

# GEOLOGI e TERRITORIO

Periodico di Scienze della Terra dell'Ordine dei Geologi della Puglia

ISSN: 1974-1189

Poste Italiane s.p.a. - Spedizione in abbonamento postale - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n° 46) art. 1 comma 1, DCB BA



**ANALISI DI STABILITÀ DI UN FRANTOIO IPOGEO UBICATO SUL FIANCO  
DI UN VERSANTE IN ROCCIA CALCARENITICA IN AGRO DI MONOPOLI**

**Giovanni Bruno, Mario Rotolo**

**ESPULSIONE DA CARICO DEL "M.TE DI CASSANO ALLO JONIO"  
(C.DA IOTTE - CS), POSTERIORE ALL'INTERGLACIALE RISS-WÜRM (?),  
(80.000 - 130.000 ANNI FA)**

**Alessandro Guerricchio**



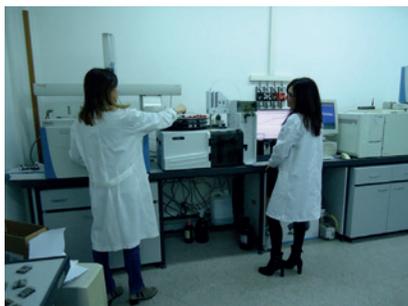


# Centro Analisi Ambientali S.r.l.



Laboratorio di Ricerca e Analisi Chimiche  
Fisiche e Batteriologiche - Acqua - Aria - Terreni  
Rifiuti - Fanghi - Amianto - Radon - Rumori

**20 anni di attività professionale effettuata con impegno  
nella ricerca, controllo ed analisi ambientali**



**Centro Analisi Ambientali è inoltre Società di consulenza su varie tematiche ambientali:**

- Siti inquinati: piani di caratterizzazione, monitoraggio, analisi del suolo; in Atmosfera;
- Valutazione di impatto delle Emissioni in Atmosfera;
- Studio di Dispersione degli Inquinanti con modello tridimensionale tipo CALPUFF;
- Valutazione Previsionale di Impatto Acustico, definizione della mappa di rumorosità secondo le norme ISO 1996/1, 1996/2, 9613/2;
- Piani di Monitoraggio ambientale sulle matrici acqua, aria e suolo;
- Valutazioni ambientali: VIA - VAS - AUA - AIA;
- Campionamenti ambientali ed in condotto.



**Preventivi gratuiti e personalizzati  
Sconti particolari ai geologi.**



**Centro Analisi Ambientali S.r.l.**

Via F.lli Bandiera ang. G. Tell - 73042 Casarano (LE) - tel/fax 0833 513525  
www.centroanalisiambientali.com e-mail: amministrazione@centroanalisiambientali.com  
Cod. Fisc. e P.I. 03208850754

## GEOLOGI e TERRITORIO

Periodico dell'Ordine Regionale  
dei Geologi - Puglia  
Anno XVI - n. 1/2019

*Direttore editoriale:*  
Valletta Salvatore

*Direttore responsabile:*  
Alfarano Espedito

*Comitato di redazione:*  
Amedei Giovanna, Dibenedetto Michele,  
De Razza Tiziana, Bonora Davide,  
d'Amico Nicola A., Ieva Maria Costantina,  
Quarta Giovanni, Tanzarella Vincenzo,  
Valletta Salvatore

*Comitato scientifico:*  
Baldassarre Giuseppe, Borri Dino,  
Bruno Giovanni, Capolongo Domenico,  
Cotecchia Federica, Del Gaudio Vincenzo,  
Dellino Pierfrancesco, Di Fazio Antonio,  
Fornelli Annamaria, Gallicchio Salvatore,  
Leucci Giovanni, Monterisi Luigi,  
Negri Sergio, Pagliarulo Rosa,  
Paglionico Antonio, Polemio Maurizio,  
Ricchetti Giustino, Sabato Luisa, Sansò Paolo,  
Santaloia Francesca, Simeone Vincenzo,  
Spilotro Giuseppe, Walsh Nicola

*Coordinamento scientifico:*  
Quarta Giovanni, Valletta Salvatore

*Segreteria di redazione:*  
Ieva Maria Costantina, Spizzico Silvio

*Redazione, Amministrazione e Pubblicità:*  
Ordine dei Geologi - Puglia  
Via Junipero Serra, 19 - 70125 Bari  
www.geologipuglia.it - info@geologipuglia.it

*Stampa:*  
Sagraf Srl - Z.I. Capurso (BA)

Autorizzazione del Tribunale di Bari:  
n. 29 del 16.06.2004

Chiuso in tipografia il 19 luglio 2019

# SOMMARIO

## 2

Editoriale del Presidente dell'ORG - Puglia  
*Salvatore Valletta*

## 3

ANALISI DI STABILITÀ  
DI UN FRANTOIO IPOGEO UBICATO  
SUL FIANCO DI UN VERSANTE  
IN ROCCIA CALCARENITICA  
IN AGRO DI MONOPOLI  
*Giovanni Bruno, Mario Rotolo*

## 23

ESPULSIONE DA CARICO  
DEL "M.TE DI CASSANO ALLO JONIO"  
(C.DA IOTTE - CS), POSTERIORE  
ALL'INTERGLACIALE RISS-WÜRME (?),  
(80.000 - 130.000 ANNI FA)  
*Alessandro Guerricchio*

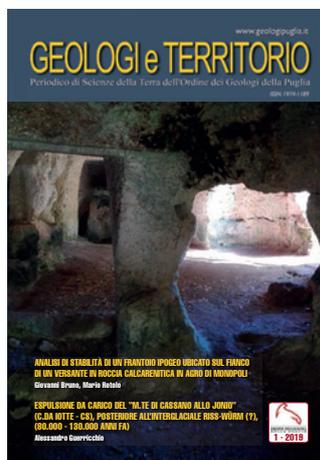


Foto di copertina:  
Pilastro di cavità ipogea con profilo  
destro a clessidra per progressiva  
espulsione di scaglie di roccia, Monopoli.  
(foto di G. Bruno).

*Si intende subito richiamare la Deliberazione della Giunta regionale n. 611 del 29/03/2019 con la quale è stato approvato l'Elenco regionale dei prezzi delle Opere Pubbliche della Regione Puglia - aggiornamento 2019, entrato in vigore il 17 aprile 2019 con la pubblicazione sul BURP.*

*L'Ordine dei Geologi della Puglia ha contribuito anche a questo ultimo aggiornamento attraverso la disponibilità di alcuni colleghi ed il coordinamento di Antonio Fazio che ha partecipato ai lavori del tavolo tecnico regionale. In particolare si segnala l'aggiornamento della voce "Indagini Geologiche" nella quale è stato inserito il Capitolo IG 08 - Impianti di geotermia.*

*Nel ringraziare il collega Di Fazio e gli altri colleghi per il lavoro svolto, l'Ordine resta sin da ora a disposizione per le prossime osservazioni e contributi migliorativi dell'Elenco regionale che non mancheremo di trasmettere alla Regione Puglia.*

*Il Consiglio dell'Ordine ha avuto modo di commentare la Legge regionale n.22/2019 "Nuova disciplina generale in materia di attività estrattiva" che ha recepito alcune indicazioni presentate come proposte di emendamento come la dicitura di "relazione geologica" nella fase di ricerca mineraria e non solo nella fase di autorizzazione alla coltivazione.*

*Restano forti le preoccupazioni evidenziate dai geologi pugliesi in merito all'attribuzione ai Comuni dell'autorizzazione all'esercizio dell'attività estrattiva, auspicando una sempre costante evoluzione della norma che possa farsi portavoce delle competenze tecniche professionali della categoria a garanzia della salvaguardia del territorio e di tutta la comunità. L'Ordine, tuttavia, ha espresso riconoscimento al lavoro svolto dal Consigliere Vizzino Mauro, che da Presidente della V Commissione (Ambiente - Assetto ed utilizzazione del territorio) ha concertato le modifiche e le integrazioni, e al Consigliere Santorsola Domenico, che, in qualità di Assessore regionale, aveva seguito l'iter di definizione del Disegno di Legge, continuando anche in seguito a monitorarlo. Entrambi, hanno condiviso le indicazioni della categoria dei geologi, portando in aula alcuni emendamenti che hanno contribuito ad una migliore definizione dei contenuti degli elaborati geologici della nuova disciplina in materia di attività estrattiva.*

*L'Ordine dei Geologi, che ha partecipato nelle audizioni regionali e condiviso i contenuti, offrendo il proprio contributo, ha salutato favorevolmente altre due Leggi regionali: la n. 30/2019 "Norme in materia di tutela delle prestazioni professionali per attività espletate per conto dei committenti privati e di contrasto all'evasione fiscale", relativa alla certezza dei pagamenti; la n. 32/2019 "Norme in materia di equo compenso nell'esercizio delle professioni regolamentate" relativa alla salvaguardia del principio di trasparenza negli appalti, nel rispetto della dignità del lavoro delle libere professioni. Un ringraziamento ai consiglieri regionali e all'Assessore Giannini per l'impegno legislativo nel settore delle professioni, che ha consentito di dare maggiore dignità all'attività dei professionisti, soprattutto riguardo al lavoro svolto nell'interesse pubblico.*

*Anche quest'anno, l'Ordine aderisce con alcuni geoeventi alla 7<sup>a</sup> edizione della "Settimana del Pianeta Terra", in programma dal 13 al 20 ottobre prossimo, e informa gli iscritti che è altresì prevista una giornata nazionale sul tema dei georischi nelle scuole, presumibilmente il prossimo 18 ottobre, nell'ambito della prima "Settimana nazionale della protezione civile", istituita recentemente dal Presidente del Consiglio dei Ministri. I colleghi saranno invitati a fornire la disponibilità ad intervenire nelle scuole e discutere con gli studenti di prevenzione dei rischi naturali.*

*In questo numero della rivista pubblichiamo, in via del tutto eccezionale, considerato il carattere regionale del nostro periodico, un contributo del Prof. Guericchio al quale va tutta la vicinanza dei geologi pugliesi per la dolorosa perdita del figlio Francesco.*

# ANALISI DI STABILITÀ DI UN FRANTOIO IPOGEO UBICATO SUL FIANCO DI UN VERSANTE IN ROCCIA CALCARENITICA IN AGRO DI MONOPOLI

*Giovanni Bruno<sup>1</sup>, Mario Rotolo<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> DICATECh Politecnico di Bari (giovanni.bruno@poliba.it) - Iscritto ORG Puglia, n. 181 ES

<sup>2</sup> Libero Professionista (mariorotolo@gmail.com) - Iscritto ORG Puglia, n. 273

## RIASSUNTO

La Puglia è una regione dove la produzione olivicola e olearia assume da tempo immemorabile una valenza socio-economica rilevante. Una delle aree particolarmente produttive, in tal senso è quella di Monopoli (BA) dove, peraltro, sono presenti anche dei frantoi ipogei di particolare bellezza fra i quali degno di rilievo è il frantoio presente all'interno dei Vivai Capitanio in Contrada Conghia, oggetto della presente nota. Il frantoio in parola, o meglio quello che ne rimane, oltre ad essere peculiare per il fatto di essere ipogeo è da tempo meta di visite di istruzione da parte di scolaresche e amanti della natura per il fatto singolare di trovarsi all'interno di un ambiente naturale dove è possibile osservare numerosissime specie vegetali autoctone ed esotiche oltre che una vasta raccolta di piante grasse e una voliera di lepidotteri.

La frequentazione di scolaresche e il desiderio di far conoscere e tramandare alle nuove generazioni la memoria di pratiche agricole e industriali, ormai soppiantate dalle nuove tecnologie, stimola nei proprietari di alcuni frantoi ipogei il desiderio di valorizzarli e renderli fruibili al pubblico. I progetti di recupero e fruibilità di un ipogeo, di qualsivoglia natura, non possono prescindere da un'accurata valutazione delle condizioni di stabilità dello stesso, specialmente quando, come nel caso del frantoio dei Vivai Capitanio, lo stesso insiste in un ammasso di rocce calcarenitiche tenere ed è prospiciente un versante.

Il caso di studio, riguarda la ricostruzione dei modelli geometrico, geologico e geomeccanico di due sezioni trasversali dell'ipogeo e delle relative verifiche di stabilità condotte, in condizioni statiche e dinamiche, facendo uso del codice numerico di calcolo agli elementi distinti UDEC.

Le analisi numeriche evidenziano come esista una certa discrepanza fra le verifiche di stabilità in termini di spostamenti e quelle in termini di resistenze al taglio ( $F_s$ ). Nel complesso, se da un lato i fattori di sicurezza indicano condizioni di stabilità globale del versante, dall'altro rischiano di essere fuorvianti rispetto alla stabilità dei diversi ambienti del frantoio ipogeo. Infatti, ai fini della stabilità locale dell'ipogeo non è possibile considerare solo i valori dei fattori di sicurezza al taglio  $F_s$  senza tener conto dei risultati delle analisi relative ai significativi spostamenti subiti dai blocchi rocciosi a tetto della cavità e alle condizioni di plasticizzazione, che si generano per superamento delle resistenze a trazione dei ponti di roccia lungo le discontinuità di strato.

Queste fenomenologie, emerse dalle analisi numeriche e confermate dalla presenza di un quadro fessurativo in essere al tetto degli ambienti nn. 2 e 3 dell'ipogeo, evidenziano una condizione di precaria stabilità. Tale condizione, marcatamente presente nell'ambiente n. 3 e in misura minore in quello n. 2, è dovuta al rilassamento tensionale e al decadimento delle caratteristiche fisico-meccaniche generatisi nell'ammasso roccioso presente nell'intorno della cavità ipogea in seguito allo scavo della stessa.

## 1. INTRODUZIONE

La Puglia è una regione caratterizzata da un'intensa attività agricola che, storicamente, si concretizza nella produzione e trasformazione di due tipologie di prodotti: il grano, nell'area della Capitanata, e le olive, nella restante parte della regione. Rilevante, ai fini di un confronto fra l'economia della Puglia e quella di altre regioni italiane, è anche la sua posizione geopolitica proiettata verso il vicino oriente e il fatto che tali prodotti e/o derivati, ieri più di oggi, potessero essere facilmente commercializzati attraverso le rotte marittime.

Nel contesto della produzione olearia pugliese, numerosa è la presenza di frantoi, non di rado ipogei, e di serbatoi interrati "piscine" o fuori terra "piloni" per lo stoccaggio dell'olio. In tal senso, basti dire che nel solo territorio di Monopoli, nel periodo compreso fra il 1650-1811, risultano registrati negli atti notarili ben 99 frantoi e 34 piscine (Trizio P.B., 2015).

In passato i frantoi e le piscine venivano realizzati in sotterraneo sfruttando il fatto che, nell'area di Monopoli, la roccia affiorante è spesso costituita dalle Plio-Pleistoceniche Calcareniti di Gravina che possono raggiungere uno spessore di 10-15 m. Tali rocce calcarenitiche, come si dirà più avanti, hanno un assetto massivo e caratteristiche fisico-meccaniche variabili da scadenti a mediocri; ciò ne consente sia una facile scavabilità, in cave a cielo aperto e/o in sotterraneo (Bruno G., Cherubini C., 2005), sia il loro impiego come materiale da costruzione, ampiamente diffuso in Puglia. A fronte di queste peculiarità, tuttavia, le cavità naturali e gli ipogei antropici scavati in tali rocce sono spesso soggetti a fenomeni di instabilità che si manifestano, anche molto tempo dopo lo scavo, in seguito a fenomeni di creep, al decadimento delle caratteristiche meccaniche della roccia o alle mutate condizioni tensionali al contorno dell'ipogeo.

Nel territorio di Monopoli sono presenti diversi ipo-

gei, alcuni dei quali nel passato adibiti a frantoio oleario, censiti nel “Catasto delle Grotte e delle Cavità Artificiali” della Regione Puglia grazie al Progetto per l’attuazione della Legge Regionale 4 dicembre 2009, n. 33 “Tutela e valorizzazione del patrimonio geologico e speleologico”.

Tali frantoi ipogei, molto attivi nel passato e fino al XIX secolo, sono stati in seguito dismessi e abbandonati all’incuria del tempo e, sovente, versano oggi in precarie condizioni di stabilità. Una crescente sensibilità ambientale e il desiderio di far conoscere e tramandare alle nuove generazioni la memoria di un’archeologia agricola e industriale, ormai soppiantata dalle nuove tecnologie, stimola nei proprietari di alcuni frantoi ipogei il desiderio di valorizzarli e renderli fruibili al pubblico. I progetti di recupero e fruibilità di un ipogeo, di qualsivoglia natura, non possono prescindere da un’accurata valutazione delle condizioni di stabilità dello stesso, specialmente quando, come nel caso di studio trattato di seguito, lo stesso insiste in un ammasso roccioso di rocce calcarenitiche tenere.

Il caso di studio, riguarda la ricostruzione del modello geomeccanico e le verifiche di stabilità, statiche e dinamiche, di un frantoio ipogeo ubicato all’interno dei vivai Capitanio Stefano in Contrada Conghia, agro di Monopoli (BA), censito al n. PU\_CA\_88 del catasto cavità ipogee antropiche della Regione Puglia (Fig. 1).

Le verifiche di stabilità, dell’insieme versante-ipogeo, sono state eseguite mediante il codice di calcolo numerico 2D agli elementi distinti “UDEEC” e a tale scopo è stata eseguita una campagna di indagini in situ e prove di laboratorio, finalizzata alla definizione dei seguenti aspetti:

- a) Rilievo topografico plano-altimetrico dell’ipogeo, eseguito mediante stazione totale GPS, con restituzione di tre sezioni orizzontali, ai livelli: piano di calpestio, tetto dell’intradosso dell’ipogeo e piano campagna sopra l’ipogeo; e di tre sezioni verticali dell’ipogeo orientate: NE-SW (lungo l’asse longitudinale), NW-SE (passante per l’ingresso secondario) e NW-SE (passante per l’ingresso principale);
- b) Indagine sismica a rifrazione lungo un profilo orientato in direzione NE-SW, in asse alla stradella adiacente l’ipogeo, per la definizione della sismostratigrafia dell’area e determinazione delle velocità di propagazione delle onde  $V_p$  e  $V_s$  nell’ammasso calcarenitico e dei seguenti parametri dinamici: modulo di Poisson, modulo di Young, rigidità sismica;
- c) Prove di laboratorio geotecnico, su n. 2 provini di calcarenite prelevati in situ, per la determinazione dei seguenti parametri: peso di volume, resistenza a compressione semplice con misura delle deformazioni lon-

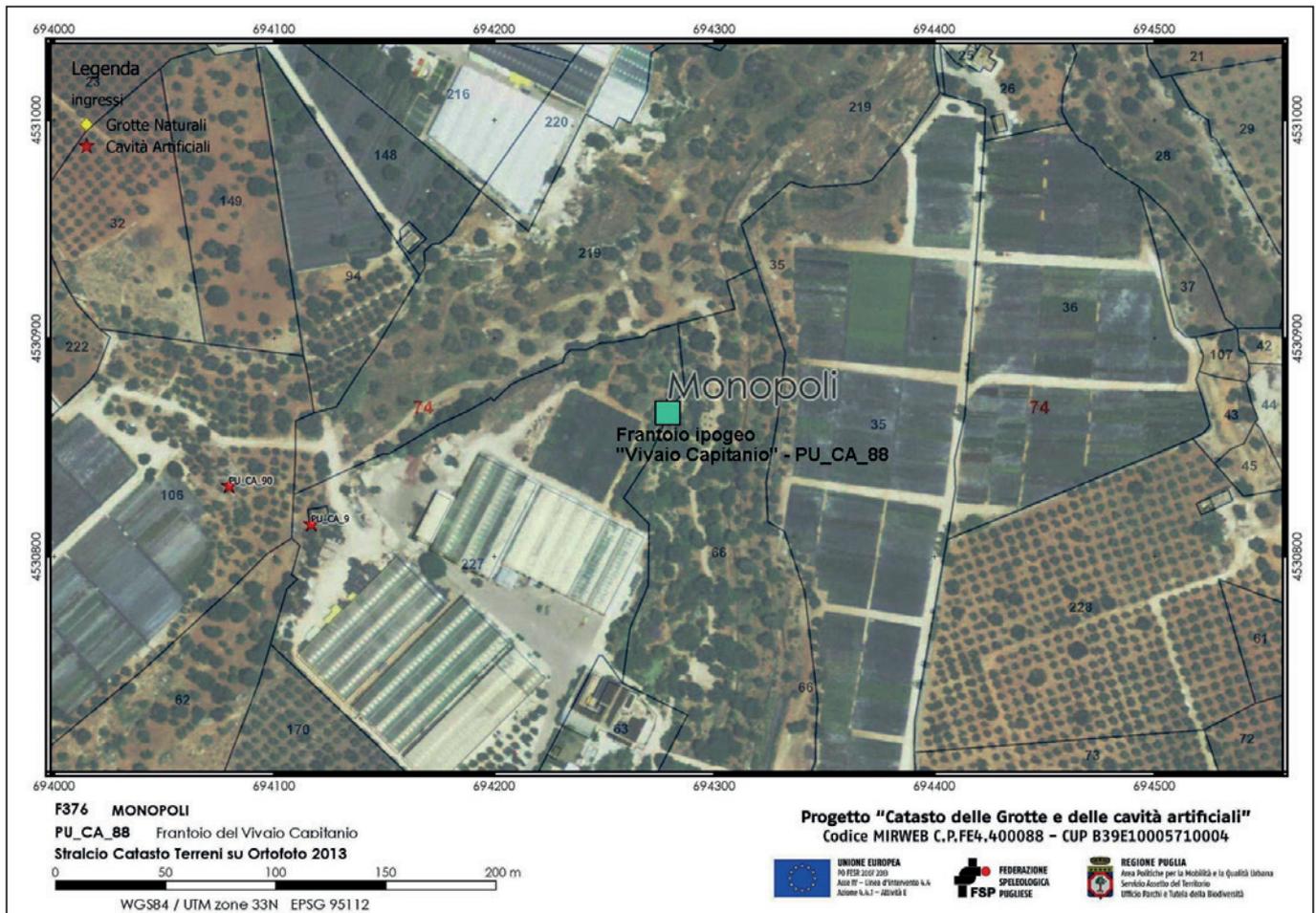


Figura 1 - Stralicio del Catasto terreni su ortofoto con ubicazione del frantoio ipogeo del vivaio Capitanio.

gitudinali e trasversali, modulo di Young, coefficiente di Poisson.

2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La geologia dell'area, è caratterizzata da un substrato carbonatico mesozoico, che affiora sul fondo della "lama" su cui si affaccia l'ipogeo, sul quale giace in trasgressione un'estesa coltre calcarenitica Plio-Pleistocenica, seguono verso l'alto depositi alluvionali lungo la "lama" e un'esigua copertura di suolo agrario (Fig. 2).

Nel dettaglio la successione stratigrafica affiorante, dal termine più antico a quello più recente è la seguente:

*Calcarei di Bari - Età: Turoniano - Cenomaniano inferiore*

Trattasi di calcari detritici a grana fine, di colore grigio chiaro e biancastro, sedimentatisi in ambiente di *piattaforma carbonatica*, ascrivibili alla Formazione dei "Calcarei delle Murge". Si presentano in strati di spessore variabile da qualche decimetro a circa un metro e sono caratterizzati da sistemi di frattura variamente orientati che suddividono l'ammasso carbonatico in grossi blocchi, grossolanamente parallelepipedi, di dimensioni variabili in

funzione della frequenza delle superfici di discontinuità.

*Calcarenite di Gravina - Età: Calabriano - Pliocene superiore*

I depositi calcarenitici, accumulatisi in trasgressione sul substrato calcareo-dolomitico durante la fase d'ingressione marina plio-quadernaria, appartengono alla Formazione delle "Calcarenite di Gravina". Si tratta di sedimenti granulari bioclastici, di colore dal giallo ocre all'avana chiaro, con scarsa matrice micritica, granulometria e grado di cementazione molto variabile sia in senso verticale sia lateralmente.

Nell'area del caso di studio l'ammasso roccioso calcarenitico ha uno spessore di circa 10 m, si presenta massivo con banchi dello spessore di circa 1 ÷ 1.5 m, disposti a franapoggio rispetto al versante (sponda sinistra della lama), che hanno un'inclinazione di 10-12° verso ENE (Fig. 3).

*Depositi alluvionali sul fondo dei solchi erosivi - Età: Olocene*

Si tratta di un esiguo spessore, dell'ordine di pochi decimetri, di ciottoli carbonatici sub-arrotondati, prodotti dalla disgregazione dei calcari e delle calcarenite, a luoghi

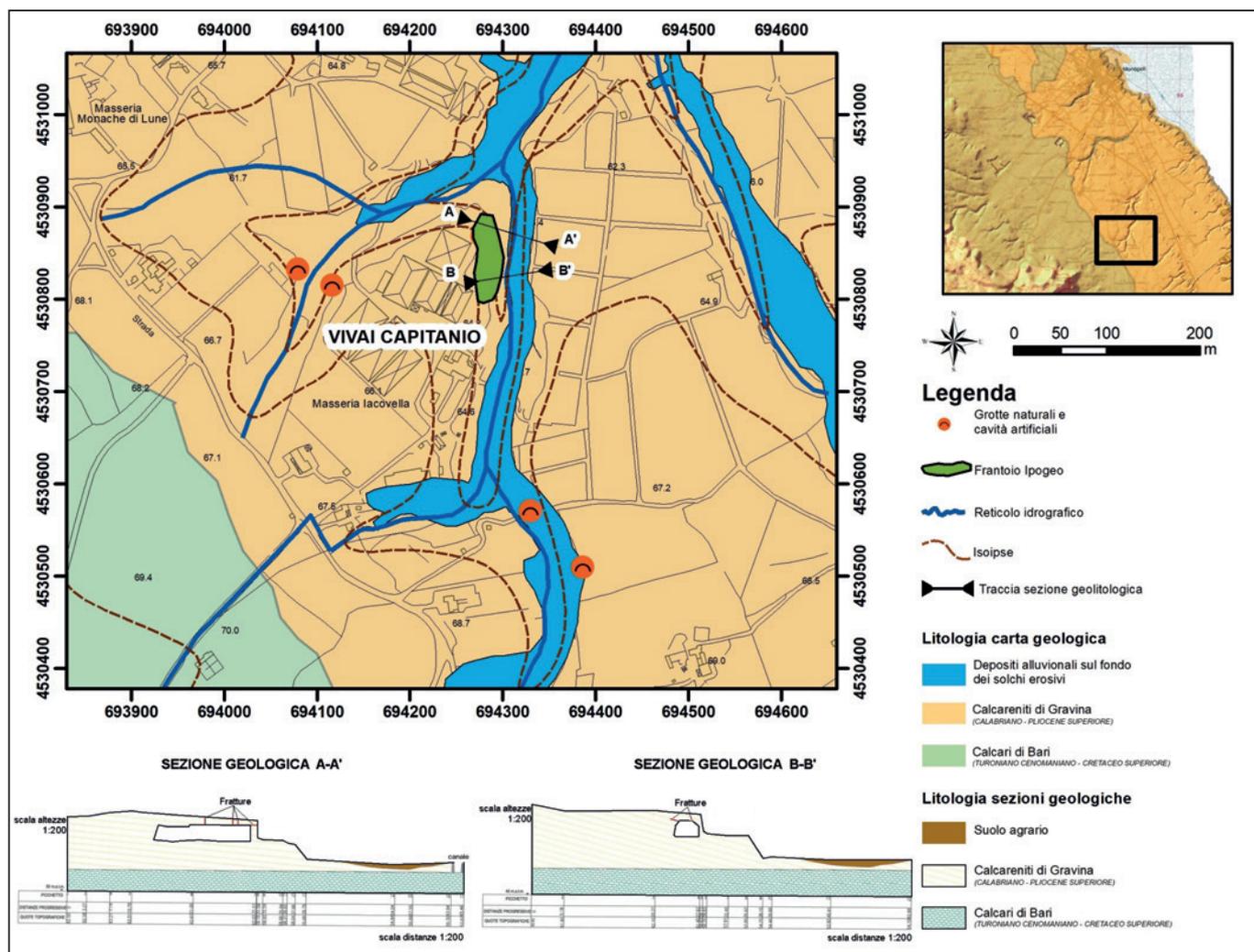


Figura 2 - Carta e sezioni geologiche con ubicazione del frantoio ipogeo (area in verde).



Figura 3 - Stratificazione in banchi dell'ammasso calcarenitico con vista dell'ingresso principale del frantoio ipogeo.

immersi in una matrice siltoso-terrosa di colore bruno-rossastro. Essi sono presenti sul fondo della "lama" che, con decorso SO-NE, scorre parallelamente al lato lungo dell'ipogeo.

Dal punto di vista altimetrico gli ipogei sono compresi fra la quota altimetrica di circa 62 m s.l.m., piano campagna sopra l'ipogeo, e i 59 m s.l.m. della quota dell'ingresso principale.

Dal punto di vista geomorfologico quest'area del territorio di Monopoli si colloca in un'ampia fascia costiera, larga mediamente 4-5 Km che, da quota 130 m s.l.m., digrada verso il mare con una serie di almeno cinque ordini di terrazzi di abrasione marina aventi un'età compresa tra il Calabriano e il Versiliano (Di Geronimo I., 1979; Ciaranfi N. *et al.*, 1988; Bruno G. *et al.*, 1995). I terrazzi, perlopiù impostati sui depositi calcarenitici, sono delimitati verso monte da salti di pendenza in corrispondenza di modeste scarpate. Nell'area di studio sono presenti soltanto i terrazzi del I e II ordine, che sono attraversati da numerose incisioni torrentizie "lame", nella maggior parte dei casi terminanti sull'orlo delle scarpate che delimitano i pianori, lungo le quali viene veicolata a mare l'acqua degli effimeri corsi d'acqua occasionali che si generano in occasione di eventi piovosi rilevanti.

