufo Grigio Campano (o Ignimbrite Campana; 39.000 anni (De Vivo et al., 2001)

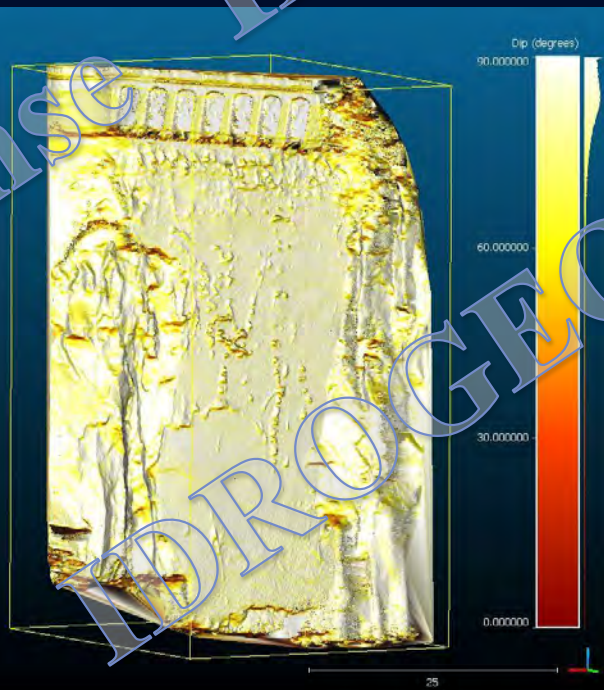


NP combinata. Laser Scanner : Scan Position 3; Scansioni 12.
UAV: GSD (Ground Sample Distance) 5 mm/px; Quota vola 35 m.
Numero di Punti 55,6 milioni

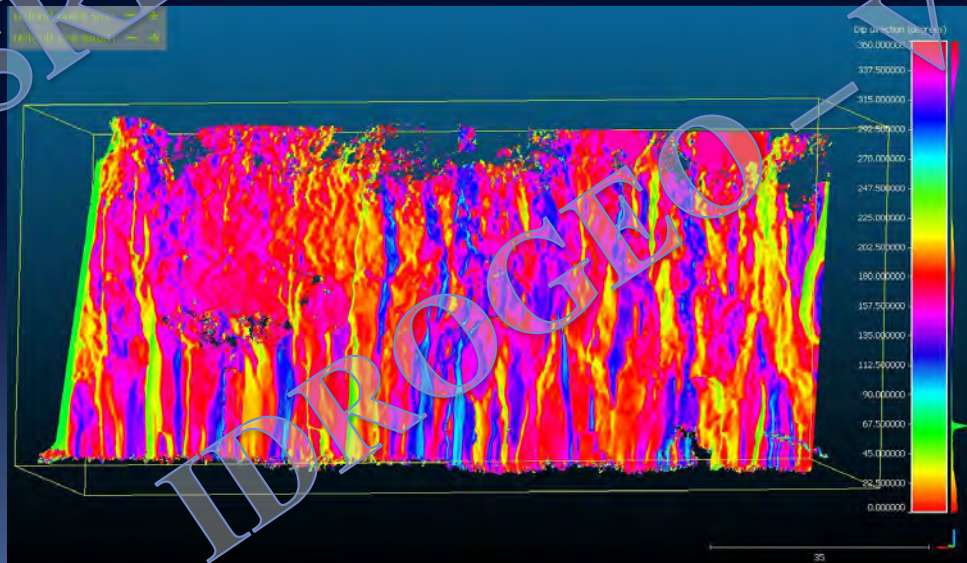
Sulla nuvola di punti combinata da LST e UAV, opportunamente decimata e filtrata, è stata operata la mappatura della immersione e della inclinazione.