### 3. GENERALITÀ SULLA CARATTERIZZAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO E LA MODELLAZIONE GEOMECCANICA DELLE SEZIONI PER LE VERIFICHE DI STABILITÀ

La definizione dell'assetto geologico-strutturale e delle caratteristiche geomeccaniche della roccia intatta e delle discontinuità presenti nell'ammasso roccioso nel quale si sviluppa il frantoio ipogeo, è la necessaria condizione preliminare per la realizzazione dei modelli geomeccanici delle sezioni di verifica. A tal fine, ci si è avvalsi dei risultati di studi ed indagini, all'uopo eseguiti in situ e in laboratorio, integrati da rilievi fotografici e geologico-strutturali che hanno consentito di classificare nonché di

caratterizzare dal punto di vista fisico-meccanico l'ammasso roccioso calcarenitico e, conseguentemente, ricavare i modelli geomeccanici delle sezioni di verifica.

Per quanto riguarda il rilievo e l'elaborazione dei dati geostrutturali si è seguita per quanto possibile, considerata la natura prevalentemente massiva dell'ammasso, la metodica della scanline generalizzata (Bruno G., 2012), ampiamente utilizzata con successo in numerose ricerche scientifiche su casistiche analoghe a quella in esame.

La scelta dei parametri fisici e meccanici da assegnare ai modelli geomeccanici delle sezioni di verifica, è stata resa congruente con i criteri di resistenza e deformabilità utilizzati nei calcoli e con la metodica di verifica numerica implementata. Sulla scorta delle considerazioni preliminari suesposte e dei risultati di ricerche precedenti si è ritenuto di classificare l'ammasso roccioso in cui si sviluppa l'ipogeo e quello ad esso sottostante mediante due distinte metodologie: l'indice  $Q_c$  di Barton N. (2002) e l'indice GSI, quest'ultimo ottenuto mediante la procedura semiquantitativa messa a punto da Sonmez H. *et al.* (2004). La scelta di utilizzare i due diversi indici scaturisce dall'opportunità di effettuare un confronto fra i valori dei parametri geomeccanici ottenuti dai due indici e, nel contempo, di valorizzare al massimo i dati ottenuti dal rilievo sismico a rifrazione, mediante le note correlazioni che legano i valori di velocità delle onde  $V_p$  e l'indice  $Q_c$  dell'ammasso roccioso. I valori caratteristici dei parametri geomeccanici utilizzati nei modelli delle verifiche numeriche di stabilità dell'ipogeo sono stati ricavati integrando i risultati delle prove geotecniche di laboratorio con quelli delle classificazioni geomeccaniche adottate e della prospezione sismica a rifrazione.

In particolare, considerato che i diversi orizzonti sismostratigrafici mostrano un miglioramento delle caratteristiche meccaniche al crescere della profondità dal piano campagna e che il rilievo geomeccanico ha evidenziato come l'ammasso roccioso, a causa dello scavo dell'ipogeo, mostri un diverso stato di allentamento e degrado, lo stesso è stato suddiviso in due livelli geomeccanici a comportamento omogeneo: un livello superiore, dal piano campagna fino al piano di calpestio dell'ipogeo e un livello inferiore ad esso sottostante. Quest'approccio ha consentito di caratterizzare con specifici valori dei parametri fisico-meccanici i due livelli nei modelli geomeccanici delle sezioni utilizzate per le verifiche di stabilità.

Il numero di sezioni verificate è pari a due e la loro ubicazione è stata scelta in modo da farle passare in asse agli ingressi dell'ambiente principale (Sezione "A") e secondario (Sezione "B") dell'ipogeo (Fig. 4).

Così facendo sono state valutate le condizioni di stabilità non solo degli ambienti volumetricamente e arealmente più ampi dell'ipogeo ma anche quelli che, in base al rilievo geomeccanico, presentano il più elevato grado di fratturazione e degrado dell'ammasso roccioso.

Il modello geomeccanico delle sezioni verificate è costituito da un ammasso roccioso fortemente condizionato dalla presenza di una famiglia di discontinuità dominante

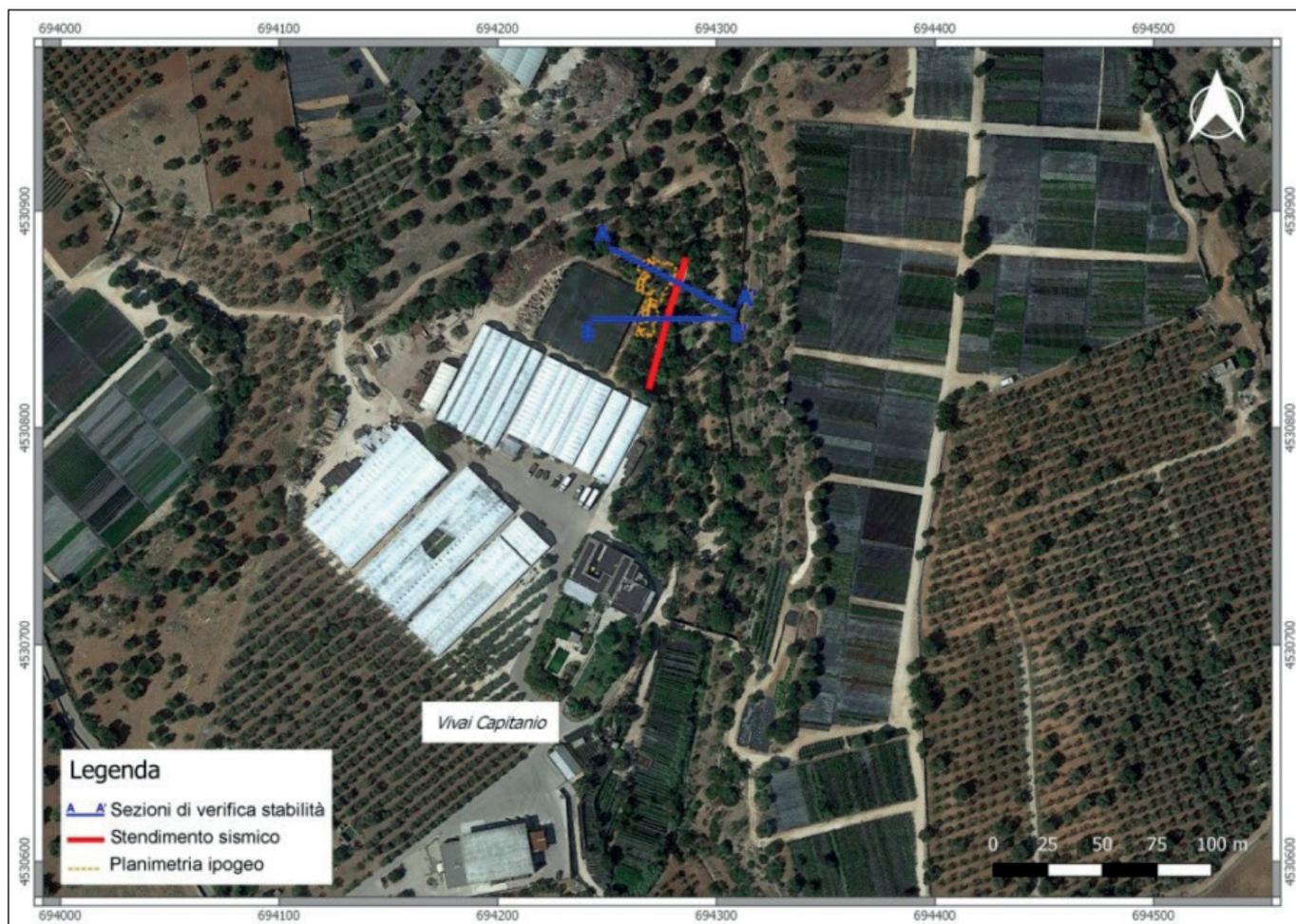


Figura 4 - Ubicazione dello stendimento sismico (linea rossa) e delle due sezioni di verifica della stabilità (linee blu).

(stratificazione) disposta a franapoggio, che interessa tutti gli ambienti dell'ipogeo, oltre che da singole discontinuità presenti soprattutto nella porzione di tetto soprastante l'ingresso principale dell'ipogeo. Per l'esecuzione delle verifiche di stabilità statiche e dinamiche, quindi, si è ritenuto congruo l'uso di un codice di calcolo numerico agli elementi distinti (UDEEC) e il criterio di resistenza elasto-plastico di Mohr-Coulomb.

#### 4. ASSETTO GEOSTRUTTURALE DELL'IPOGEO

L'analisi della stabilità di un ipogeo, come ampiamente noto nella letteratura geomeccanica, è fortemente condizionata dalle famiglie di discontinuità presenti nell'ammasso roccioso in cui esso si sviluppa e, conseguentemente, dalle giaciture caratteristiche delle stesse. Questa considerazione è ancor più valida quando l'ipogeo, come quello del frantoio in studio, è prospiciente il fronte di un versante e, inoltre, si sviluppa ad una profondità poco al disotto dal piano campagna. In queste condizioni, la stabilità dell'ipogeo è fortemente condizionata dalla giacitura del fronte del versante roccioso (Tab. 1) in relazione alla giacitura della famiglia di discontinuità prevalenti che interessano l'ammasso, cioè quelle di strato.

Giacitura fronte del versante	Sezione A	Sezione B
Direzione	30°	20°
Immersione	120°	110°
Inclinazione	90°	90°

Tabella 1 - Giacitura media del fronte del pendio prospiciente le sezioni di verifica.

Il grado di separazione dell'ammasso roccioso calcarenitico è poco elevato e il suo assetto strutturale è fortemente condizionato dalla presenza delle discontinuità singenetiche (stratificazione) che presentano una continuità laterale considerevole e significativa ai fini del modello geomeccanico adottato per le sezioni di verifica analizzate. La giacitura dei banchi calcarenitici è a franapoggio, rispetto al versante, con spessore dell'ordine di 1-1.5 m e un'inclinazione di circa 12° verso Est.

Dei tre ambienti che compongono l'ipogeo (Fig. 5), il n. 1 non presenta evidenze di fratture e le uniche discontinuità dell'ammasso sono quelle di strato; negli ambienti nn. 2 e 3, invece, oltre alle discontinuità di strato sono

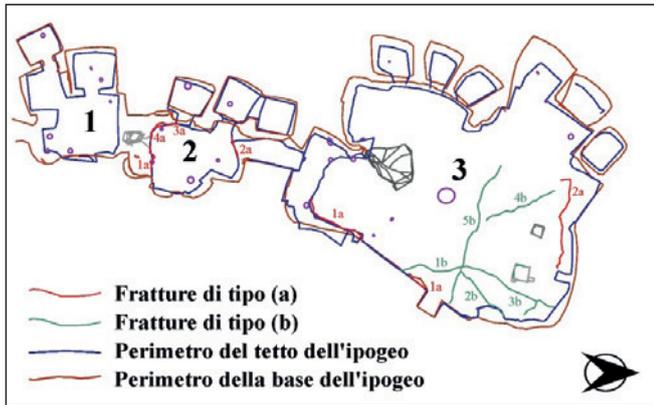


Figura 5 - Sviluppo planimetrico dei tre ambienti (nn. 1, 2 e 3) con ubicazione delle fratture di tipo (a) e (b) presenti sul tetto dell'ipogeo.



Figura 6 - Angolo Sud-Est dell'ambiente n. 3: frattura di tipo (a) presente all'intersezione fra la parete verticale e il tetto dell'ipogeo.

stati rilevati altri due tipi di fratture indicate come tipo (a) e (b).

Alcune fratture (tipo a), sono presenti lungo gli spigoli formati dall'intersezione fra la sommità delle pareti laterali e il tetto degli ipogei nn. 2 e 3 (Fig. 6); altre (tipo b), presenti solo nell'angolo Nord-Est del tetto soprastante l'ingresso principale dell'ipogeo n. 3 (Fig. 7), sono disposte attorno ad un pilastro, realizzato con blocchi della stessa calcarenite dell'ammasso roccioso, che risulta anch'esso fratturato e in precarie condizioni di equilibrio statico.

Le fratture sono dotate di una significativa persistenza laterale e apertura; inoltre, considerate la loro geometria e ubicazione è verosimile ipotizzare che le fratture tipo (a) siano state generate dal detensionamento dell'ammasso roccioso in corrispondenza della superficie di interstrato che costituisce il tetto dell'intero ipogeo. L'insorgere di questo tipo di fratturazione è stato favorito dalla bassa resistenza a trazione che la roccia calcarenitica presenta. Le fratture tipo (b), invece, presentano una geometria che lascia supporre un locale collasso da carico del tetto.

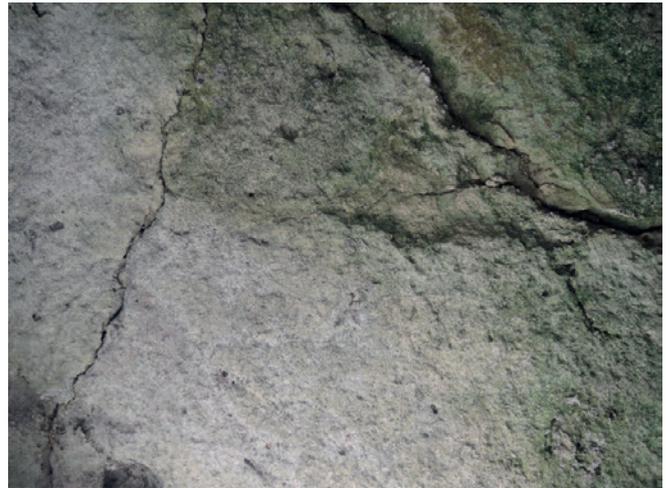


Figura 7 - Angolo Nord-Est dell'ambiente n. 3: fratture di tipo (b) presenti sul tetto dell'ipogeo.



Figura 8 - Angolo Sud-Est dell'ambiente n. 3: pilastro in blocchi calcarenitici con evidenti fratture lungo tutta l'altezza e innesto di muro divisorio alla base; sullo sfondo frattura di tipo (a) presente al contatto fra la parete verticale e il tetto dell'ipogeo.

Il pilastro in blocchi calcarenitici, è stato realizzato in passato per innestarsi nei muri divisorii dell'ambiente e non certamente per contrastare la locale instabilità del tetto, visto lo stato di ammaloramento e le fratture che esso presenta. Queste ultime palesano l'inefficienza statica del pilastro, probabilmente dovuta alla mancanza di un suo dimensionamento progettuale (Fig. 8).

### 5.1 DEFINIZIONE DELLE GIACITURE CARATTERISTICHE DELLE DISCONTINUITÀ PRESENTI NELL'AMMASSO

Il rilievo geomeccanico in situ ha consentito di creare il database delle discontinuità di pertinenza di ognuna delle due sezioni di verifica considerate (A e B). Riguardo al parametro inclinazione delle discontinuità, si precisa che i valori misurati lungo le linee di massima pendenza dei piani di strato o di frattura sono stati corretti, con la relazione proposta da Bruno G. (2012), al fine di ricava-

Tipo di discontinuità	Numero	A (cm)	Giacitura		
			Direzione	Immersione	Inclinazione
Stratificazione	-	-	340°	70°	5°
Frattura tipo (a)	1a	0.5	213°	303°	2°
Frattura tipo (a)	2a	0.4	98°	188°	90°
Frattura tipo (b)	1b	0.3	356°	86°	90°
Frattura tipo (b)	2b	0.3	227°	317°	90°
Frattura tipo (b)	3b	0.3	206°	296°	90°
Frattura tipo (b)	4b	0.3	337°	67°	90°
Frattura tipo (b)	5b	0.3	290°	20°	90°

Tabella 2 - Ambiente 3 - Sezione A: apertura e giacitura delle discontinuità.

Tipo di discontinuità	Numero	A (cm)	Giacitura		
			Direzione	Immersione	Inclinazione
Stratificazione	-	-	340°	70°	10°
Frattura tipo (a)	1a	0.4	269°	359°	2°
Frattura tipo (a)	2a	0.5	73°	163°	2°
Frattura tipo (a)	3a	0.5	354°	84°	2°
Frattura tipo (a)	4a	0.5	327°	57°	2°

Tabella 3 - Ambiente 2 - Sezione B: apertura e giacitura delle discontinuità.

re le inclinazioni reali che tali discontinuità presentano lungo la traccia delle sezioni di verifica considerate. I parametri ottenuti per ognuna delle due sezioni analizzate vengono riassunti nelle tabelle riportate (Tabb. 2 e 3).

## 6. CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO E CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DELLA ROCCIA INTATTA E DELLE DISCONTINUITÀ

La caratterizzazione geomeccanica di un ammasso roccioso è sempre un'operazione complessa anche a causa della naturale variabilità dei parametri da prendere in considerazione. Nel caso specifico del frantoio ipogeo dei Vivai Capitanio, tale operazione è ulteriormente complicata dalla particolare natura litologica dell'ammasso roccioso, costituito dalla Formazione delle Calcareni di Gravina. Tali rocce, come comprovato dalle prove eseguite in laboratorio, hanno un comportamento reologico e una resistenza a compressione semplice molto bassa ( $\sigma_c = 3.06$  MPa), alla stregua di quella di una terra, tanto che in letteratura (Bruno G., 2012) tali rocce sono definite "rocce tenere".

Per caratterizzare le discontinuità e la roccia intatta dell'ammasso, in corrispondenza di ogni sezione di verifica, sono stati usati i due indici di classificazione geomeccanica  $Q_c$  e GSI nonché i criteri di resistenza di Hoek-Brown e quello di Mohr-Coulomb. I parametri desunti dalle classificazioni geomeccaniche sono stati confrontati e integrati con le risultanze delle prove geotecniche di laboratorio e dell'indagine sismica a rifrazione. I valori caratteristici dei singoli parametri geomeccanici, quindi, sono stati stimati selezionando, in modo ponderato e sulla base delle conoscenze tecnico-scientifiche pregresse, i valori più appropriati fra quelli restituiti dalle diverse metodiche di classificazione/caratterizzazione adottate. Da questi, applicando i coefficienti parziali previsti dalle NTC 2018 per l'approccio considerato, si sono ottenuti

i parametri, cosiddetti di progetto, utilizzati nei modelli geomeccanici delle due sezioni per le verifiche di stabilità.

Come già accennato, l'ammasso roccioso, a causa dello scavo dell'ipogeo, mostra un diverso stato di allentamento e degrado fisico-meccanico a livello dell'ipogeo e del suo immediato intorno e un significativo miglioramento delle caratteristiche meccaniche nel volume significativo sottostante la cavità. Si è scelto, quindi, di caratterizzare con specifici valori dei parametri geomeccanici i due livelli nei modelli delle sezioni A e B delle verifiche di stabilità.

### 6.1 CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO DELLE SEZIONI DI VERIFICA MEDIANTE GLI INDICI $Q_c$ (BARTON) E GSI (HOEK & BROWN)

La tipologia dei dati acquisiti e la metodica di rilievo adottata per l'esecuzione delle indagini hanno come naturale conseguenza quella di adottare per la classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso, in ognuna delle sezioni di verifica, l'indice  $Q_c$  di Barton N. (2002). Questa scelta è anche dettata dal fatto che il codice di calcolo numerico utilizzato per le verifiche di stabilità agli elementi distinti (UDEC), in accordo con quanto stabilito dalla vigente normativa tecnica (NTC 2018), richiede una puntuale parametrizzazione del modello geomeccanico dell'ammasso roccioso sia in termini di matrice rocciosa intatta sia delle caratteristiche fisico-meccaniche delle discontinuità.

L'indice di classificazione  $Q_c$ , per il tipo di parametri di input e le metodiche utilizzate per la loro definizione, consente di caratterizzare in modo molto preciso le discontinuità presenti nell'ammasso. Per caratterizzare la matrice rocciosa intatta dell'ammasso, oltre alle prove di laboratorio, si è scelto di calcolare l'indice GSI (Hoek E., Brown E. T., 1997), valutato mediante la procedura semiquantitativa messa a punto da Sonmez H. *et al.* (2004),

necessario per implementare il criterio di resistenza di Hoek-Brown dal quale, per linearizzazione, si è ottenuto il criterio di resistenza di Mohr-Coulomb.

Prescindendo dalla descrizione dei parametri e delle metodiche necessarie per implementare le classificazioni  $Q_c$  e GSI, si riportano di seguito i risultati ottenuti per ognuno dei livelli geomeccanici dell'ammasso nelle due sezioni di verifica analizzati (Tab. 4). Dai valori ottenuti per i due indici di classificazione si nota che l'indice di Barton è compreso fra  $0.29 \leq Q_c \leq 0.93$  mentre quello di Hoek-Brown è compreso fra  $53 \leq GSI \leq 66$ .

La qualità dell'ammasso nel livello superiore, comprendente l'ipogeo e il suo immediato intorno, è da molto scadente ( $Q_c$ ) a mediocre (GSI) e varia poco fra la sezione "A" e la "B". Una migliore qualità si è ottenuta in entrambe le sezioni e per il livello inferiore dell'ammasso roccioso sottostante l'ipogeo; questo miglioramento è meno apprezzabile con l'indice  $Q_c$ , per il quale la classe e qualità all'ammasso restano invariate, mentre l'indice GSI indica un più sensibile miglioramento della qualità dell'ammasso che può essere classificata buona.

## 6.2 CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DELLA MATRICE ROCCIOSA INTATTA E DELLE DISCONTINUITÀ E RELATIVI VALORI CARATTERISTICI E DI PROGETTO

Preliminarmente alla determinazione dei valori caratteristici e di progetto dei parametri fisico-meccanici che sono stati utilizzati per implementare i modelli delle sezioni di verifica si precisa che, in accordo alle NTC 2018, per le verifiche statiche dello stato limite SLV si è usato l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2), adottando i relativi coefficienti parziali desunti dalle tabelle 6.2.I e 6.2.II, rispettivamente, per le azioni  $\gamma_F$  e per i parametri geomeccanici  $\gamma_M$  e con il coefficiente parziale da applicare alla resistenza globale del sistema geotecnico (GEO)  $\gamma_R = 1$  (vedi le NTC 2018, §6.3.4. verifica di sicurezza dei pendii e §6.7.5. analisi progettuali e verifiche di sicurezza di opere in sotterraneo).

Inoltre, poiché l'area del frantoio ipogeo ricade in zona sismica, caratterizzata da una  $a_g = 0.05g$ , per le verifiche dinamiche dello stato limite SLV si è adottato l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2 + M2 + R2) ponendo, secondo quanto prescritto nel § 7.11.1. delle NTC 2018, i coefficienti parziali da applicare alle azioni e ai parame-

tri geotecnici pari a  $\gamma_F = 1$  e  $\gamma_M = 1$ , mentre per la verifica globale della resistenza del sistema geotecnico (GEO) il coefficiente parziale adottato è pari a  $\gamma_R = 1.5$ .

Come già accennato nei paragrafi precedenti, il modello geomeccanico delle 2 sezioni individuate per l'esecuzione delle verifiche di stabilità si compone di:

- matrice rocciosa intatta, costituente gli strati di roccia calcarenitica dell'ammasso roccioso;
- discontinuità di strato e fratture di carico che interessano l'ammasso roccioso.

Per le verifiche di stabilità del fronte roccioso si è utilizzato il codice di calcolo agli elementi distinti (UDEC) che come è noto si basa su un modello geomeccanico anisotropo e discontinuo. È stato necessario, quindi, caratterizzare separatamente sia la matrice rocciosa dell'ammasso sia le discontinuità che la suddividono.

Inoltre, considerate le peculiarità geostrutturali del versante e lo stato di fratturazione e allentamento della porzione di ammasso nell'intorno dell'ipogeo, si è ritenuto di ricavare il maggior numero possibile dei parametri di resistenza della roccia e delle discontinuità non utilizzando esclusivamente i valori ottenuti direttamente dalle prove di laboratorio, bensì integrandoli con quelli ottenuti mediante le classificazioni geomeccaniche  $Q_c$  e GSI e la linearizzazione alla Mohr-Coulomb del criterio di resistenza non lineare di Hoek-Brown. Di seguito (Tabb. 5 ÷ 8) si riportano le schede riassuntive dei parametri, caratteristici e di progetto, adottati nei modelli geomeccanici delle due sezioni di verifica.

## 7. DETERMINAZIONE DELL'ACCELEROGRAMMA UTILIZZATO PER LE VERIFICHE DINAMICHE

Le NTC 2018 consentono l'esecuzione di verifiche dinamiche di stabilità di sistemi geotecnici sia con il metodo pseudo-statico sia con il metodo dinamico mediante l'uso di accelerogrammi di progetto. In tal senso, considerata l'elevata accuratezza del codice numerico (UDEC) utilizzato per le verifiche di stabilità, si ritiene imprescindibile l'esecuzione delle analisi dinamiche facendo uso di uno specifico accelerogramma naturale di progetto. Quindi, sulla base dei seguenti parametri, che caratterizzano da un punto di vista sismico il versante su cui insiste il frantoio ipogeo, è stato estratto un accelerogramma compatibile con le caratteristiche sismiche dell'area del caso di studio:

a) coordinate geografiche del sito nel sistema di riferi-

Sezione di verifica	Livello dell'ammasso	Indice di classificazione	Valore	Classe e Qualità dell'ammasso
A	superiore (compreso l'ipogeo)	$Q_c$	0.29	VII molto scadente
		GSI	53	mediocre
	inferiore (sotto l'ipogeo)	$Q_c$	0.93	VII molto scadente
		GSI	66	buona
B	superiore (compreso l'ipogeo)	$Q_c$	0.35	VII molto scadente
		GSI	54	mediocre
	inferiore (sotto l'ipogeo)	$Q_c$	0.93	VII molto scadente
		GSI	66	buona

Tabella 4 - Qualità dell'ammasso roccioso nelle due sezioni di verifica nell'intorno dell'ipogeo e nel volume significativo ad esso sottostante.

- mento geografico WGS84 (Latitudine 40.90586111° N e Longitudine 17.30667593° E);
- b) vita nominale  $V_N$ , Classe e Coefficiente d'uso  $C_u$ , Periodo di riferimento  $V_R = V_N \cdot C_u$  dell'opera in progetto. Nel caso in esame si è adottata una vita nominale ( $V_N = 50$  anni), in quanto si tratta di un sistema geotecnico ordinario, una classe d'uso I (opera con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli), cui compete un coefficiente d'uso  $C_u = 0.7$ . Ne deriva che la vita o periodo di riferimento sarà pari a  $V_R = V_N \cdot C_u = 50 \cdot 0.7 = 35$  anni.

- c) stato limite di Salvaguardia della Vita (SLV);
- d) categoria del suolo "A" con un substrato, posto ad una profondità media di 12m, costituito dalle rocce carbonatiche della Formazione dei Calcari di Bari sui quali giacciono le rocce carbonatiche della Formazione delle Calcareni di Gravina. La velocità media ponderata delle onde sismiche di taglio è pari a  $V_{s_{eq}} = 920$  m/s (ottenuta mediante le indagini di sismica a rifrazione);
- e) categoria topografica  $T_1$ , trattandosi di scarpata con dislivello inferiore a 30m, sommità subpianegginate e dovendo eseguire le verifiche dinamiche utilizzando

PARAMETRI DI PROGETTO DELLA ROCCIA INTATTA						
NTC 2018 - SLU - Approccio 1 - Combinazione 2 (A2 + M2 + R2)						
Parametro	Analisi Statiche			Analisi Dinamiche		
	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto
$c'_m$ coesione	870000 (Pa)	1.25	<b>696000</b> (Pa)	870000 (Pa)	1.00	<b>870000</b> (Pa)
$\tan \phi_m$ angolo di attrito	0.60086 31 (gradi)	1.25	<b>0.48069</b> 26 (gradi)	0.60086 31 (gradi)	1.00	<b>0.60086</b> 31 (gradi)
$\sigma_{cm}$ resistenza a compressione semplice	3060000 (Pa)	1.00	<b>3060000</b> (Pa)	3060000 (Pa)	1.00	<b>3060000</b> (Pa)
$\sigma_{tm}$ resistenza a trazione	500000 (Pa)	1.00	<b>500000</b> (Pa)	500000 (Pa)	1.00	<b>500000</b> (Pa)
$E_{i50\%}$ modulo di elasticità	6648 · 10 <sup>6</sup> (Pa)	1.00	<b>6648 · 10<sup>6</sup></b> (Pa)	6648 · 10 <sup>6</sup> (Pa)	1.00	<b>6648 · 10<sup>6</sup></b> (Pa)
$\gamma_a$ peso di volume naturale	1585 (kg/m <sup>3</sup> )	1.00	<b>1585</b> (kg/m <sup>3</sup> )	1585 (kg/m <sup>3</sup> )	1.00	<b>1585</b> (kg/m <sup>3</sup> )
$K$ modulo di compressibilità volumetrica	4262 · 10 <sup>6</sup> (Pa)	1.00	<b>4262 · 10<sup>6</sup></b> (Pa)	4262 · 10 <sup>6</sup> (Pa)	1.00	<b>4262 · 10<sup>6</sup></b> (Pa)
$G$ modulo di rigidezza al taglio	2681 · 10 <sup>6</sup> (Pa)	1.00	<b>2681 · 10<sup>6</sup></b> (Pa)	2681 · 10 <sup>6</sup> (Pa)	1.00	<b>2681 · 10<sup>6</sup></b> (Pa)
$\nu$ modulo di Poisson	0.25	1.00	<b>0.25</b>	0.25	1.00	<b>0.25</b>
PARAMETRI DI PROGETTO DELLE DISCONTINUITÀ						
Parametro	Analisi Statiche			Analisi Dinamiche		
	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto
$c'_J$ coesione	490000 (Pa)	1.25	<b>392000</b> (Pa)	490000 (Pa)	1.00	<b>490000</b> (Pa)
$\tan \phi_J$ angolo di attrito	0.60086 31 (gradi)	1.25	<b>0.48069</b> 26 (gradi)	0.60086 31 (gradi)	1.00	<b>0.60086</b> 31 (gradi)
$JKN$ rigidezza normale	2.07E+08 (Pa)	1.00	<b>2.1E+08</b> (Pa)	2.07E+08 (Pa)	1.00	<b>2.1E+08</b> (Pa)
$JKS$ rigidezza al taglio	84000000 (Pa)	1.00	<b>8.4E+07</b> (Pa)	84000000 (Pa)	1.00	<b>8.4E+07</b> (Pa)

Tabella 5 - Sezione di verifica "A", ammasso degradato dell'ipogeo e del suo immediato intorno: parametri geomeccanici caratteristici e di progetto della roccia intatta e delle discontinuità.

PARAMETRI DI PROGETTO DELLA ROCCIA INTATTA						
NTC 2018 - SLU - Approccio 1 - Combinazione 2 (A2 + M2 + R2)						
Parametro	Analisi Statiche			Analisi Dinamiche		
	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto
$c'_m$ coesione	730000 (Pa)	1.25	<b>584000</b> (Pa)	730000 (Pa)	1.00	<b>730000</b> (Pa)
$\tan \phi_m$ angolo di attrito	0.80978 39 (gradi)	1.25	<b>0.64782</b> 33 (gradi)	0.80978 39 (gradi)	1.00	0.80978 39 (gradi)
$\sigma_{cm}$ resistenza a compressione semplice	3060000 (Pa)	1.00	<b>3060000</b> (Pa)	3060000 (Pa)	1.00	<b>3060000</b> (Pa)
$\sigma_{tm}$ resistenza a trazione	500000 (Pa)	1.00	<b>500000</b> (Pa)	500000 (Pa)	1.00	<b>500000</b> (Pa)
$E_{i50\%}$ modulo di elasticità	9762 · 10 <sup>6</sup> (Pa)	1.00	<b>9762 · 10<sup>6</sup></b> (Pa)	9762 · 10 <sup>6</sup> (Pa)	1.00	<b>9762 · 10<sup>6</sup></b> (Pa)
$\gamma_a$ peso di volume naturale	1585 (kg/m <sup>3</sup> )	1.00	<b>1585</b> (kg/m <sup>3</sup> )	1585 (kg/m <sup>3</sup> )	1.00	<b>1585</b> (kg/m <sup>3</sup> )
$K$ modulo di compressibilità volumetrica	5420 · 10 <sup>6</sup> (Pa)	1.00	<b>5420 · 10<sup>6</sup></b> (Pa)	5420 · 10 <sup>6</sup> (Pa)	1.00	<b>5420 · 10<sup>6</sup></b> (Pa)
$G$ modulo di rigidezza al taglio	4070 · 10 <sup>6</sup> (Pa)	1.00	<b>4070 · 10<sup>6</sup></b> (Pa)	4070 · 10 <sup>6</sup> (Pa)	1.00	<b>4070 · 10<sup>6</sup></b> (Pa)
$\nu$ modulo di Poisson	0.25	1.00	<b>0.25</b>	0.25	1.00	<b>0.25</b>
PARAMETRI DI PROGETTO DELLE DISCONTINUITÀ						
Parametro	Analisi Statiche			Analisi Dinamiche		
	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto
$c'_J$ coesione	490000 (Pa)	1.25	<b>392000</b> (Pa)	490000 (Pa)	1.00	<b>490000</b> (Pa)
$\tan \phi_J$ angolo di attrito	0.80978 39 (gradi)	1.25	<b>0.64782</b> 33 (gradi)	0.80978 39 (gradi)	1.00	0.80978 39 (gradi)
$JKN$ rigidezza normale	5.27E+08 (Pa)	1.00	<b>5.3E+08</b> (Pa)	5.27E+08 (Pa)	1.00	<b>5.3E+08</b> (Pa)
$JKS$ rigidezza al taglio	2.19E+08 (Pa)	1.00	<b>2.2E+08</b> (Pa)	2.19E+08 (Pa)	1.00	<b>2.2E+08</b> (Pa)

Tabella 6 - Sezione di verifica "A", ammasso non degradato al disotto dell'ipogeo: parametri geomeccanici caratteristici e di progetto della roccia intatta e delle discontinuità.

PARAMETRI DI PROGETTO DELLA ROCCIA INTATTA						
NTC 2018 - SLU - Approccio 1 - Combinazione 2 (A2 + M2 + R2)						
Parametro	Analisi Statiche			Analisi Dinamiche		
	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto
$c'_m$ coesione	800000 (Pa)	1.25	<b>640000</b> (Pa)	800000 (Pa)	1.00	<b>800000</b> (Pa)
$\tan \phi_m$ angolo di attrito	0.7002 35 (gradi)	1.25	<b>0.56016</b> 29 (gradi)	0.7002 35 (gradi)	1.00	0.7002 35 (gradi)
$\sigma_{cm}$ resistenza a compressione semplice	3060000 (Pa)	1.00	<b>3060000</b> (Pa)	3060000 (Pa)	1.00	<b>3060000</b> (Pa)
$\sigma_{tm}$ resistenza a trazione	500000 (Pa)	1.00	<b>500000</b> (Pa)	500000 (Pa)	1.00	<b>500000</b> (Pa)
$E_{150\%}$ modulo di elasticità	7018·106 (Pa)	1.00	<b>7018·106</b> (Pa)	7018·106 (Pa)	1.00	<b>7018·106</b> (Pa)
$\gamma_a$ peso di volume naturale	1585 (kg/m <sup>3</sup> )	1.00	<b>1585</b> (kg/m <sup>3</sup> )	1585 (kg/m <sup>3</sup> )	1.00	<b>1585</b> (kg/m <sup>3</sup> )
$K$ modulo di compressibilità volumetrica	4492·106 (Pa)	1.00	<b>4492·106</b> (Pa)	4492·106 (Pa)	1.00	<b>4492·106</b> (Pa)
$G$ modulo di rigidezza al taglio	2831·106 (Pa)	1.00	<b>2831·106</b> (Pa)	2831·106 (Pa)	1.00	<b>2831·106</b> (Pa)
$\nu$ modulo di Poisson	0.25	1.00	<b>0.25</b>	0.25	1.00	<b>0.25</b>

PARAMETRI DI PROGETTO DELLE DISCONTINUITÀ						
Parametro	Analisi Statiche			Analisi Dinamiche		
	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto
$c'_j$ coesione	490000 (Pa)	1.25	<b>392000</b> (Pa)	490000 (Pa)	1.00	<b>490000</b> (Pa)
$\tan \phi_j$ angolo di attrito	0.7002 35 (gradi)	1.25	<b>0.56016</b> 29 (gradi)	0.7002 35 (gradi)	1.00	0.7002 35 (gradi)
$JKN$ rigidezza normale	3.13E+08 (Pa)	1.00	<b>3.1E+08</b> (Pa)	3.13E+08 (Pa)	1.00	<b>3.1E+08</b> (Pa)
$JKS$ rigidezza al taglio	1.26E+08 (Pa)	1.00	<b>1.3E+08</b> (Pa)	1.26E+08 (Pa)	1.00	<b>1.3E+08</b> (Pa)

Tabella 7 - Sezione di verifica "B", ammasso degradato dell'ipogeo e del suo immediato intorno: parametri geomeccanici caratteristici e di progetto della roccia intatta e delle discontinuità.

PARAMETRI DI PROGETTO DELLA ROCCIA INTATTA						
NTC 2018 - SLU - Approccio 1 - Combinazione 2 (A2 + M2 + R2)						
Parametro	Analisi Statiche			Analisi Dinamiche		
	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto
$c'_m$ coesione	730000 (Pa)	1.25	<b>584000</b> (Pa)	730000 (Pa)	1.00	<b>730000</b> (Pa)
$\tan \phi_m$ angolo di attrito	0.80978 39 (gradi)	1.25	<b>0.64782</b> 33 (gradi)	0.80978 39 (gradi)	1.00	<b>0.80978</b> 39 (gradi)
$\sigma_{cm}$ resistenza a compressione semplice	3060000 (Pa)	1.00	<b>3060000</b> (Pa)	3060000 (Pa)	1.00	<b>3060000</b> (Pa)
$\sigma_{tm}$ resistenza a trazione	500000 (Pa)	1.00	<b>500000</b> (Pa)	500000 (Pa)	1.00	<b>500000</b> (Pa)
$E_{150\%}$ modulo di elasticità	9762·106 (Pa)	1.00	<b>9762·106</b> (Pa)	9762·106 (Pa)	1.00	<b>9762·106</b> (Pa)
$\gamma_a$ peso di volume naturale	1585 (kg/m <sup>3</sup> )	1.00	<b>1585</b> (kg/m <sup>3</sup> )	1585 (kg/m <sup>3</sup> )	1.00	<b>1585</b> (kg/m <sup>3</sup> )
$K$ modulo di compressibilità volumetrica	5420·106 (Pa)	1.00	<b>5420·106</b> (Pa)	5420·106 (Pa)	1.00	<b>5420·106</b> (Pa)
$G$ modulo di rigidezza al taglio	4070·106 (Pa)	1.00	<b>4070·106</b> (Pa)	4070·106 (Pa)	1.00	<b>4070·106</b> (Pa)
$\nu$ modulo di Poisson	0.25	1.00	<b>0.25</b>	0.25	1.00	<b>0.25</b>

PARAMETRI DI PROGETTO DELLE DISCONTINUITÀ						
Parametro	Analisi Statiche			Analisi Dinamiche		
	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto	Valore caratteristico	Coefficiente parziale M2	Valore di progetto
$c'_j$ coesione	490000 (Pa)	1.25	<b>392000</b> (Pa)	490000 (Pa)	1.00	<b>490000</b> (Pa)
$\tan \phi_j$ angolo di attrito	0.80978 39 (gradi)	1.25	<b>0.64782</b> 33 (gradi)	0.80978 39 (gradi)	1.00	<b>0.80978</b> 39 (gradi)
$JKN$ rigidezza normale	5.27E+08 (Pa)	1.00	<b>5.3E+08</b> (Pa)	5.27E+08 (Pa)	1.00	<b>5.3E+08</b> (Pa)
$JKS$ rigidezza al taglio	2.19E+08 (Pa)	1.00	<b>2.2E+08</b> (Pa)	2.19E+08 (Pa)	1.00	<b>2.2E+08</b> (Pa)

Tabella 8 - Sezione di verifica "B", ammasso non degradato al disotto dell'ipogeo: parametri geomeccanici caratteristici e di progetto della roccia intatta e delle discontinuità.

- un accelerogramma naturale sismocompatibile anziché lo spettro elastico semplificato;
- f) accelerazione orizzontale massima attesa al sito  $a_g = 0.05g$ .

La ricerca e l'estrazione dalle banche dati sismologici sono state eseguite mediante il software Rexel v.3.5 (Iervolino I. *et al.*, 2010) che, sulla base delle caratteristiche sismiche dell'area e dei valori di magnitudo  $M = 6.1$  e distanza epicentrale  $R = 109\text{km}$  forniti dalla disaggregazione dei dati sismologici (Tab. 9), ha fornito il seguente accelerogramma di input (Fig. 9).

## 8. GENERALITÀ SUI CODICI DI CALCOLO AGLI ELEMENTI DISTINTI E MODELLI GEOMECCANICI DELLE SEZIONI DI VERIFICA

Gli ammassi rocciosi, a prescindere dal litotipo che li costituisce, sono per definizione costituiti da volumi rocciosi unitari (VRU) di roccia intatta, delimitati da discontinuità, che possono deformarsi e muoversi indipendentemente uno dall'altro. Le discontinuità vengono usualmente assimilate a superfici di debolezza meccanica con la conseguenza che le rotture per taglio o trazione solitamente avvengono lungo queste superfici, mentre la

matrice rocciosa che costituisce i VRU permane nello stato originario.

Benché queste peculiarità degli ammassi rocciosi siano comunemente riconosciute ed accettate, in molti casi gli stessi vengono modellati come un “continuo equivalente” e analizzati con codici di calcolo agli elementi finiti. Se l’ammasso roccioso o i singoli blocchi di roccia subiscono grandi deformazioni le analisi numeriche agli elementi finiti su modelli continui equivalenti risultano fortemente inadeguate; al contrario, i modelli discontinui analizzati con codici agli elementi distinti possono sicuramente essere applicati con successo (Fig. 10).

Tra i vari codici di calcolo che modellano l’ammasso roccioso come un discontinuo quelli che possono rigorosamente definirsi agli elementi distinti devono soddisfare le seguenti condizioni:

- a) permettere rotazioni e spostamenti finiti di corpi discreti (VRU), incluso il distacco completo;
- b) riconoscere nuovi contatti fra i VRU automaticamente mentre il calcolo evolve.

UDEC è un codice di calcolo agli elementi distinti che è stato implementato per studiare i processi e i meccanismi di deformazione e di rottura di modelli geomeccanici spiccatamente anisotropi e discontinui come quello del frantoio ipogeo in esame (Cundall P. A., 1980; Cundall P. A., Hart R. D., 1985).

Nell’UDEC l’ammasso roccioso è modellato come un sistema di blocchi, rigidi o deformabili, che interagiscono lungo le superfici di discontinuità con contatti che sono deformabili. Il comportamento tanto della matrice rocciosa (ovvero la roccia intatta interna ai blocchi deformabili) quanto delle interfacce delle discontinuità è descritto

Spettro di riferimento	a <sub>g</sub> (g)	Coordinate ED50		Categoria sottosuolo	Categoria topografica	Vita nominale	Classe d’uso	Stato limite	M	R (km)
		Lat. N	Long. E							
Italian Building Code 2008	0.05	17.3075	40.9068	A	T1	50 anni	I	SLV	6-6.5	50-109

Tabella 9 - Dati di ingresso del software Rexel 3.5 per la ricerca dell’accelerogramma di input.

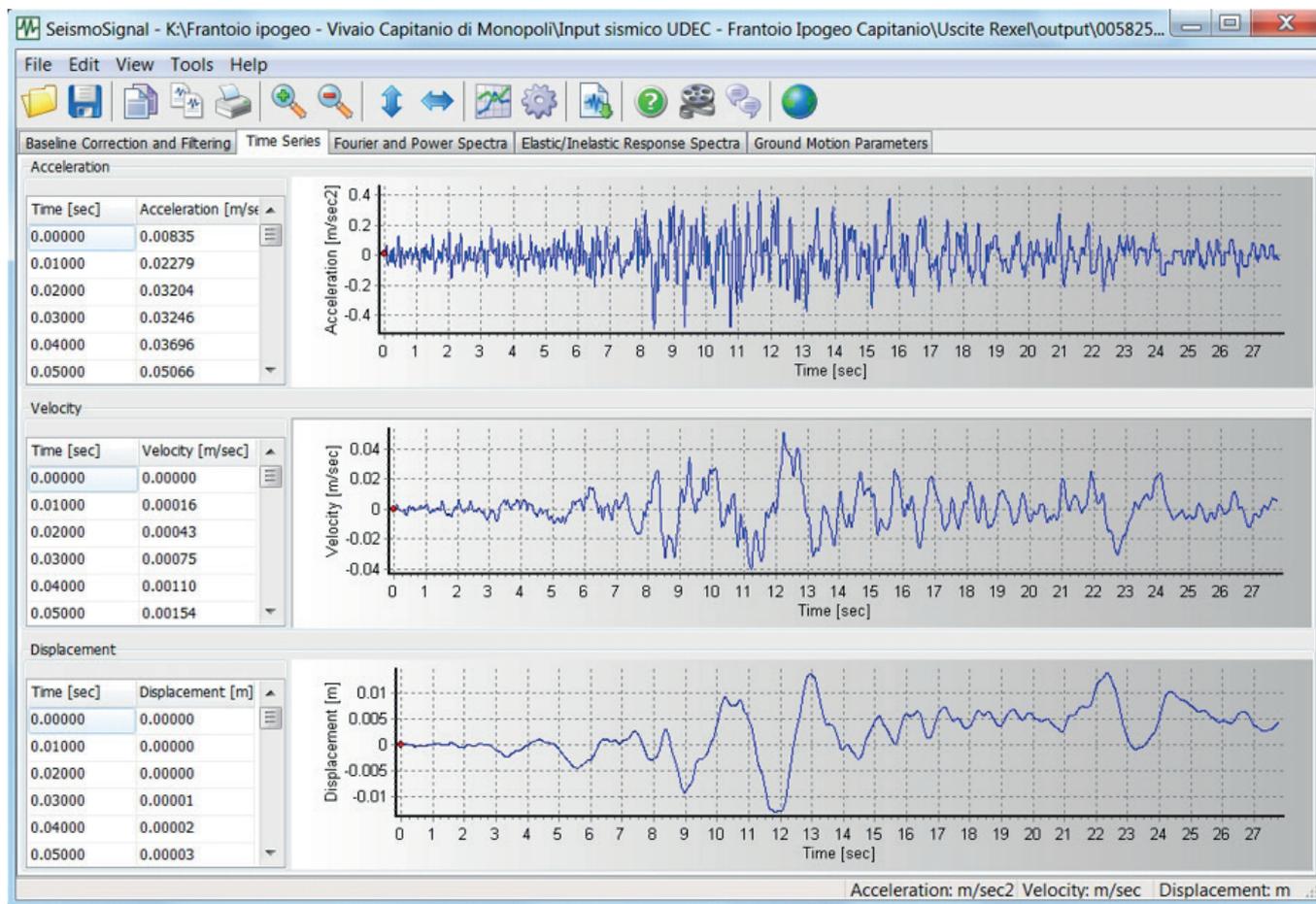


Figura 9 - Grafici dell’evento sismico di input in termini di accelerazione, velocità e spostamento.

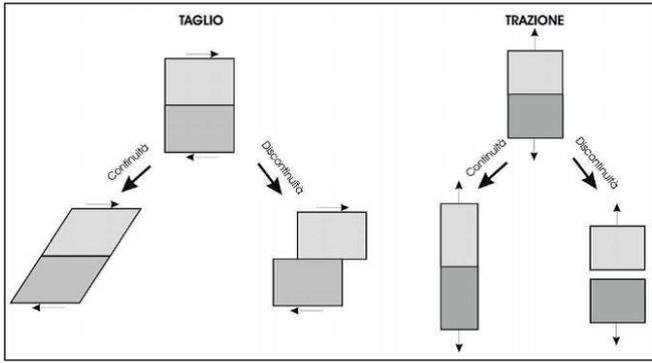


Figura 10 - Differenti comportamenti a taglio e a trazione dei VRU nei modelli continui o continui equivalenti e discontinui (da: Marcato G. *et al.*, 2005).

tramite le note leggi della meccanica dei mezzi continui. L'elaborazione di un modello geomeccanico discontinuo comporta la definizione delle proprietà fisico-meccaniche sia dei blocchi rocciosi intatti che delle discontinuità.

Ci sono due possibili metodi di calcolo riguardo la deformabilità dei blocchi di roccia: nei modelli più semplici il materiale che forma il blocco può essere trattato come rigido, ne deriva che il modulo di elasticità viene considerato infinitamente grande; nel secondo caso, ovvero blocchi completamente deformabili, il materiale si deforma e di conseguenza la forma del blocco può cambiare.

Nel caso delle verifiche di stabilità in esame, le caratteristiche meccaniche e di deformabilità di "roccia tenera" delle calcareniti che costituiscono l'ammasso impongono una modellazione geomeccanica delle sezioni di verifica mediante blocchi deformabili.

### 8.1 MODELLI GEOMECCANICI DELLE SEZIONI A-A' E B-B' PER LE VERIFICHE DI STABILITÀ

Nel presente studio sono state prese in considerazione due sezioni di verifica, basate sui rispettivi modelli geologici, delle quali sono stati definiti i modelli geomeccanici. Le sezioni, denominate A-A' e B-B', sono state ubicate in modo da farle passare per i due ambienti dell'ipogeo che, per il grado d'alterazione della roccia e lo stato fessurativo in atto, presentano le condizioni di stabilità più precarie (Fig. 11).

Delle sezioni di verifica, inizialmente, sono stati implementati mediante il codice di calcolo UDEC due modelli geomeccanici. Il primo relativo alle condizioni dell'ammasso roccioso prima della realizzazione dell'ipogeo (Fig. 12), il secondo che rappresenta la situazione dopo la realizzazione dello stesso (Fig. 13).

La simulazione numerica utilizzando il modello geomeccanico delle sezioni prima dello scavo dell'ipogeo (Fig. 12), è la necessaria condizione preliminare che consente di ricostruire lo stato tensio-deformativo dell'ammasso roccioso del versante nelle condizioni antecedenti il detensionamento e l'alterazione della roccia innescati dalla creazione dei vuoti.

Il modello geomeccanico delle sezioni dopo lo scavo dell'ipogeo, utilizzato per le verifiche definitive (Fig. 13),

è stato implementato per introdurre nel calcolo: gli effetti tensio-deformativi dall'ammasso roccioso in seguito allo scavo dell'ipogeo; il degrado delle caratteristiche fisico-meccaniche subito dall'ammasso roccioso nel suo intorno a causa di una maggiore esposizione agli agenti atmosferici e antropici e le fratture riscontrate sul tetto della cavità durante il rilievo geomeccanico. In merito ai parametri geomeccanici di progetto utilizzati nel modello di calcolo definitivo, per le verifiche statiche e dinamiche, si precisa che all'area intorno all'ipogeo (in grigio nella Fig. 13) sono stati assegnati dei valori ridotti per tener conto del degrado e dell'allentamento subiti nel tempo dall'ammasso roccioso (Tabb. 5 - Sezione A-A' e 7 - Sezione B-B').

Nelle sezioni, inoltre, sono stati inseriti dei punti di controllo (A ÷ F in rosso), in corrispondenza del tetto e del setto verticale di ammasso roccioso che delimita l'ipogeo verso l'esterno del versante (Fig. 13), dei quali sono state registrate le storie temporali degli spostamenti, in direzione X e Y.

### 9. VERIFICHE 2D AGLI ELEMENTI DISTINTI, STATICHE E DINAMICHE

I discreti valori di permeabilità sia dell'ammasso calcarenitico ( $1.07 \cdot 10^{-7} \text{ m/s} \leq K \leq 3.45 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ ) sia, soprattutto, del sottostante substrato calcareo, fanno sì che nel volume significativo dell'ipogeo non sia presente una falda idrica superficiale. Ne consegue che le verifiche di stabilità sono state eseguite considerando l'ammasso roccioso allo stato anidro, sia a breve che a lungo termine, senza tenere in conto pressioni interstiziali all'interno delle discontinuità.

Nello specifico le analisi sono state condotte considerando i blocchi deformabili e adottando un modello costitutivo lineare elastico-plastico, con criterio di resistenza alla Mohr-Coulomb, sia per la roccia intatta sia per le discontinuità dell'ammasso. Le uscite di calcolo, considerate per valutare la stabilità dell'ipogeo e del versante nella sua globalità, sono state le seguenti:

- aree della sezione di verifica con uguali spostamenti in direzione X e Y;

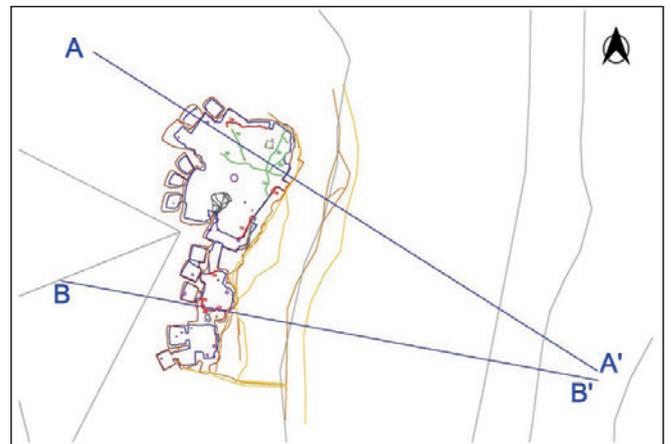


Figura 11 - Planimetria dell'ipogeo con ubicazione delle sezioni A-A' e B-B' sulle quali sono state condotte le verifiche di stabilità.

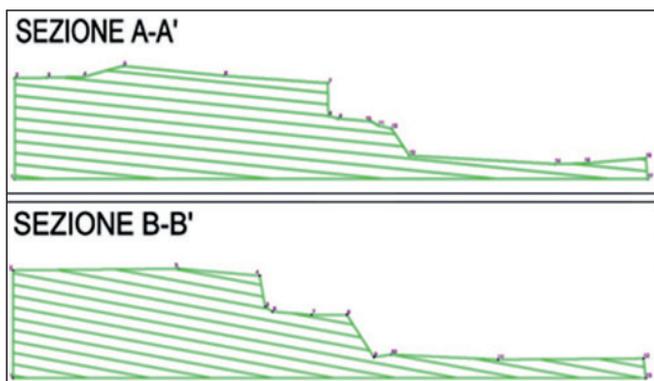


Figura 12 - Modello geomeccanico schematico delle Sezioni A-A' e B-B' prima dello scavo del frantoio ipogeo.

- andamento e valori massimi degli spostamenti, in direzione X e Y, dei punti di controllo inseriti nelle sezioni di verifica;
- discontinuità all'equilibrio limite per sforzi di taglio;
- distribuzione di punti di plasticizzazione permanente o temporanea.
- distribuzione del fattore di sicurezza  $F_s$  al taglio calcolato con il criterio Mohr-Coulomb.

Per quanto riguarda il fattore di sicurezza globale del versante ( $F_s$ ) si precisa che è stato calcolato, considerando il criterio di resistenza al taglio di Mohr-Coulomb, come rapporto fra le resistenze al taglio disponibili e le tensioni di taglio effettivamente agenti. Ai  $F_s$  ottenuti sono stati applicati i coefficienti parziali, previsti nelle NTC 2018 per le verifiche globali della resistenza del sistema geotecnico (GEO), pari a  $\gamma_R = 1.0$  e a  $\gamma_R = 1.5$ , rispettivamente, per le verifiche statiche e dinamiche.

Eseguita, quindi, la discretizzazione in blocchi e portati all'equilibrio tensio-deformativo i modelli delle sezioni di verifica ante scavo dell'ipogeo, si è proceduto con l'analisi di stabilità in condizioni statiche e dinamiche delle sezioni di verifica definitive (Fig. 14).

### 9.1 ANALISI STATICHE DELLE SEZIONI DI VERIFICA "A" E "B"

Nella Figura 15 sono riportati gli spostamenti in direzione orizzontale X e in direzione verticale Y, ottenuti dalle simulazioni numeriche. Dalla figura si evince che i valori più elevati di spostamento in direzione X e verso l'esterno del fronte sono dell'ordine dei millimetri per la sezione A-A' e dei decimi di millimetri per la sezione B-B'.

In entrambe le sezioni, tuttavia, essi tendono a concentrarsi sul setto verticale di ammasso roccioso che delimita l'ipogeo verso il versante e sulla porzione di tetto soprastante l'ingresso dell'ambiente 3. Riguardo gli spostamenti in direzione Y e verso il basso, i valori più elevati, dell'ordine di 2-3 centimetri, sono stati rilevati nella sezione A-A' e si localizzano sulla porzione centrale del tetto dell'ambiente 3 in corrispondenza dei due blocchi di roccia individuati dalle discontinuità di strato e dalle fratture subverticali rilevate in tale area. La sezione B-B',

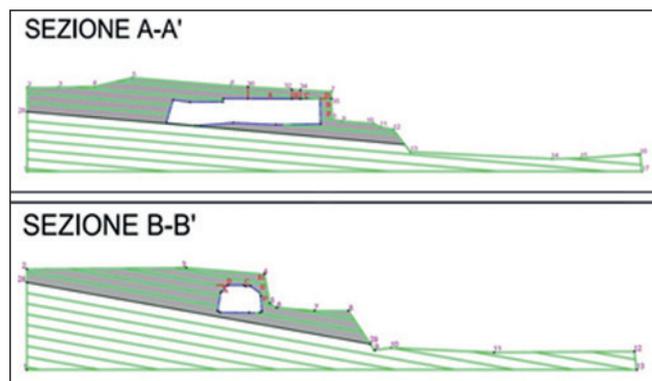


Figura 13 - Modello geomeccanico schematico delle Sezioni A-A' e B-B' dopo lo scavo del frantoio ipogeo (condizioni attuali): in rosso le fratture presenti al tetto della cavità e i punti di controllo degli spostamenti; in grigio la porzione d'ammasso roccioso intorno all'ipogeo che presenta caratteristiche meccaniche più scadenti.

invece presenta valori massimi degli spostamenti in direzione Y e verso il basso di 2 mm che, anche in questo caso, si localizzano sul tetto della sezione.

Per quanto riguarda gli spostamenti lungo le discontinuità, dovuti alle sollecitazioni di taglio, si osserva che gli spostamenti massimi, sono in entrambe le sezioni di tipo destro, e la loro entità è di ordine millimetrico nella sezione A-A' e del decimo di millimetro in quella B-B' (Fig. 16), e sono ubicati sul più piccolo dei due blocchi di roccia individuati dalle discontinuità di strato e dalle fratture subverticali rilevate in tale area e sul setto verticale di ammasso roccioso che delimita l'ipogeo verso l'esterno (Fig. 16 in alto a sinistra); in entrambe le sezioni, inoltre, non sono presenti discontinuità in condizioni di equilibrio limite per sollecitazione di taglio.