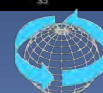
Modello 3D della NP



Esempio mappatura immersione settore Est



Esempio mappatura immersione versante Nord

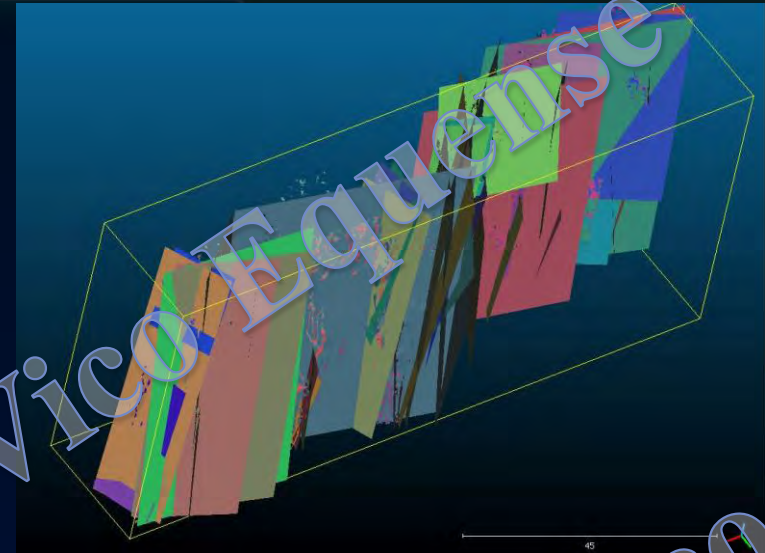


Dall'analisi su NP, sono state identificate quattro famiglie di discontinuità principali, trovando rispondenza a quanto misurato manualmente. Fa eccezione la famiglia denominata K5 scarsamente rappresentata nell'ammasso roccioso e, pertanto, evidenziata solo a seguito dell'analisi areale del fronte su NP.



Giacitura media delle principali famiglie di discontinuità:

- da acquisizione standard manuale
- ▼ da analisi geostrutturale su nuvola di punti



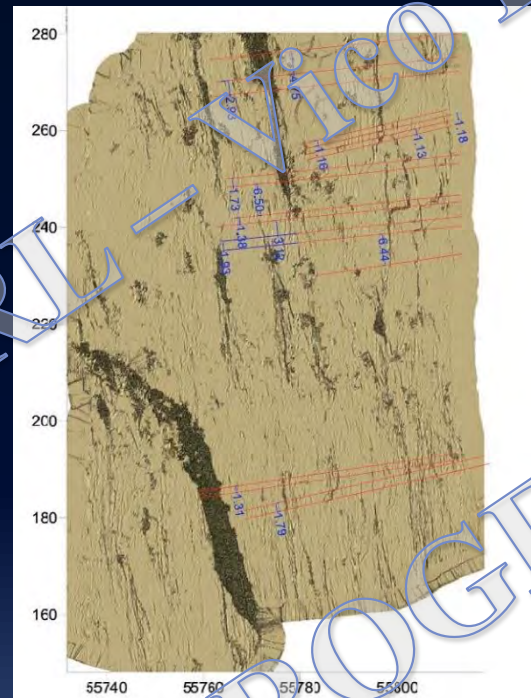
Rappresentazione dei piani delle principali famiglie di discontinuità identificate su NP

SET	Tecniche Standard di Acquisizione		Analisi Geostrutturale su Nuvola di Punti	
	Immersione	Inclinazione	Immersione	Inclinazione
K1	17	89	15	77
K2	128	88	308	76
K3	72	88	72	77
K4	345	86	165	75
K5			110	75

Esempio di misurazione della spaziatura su NP



Esempio di misurazione della persistenza delle discontinuità su NP



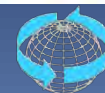
Conclusioni:

- Capacità del sistema di fornire dati di ottima affidabilità e di risolvere complesse situazioni logistiche (pareti aggettanti, fronti fortemente instabili, ecc.) che sovente creano problemi con i referenti della sicurezza in cantiere.
- Possibilità di caratterizzare i fronti in maniera areale e non puntuale, aumentando notevolmente la popolazione dei dati nel rispetto dell'approccio probabilistico imposto nell'analisi geomeccanica.
- Procedura in grado di fornire una cospicua mole di dati relativamente alla spaziatrice e persistenza indispensabili per la stima del volume di progetto.
- Abbattimento dei costi.

Per perseguire questi risultati sono fondamentali i seguenti aspetti:

- Preferire l'approccio semi-automatico a quello automatico.
- Necessità di eseguire una corretta progettazione delle scansioni al fine di scongiurare che alcune delle famiglie di discontinuità risultino "cieche" alla scansione.
- Importanza della taratura del rilievo con misure tradizionali di geomeccanica (ISRM, 1978).
- Maggiore attendibilità del dato acquisito con LST rispetto ai sistemi UAV.
- Necessità di avere modelli georiferiti.

**Si ringrazia per
L'ATTENZIONE**



IdroGeo
Progettazione e Servizi per l'Ambiente