Le verifiche numeriche di entrambe le sezioni non hanno restituito punti di plasticizzazione nell'ammasso (Fig. 17). I valori dei fattori di stabilità  $F_s$  ottenuti per entrambe le sezioni, calcolati come rapporto fra le resistenze al taglio disponibili e le tensioni di taglio effettivamente agenti, indicano sostanziali condizioni di stabilità per il versante considerato nella sua globalità. I valori minimi, compresi fra  $1 \leq F_s \leq 1.3$ , si concentrano nella sezione A-A' al tetto dell'ambiente 3 dell'ipogeo confermando le locali criticità statiche evidenziate dall'analisi degli spostamenti (Fig. 15 in alto a destra).

### 9.2 ANALISI DINAMICHE DELLE SEZIONI DI VERIFICA "A" E "B"

Le analisi in condizioni dinamiche sono state eseguite applicando l'input sismico ottenuto per l'area in esame, sullo stesso modello geomeccanico e con la stessa mesh di discretizzazione utilizzati per l'analisi statica (Fig. 14). Anche per le analisi dinamiche è stata fatta la verifica in termini di spostamenti in direzione orizzontale X e verticale Y (Fig. 18). Dalla figura si evince che i valori più elevati degli spostamenti in direzione X sono dell'ordine di 1-2 cm, concentrati al tetto e sul setto verticale di am-

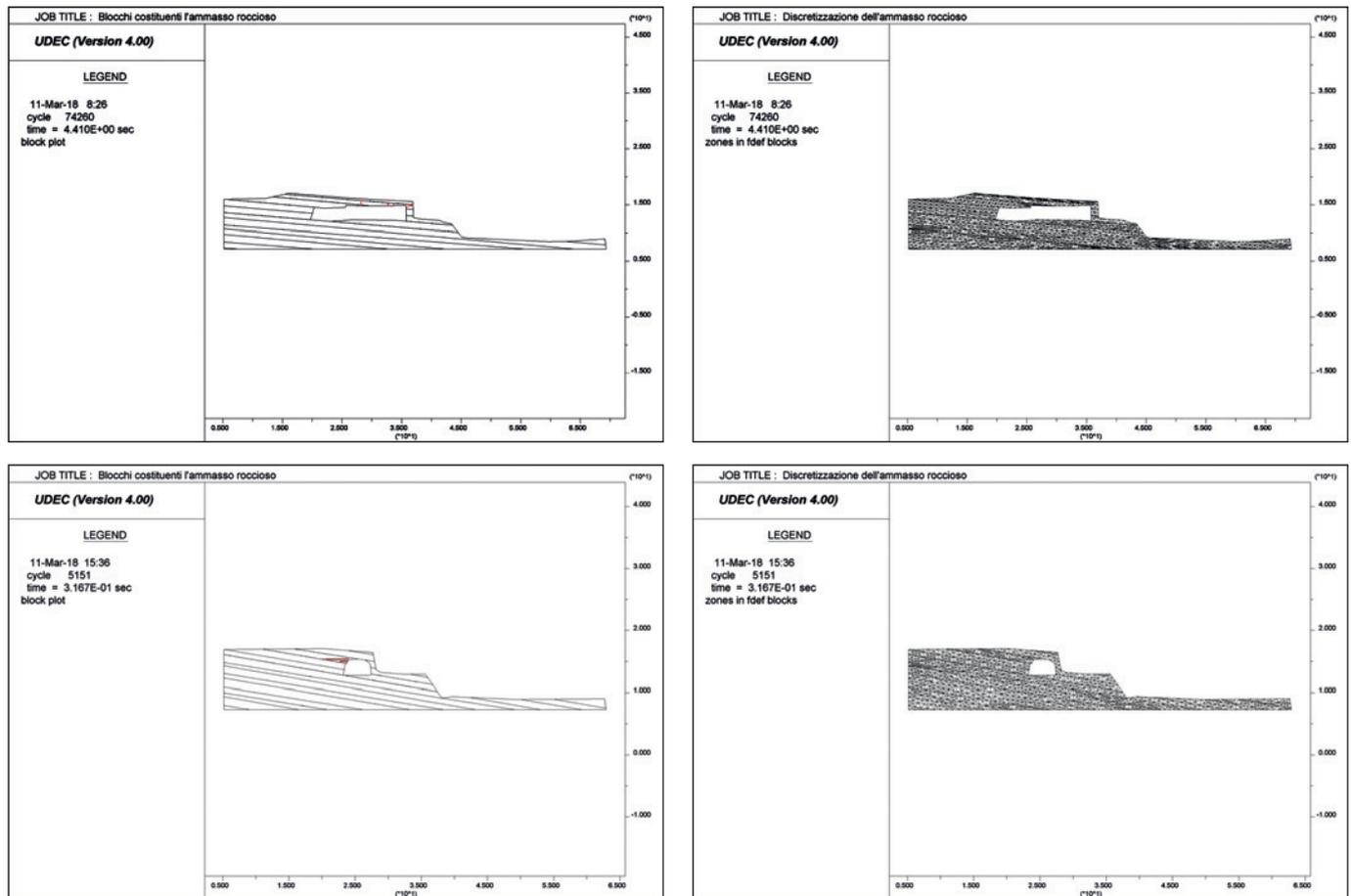


Figura 14 - Modello geomeccanico dell'ammasso roccioso con relativo ipogeo e fratture (a sinistra) e mesh triangolare di calcolo (a destra): sezione di verifica A-A' (in alto) e B-B' (in basso).

masso roccioso che delimita verso l'esterno del versante l'ambiente 3 dell'ipogeo (sez. A-A'); nella sezione B-B', invece, gli spostamenti X si mantengono ovunque inferiori al decimo di millimetro. Riguardo gli spostamenti in direzione Y e verso il basso, si ha che quelli più elevati possono raggiungere valori dell'ordine di 2-6 centimetri. Tali valori massimi, analogamente alla verifica statica, si localizzano al centro del tetto dell'ambiente 3, in corrispondenza dei due blocchi di roccia individuati dalle discontinuità di strato e dalle fratture subverticali rilevate in tale area.

Considerando gli spostamenti tangenziali dovuti alle sollecitazioni di taglio agenti lungo le discontinuità, si osserva che le due sezioni di verifica mostrano comportamenti differenti (Fig. 19). Nella sezione A-A', gli spostamenti massimi sono di tipo sinistro, dell'ordine di 2 cm. Essi sono ubicati sui blocchi lastriformi di roccia, individuati dalle discontinuità di strato al disopra del tetto dell'ambiente 3 dell'ipogeo, e si generano per meccanismi di inflessione con scivolamento interstratale. Nella sezione B-B', invece, gli spostamenti massimi sono di tipo destro, dell'ordine di pochi decimi di millimetro, e sono ubicati sui blocchi di roccia che costituiscono il setto verticale di ammasso roccioso che delimita l'ipogeo verso l'esterno del versante.

In entrambe le sezioni, inoltre, non sono presenti discontinuità in condizioni di equilibrio limite per sollecitazione di taglio.

Anche per quanto riguarda la distribuzione dei punti di plasticizzazione e dei Fs le due sezioni di verifica mostrano comportamenti differenti (Fig. 20). In particolare la sezione AA', mostra in modo chiaro come, in condizioni dinamiche, il tetto dell'ipogeo e la porzione superiore del setto verticale di ammasso roccioso che delimita quest'ultimo verso l'esterno del versante, presentino molteplici punti di superamento della resistenza a compressione e a trazione. Tali punti risultano allineati lungo le superfici di discontinuità degli strati; tuttavia, mentre quelli dovuti allo stress di compressione (croci verdi) indicano temporanee condizioni d'instabilità rientrate in seguito alla redistribuzione delle tensioni, quelle dovute agli sforzi di trazione (cerchi viola) permangono fino alla fine del calcolo e prefigurano la locale rottura a trazione dei ponti di roccia integra presenti lungo le discontinuità. Nella sezione B-B', invece, non si generano punti di plasticizzazione confermando la sostanziale stabilità dell'ambiente 2 dell'ipogeo.

I valori dei fattori Fs, ottenuti per le due sezioni di verifica, indicano sostanziali condizioni di stabilità per il versante considerato nella sua globalità. Tuttavia, a livello

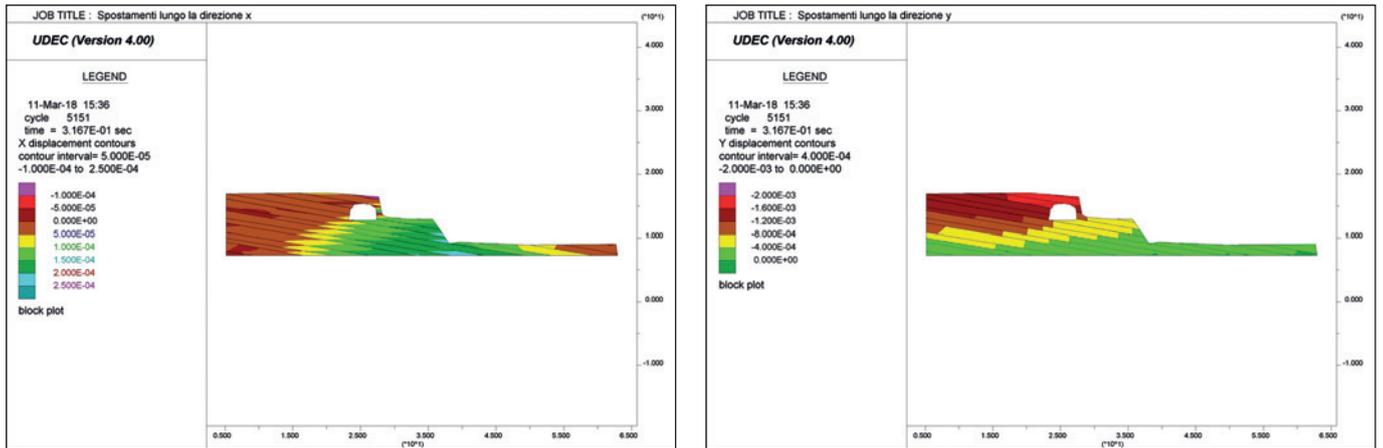
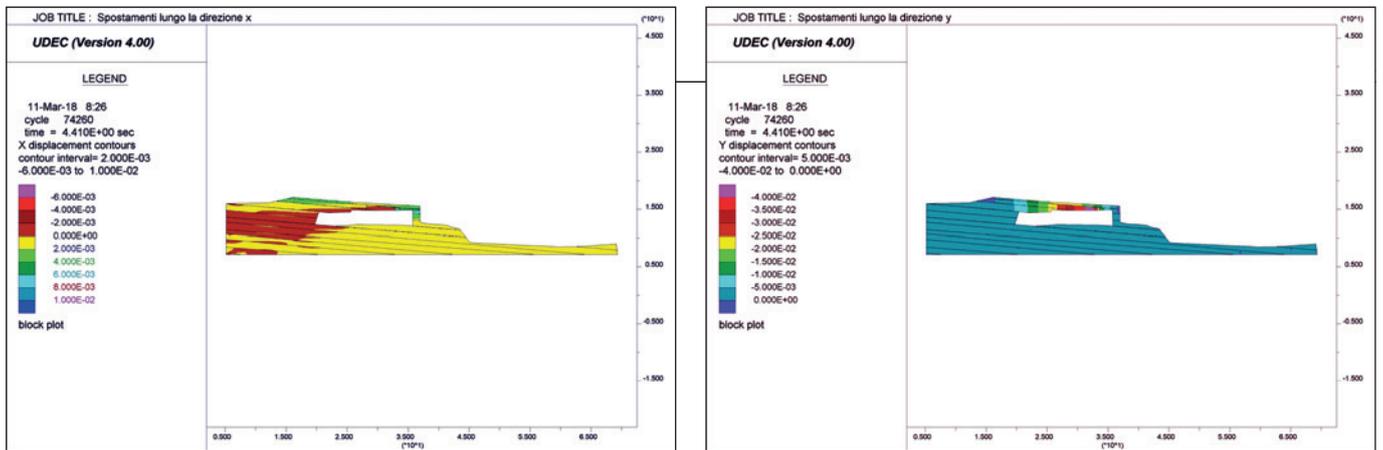


Figura 15 - Analisi statica - Andamento degli spostamenti in direzione X (a sinistra) in direzione Y (a destra): sezione di verifica A-A' (in alto) e B-B' (in basso).

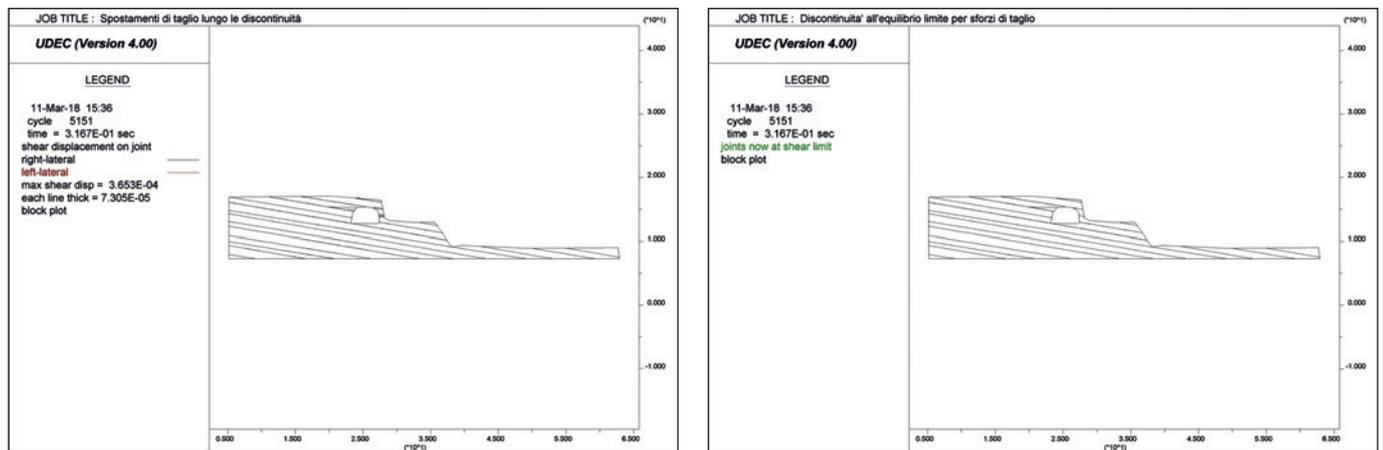
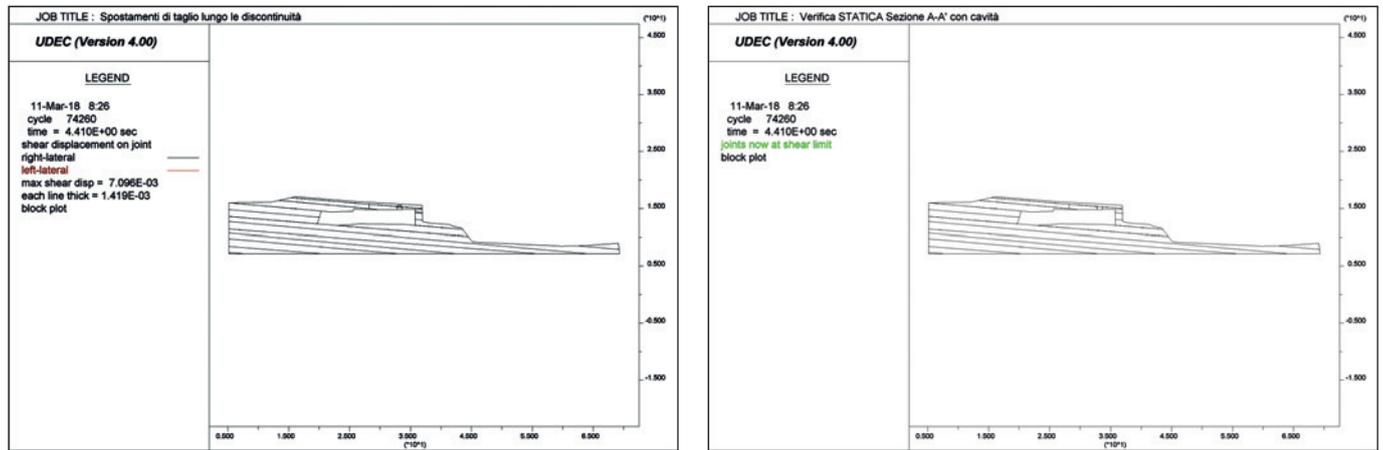


Figura 16 - Analisi statica - Andamento degli spostamenti di taglio lungo le discontinuità (a sinistra) e discontinuità all'equilibrio limite per sforzi di taglio (a destra): sezione di verifica A-A' (in alto) e B-B' (in basso).

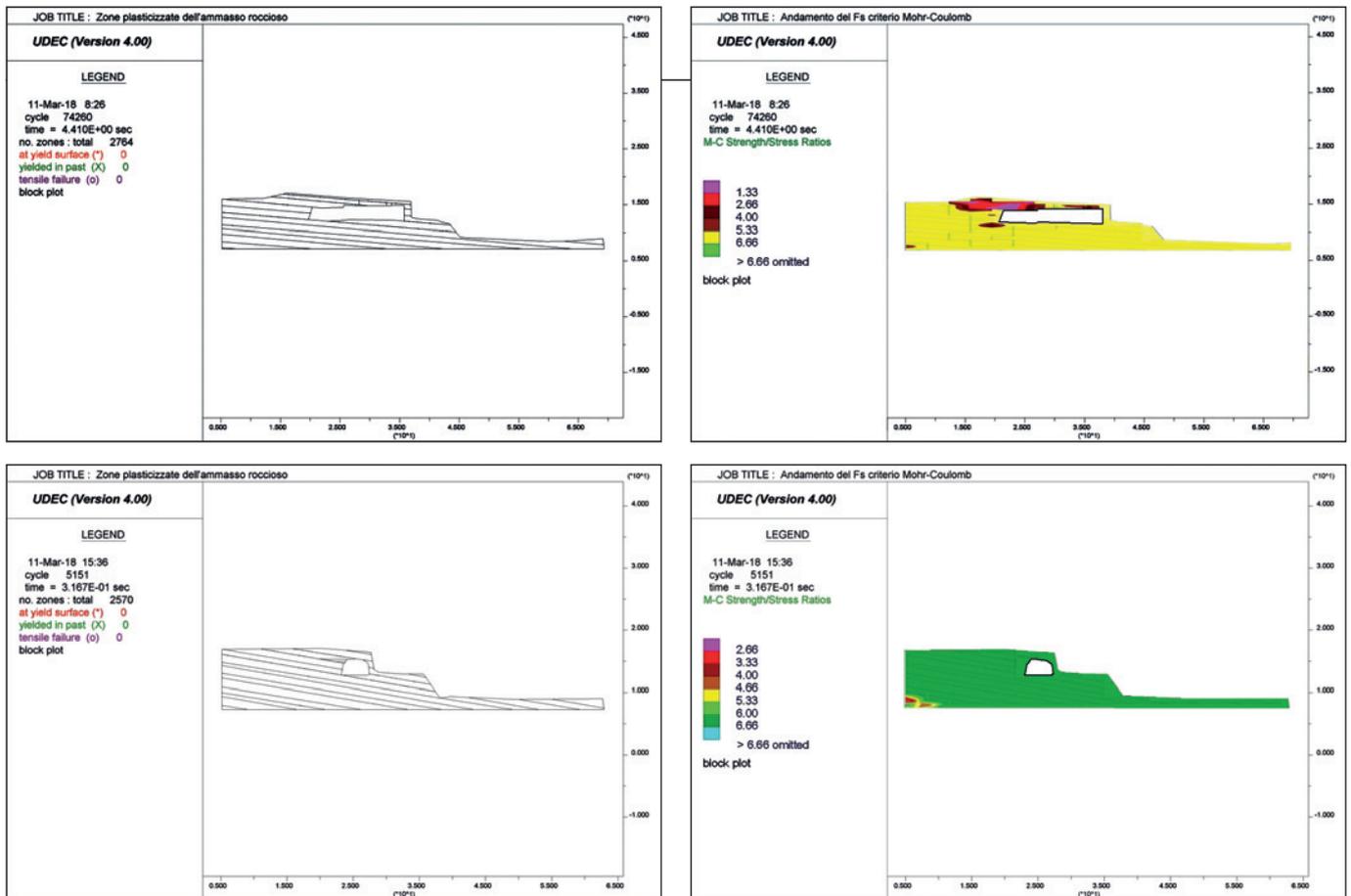


Figura 17 - Analisi statica - Punti di plasticizzazione (a sinistra) per compressione (in seguito rientrati: croci verdi, permanenti: asterischi rossi) e per trazione (cerchi viola) e fattori di stabilità  $F_s$  (a destra) dell'ipogeo e del versante: sezione di verifica A-A' (in alto) e B-B' (in basso).

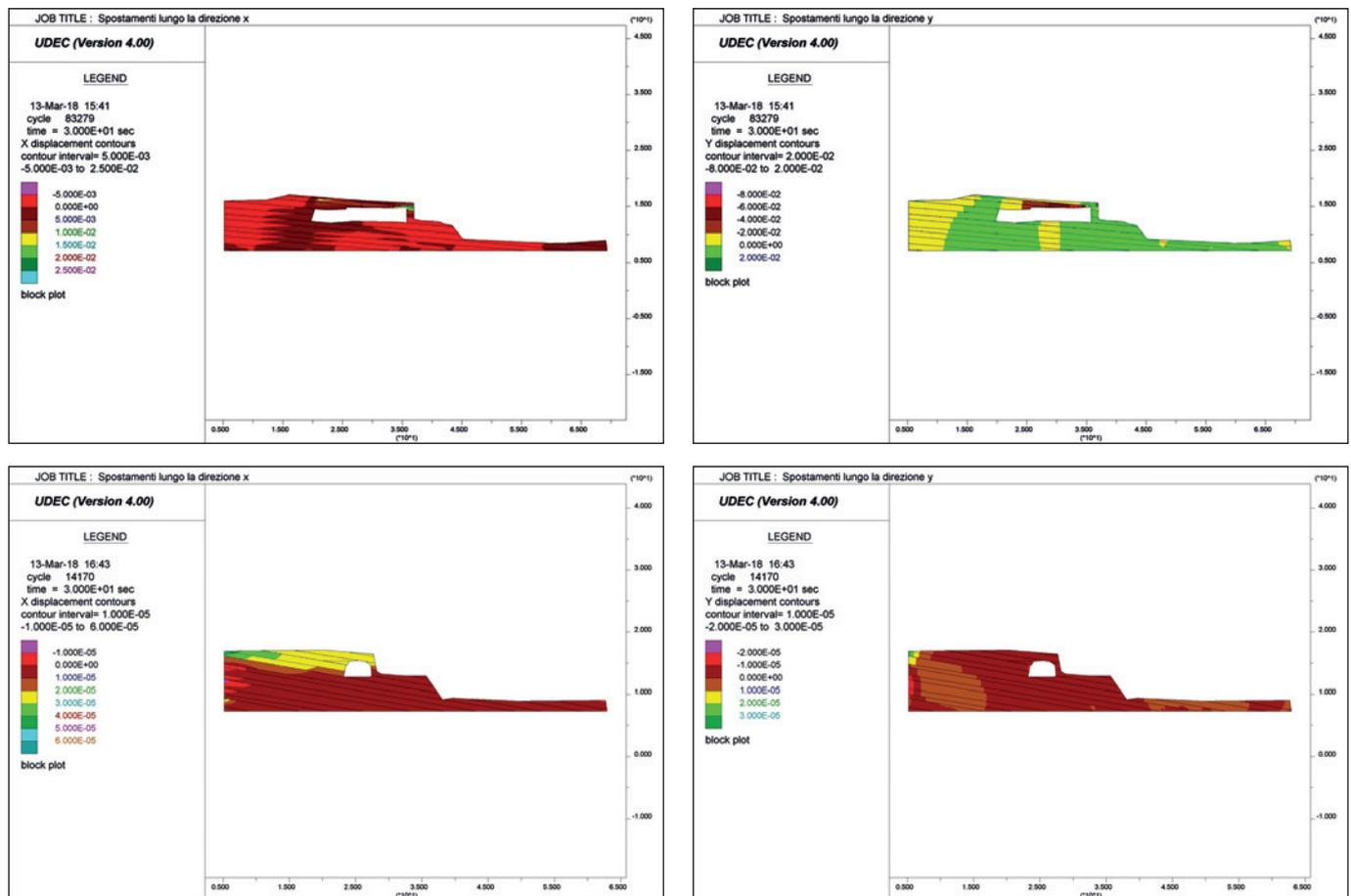


Figura 18 - Analisi dinamica - Andamento degli spostamenti in direzione X (a sinistra) in direzione Y (a destra): sezione di verifica A-A' (in alto) e B-B' (in basso).

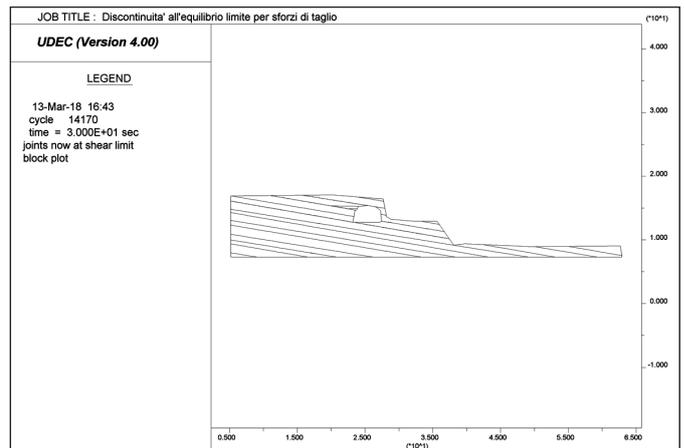
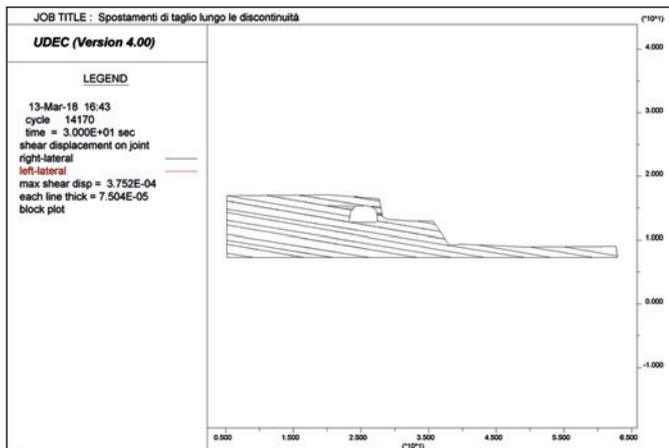
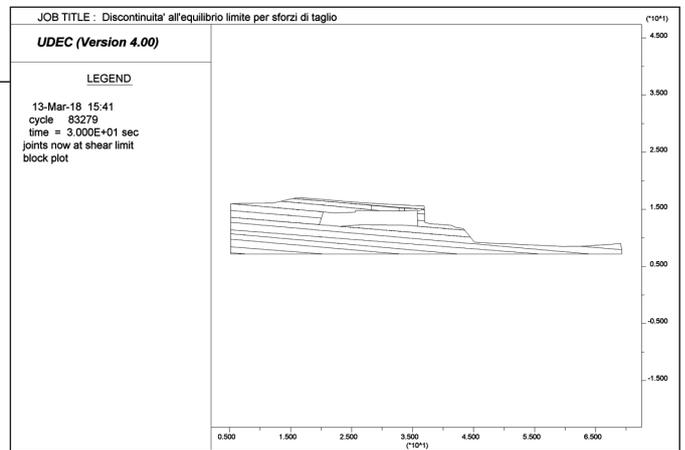
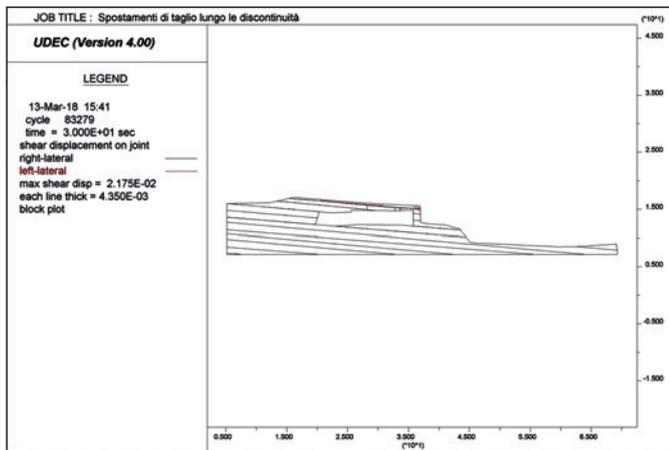


Figura 19 - Analisi dinamica - Andamento degli spostamenti di taglio lungo le discontinuità (a sinistra) e discontinuità all'equilibrio limite per sforzi di taglio (a destra): sezione di verifica A-A' (in alto) e B-B' (in basso).

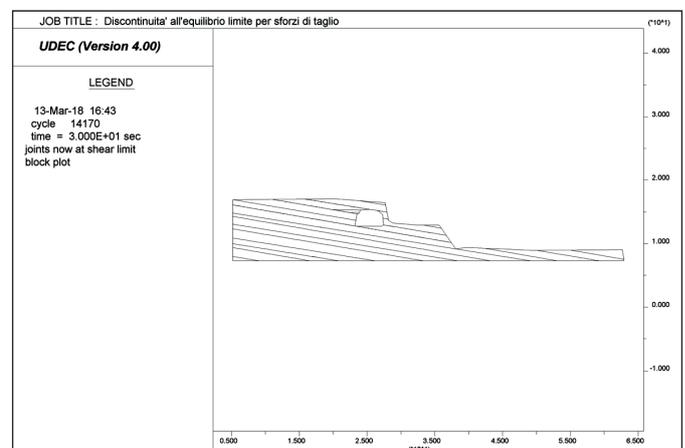
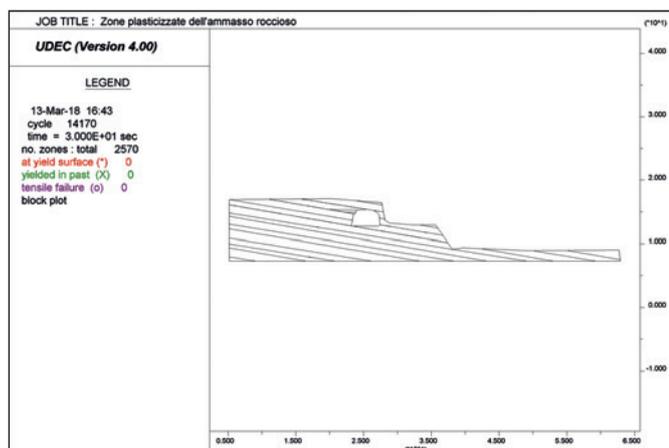
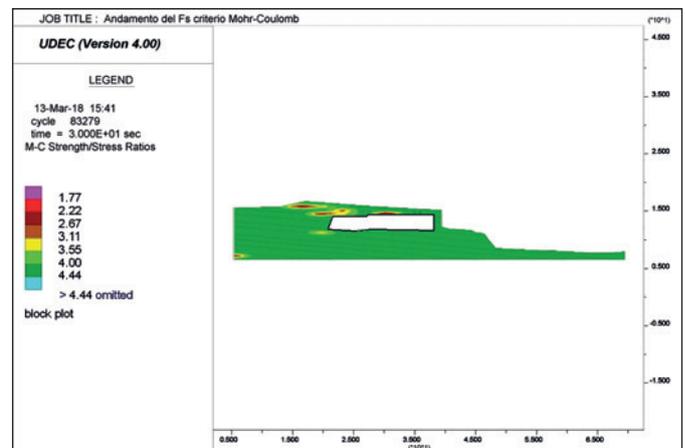
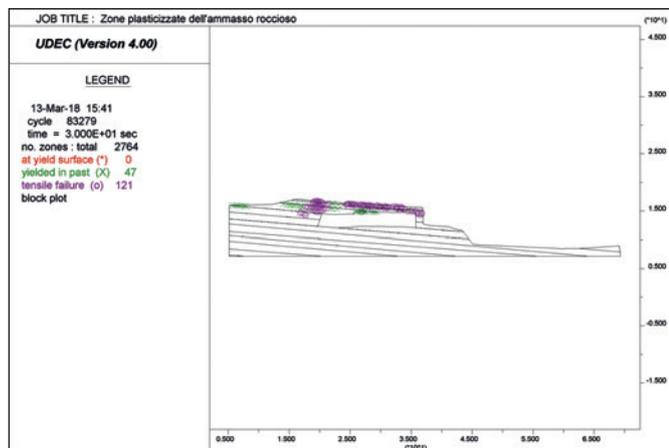


Figura 20 - Analisi dinamica - Punti di plasticizzazione (a sinistra) per compressione (in seguito rientrati: croci verdi, permanenti: asterischi rossi) e per trazione (cerchi viola) e fattori di stabilità Fs (a destra) dell'ipogeo e del versante: sezione di verifica A-A' (in alto) e B-B' (in basso).

locale, nella sezione A-A' sono presenti dei valori minimi di poco superiori all'equilibrio limite ( $F_s = 1$ ) che si concentrano lungo le discontinuità di strato presenti al tetto della cavità e, specificamente, in corrispondenza dei blocchi più disarticolati.

#### 10. CONSIDERAZIONI FINALI SULLA STABILITÀ DELL'IPOGEO E DEL VERSANTE

A complemento delle verifiche per la determinazione delle condizioni di stabilità delle cavità che costituiscono il frantoio ipogeo e del versante roccioso che lo ospita, sia in condizioni statiche che dinamiche, si riportano le seguenti considerazioni che potrebbero essere utili ai fini della progettazione degli interventi di restauro conservativo e risanamento statico dello stesso.

I rilievi geomeccanico e topografico non hanno evidenziato, nell'ambiente n. 1 dell'ipogeo (Fig. 5), presenza di fratture o altri fenomeni che possano far supporre stati di instabilità in essere o potenziali. I valori dei  $F_s$  ottenuti indicano delle situazioni leggermente diverse, dal punto di vista puramente numerico, per gli ambienti n. 2 e n. 3 dell'ipogeo, interessati dalle due sezioni di verifica (Tab. 10).

La sezione di verifica A-A', passante per l'ambiente n. 3, presenta in condizioni statiche valori del  $F_s$  che possono raggiungere l'equilibrio limite; mentre in condizioni dinamiche i valori si mantengono cautelativi. La sezione di verifica B-B', passante per l'ambiente n. 2, presenta valori del  $F_s$  superiori all'equilibrio limite sia in condizioni statiche sia dinamiche.

Nel complesso, se da un lato questi valori dei fattori di sicurezza indicano condizioni di sicura stabilità globale del versante, dall'altro rischiano di essere fuorvianti rispetto alla stabilità dei diversi ambienti del frantoio ipogeo. Infatti, ai fini della stabilità locale dell'ipogeo non è possibile considerare solo i valori dei fattori di sicurezza al taglio  $F_s$  senza tener conto dei risultati delle analisi riguardo gli elevati spostamenti subiti dai blocchi rocciosi a tetto della cavità e le condizioni di plasticizzazione, che si generano per superamento delle resistenze a trazione dei ponti di roccia lungo le discontinuità di strato. Queste fenomenologie, emerse dalle analisi numeriche e confermate dalla presenza di un quadro fessurativo in essere al tetto degli ambienti nn. 2 e 3 dell'ipogeo, evidenziano una condizione di precaria stabilità. Tale condizione, marcatamente presente nell'ambiente n. 3 e in misura minore in quello n. 2, è dovuta al rilassamento tensionale e al decadimento delle caratteristiche fisico-meccaniche generatisi nell'ammasso roccioso presente nell'intorno della cavità ipogea in seguito allo scavo della stessa.

La possibile valorizzazione turistico-culturale del frantoio ipogeo in esame, come spesso accade per le cavità ipogee di qualsivoglia natura presenti negli ammassi rocciosi della Formazione delle Calcareniti di Gravina, non può prescindere da interventi tesi a migliorare le condizioni statiche, in grado di contrastare i cedimenti in essere nei blocchi di roccia che costituiscono il tetto dell'ambiente n. 3 e, in subordine, dell'ambiente n. 2.

#### RINGRAZIAMENTI

Un sentito ringraziamento ai Vivai Capitanio Stefano di Monopoli (BA), per la collaborazione fornita e per aver consentito la pubblicazione dei dati.

#### BIBLIOGRAFIA

BARTON N. (2002) - Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design. *Int. J. Rock Mech. Min. Scie.*, 39, 185-216.

BRUNO G., DEL GAUDIO V., MASCIA U., RUINA G. (1995) - Numerical analysis of morphology in relation to coastline variations and karstic phenomena in the southeastern Murge (Apulia, Italy). *Geomorphology*, 12, 313-322.

BRUNO G. (2012) - Caratterizzazione geomeccanica per la progettazione ingegneristica. Ed. Dario Flaccovio, Palermo, ISBN 978-88-579-0150-3.

BRUNO G., CHERUBINI C. (2005) - Subsidence induced by the instability of weak rock underground quarries in Apulia. *Giornale di Geologia Applicata* 1 (2005) 33-39, DOI: 10.1474/GGA.2005-01.0-04.0004.

CIARANFI N., PIERI P. AND RICCHETTI O. (1988) - Carta geologica delle Murge e del Salento. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 42.

CUNDALL P. A. (1980) - UDEC- A generalized distinct element program for modelling jointed rock. Peter Cundall Associates, Report PCAR-1-80; European Research Office, U.S. Army, Contract DAJA37-79-C0548, Marzo 1980.

CUNDALL P.A., HART R. D. (1985) - Development of generalized 2-D and 3-D distinct element programs for modeling jointed rock. Itasca Consulting Group; U.S. Army Corps of Engineers, Misc. Paper SL-85-1.

DI GERONIMO I. (1979) - Geomorfologia del versante adriatico delle Murge di SE (zona di Ostuni, Brindisi). *Geologica Romana*, IX.

HOEK E., BROWN E. T. (1997) - Practical estimates of rock mass strength. *Int. J. of Rock Mech. Min. Scie.*, 34(8), 1165-1186.

IERVOLINO I., GALASSO C., COSENZA E. (2010) - REXEL: computer aided record selection for code-based seismic

Sezione di verifica	$F_s$ condizioni statiche	$F_s$ condizioni dinamiche
A (ambiente n. 3)	1.0 ÷ 1.3	> 1.3
B (ambiente n. 2)	> 1.5	> 1.5

Tabella 10 - Valori dei fattori di sicurezza al taglio calcolati le due sezioni di verifica in condizioni statiche (coefficiente parziale GEO  $\gamma_R = 1.0$ ) e dinamiche (coefficiente parziale GEO  $\gamma_R = 1.5$ ).

structural analysis”, in Bulletin of Earthquake Engineering, n.8, 339-362.

MARCATO G. ET AL. (2005) - Modellazione di ammassi rocciosi instabili con il metodo degli elementi distinti. Giornale di Geologia Applicata 2, 87-92.

SONMEZ H., GOKCEOGLU C., ULUSAY R. (2004) - Indi-

rect determination of the modulus of deformation of rock masses based on the GSI system. Int. J. Rock Mech. Min. Scie., 42, 849-857.

TRIZIO P. B. (2015) - La città dell'olio: Monopoli ed il commercio dell'olio tra il XVII ed il XIX secolo. Ed. Favia, Modugno (BA), ISBN 978-88-6922-053-1.



**TRASPORTO E SMALTIMENTO RIFIUTI SPECIALI TOSSICI E NOCIVI**  
**BONIFICA SITI INQUINANTI**  
**SMALTIMENTO AMIANTO - NUOVE COPERTURE**  
**CONSULENZA AMBIENTALE**

**e-mail: [amianto@ecosudambiente.it](mailto:amianto@ecosudambiente.it)**  
**[www.ecosudambiente.it](http://www.ecosudambiente.it)**

**Maglie - Via Montegrappa, 30**  
**Tel/Fax: 0836/427612**



Società Italiana di Geologia Ambientale (SIGEA)  
Sezione Puglia



ORDINE DEI GEOLOGI  
DELLA PUGLIA

con il patrocinio



Regione Puglia

organizzano il

CONCORSO FOTOGRAFICO

## “Passeggiando tra i Paesaggi Geologici della Puglia”

10<sup>a</sup> edizione 2019



La SIGEA Sezione Puglia e l'Ordine dei Geologi della Puglia, al fine di promuovere la conoscenza e la valorizzazione dei siti di interesse geologico (geositi) e i paesaggi geologici della Regione Puglia, bandiscono la decima edizione del concorso fotografico come di seguito specificato.

Il concorso prevede le seguenti **Sezioni**:

- A. “Paesaggi geologici o geositi”
- B. “La geologia prima e dopo l'Uomo”
- C. “Una occhiata al micromondo della geologia”

**La sezione A** sarà dedicata ad immagini di luoghi, paesaggi, siti a valenza geologica dove gli elementi geologici o i singoli affioramenti hanno sviluppato forme di qualsiasi tipo e genere.

**La sezione B** sarà dedicata ad immagini di opere antropiche che si integrano nel contesto geologico o geomorfologico.

**La sezione C** sarà dedicata ad immagini di elementi paleontologici, sedimentologici e petrografici ripresi a dimensioni naturali o al microscopio.

La partecipazione al concorso è **TOTALMENTE GRATUITA**. Possono partecipare tutti coloro che sono interessati a condividere le emozioni ricevute attraverso la rappresentazione di uno degli aspetti dei “paesaggi geologici” della Puglia.

Le foto dovranno essere inviate entro il **30 settembre 2019**, seguendo le istruzioni disponibili sui siti web degli organizzatori. Info: [foto.paesaggi.puglia@gmail.com](mailto:foto.paesaggi.puglia@gmail.com)

La premiazione, la cui data sarà comunicata sui siti web degli organizzatori, avverrà durante una manifestazione appositamente organizzata ed associata ad una iniziativa pubblica da tenersi in Bari.

Con il sostegno di



**Apogeo S.r.l.**

Via Caduti di Nassiriya, 170 - 70022 Altamura (Ba) - Tel. 080.3143324 - [www.apogeo.biz](http://www.apogeo.biz)

**REGOLAMENTO, MODALITÀ DI PARTECIPAZIONE E SCHEDA AUTORE:**

<http://puglia.sigeaweb.it> e [www.geologipuglia.it](http://www.geologipuglia.it)

**Info:**

Segreteria organizzativa del concorso:

*Silvio Spizzico* (Ordine dei Geologi della Puglia) • *Oronzo Simone* (SIGEA Sezione Puglia)

Ordine dei Geologi della Puglia

Via Junipero Serra, 19 - 70125 BARI

## ESPULSIONE DA CARICO DEL “M.TE DI CASSANO ALLO JONIO” (C.DA IOTTE - CS), POSTERIORE ALL’INTERGLACIALE RISS-WÜRM (?), (80.000 - 130.000 ANNI FA)

*Alessandro Guerricchio*

Professore Emerito di Geologia Applicata - Dipartimento di Ingegneria Civile - Università della Calabria  
Iscritto ORG Puglia, n. 856

*Dedico questo lavoro al compianto amico e collega Prof. Ing. Gregorio Melidoro. Troppo spesso si dimenticano Personaggi Importanti ed Illustri quale certamente Egli fu. Per primo pubblicò nel 1966 un fondamentale lavoro geologico - geomorfologico nell’area di Cassano Jonico, successivamente ripreso dai rilevatori della Carta geologica della Calabria.*

*Dedico altresì questa nota all’amatissimo mio figlio avv. Francesco del Politecnico di Bari, tragicamente scomparso il 21 aprile 2019 ed ai suoi dilette figli.*

### SOMMARIO

Il settore strutturale di Cassano allo Jonio (Calabria settentrionale - CS), uno dei principali in cui può essere diviso il margine settentrionale del Bacino del F. Crati, è colmato da una successione di conglomerati di “fan delta” del tipo Gilbert di spessore fino a 300 m del tardo - Pleistocene (Colella, 1988), poggianti sulle argille grigio - azzurre calabriane (Fig. 1). In particolare, presso il suddetto centro abitato spicca un rilievo montagnoso, cuneiforme, tra i sedimenti del Calabriano - Pleistocene, denominato Contrada Monte (Iotte), di quota 663 m s.l.m. e larghezza e lunghezza massime di 14 km ca.. Esso

è costituito da calcari e dolomie mesozoici, pseudometamorfiti (ascrivibili all’Unità del Frido), Argille Varicolori Scagliose Cretacico - Eoceniche, Argille grigio-azzurre calabriane, immergenti verso W. Su tali unità seguono depositi di fan delta del tardo Pleistocene, come detto, i cui strati, (rispetto ad un piano assiale diretto ca. N - S lungo cui la struttura si è aperta, “squarciata”), immergono verso ovest e verso est, così da delinearsi un’anticlinale, il cui fronte, in sinistra Torrente Raganello, è rovesciato con vergenza orientale (Figg. 1 e 2). La genesi del detto rilievo di C.da Monte (Iotte), qui definita “espulsione”, sembra generata da meccanismi di compressione da parte dei carichi delle masse rocciose del gruppo M.te Caramolo (1826 m s.l.m.) ribassate per faglia nel graben presente tra quest’ultimo e il M.te Pollino (2248 m). La suddetta cinematica (l’“espulsione”) si produce a circa 15.50 km di distanza ad ovest del rilievo stesso in esame, generando i canyons del F. Garga e dei torrenti Tiro e Fiumicello (Figg. 2 e 3). Tali carichi avrebbero prodotto fenomeni di “spremitura”, espulsione e DGPV, favoriti dalla presenza di unità a comportamento geotecnico “plastico”, a volte non affioranti, quali le Argille Varicolori Scagliose (AVS) e l’Unità del Frido, coinvolgendo anche masse lapidee car-

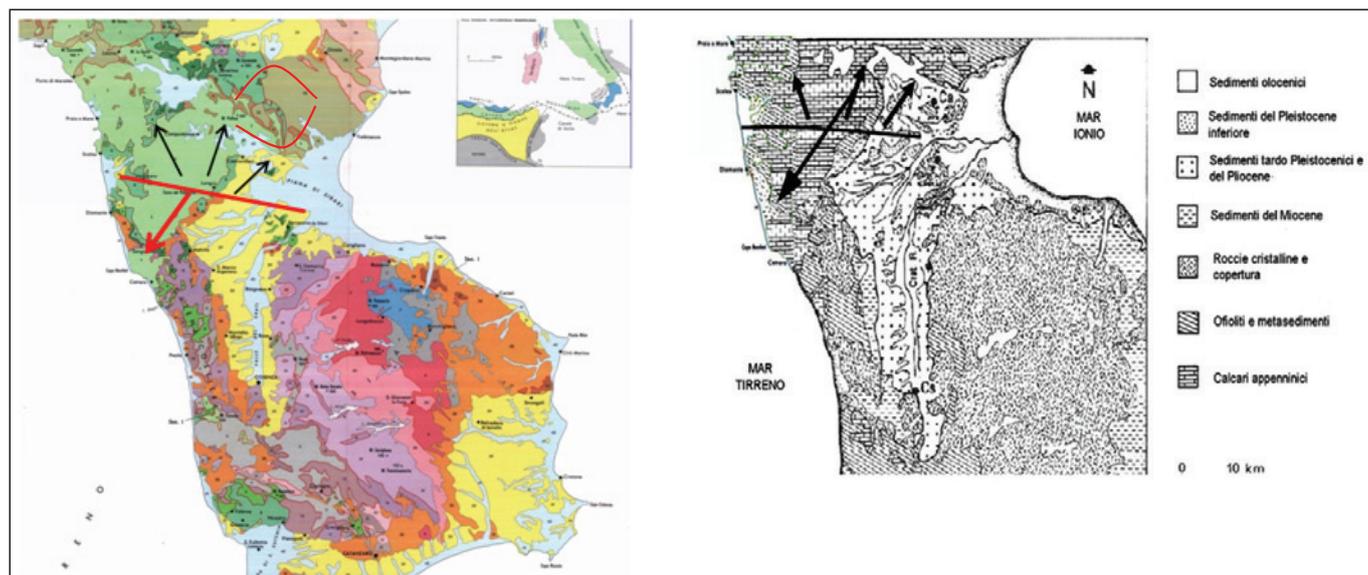


Figura 1 - Schema geologico del Bacino del Fiume Crati (Calabria settentrionale), comprendente il territorio di Cassano (Ca - cerchiata in rosso) e Cosenza (Cs). La freccia lunga indica il movimento della Catena dell’ “Orsomarso” verso il Mar Tirreno, mentre le frecce brevi i movimenti del gruppo del M.te Caramolo, ecc. verso il graben del Pollino, a partire dalla lunga faglia diretta ca. E-W, immergente verso NNE, che decorre nelle valli dei fiumi Argentino e Tiro.



Figura 2 - L'esteso sprofondamento (graben - A), compreso tra i rilievi de la Carpanosa (1310 m), C. le del Lupo (1379 m), M. te Caramolo (1827 m), T. ne Sciafarello (1763 m), M. te Palanuda (1632 m), T. ne Grugoleio (1244 m), ecc. a sud (freccie sottili a sinistra) e la faglia del M. Pollino (2248 m), S. ra del Prete (2181 m), Coppola di Paola (1919 m), M. te Velatro (1111 m), M. te Ciagola (1462 m) a NE e N (freccie sottili a destra). Il nord è a destra. Si ha l'impressione che le masse del graben (in primis quelle discese dal M. te Caramolo), scorrendo verso E ed ESE, rappresentino il motore primo delle deformazioni "tettonico - gravitative" del "M. te di Cassano J." e di Lauropoli e che i corpi lapide "franati" all'interno del graben siano anch'essi espulsi in prevalenza verso E e verso S, provenendo rispettivamente dal gruppo del M. te Caramolo e dalla Catena del Pollino. L'immagine è deformata nelle altezze di 3 volte.

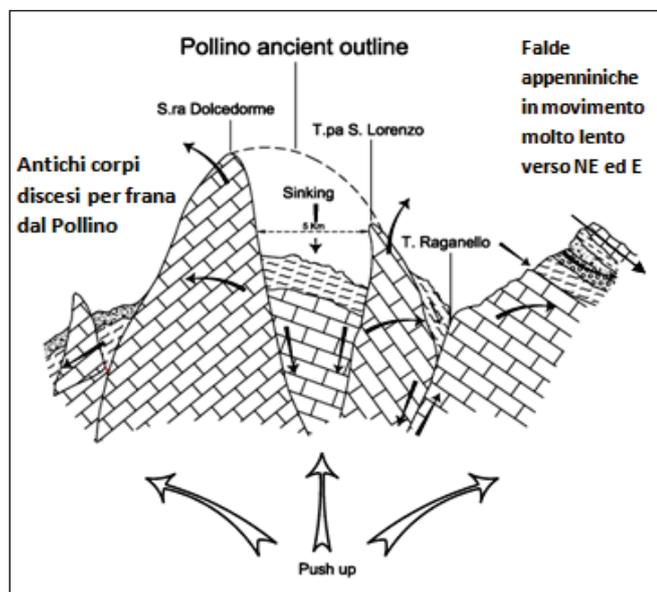


Figura 3 - Schema tettonico del Pollino, che mostra l'antico sprofondamento (graben) tra la Serra Dolcedorme (Trias (?) - Giurassico) e T.pa di San Lorenzo (Cretaceo Medio - Sup.), tra loro staccati per non meno di 5 km. Analogo modello cinematico potrebbe applicarsi all'innalzamento del "M. te di Cassano J.", ove allo sprofondamento si può sostituire lo "squarcio".

bonatiche che sostengono terreni sciolti plio - quaternari (Figg. 1, 2, 3 e 4). I detti fenomeni hanno pure sensibilmente spostato il corso del T. Raganello, che, da possibile, antico tributario di sinistra del F. Coscile - Crati, diviene un fiume a foce propria. Come pure diverso dall'iniziale

appare il percorso del F. Eiano, che, dopo un primo breve tratto a Z verso SSE, si immette lungo lo "squarcio" sempre verso SSE, senza aver quindi mai operato alcuna significativa attività erosiva per costruire la valle in cui scorre (Figg. 2 e 4). È stato successivamente verificato che il carico delle rocce della sola parte orientale del Caramolo discese per faglia nel graben non potevano essere sufficienti a creare le dette deformazioni e si è quindi rivolta l'attenzione alle spinte tangenziali ed al carico delle masse dell'intero gruppo del M.te Caramolo, a partire dalle faglie decorrenti ca. da W - E nei fiumi Aventino e Tiro e da quella ca. N - S che lo separa dal M.te Palanuda fino a Campo Tenese (CS). In tal modo tutto questo gruppo tende a produrre carichi ed a scorrere verso E, comprimendo le masse affioranti al suo "fronte", generando le deformazioni di cui si tratta. È evidente, infine, come le deformazioni tettonico - gravitative esaminate abbiano profondamente modificato, soprattutto nel territorio di Cassano J., le iniziali disposizioni stratigrafiche delle formazioni geologiche ivi affioranti e conseguentemente le resistenze meccaniche di picco e le risposte sismiche in particolare dei depositi argillosi, sui quali si è ormai da tempo sviluppata l'urbanizzazione.

## 1. PREMESSA

Vengono delineati i principali caratteri geologico-geomorfologici della grande deformazione da innalzamento - piega ("espulsione") su cui ricadono oggi gli abitati di Cassano allo Jonio e di Lauropoli (CS), includendola tra i meccanismi delle "deformazioni gravitative

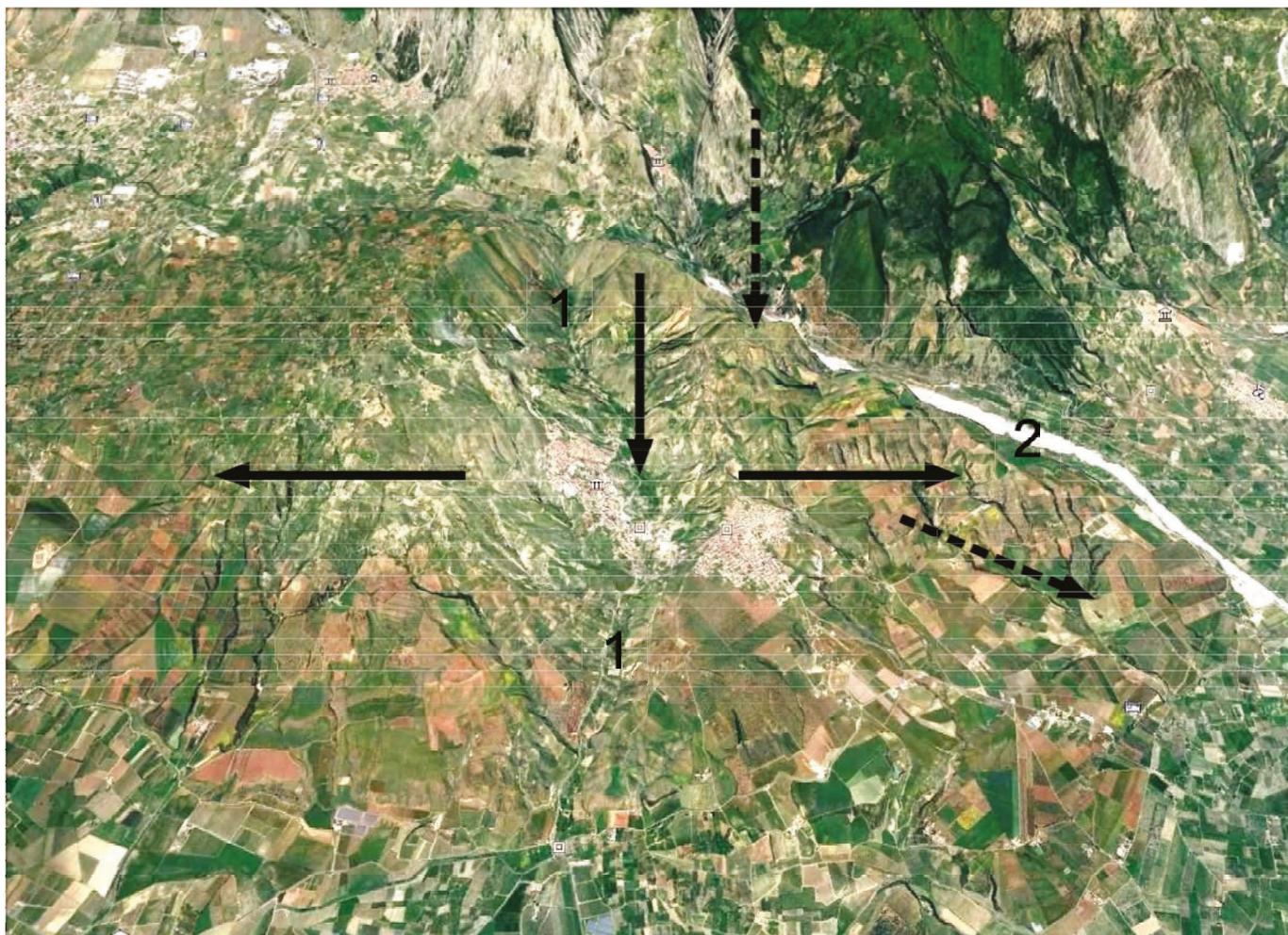


Figura 4 - Il rilievo di C.da Iotte (“Monte di Cassano J.”), con le cittadine di Cassano J., Lauropoli, Francavilla Fontana (estrema destra) e i fiumi Eiano (1) e Raganello (2). Le frecce (divergenti) indicano i versi - spostamento delle due masse principali prodotte dall’ampio “squarcio” della deformazione, ove defluisce il F. Eiano (freccia verticale - centro immagine), nel cui bacino ricadono i suddetti primi due abitati. Il territorio a E di Lauropoli sembra, per di più, essere stato “scaricato” verso ESE dall’unità rialzata dei Conglomerati sabbiosi di fan delta culminanti col M.te S. Nicola (freccie verticale e obliqua tratteggiate) e, per tale causa, aver subito una compressione da W ad E, come dimostrerebbero i numerosi solchi subparalleli diretti NNW-SSE di località Tre Piani - Sferracavallo e l’ulteriore deformazione, sempre verso E, del corso del T. Raganello. Inoltre, il distacco e l’allontanamento di tale territorio viene a creare un “appoggio manco” per tutta la parte centrale di località Laccata e Terra dei Preti (p.p.), che pertanto subisce un abbassamento rispetto alle parti limitrofe, ad E e W. L’immagine chiarisce, infine, anche l’età, relativamente recente dell’espulsione e della DGPV, che coinvolgono nel movimento pure i terreni rossi continentali attribuibili all’Interglaciale Riss - Würm (?), (o forse, più adeguatamente, Mindel-Riss?). L’immagine è deformata nelle altezze di 3 volte.

gigantesche” (giant landslide) della regione calabra (Guerricchio & Melidoro, 1981; Guerricchio, 1988, 1990, 2005, 2010, 2015; Guerricchio e Simeone, 2016), favorita dalla presenza, in profondità, delle unità delle Argille Varicolori Scagliose (AVS), del Frido e dalle ultime fasi della neotettonica quale principale motore.

Il meccanismo dell’“espulsione” ha determinato uno “squarcio” nella zona di massima incurvatura della struttura stessa, che appare come una piega rovesciata apertasi (“squarciata”) lungo il suo piano assiale, (Figg. 2, 3, 4 e sez. geol. A, C, F di Fig. 17). Il fenomeno deve aver pure generato un sensibile spostamento e deviazione del T. Raganello, che, da possibile, antico tributario di sinistra del F. Coscile - Crati, diviene un fiume a foce propria. Come pure diverso dall’iniziale appare il percorso del F. Eiano,

che, dopo un primo breve tratto verso SSE a valle delle sue sorgenti e dell’abitato di Eianina, devia per ca. 700 m - 1.5 km verso E e, delineando una grossolana struttura a Z, prosegue lungo lo “squarcio”, senza aver quindi mai eroso, in maniera significativa, la valle nella quale esso defluisce (Figg. 2, 4 e sez. A).

Il cinematismo dell’espulsione del “M.te Iotte” ha pure coinvolto terreni continentali rossi di copertura, ascrivibili, in una prima analisi, all’Interglaciale Riss - Würm (130.000 - 85.000 anni fa), (ma forse più adeguatamente al Mindel - Riss, 200.000 - 400.000 anni fa), a riprova, comunque, della recentissima fase neotettonica in quell’area del confine Calabro Lucano (Figg. 1, 2 e 3).

Lo “scorrimento” tettonico verso SW della “Catena dell’Orsomarso” (Calabria tirrenica sett.), evidenziato

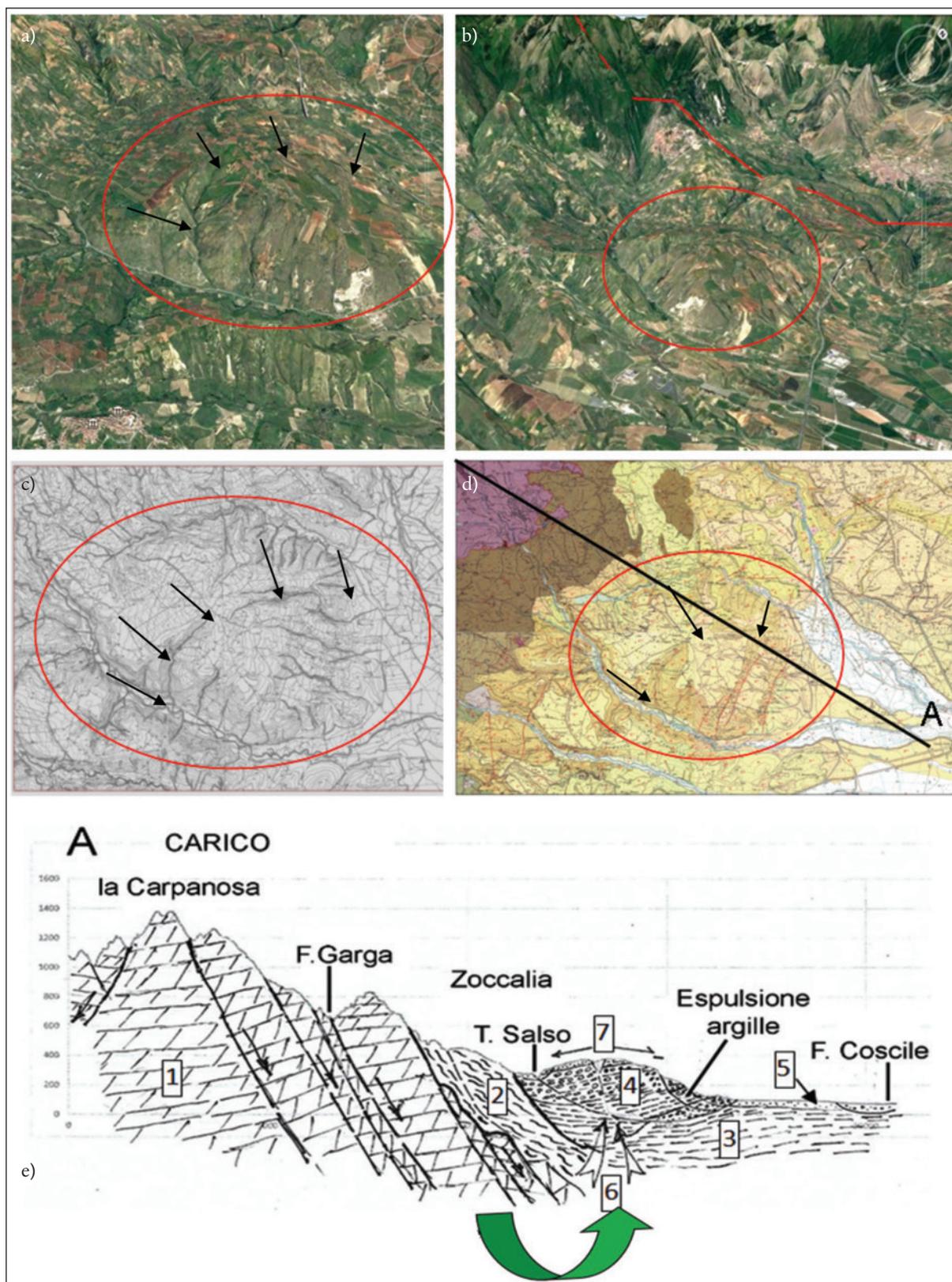


Figura 5 - Territorio di località la Caccia - Piano delle Rose - Parzinello, l'Acqua, Foresta, Gioia e Tummarello (centro immagine); a, b) si desume la struttura di rigonfiamento da sottospinte da carico da parte delle masse calcaree del M.te Caramolo (sullo sfondo). Le immagini sono esaltate di 3 volte in altezza. c) Stralcio topografico da cui si evincono la forma ellissoidica della struttura e le rotture perimetrali generate da rigonfiamenti da carico, ecc.. d) Carta geologica che mostra l'affioramento delle argille calabriane al fronte orientale della struttura, espulse per spremitura dal carico da W ad E delle masse del M.te Caramolo; A: traccia di sez. geologica. e) Sez. geologica A. - 1. Dolomie; 2. Frido; 3. Argille azzurre; 4. Conglomerati e sabbie; 5. Alluvioni; 6. Versi da sottospinte da carico delle masse dolomitiche, ecc.; 7. Basculamenti delle masse rigonfiate ed espulse.

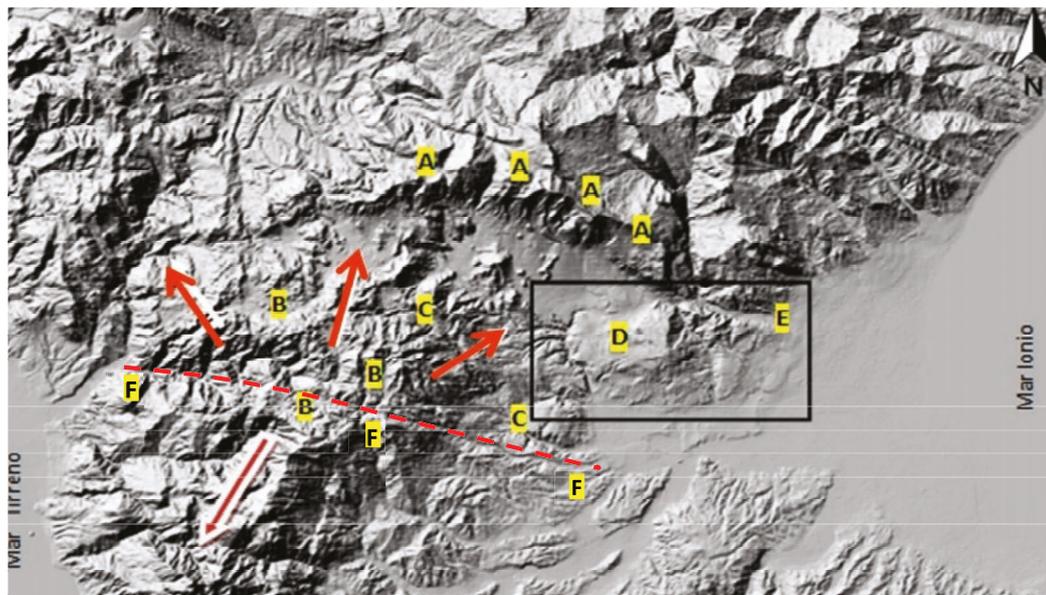


Figura 6 - DTM del confine settentrionale della Calabria (nel rettangolino l'area in esame). A - Catena del Pollino; B - rilievi del M.te Caramolo e del gruppo dell' "Orsomarso"; C - faglia del F. Garga; D - rilievo del "M.te Iotte" o "M.te di Cassano J."; E - T. Raganello; F - faglia distensiva WNW - ESE, con segni di trascorrenza, dei fiumi Argentino e Tiro (Fiumicello), che produce nel gruppo del Caramolo il distacco da quello più sud occidentale, spingendolo radialmente, insieme ad altri gruppi, verso il graben del Pollino (freccie rosse). La freccia grigia e amaranto indica il verso dello spostamento verso SW dell' "Orsomarso".

pure dal notevole spostamento nella medesima direzione della parte settentrionale dell'asse della Catena Costiera già a partire da Guardia Piemontese (CS), (Figg. 1 e 2), ha provocato lo "scivolamento" tettonico - gravitativo, in opposte direzioni, cioè verso N, NE, E e SSE, della parte più esterna orientale e settentrionale del gruppo del M.te Caramolo (1827 m s.l.m.) nel graben compreso tra questo e la catena del M.te Pollino (2248 m). I grandi corpi lapidei di tale "scivolamento", a loro volta, col proprio carico e ingombro volumetrico, hanno generato spinte per compressione laterale verso analoghe direzioni nelle masse del graben (Figg. 1, 2, 3, 4, 6, 7 e 8), nonché nella parte sud - orientale verso la subsidente Piana di Sibari (Guerricchio & Melidoro, 1975).

Tra le aree prossime ai corpi scesi per faglia dal M.te Caramolo, vanno citate anche quelle di M.te Tamburi (470 m) - Copponi (402 m), la Riccetta (340 m), la Caccia - Piano delle Rose - Parzinello (389 m), l'Acqua (389 m), Foresta (385 m), ecc. (Figg. 5, 12 e sez. geol. A).

In particolare, proprio la struttura di queste ultime località, distante poco più di 1000 m ad WSW dalla base del più importante rilievo di "M.te Iotte", è un modello ridotto di "espulsione" da carico molto simile per meccanismo a quella di Cassano J. di cui si dirà; esso, definito a N dal T. Salso, a S dal F. Garga, a E dalla piana alluvionale del F. Coscile - loc. Famelonga e a W dal nucleo abitativo Zoccalia, ha un' impronta planimetrica ellissoidale, con diametri massimo e minimo rispettivamente pari a 4.5 e 3.5 km (Fig. 2; 5 a), b), c); 12 e sez. A).

Presso la sua zona centrale (q. 389 m) essa mostra uno "squarcio" che, seppure ancora allo stato iniziale, richiama quello interamente sviluppato dell' "espulsione" di Cassano - Lauropoli; esso taglia i depositi conglomeratico - sabbiosi e sabbiosi con terre rosse in località Valise, immergenti nel settore meridionale verso WNW con 10° - 20° di inclinazione, mentre a nord, sempre allo stato iniziale, coinvolge, in località Manca Vigna, gli stessi de-

positi che immergono verso E ed ESE fino a 30° di inclinazione. Tutta la struttura è poi perimetralmente solcata da fossi impostatisi radialmente lungo le rotture prodotte dall'espulsione da rigonfiamento da carico (Figg. 5 a), b), 12 e sez. A).

Interessante appare anche la presenza delle argille grigio - azzurre calabriane unicamente nella zona frontale del modello di "espulsione", in località Gioia e Tummarello, ove, per "spremitura" ("novelle marmellate o nutelle") vengono spinte fuori al di sotto dell'unità dei conglomerati sabbiosi del tardo Pleistocene, inclinati da 15° a 30° con direzione periclinale o quasi (Figg. 5a), c), d), 11, 12 e sez. A).

Oltre al piccolo modello ora visto, il meccanismo di spinte all'interno dello stesso graben, un hinterland della Piana di Sibari (Fig. 1), ha prodotto, come detto, l'altro, più importante fenomeno di "spremitura" ed "espulsione" del "M.te Iotte" o "M.te di Cassano J.", favorito dalla presenza di unità a comportamento geotecnico "plastico", a volte non affioranti, quali le A V S, l'Unità del Frido - Crete Nere, coinvolgendo pure le stesse masse lapidee carbonatiche che sostengono terreni sciolti plio - quaternari (Figg. 2, 4, 6, 7, 8 e 9). La deformazione del "M.te di Cassano J." è delimitata a nord dalla faglia che lambisce la piana di Carpanzacchio - Trapanata, la quale, verso ovest, si biforca in località Trapanata verso WNW nella breve piana fino al Ponte di Virtù (Figg. 11, 12 e 17). Questa, a sua volta, si congiunge col T. Fiumicello, tributario di sinistra del F. Coscile e verso WSW nella depressione di località V. Manno e le Vigne, che si collega anch'essa col F. Coscile (Figg. 1, 2, 4, 6, 8, 9 e 12).

La rottura, quindi, prosegue lungo quest'ultimo corso d'acqua (da definirsi "fosso-binario di movimento"), inizialmente verso SSW per ca. 2 km, poi, molto deformata, per altri 2 km in senso NS, per assumere successivamente l'orientazione da NNW a SSE per altri 3.5 km, chiudendo negli ultimi 6 km, con direzione WNW - SSE, al Piano

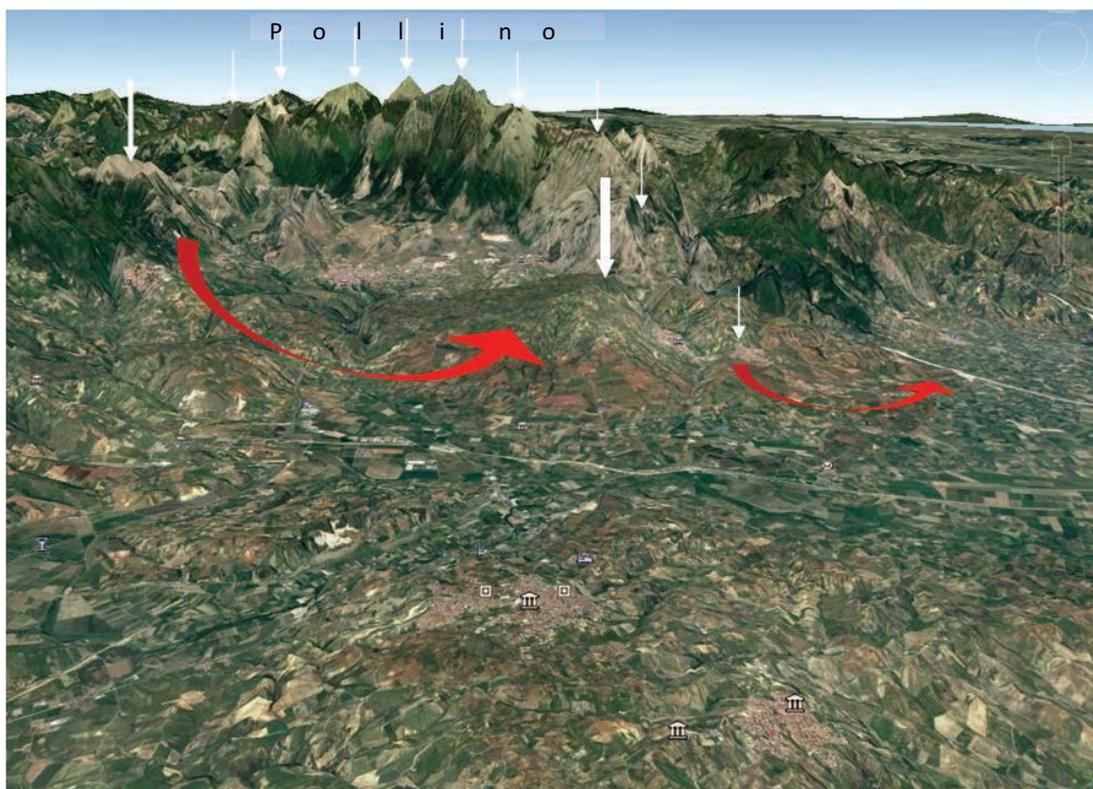


Figura 7 - Il territorio nel quale si è prodotta l' "espulsione" per sprematura del "Monte di Cassano J." (C.da Iotte, 663 m s.l.m.), (freccia grossa) e da essa la DGPV di Lauropoli (freccia sottile). Nella parte sinistra, in territorio di Saracena (freccia media), è osservabile una rottura per faglia diretta nelle masse dolomitiche triassiche (nel cui canyon oggi scorre il F. Garga), coinvolte nell'esteso sprofondamento dal M.te Caramolo nel graben. Le frecce grandi ricurve indicano i movimenti di compressione laterale di "espulsione" e della "DGPV di Lauropoli", in una prima analisi attribuiti alle faglie del F. Garga. L'immagine, vista da sud, è deformata nelle altezze di 3 volte.

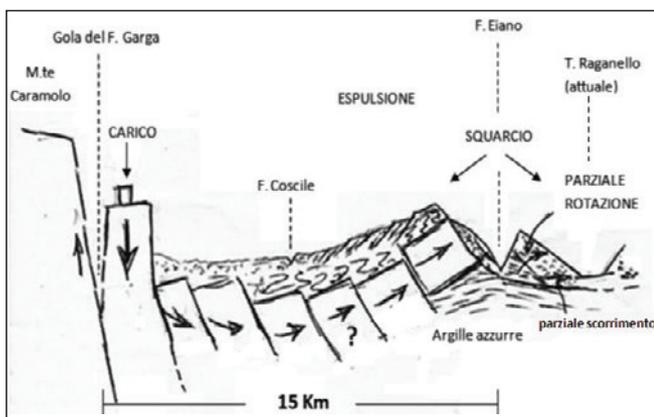


Figura 8 - Schizzo della prima interpretazione dell' "espulsione" del "M.te di Cassano J." in conseguenza dei carichi generati dalle rocce pervenute nel graben del Pollino - M.te Caramolo da faglie prodottesi in quest'ultimo gruppo.

delle Sanguisughe (Figg. 2, 6, 9, 10 e 12).

Perimetralmente, quindi, la grande deformazione tettonico - gravitativa è definita dai fiumi Eiano - Garda a N, Raganello a E e Coscile a W, SW e S, per una superficie totale di  $14.0 \times 14.0 \text{ km} = 196 \text{ km}^2$  ca. (Figg. 6, 9, 12 e 17).

In sostanza, dai carichi esercitati da WNW si sarebbe prodotta una compressione che avrebbe generato una struttura del tipo piega rovesciata, vergente a ENE, con

strati che risultano da molto inclinati a rovesciati sulle masse di contrasto e appoggio del basamento relativo ad E (Figg. 9, 10, 11, 12 e sezz. E, F). Questi ultimi, infatti, sia nelle unità dolomitico - calcaree triassiche che in quelle argillitiche delle AVS e del Frido, come pure in quelle conglomeratico - sabbiose tardo - pleistoceniche dei fan delta immergono verso W e WNW nell'elemento "espulso" in destra F. Eiano, verso E e NE in quello in sinistra qui definito "DGPV di Lauropoli" e, infine, in sinistra Raganello sono rovesciati con immersione in genere verso SW (Figg. 9, 10, 11, 12 e sezz. E, F).

Della zona si sono interessati per vari aspetti i seguenti autori: Melidoro, 1966; Vezzani, 1968; Ghezzi & Bayliss per la C.G.C., scala 1:25.000, 1969; Ogniben, 1969; Bousquet, 1973; Amodio Morelli et Al., 1976; Colella, 1988.

## 2. LA GIGANTESCA DEFORMAZIONE TETTONICO - GRAVITATIVA DEL TERRITORIO A SUD DI CASTROVILLARI

Come detto, in una prima ipotesi, il territorio di Cassano - Lauropoli (CS) si origina dal meccanismo di carico e di compressione laterale e sottospinte del corpo ribassato dall'estesa faglia del versante orientale dolomitico del M.te Caramolo (1827 m), (che genera una gola oggi percorsa dal F. Garga<sup>1</sup>), (Figg. 2, 6, 8, 11 e 12). Le spinte da

<sup>1</sup> A tal proposito è interessante notare che l'affioramento del Frido - Crete Nere di località Costa di Lesca (Fig. 12), oggi attraversato dalla faglia del F. Garga, è da interpretare come "finestra tettonica" che, mettendo in evidenza la presenza di tali litologie "plastiche", ha controllato e condizionato la stabilità delle masse dolomitiche triassiche. Queste ultime, quindi, a seguito dello "scivolamento" sulle sottostanti masse "plastiche" si sono "espanso" verso NE, E, e SE comprimendo quelle delle Unità Frido e AVS affioranti al loro fronte e nel graben richiamato (Figg. 8, 12, 13 e sez. A)



Figura 9 - Strati rovesciati di conglomerati sabbiosi di fan delta, in sinistra T. Raganello presso l'abitato di Civita. In alto a destra le terre rosse dell'Interglaciale Riss - Würm (?) sottostanti ai conglomerati tardo pleistocenici.

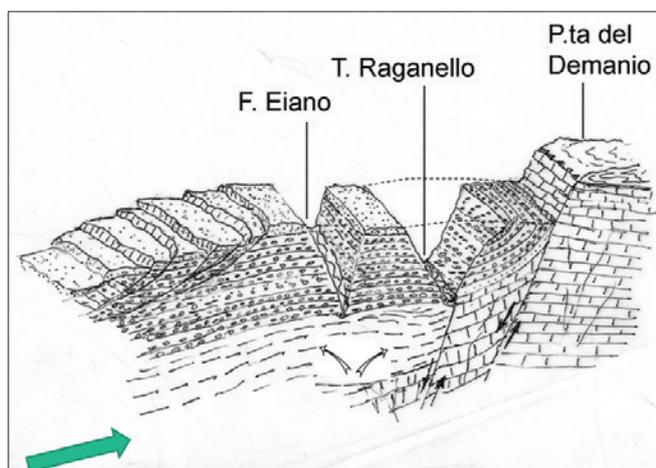


Figura 10 - Schema della piega rovesciata dei depositi pleistocenici di fan delta in appoggio sui calcari cretatici di P.ta del Demanio.

WNW verso ESE ed E ad esso associate sembrano generare la grande espulsione per "spremitura ed innalzamento" e successivo "squarcio" del "M.te di Cassano allo Jonio" (C.da Iotte, 663 m s.l.m.) in A V S Cretacico - Eoceniche (Melidoro, 1966), Unità del Frido del Cretaceo Inferiore e calcari e calcari dolomitici del Trias - Giura (Melidoro, 1966; Carta Geologica della Calabria, 1969), quest'ultimi interpretati dall'autore come grandi scaglie. Dall' "innalzamento" che produce lo "squarcio", oggi percorso dal F. Eiano, vengono successivamente "ruotati" da ambo i lati (verso W e verso E rispettivamente) i depositi argillosi del Calabriano, quelli conglomeratico - sabbiosi ("fan delta tipo Gilbert") del tardo Pleistocene, quelli sabbiosi associati a conglomerati del terrazzo Milazziano (?) e sabbiosi

dell'Interglaciale Riss - Würm di copertura (o del Mindel - Riss ?), mentre alcuni di essi sono "scaricati" sia verso valle (ESE e in parte E, cioè verso l'attuale T. Raganello) sia verso monte (WNW ed W), cioè verso Castrovillari e il F. Coscile. In quest'ultimo versante, si sono formate, infatti, numerose ondulazioni da "adattamento" gravitativo o assestamento quasi contestuali all'espulsione, che oggi appaiono come modeste rotture che separano ripiani percorsi da altrettanto modeste incisioni fluviali.

Le piccole scarpate, costituite dai conglomerati sabbiosi di fan delta, mostrano spesso un andamento planimetrico arcuato, indicativo di movimenti gravitativi del tipo grandi frane di scorrimento (Figg. 2, 4, 6, 11, 12, 13, 18 e sez. C'). Nel loro movimento di assestamento verso il F. Coscile, ossia verso W, tali masse sono state contrastate, alla base, da quelle affioranti in destra di quest'ultimo, le quali, presentandosi come sottili rilievi separati tra loro da vallecole, sono state inarcate con concavità verso sud (Figg. 6, 11, 12 e 13).

Dallo "squarcio", che costituisce la rottura principale del corpo espulso, inizia poi quello della limitrofa "DGPV di Lauropoli", ad impronta planimetrica triangolare. Questa, in parte scivolata verso S, SE ed E, è caratterizzata da deformazioni in grande definibili "plastico - gravitative", con ondulazioni multiple, ripiani, rigonfiamenti, ribassamenti, contropendenze e scarpate tipiche delle rotture per frana s.s., analogamente a quanto verificatosi nel corpo dell' "espulsione" di Cassano J.. Con tale dinamica, il T. Raganello, che doveva molto probabilmente, all'inizio del Pleistocene, proseguire la direzione ca. NS mantenuta nel canyon sottostante l'abitato di Civita, subito dopo l'uscita da questo nell'area della Piana di Sibari viene arrestato dal corpo della DGPV di Lauropoli e de-

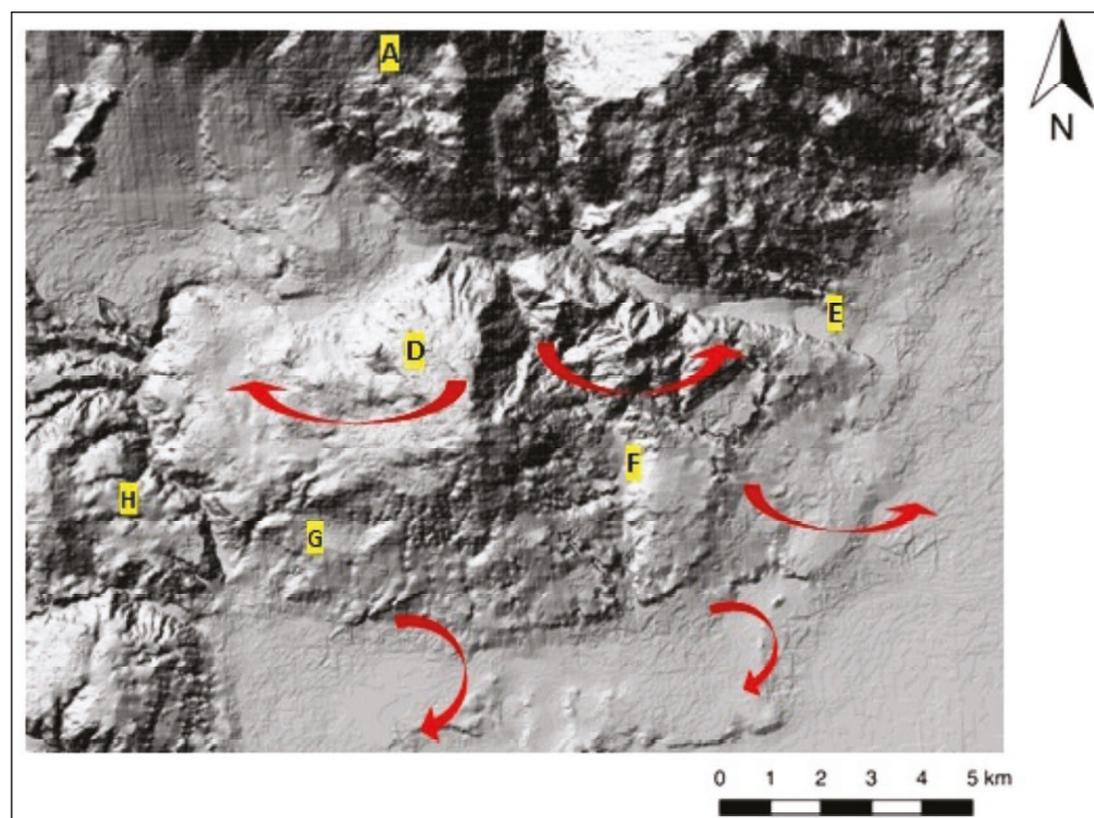


Figura 11 - Particolare del DTM incentrato sul "M. te di Cassano allo Jonio" e sulla DGPV di Lauropoli; D - rilievo del "M. te" Iotte; E - T. Raganello. Dall'immagine si evince che il rilievo di Cassano J. sia stato "spellato" nella parte meridionale a seguito dell'"innalzamento" verso S e che, nel contempo, dallo "squarcio" dell'Eiano le masse dei due versanti siano state ruotate verso destra (W) e verso sinistra (E), secondo il piano assiale della piega, coincidente ca. con l'asse dell'Eiano stesso, spostando l'antico andamento del T. Raganello, che, da ex tributario del F. Coscile o Sibari, diviene un fiume a foce propria.

viato verso est in senso antiorario di ca. 50°, assumendo l'attuale percorso WNW - ESE, divenendo, quindi, da tributario di sinistra del Coscile - Crati, un fiume con foce propria (Figg. 4, 6, 7, 12, 13, 14 e 15).

Dal meccanismo di innalzamento l'intero corpo della DGPV del fan delta di Lauropoli viene sconvolto e sollevato fino alle quote massime di 533 m (monti Spirito Santo e S. Nicola), causando una totale disarticolazione delle masse affioranti che ricoprono attualmente, in maniera "spezzettata" e discontinua, i versanti della stessa DGPV, nonché quelli meridionali, occidentali e settentrionali del "M.te di Cassano J." stesso (Figg. 4, 13 e sez. C, C'). Tale disarticolazione si spinge fino nella fascia di piede della grande deformazione, sia in quella di "massimo innalzamento" dell'"espulsione" di Cassano, che della DGPV di Lauropoli; infatti, gli affioramenti nell'area dell'abitato di Doria hanno subito ulteriori traslazioni planimetriche verso E e S fino a 1.300 m di lunghezza e rotazioni, anch'esse planimetriche, divergenti verso l'esterno (Figg. 12, 13 e 14), come avviene nei modelli e meccanismi da scorrimenti rotazionali, in conseguenza dei gradi di libertà di spostamento, massimi nelle fasce basali. Si nota, infatti, che traslando all'indietro per la suddetta lunghezza, molti affioramenti dei depositi sabbiosi "terrazzati", moderatamente basculati verso nord nella predetta fascia di piede, combaciano quasi perfettamente con quelli meno sollecitati meccanicamente e rimasti "quasi in posto" (Figg. 6, 12, 13).

Senonché, in una successiva interpretazione, i primi volumi e i carichi di dolomie e calcari dolomitici del Gar-

ga sono sembrati insufficienti per produrre da soli l'espulsione per "spremitura" del "M.te di Cassano J.", per cui si sono aggiunte altre porzioni sbloccate dalle faglie decorrenti lungo le valli dei torrenti Tiro e Acero (Figg. 6, 7, 12 e sez C).

Inoltre, è arguibile che tutto il blocco G di fig. 11 abbia subito uno spostamento verso W, effetto del "rilassamento" della zona medio - bassa del rilievo nel suo basculamento verso N conseguente all'espulsione.

La deviazione del F. Coscile, poi, verso E rispetto alla parte a direzione media NS del tratto più settentrionale, è da attribuire alla grande frana del tipo earth - block slide (H) dei terreni Calabrian - Pleistocenici con direzione W - E, anche in questo caso favorita dal loro appoggio su unità con apprezzabili contenuti argillosi, del tipo Frido e AVS, affioranti poco più a W, in territorio di Saracena (Figg. 11, 12 e 13).

Per quanto riguarda, poi, i rapporti fra le formazioni viste, quello fra le unità dolomitiche e calcaree mesozoiche con il Frido e le AVS Cretaceo - Eoceniche è tettonico (sovrapposizione tettonica di quest'ultime unità sulle prime), (Melidoro, 1966). Trattandosi ragionevolmente, però, di "scaglie" lapidee originariamente "scaricate" per antiche deformazioni tettonico - gravitative sia dal gruppo del M.te Caramolo che dalla catena del Pollino presenti nel graben su richiamato, successivamente coinvolte nell'"innalzamento" del "M.te di Cassano J." (C.da Iotte), esse farebbero più parte di una sorta di "melange" (in cui le masse lapidee sono come "imballate" nelle masse plastiche che governano i movimenti da compressione

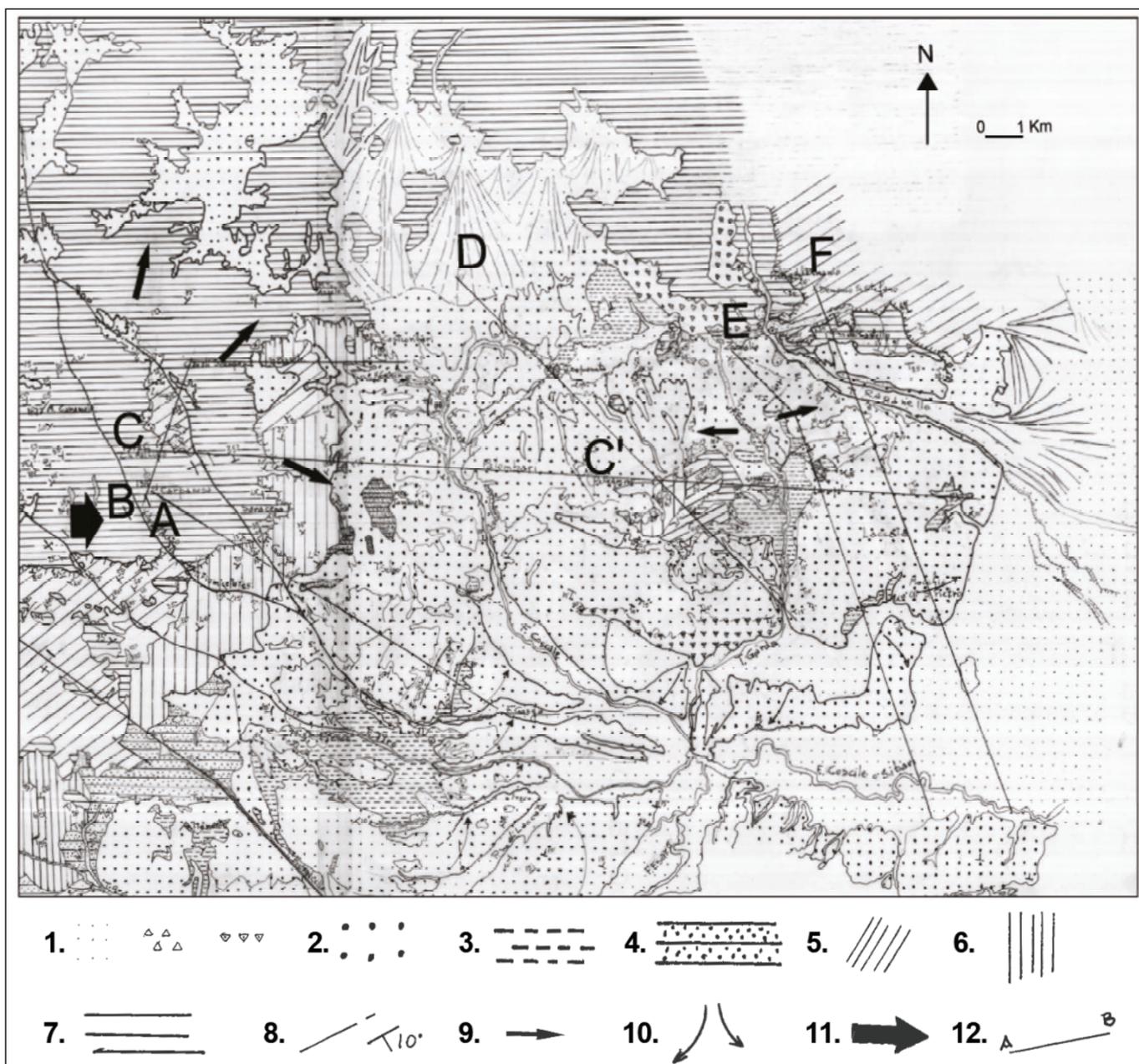


Figura 12 - Carta geologica schematica dell'area esaminata: **Olocene**: 1. Alluvioni ciottolose e sabbiose dei letti fluviali; alluvioni fissate; depositi eluvio-colluviali. Detriti di frana. Detrito di falda. **Pleistocene - Calabriano**: 2. Depositi fluviali, sabbiosi e conglomeratici dei bassi terrazzi lungo l'attuale reticolo fluviale. Sabbie fini e grossolane rossastre, con lenti di argille silteose ed intercalazioni di sabbie con ciottoli, conglomerati sabbiosi e conglomerati poligenici. Calcari concrezionari brunastri, silteosi e vacuolari, associati a "tufo" calcareo giallastro, poroso. Marne sabbiose biancastre, silte e argille verdastre. Sabbie grossolane grigio-giallastre con arenarie tenere e, a luoghi, conglomerati poligenici ( $P^{sc}$  della CGC), conglomerati sabbiosi poligenici cementati ( $P^{cl-s}$ ) e sabbie gialle o grigie ( $P^g$ ). Talora clinostratificate e/o a stratificazione incrociata. Depositi di fan delta. **Calabriano - Pliocene Sup.**: 3. Argille silteose grigio-azzurre, mal stratificate, con intercalazioni e lenti di sabbie e conglomerati. A Cassano allo Jonio sono presenti lenti di flysch, AVS e blocchi di calcescisti e quarziti ("olistostroma"). Conglomerati poligenici sabbiosi di grossi ciottoli calcarei ed arenacei, cementati e mal stratificati ( $P^{cl-s}$ ). **Miocene superiore**: 4. Argille grigie con intercalazioni di arenarie. (**Miocene?**) - **Eocene - Cretaceo**: 5. AVS: Argille color tabacco e verdastre scagliettate, arenarie quarzitiche grigio-verdastre, calcari grigi, grigio-nocciola e bluastri, talora selciferi. Nella parte alta intercalazioni di argilliti fogliettate nerastre. **Cretaceo Inf.**: 6. Calcescisti con intercalazioni di scisti filladici con vene di quarzo, calcite e, a luoghi, ammassi di rocce ignee basiche (Unità del Frido?); Calcari grigi e nocciola, calcari selciferi rossastri, calcareniti grigie, in strati per lo più sottili, con lenti di selce scura. I calcari sono minutamente piegati e contorti. (Unità del Frido?). **Cretaceo Medio - Sup, Giurassico e Triassico**: 7. Calcari subcristallini grigi e nocciola con intercalazioni di dolomie ( $C_{2-3}^c$ ); Calcari grigio-bruni, cristallini, da massicci a ben stratificati, calcari dolomitici ( $G^f$ ); Calcari subceroidi, subcristallini e dolomitici, grigi con lenti di selce scura ( $M_{cl}^c$ ); Dolomia stratificata grigio-chiara con calcari e calcari dolomitici ( $M_{cl}^{dl}$ ); Dolomie grigio - scure, fratturate con lenti di calcare dolomitico. (Complesso Panormide). 8. Faglie e giaciture degli strati; 9. Sovrapposizione tettonica; 10. Versi di movimento nello "squarcio" del F. Eiano; 11. Scorrimenti divergenti nella fascia di piede della massa "espulsa" nella zona di Doria, di Macchie di S. Pietro e del versante orientale del M.te Caramolo; 12. Versi di movimento degli earth-block-slides nel F. Coscile. 13. Tracce di sezioni geologiche. In parentesi le sigle delle formazioni geologiche usate nella CGC, da cui la presente carta è ispirata.

generati dai corpi franati nel graben), che di un vero e proprio contatto tettonico inteso in maniera ortodossa.

Il contatto fra i calcescisti (così mappati nella CGC) appartenenti al Frido - Crete Nere (?) sovrastanti il complesso delle AVS, anch'essi presenti nel graben, a volte appare regolare, con gli strati di ambedue le unità che immergono verso W, altre volte sembra molto disturbato andando dalla caoticità delle AVS ad una serie di diaclasi orientate all'incirca N S. Tale anomalia può essere inter-

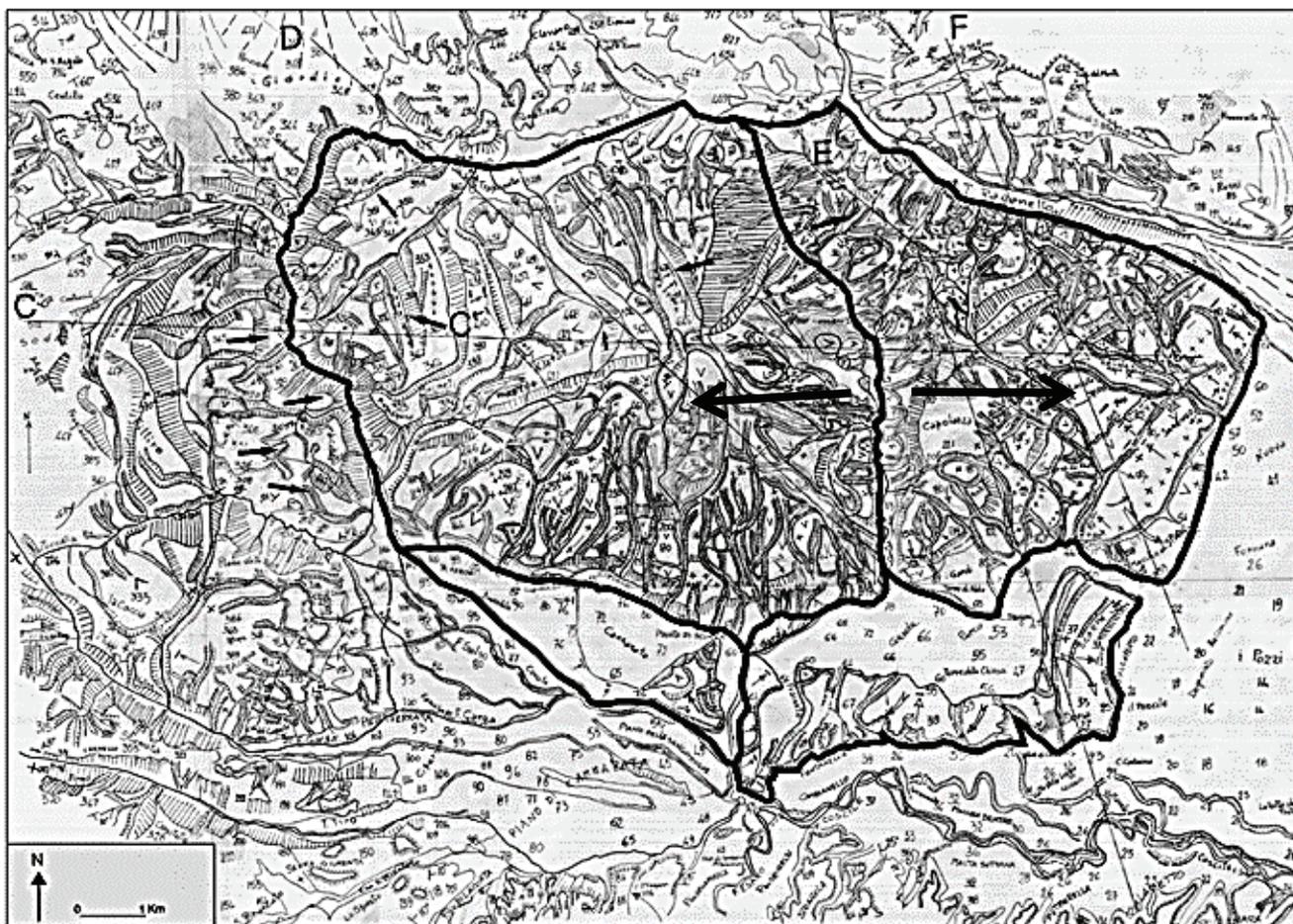
pretata come un meccanismo di sovrapposizione nella zona di compressione del Liguride sul Sicilide per cambio dei rapporti durante la fase di "spremitura" (Fig. 8 e sezz. A e C).

### 3.ELEMENTI DI STRATIGRAFIA

#### 3.1 - Rocce pseudo metamorfiche

Tra le località Maroglio, Fiego, Iotte e Monte affiorano scisti calcarei (scf della CGC), la cui mineralogia è data

In parentesi le sigle delle formazioni geologiche usate nella CGC, da cui la presente carta è ispirata.



- |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1.  | 2.  | 3.  | 4.  | 5.  | 6.  | 7.  | 8.  | 9.  | 10. | 11. | 12. |
| 13. | 14. | 15. | 16. | 17. | 18. | 19. | 20. | 21. | 22. | 23. | 24. |
| 25. | 26. |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

Figura 13 - (a) Carta geomorfologica. Nomenclatura di una frana: 1. Scarpa di distacco iniziale e coronamento; 2. Scarpate secondarie; 3. Limite del corpo di frana; 4. Depressioni di frana; 5. Verso principale di movimento; 6. Rigonfiamenti "plastico - gravitativi"; 7. Fessure radiali e trasversali nei corpi di frana; 8. Scorrimento rotazionale; 9. Scorrimento traslazionale; 10. Rotture gravitative di grandi masse; 11. Principali trenches; 12. Verso principale del movimento del corpo espulso e delle grandi frane; 13. Superfici in contropendenza da frane; 14. Spostamento laterale d'alveo prodotto da corpi di frana; 15. Alvei impostatisi lungo superfici di rottura per frana/deformazione gravitativa ("fossi - binario"); 16. Coni di deiezione per lo più alimentati da corpi di frana; 17. Superfici di scivolamento per tettonica gravitativa; 18. Faglia diretta (il segno meno (-) indica la parte ribassata); 19. Strutture planimetricamente arcuate per meccanismi di "contrasto"; 20. Possibile rotazione planimetrica delle masse plio - pleistoceniche conseguenti al movimento verso SW della struttura dell'Orsomarso; 21. Movimenti divergenti nella fascia di piede della massa espulsa nella zona di Doria e di Macchie di S. Pietro; 22. Giacitura degli strati; 23. Sovrapposizioni tettoniche; 24. Limite del corpo espulso + DGPV; 25. Principali centri abitati; 26. Superfici dello "squarcio" nei due versanti del F. Eiano.

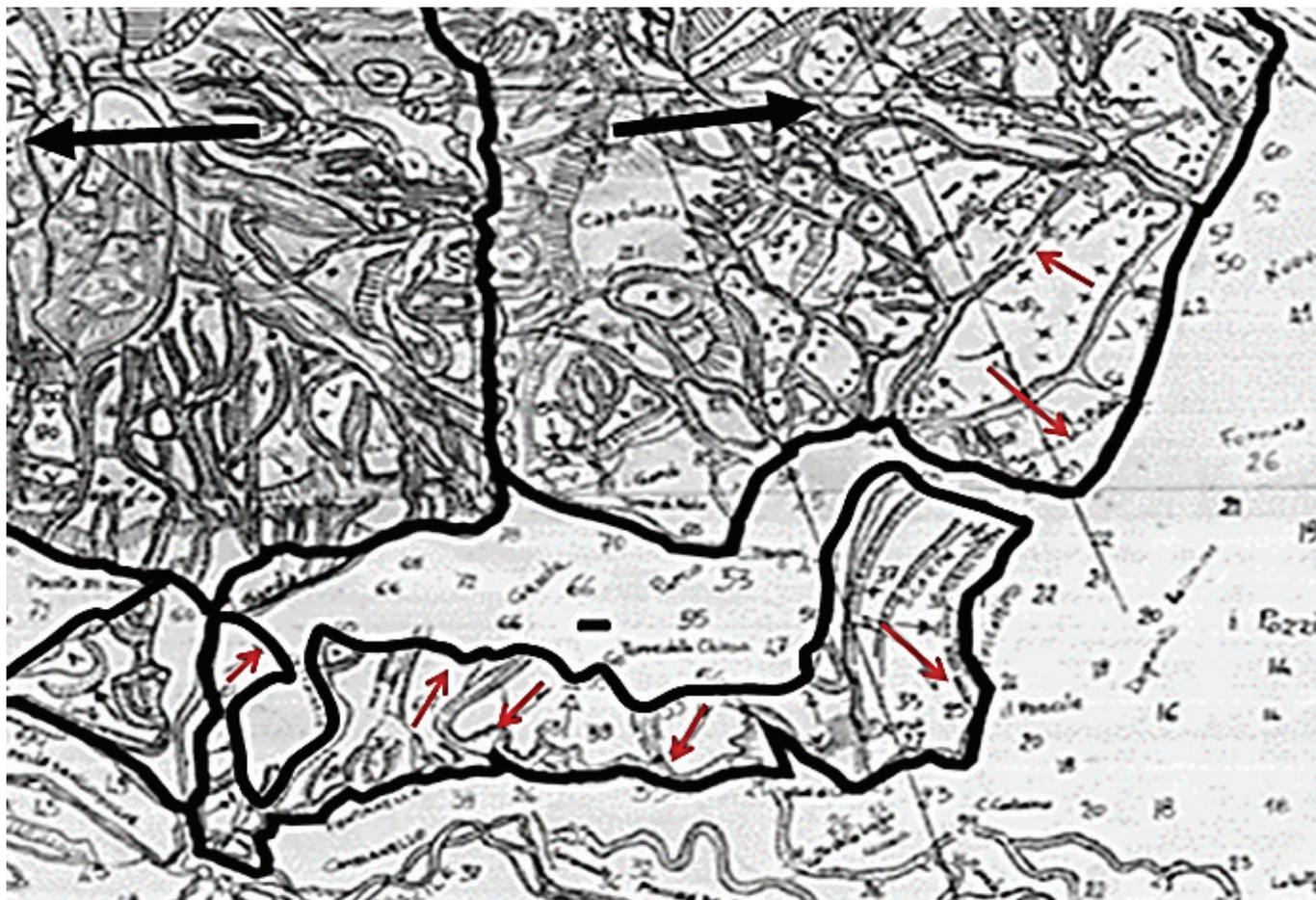


Figura 13 - (b) Dettaglio della parte meridionale della Carta geomorfologica. Le frecce rosse indicano basculamenti e movimenti orizzontali di una parte della zona di piede della deformazione gravitativa.

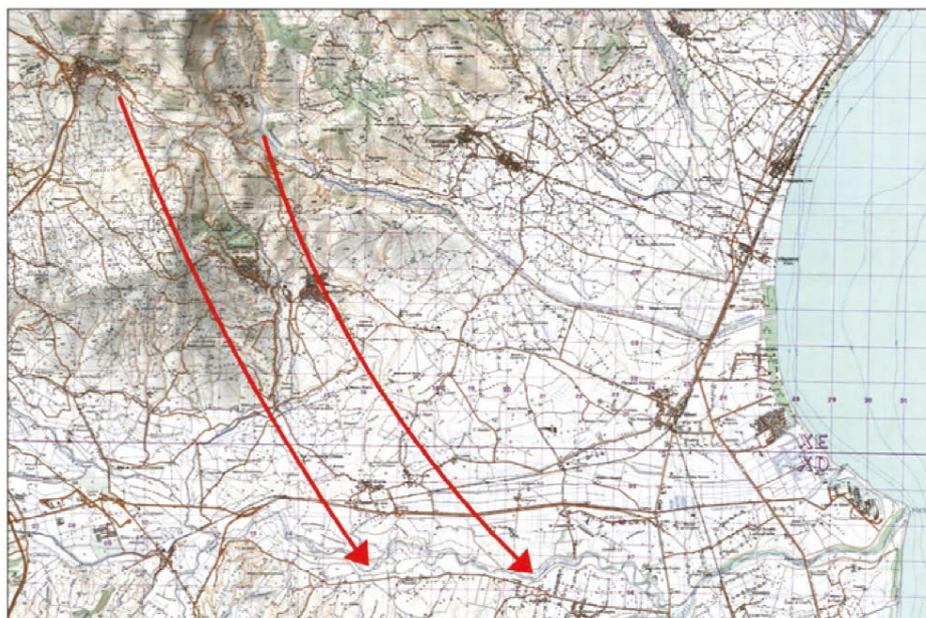


Figura 14 - Fiume Eiano e Torrente Raganello: possibili loro percorsi precedentemente al movimento ed “espulsione” verso E del “M.te di Cassano J.”.

da calcite con piccole percentuali di sericite e di quarzo. In altre zone detti scisti contengono lawsonite, epidoto e glaucofane. Essi appartengono alla Formazione del Fri-

do-Crete-Nere (Complesso Liguride), (Ogniben, 1969). Nella zona in esame essi poggiano sulle AVS (Complesso Sicilide), con un contatto che appare di sovrapposizione

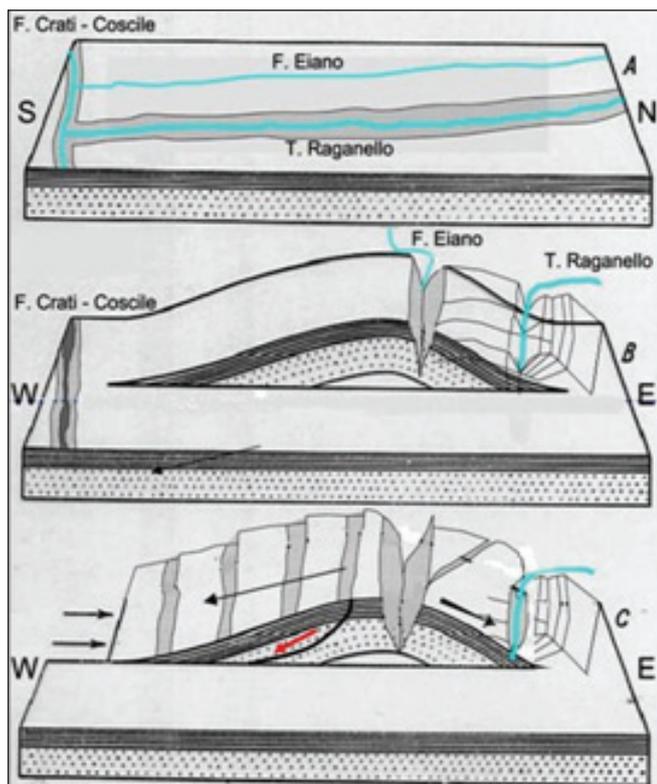


Figura 15 - Schema della possibile evoluzione del corso del F. Raganello dopo il fenomeno dell' "espulsione" - piega rovesciata nel Tardo Pleistocene.

tettonica forse a causa di un "accavallamento" avvenuto nella zona di compressione durante l' "espulsione". Lo spessore è valutabile in non meno di 250 m e l'età è dubitativamente Cretacico Inferiore - Medio (Ogniben, 1969), (Fig. 12). Essi fanno parte del corpo espulso nel fenomeno tettonico - gravitativo e affiorano nella parte più alta della successione traslata per compressione (Fig. 12).

### 3.2 - Rocce mesozoiche

Nell'area di Cassano Jonio affiorano formazioni del Complesso Panormide (Melidoro, 1966; Ogniben, 1969; Amodio M. et Al., 1976) date da:

- a) dolomie, calcari dolomitici e calcari ricristallizzati, con alghe e resti di *megalodonti* ( $T^{dl}$  della CGC), di colore in genere grigio-scuro, la cui brecciatatura e cataclasi hanno quasi distrutto od oscurato le originarie strutture sedimentarie (piani di stratificazione, ecc.), che tuttavia nella zona de il Muraglione immergono verso WNW con inclinazioni di ca. 30° (Figg. 12 e 17 e sezz. A e C). L'età è del Trias sup. - Lias, lo spessore, dubitativamente, di ca. 300 m (Melidoro, 1966; C G C F.o. Castrovillari, 1969). Nell'area di interesse le dolomie sono in contatto tettonico con le AVS (Melidoro, 1966; C G C F.o. C., 1969), (Figg. 12, 17 e sezz. A e C). Esse possono essere "imballate" all'interno delle masse plastiche che controllano le deformazioni tettonico - gravitative e aver "punzonato" e "scaricato"

sempre più a valle le argille grigio - azzurre, ecc. affioranti in quell'area.

- b) Alle dolomie, in discordanza, seguono calcari in banchi da grossi a sottili, con noduli e lenti di selce nera, breccie calcaree e coralli ( $M_z^c$  della CGC). L'età è ancora del Trias sup. - Lias (?) e lo spessore, dubitativamente, di ca. 200 m.
- c) Complesso di calcari in genere compatti grigi e grigio-nocciola, talora selciferi, stratificati in sottili letti molto pieghettati e contorti, con intercalazioni argillose verdastre e rossastre (?  $C_1^c$ ). Poggiano in discordanza sull'unità degli scisti calcarei (Sez. C); la loro età è dubitativamente del Cretaceo inferiore (CGC - Fo. Co.) e lo spessore compreso tra 100 - 150 m. Immergono verso W ricoperti dalla serie dei conglomerati, argille e sabbie del fan delta Pleistocenico e dalle sabbie rossastre dell'Interglaciale Riss - Würm (?), (Sez. C). In letteratura vengono attribuiti all' Unità di Malvito (Amodio M. et Al., 1976), mentre appartengono ancora all'Unità del Frido (Fig. 12).

### 3.3 - Depositi del Pliocene superiore e Calabriano

Conglomerati, sabbie e argille costituiscono una serie molto spessa (in un sondaggio petrolifero presso Doria, quest'ultime sono state attraversate per 600 m), dove le variazioni laterali di facies sembrano frequenti. I conglomerati e le sabbie rappresentano quasi esclusivamente la serie nelle zone di bordo, cioè delle antiche aree costiere, mentre le argille assumono una maggiore importanza verso il centro della fossa del Crati. I conglomerati hanno una disposizione deltaica, in particolare proprio tra Cassano - Lauropoli e Civita - T. Raganello, che conferisce loro una clinostratificazione la cui origine è singenetica, inquadrandosi, come detto, nei "fan delta" di tipo Gilbert (Guerricchio, 1985; Colella, 1988). Queste serie continentali sono attribuite al Tardo Pleistocene, mentre nella Carta Geol. della Calabria (1969) al Pliocene Sup. - Calabriano.

- Argille siltose grigio-azzurre, mal stratificate con intercalazioni e lenti di sabbie e conglomerati. A Cassano J. sono presenti lenti di "olistostroma" ( $P^{cl}$ ) di AVS (Melidoro, 1966) e blocchi di calcescisti e quarziti (C G C, F.o. C., 1969). Va però specificato che in tale zona le argille del Calabriano, a seguito dell' "impennata" del corpo "espulso" sono "scivolose, travasate" e franate verso il vuoto creatosi a seguito dello "squarcio" e pertanto non in posto e quindi non trasgressive sulle dolomie e/o sulle AVS come da significato ortodosso di tale processo sedimentario.

Tra Castrovillari ed Eianina i conglomerati pleistocenici passano lateralmente e verso l'alto a una formazione lacustre, nota come "Formazione di Ponte della Virtù", composta da marne a *Dreissensia*, argille dolomitiche e calcari lacustri a placchette (Bousquet, 1973). Questi depositi sono discordanti sui conglomerati dei fan delta pleistocenici.

Vezzani (1968 a), nella zona in esame, distingue sette

ordini di “terrazzi di abrasione” marini nelle formazioni post - calabriane. I più bassi sarebbero forse Ioniani (ex Milazziano), terrazzo 5 e forse 6) o Tirreniani (6 e 7). Tuttavia questi 7 ordini di terrazzi sono distinti unicamente con criteri altimetrici, per cui c'è confusione tra ripiani di origine strutturale (due nei livelli delle sabbie e nei conglomerati), livello raddoppiato o più dalle faglie e/o da superfici di rottura per frane tardo - quaternarie e recenti, superfici di alterazione e “terrazze”. Ciò indicherebbe, tra l'altro, sette sollevamenti della Calabria in quella zona in tempi molto recenti!!! In sostanza dei sette terrazzi forse ne esiste qualcuno (uno o due), essendosi scambiati i ripiani generati dalle deformazioni “plastico gravitative”, prodotti dalla presenza in profondità delle Argille grigio - azzurre, con le azioni di abrasione marina (Figg. 16 a, b, c).

Già Melidoro (1966) affermava che *“dopo la messa in posto per scivolamenti gravitativi nel Miocene medio delle argille scagliose ofiolitifere- formazione a spiccate attitudini a movimenti sia di natura tettonica che per frane p.d.- i movimenti tettonici continuavano sia durante la sedimentazione del Pleistocene, sia dopo la sua emersione; oggi nella zona sono in atto movimenti franosi che rappresentano fenomeni accelerati, localizzati e saltuari di un più lento e vasto spostamento della massa rocciosa.*

*Infine, le argille scagliose ofiolitifere (così venivano definite le attuali AVS) della zona di Cassano sono causa di movimenti franosi indotti nei depositi pleistocenici su di esse trasgressivi.”*

#### 3.4 - Sedimenti continentali (Tardo Pleistocene)

Sono rappresentati prevalentemente da sabbie a grana da fine a grossolana, di color giallo-rossastro talora ocree o del tutto rossastre, quasi per niente stratificate e talora con stratificazione incrociata (?); sabbie con ciottoli sparsi, associate ed in passaggio laterale con conglomerati sabbiosi, poco cementati, conglomerati poligenici cementati a piccoli e grossi ciottoli, parzialmente stratificati e talora clinostratificati (Q<sup>s-cl</sup> della CGC). Frequenti le intercalazioni argilloso - siltose a carattere lenticolare (Q<sup>a-s</sup>). Si tratta di depositi di fan delta (Colella, 1988). Spesso le superfici terrazzate (?) presentano solo una copertura superficiale di terra rossa e ciottoli (Q<sup>s-cl</sup>), come alterazione e rimaneggiamento in parte continentale dei depositi sottostanti.

La forte ossidazione che caratterizza questi depositi continentali, tutti di colore rosso, li fa attribuire ad uno degli ultimi Interglaciali, molto probabilmente quello del Riss - Würm, risalente quindi a circa 130.000-85.000 anni fa, allorché le condizioni climatiche della regione erano analoghe a quelle equatoriali o tropicali. Tuttavia, i terreni rossi sono tipici dell'arco temporale 130.000-110.000 ascrivibili allo stadio MIS5 (Coltorti & Pierucini, 2006). Tale età, tuttavia, crea seri problemi di datazione in particolare della deviazione del T. Raganello subito dopo il suo sbocco nella “Piana di Sibari” (Figg. 13 e 14). Infatti, se in un primo momento si è ritenuto

che essa potesse essere avvenuta proprio subito dopo la formazione dei “terreni rossi” (Fig. 4), in un secondo momento non è sembrato credibile che in un arco di tempo relativamente breve il T. Raganello potesse aver eroso il suo tratto terminale nei terreni conglomeratici affioranti anche in sinistra della sua valle. È parso, pertanto, più legittimo ritenere che lo spostamento del corso d'acqua sia avvenuto nel Pleistocene medio-superiore, cosicché anche i “terreni rossi” si sarebbero formati semmai in più di un interglaciale, magari a partire da quello Mindel - Riss (200.000 - 400.000 anni fa), seppure quest'ultimo non sia noto nell'Italia meridionale.

#### 4. COMMENTO ALLE DEFORMAZIONI ALL'INTERNO DEL GRABEN

Come detto, la faglia nei terreni triassici ad ovest dell'abitato di Saracena ribassa parte del versante orientale del rilievo del M.te Caramolo (1827 m), la Carpanosa (1310 m), creando una struttura subparallela alla prima, di quota max. 953 m del C. zo Cacazzella (Figg. 2, 12 e 13). Detto ribassamento, dell'ordine di 300-400 m in verticale, sposta verso E in orizzontale di ca. 1.5 km le masse occupanti il graben, comprimendo le unità “plastiche” delle unità del Frido e delle AVS, nonché quelle lapidee carbonatiche presenti per antiche deformazioni tettonico - gravitative, affioranti lungo una fascia estesa tagliata dal F. Garga stesso poco a N di Saracena e ad E della struttura in calcari cristallini vista (Figg. 7, 8, 12 e 17 sez. C). La faglia prosegue tra il M.te Caramolo e la Calcinara (1282 m) fin nel piccolo bacino carsico endoreico di località Campizzo (1056 m), per fondersi con la parte alta del F. Coscile ad ESE dei rilievi la Serra (1406 m), il Cappellazzo (1210 m), Timp. ne S. Angelo (1014 m), che rappresentano, anche con le zone depresse (q<sup>s-cl</sup> della CGC), una parte topograficamente elevata e iniziale del graben, i cui depositi creano delle spinte gravitative verso ESE ed E (Figg. 6, 7, 12 e 13). Numerosi sono gli affioramenti di unità plastiche che sostengono tettonicamente quelle lapidee dolomitiche e calcaree, come nel caso del M.te Monzone (1051 m) e di altri rilievi sparsi procedendo dal territorio di Morano Calabro (la Serra, il Cappellazzo, Timp. ne di Sant'Angelo, ecc.) verso l'abitato di Castrovillari (Figg. 6, 7, 12, 17 Sez. C. e 18), collassate nel graben per fenomeni di tettonica gravitativa (grandi frane) e finite col sovrapporsi alle prime. Anche se il carico delle masse lapidee ora viste non bastasse a generare il fenomeno dell'espulsione del “M.te di Cassano J.”, potrebbe aggiungersi quello dell'altra porzione del M.te Caramolo, comprendente la stessa Carpanosa, Colle del Lupo (1379 m), la Picarella (1533 m), ribassato anch'esso dalla faglia decorrente lungo il T. Fiumicello e la Valle dell'Acero, con direzione subparallela a quella del Garga (Figg. 2, 7, 11 e 12). Tale massa, in questo caso, è ribassata rispetto al M.te Caramolo di altri 300 m ca., per cui in aggiunta a quelle già descritte (ribassamento dell'ordine di 300-400 m) genera un carico significativo, che ad una prima analisi parrebbe sufficiente quindi a produrre meccanismi

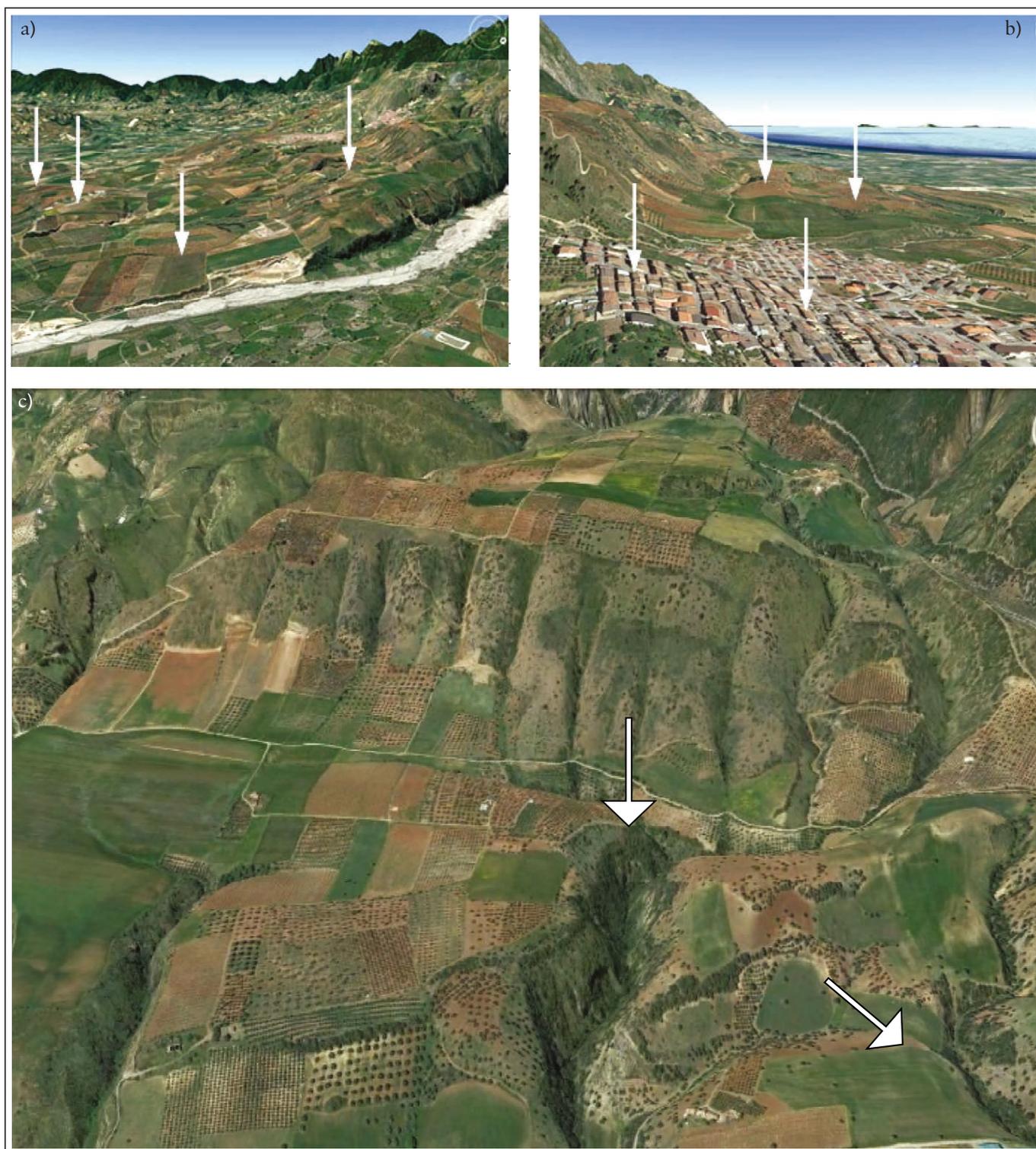


Figura 16 - Territorio di Lauroполи. a), b): serie di ondulazioni nell'abitato e nel territorio, generate da deformazioni "plastico - gravitative" della DGPV; le superfici sub - pianeggianti, talora in contropendenza, deformate da ondulazioni da compressione, scambiate per terrazzi di abrasione marina e attribuibili, invece, alle deformazioni da DGPV per scorrimenti multipli, indotti nei terreni di superficie conglomeratico - sabbiosi dalle più profonde argille grigio-azzurre, non direttamente affioranti nei depositi in primo piano, "ammantati" dai terreni rossastrì interglaciali, anch'essi, ovviamente, coinvolti nelle deformazioni tettonico - gravitative. c) Ampio solco ("suarcio") del V.ne di Franceschiello (freccia) generato dall'allontanamento verso E (cioè verso il T. Raganello) delle masse della DGPV di Lauroполи, che si "slabbrano" e si espandono ulteriormente verso Est man mano che si proceda verso sud (cioè verso la Piana di Sibari). Da segnalare pure la numerosa serie di solchi sub paralleli, diretti NNW-SSE, sulla scarpata a riprova del fatto che essa deve aver subito movimenti di compressione da W ad E, anche perché il corpo di cui fa parte sembra essere stato "scaricato" verso ESE dall'unità dei Conglomerati sabbiosi culminanti col M. te S. Nicola. Inoltre, l'allontanamento della detta porzione rappresenta un "appoggio manco" per tutta la parte centrale di località Laccata e Terra dei Preti (p.p.), che subisce un abbassamento rispetto alle parti ad E e a W di essa (Fig.13).

di espulsione per compressione laterale nei corpi del graben. D'altra parte gli stessi affioramenti del Complesso Liguride di Costa del Lesca (Frido e Crete Nere) a N di Saracena, etc., assieme ai numerosi corpi di rocce lapidee carbonatiche presenti nel territorio in questione, sono un altro esempio di espulsioni da carico (Figg. 2, 6, 12, 13 e 17 sez. A). Tuttavia, è sembrato, infine, più ragionevole ricorrere al carico e alle spinte verso N, NE ed E di tutta la struttura del gruppo del M.te Caramolo, a partire dalle faglie distensive decorrenti da E S E a W lungo i bacini fluviali dei fiumi Tiro e Argentino, per giustificare i fenomeni di "spremitura" ed "espulsione" affrontati in questo lavoro (Figg. 6 e 17 sez. C).

##### 5. IL GRABEN, L'ESPULSIONE E LE ROTTURE PRINCIPALI DELLA GRANDE DEFORMAZIONE TETTONICO - GRAVITATIVA (DGPV)

Il territorio che ha prodotto l'"espulsione" del "M.te di Cassano J." (663 m), (freccia grossa in Figg. 2), dal quale si è poi prodotta la DGPV di Lauropoli (freccia in Figg. 2, 3, 4, 6, 8 e 13), comprende la gran parte delle masse lapidee dell'intero gruppo del M.te Caramolo, affioranti ad ovest della zona di più diretto interesse (Figg. 1 e 2). Infatti, a partire dalla faglia diretta ca. W - E decorrente lungo i fiumi Aventino e Tiro, come detto, tale gruppo si sposta verso il graben del Pollino (Figg. 2, 4, 6 e 17 sez. C) esercitando spinte da compressione da W verso E, generando, quindi, la grande deformazione del territorio di Cassano J. (C.da Iotte) e della DGPV di Lauropoli. Quest'ultima, poi, nel suo movimento verso E blocca e sposta la parte terminale del T. Raganello, deviandola di ca. 50° in senso antiorario subito dopo il suo sbocco dalla gola sottostante l'abitato di Civita (Figg. 2, 6, 11, 13 e 15), come detto.

Più in particolare, la rottura principale che distacca dal Pollino verso S il corpo della deformazione tettonico - gravitativa di C.da Iotte, si individua in località Zoccalia per una lunghezza non inferiore ai 250 m dall'estremità sudorientale della faglia del Pollino e massima di 750 m dalle località Paratizza, S. Leonardo, Mussorito (Figg. 1, 2, 3 e 13). Contestualmente, come detto, si genera un'altra deformazione meccanica verso ESE, che comporta, nei terreni coinvolti, fratture, aperture e "slabbramenti" per i maggiori gradi di libertà da questi raggiunti in tale nuova configurazione, che rappresenta una vera e propria DGPV (Figg. 1, 2, 3, 4, 12 e 13).

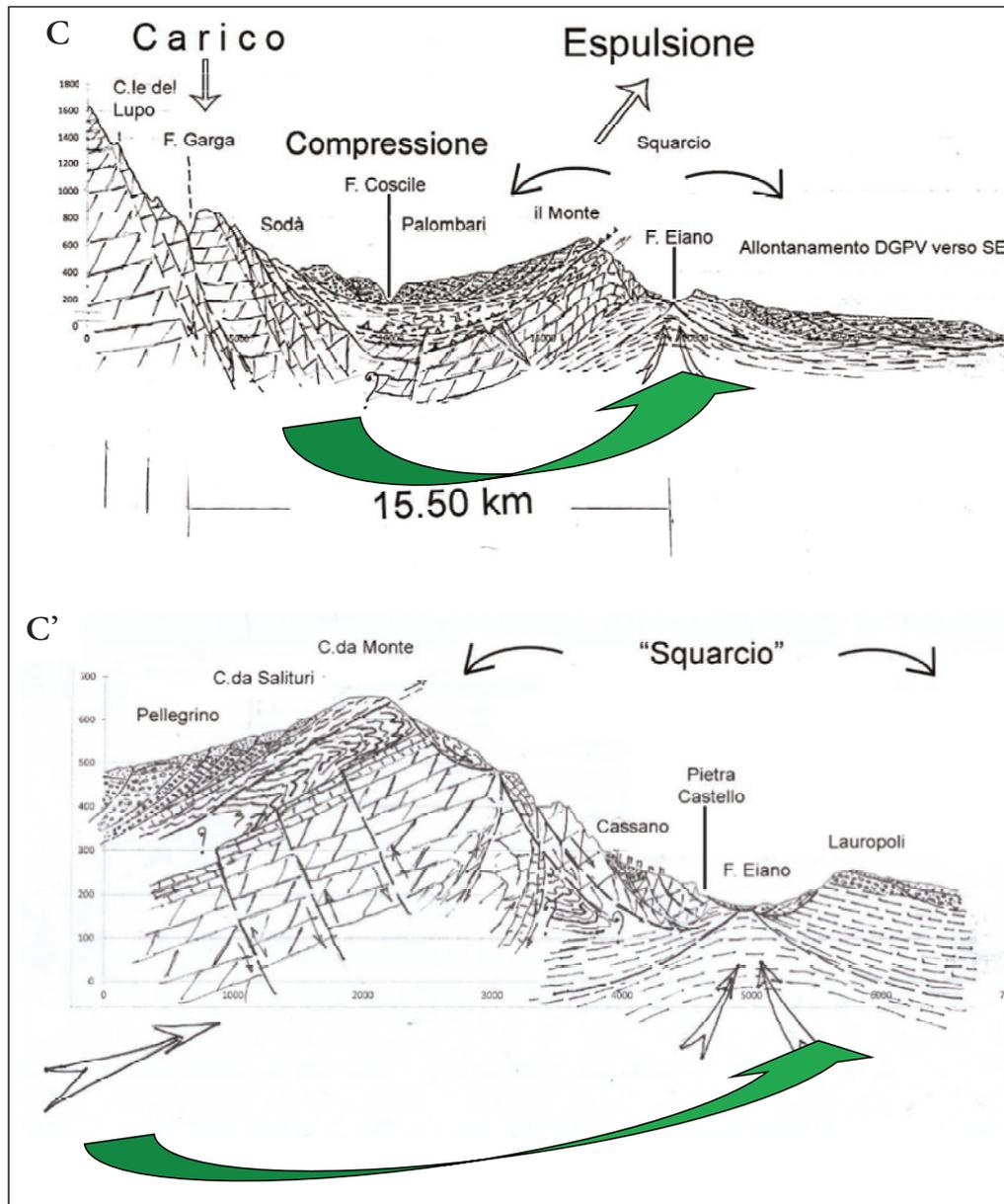
Nel suo iniziale movimento verso E l'"espulsione" del rilievo di Iotte si piega e s'"impenna", mutando i precedenti assetti stratigrafico - strutturali delle formazioni affioranti, innalzandole alle attuali quote. In sostanza, la deformazione meccanica conseguente a tale cinematica ha "scaricato" sia verso monte (NNW e in parte W), sia verso valle (SSE e in parte E) i depositi marini Plio - Calabrian, assieme a quelli continentali tardo - pleistocenici di fan delta e di copertura dell'Interglaciale Riss - Würm (o Mindel - Riss ?). Nella zona apicale, di massimo inarcamento dell'espulsione - piega si genera lo "squarcio" costituente uno dei limiti geometrici della DGPV di Lau-

ropoli. Da tale rottura, oggi percorsa dalla gran parte dell'Eiano, la DGPV viene moderatamente traslata verso S, SE ed ESE (Figg. 2, 4, 6, 7, 8, 11 e 13). Infatti, tutto il territorio compreso tra quest'ultima discontinuità, la congiungente (procedendo verso E) le località "Acquaro del Principe" (Camerata, Ciriaco, Piantata di Scorza, Garda, Macchia di S. Pietro, Sisto, Morzoroso) - "T. Raganello", tra questo fino ai fossi Zoccalia - Capicelle e quindi collegandosi a N del T.ne della Guardia (372 m) col F. Eiano rappresenta il corpo principale della DGPV a vaga impronta planimetrica triangolare (Figg. 2, 4, 12 e 13).

Il corpo della DGPV, al pari di quello dell'espulsione, si sposta verso l'antica depressione del Coscile - Crati o meglio della Piana di Sibari (che solo alla fine del Pleistocene sarà certamente ben più profonda e incisa dell'attuale in conseguenza dell'abbassamento del livello marino di -120 m al di sotto del l.m.m. attuale), proprio per la presenza a non grande profondità delle argille grigio - azzurre, subendo deformazioni in superficie definibili "plastico - gravitative" (Figg. 13, 16, a), b), c) e 17 sez. E, F). Queste creano nei detti corpi delle ondulazioni multiple, con formazioni di ripiani, rigonfiamenti, ribassamenti, contropendenza e scarpatine tipiche dei classici corpi di frana (Figg. 2, 13, 16 a), b), c)), dando l'impressione di aree di antichi terrazzi marini. Nella grande deformazione vengono coinvolti, oltre la citata unità delle AVS ed i terreni marini e continentali (fan delta) Calabrian - Pleistocenici Recenti, anche i terreni rossi continentali di epoca Interglaciale Riss - Würm (?), risalenti quindi a circa 130.000 - 80.000 anni (Figg. 2, 4, 7 e 23), seppure i terreni rossi risultano MIS5, tipici di 110.000-130.000 anni fa (Coltorti & Pieruccini 2006), ma molto più opportunamente del Mindel - Riss (400.000-200.000anni fa), a dimostrazione, comunque, dell'età molto recente dei fenomeni tettonici e gravitativi avvenuti in quel territorio (Figg. 1, 2, 4 e 12).

Sempre nella DGPV di Lauropoli, ad iniziare da q. 321 m di località T. ne della Guardia, in sinistra F. Eiano, lo "squarcio" interessa i depositi di fan delta del Pleistocene Sup. affioranti a N, W, E e SSE del rilievo di C.da Iotte (663 m), con un primo tratto di lunghezza di 5.5 km a direzione NNW - SSE fino a Cassano allo Jonio, quindi, per altrettanti 5.5 km in direzione ca. N-S, (da questo) fin presso T. ne Rosso (142m) - F.ta Garda; da qui, con direzione NE-SW e infine N-S confluisce nel Coscile, chiudendo l'apertura principale della deformazione tettonico - gravitativa nella direzione ca. NS (Figg. 3, 12, 13 e 18). Il principale cambio di direzione del corso d'acqua è causato dalla grande antica frana in rocce dolomitiche e in terreni argillosi e conglomeratico - sabbiosi calabrian e pleistocenici (su cui poggia una parte del nuovo abitato di Cassano) deviandolo vistosamente verso il versante opposto con un'ampia curvatura, (Figg. 2, 3, 5, 12, 13 e 18).

Della forma triangolare della DGPV, la lunghezza nel senso NS è pari a 12. 250 km, quella della base ca. 10 km e la larghezza media del lato coincidente col Raganello ca. 15 km (Fig. 13).



Sezione C - Sez. geologica W - E dal gruppo del M. te Caramolo al T. Raganello. Il carico da parte delle masse lapidee discese per faglie (del F. Garga e del T. Tiro) nel graben di Morano Calabro non sembra sufficiente a generare l'espulsione del M. te di Cassano J., per cui vanno invocati i carichi e le spinte nel graben di masse ben più cospicue, comprendenti magari tutto il M.te Caramolo, a partire dalle faglie distensive dei fiumi Argentino e Tiro, con direzione verso E SE.

Sezione C' - Particolare della sez. geol. C nella zona dell' "impennata" del "M.te di Cassano J.", che genera lo squarcio del T. Eiano. 1. Alluvioni del F. Eiano - Olocene; 2. Sabbie rossastre e terra rossa - Tardo Pleistocene - Interglaciali; 3. Conglomerati ben cementati con sabbie, di fan delta - Tardo Pleistocene; 4. Sabbie gialle - Pleistocene; 5. Argille siltose e sabbie grigio - azzurre - Calabrian; 6. Argille Varicolori Scagliose - Cretaceo - Eocene Medio; 7. Unità del Frido - Cretaceo; 8. Dolomie e Calcari dolomitici - Trias superiore; 9. Superficie di sovrascorrimento; 10. Superfici di scorrimento e verso di movimento (freccia).

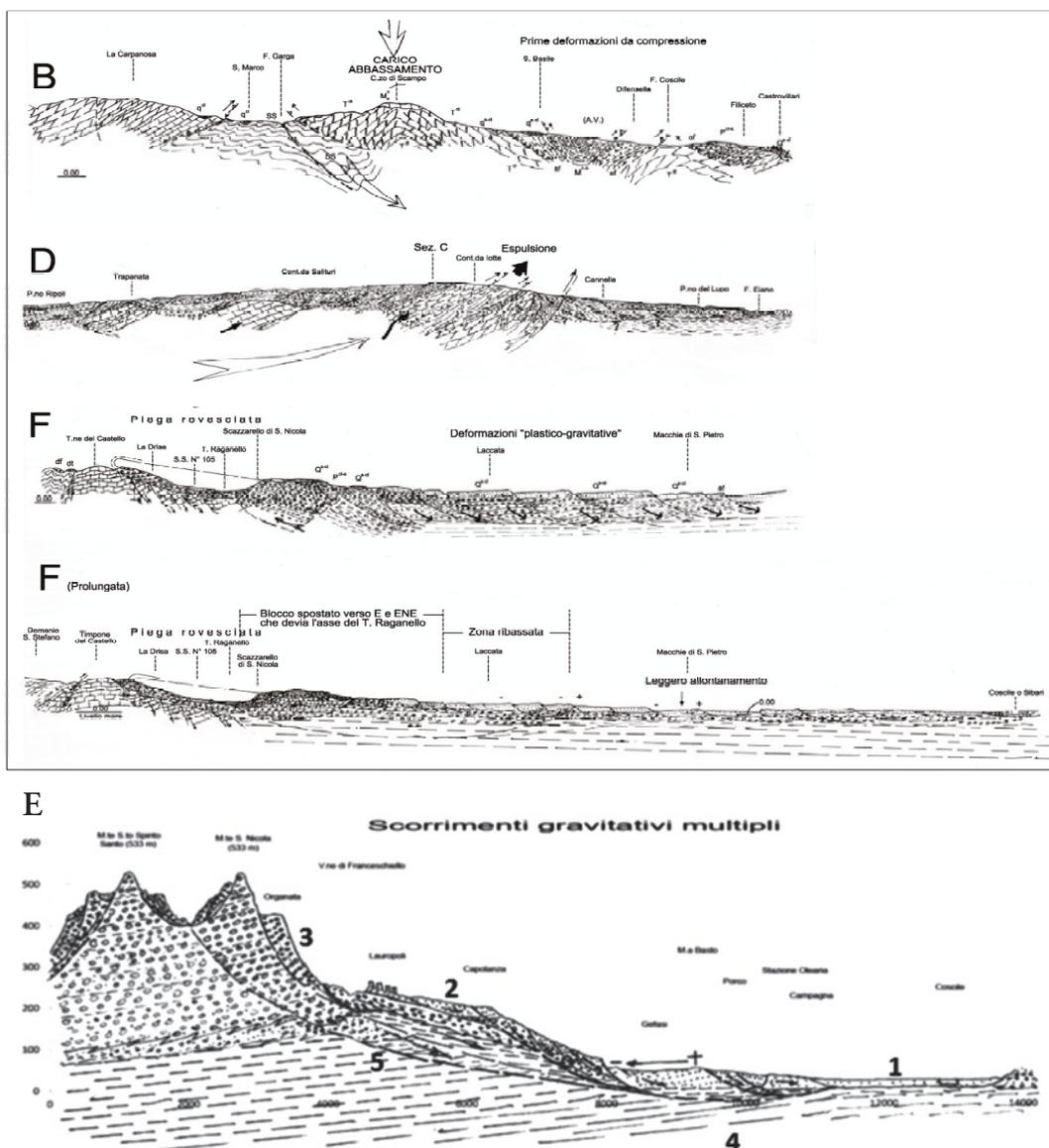
Figura 17 - Sezioni geologiche richiamate nel testo.

È intuitivo che riportando le masse nella condizione pre - DGPV facendo ruotare in senso orario non solo il corpo triangolare ora visto ma anche il resto del rilievo Iotte, intensamente fratturato radialmente e allentatosi anche verso E, il Raganello doveva essere, infatti, come detto, un tributario di sinistra del F. Coscile, con la confluenza ubicabile tra l'abitato di Doria e la località Tre Ponti odierne (Figg. 14 e 15).

Nel territorio di NW ed W, dorso del corpo espulso di C.da Iotte (658 e 663 m) che discende verso la depressione di Pantani, Bufalina, Lagato (parte alta del F. Eiano), F.ta ferroviaria di Eianina, S. ta Croce, Trapanata, Stazione di Frascineto, P. te Virtù, T. Fiumicello, F. Coscile, sono presenti alcuni ripiani, tra loro separati da modeste scarpate di rottura da "accomodamento" del fenomeno meccanico dell'espulsione, di altezza variabile dai 70 - 50

ai 30 metri di dislivello (Figg. 2, 4, 7, 8, 12, 13 e 17 sez. C, C'). In essi affiorano i conglomerati dei fan delta del tardo Pleistocene ( $P^{cl-s}$  della C G C) e le sabbie giallo-rossastre e terre rosse dell'Interglaciale, che ricoprono quasi interamente i primi ( $P_3^{cl-s}$ ), (Figg. 6, 12, 13 e 17 sez. A e C). I ripiani, talora sotto forma di vallecicole percorse da fossi e deflussi idrici ed orientati in prevalenza da S a N e da S a NNW, tendono moderatamente ad ampliarsi da monte a valle. Le rotture ribassano i detti ripiani procedendo da E a W e WSW; questi, a loro volta, degradano di quota da S a N (Figg. 13 e 17 sez. C), adattandosi all'inclinazione del versante, che dalle massime quote di 663 m scende fino a 320 m ca. in poco più di 5.00 km, nella direzione EW.

In accordo con le spinte del vettore che ha prodotto l'espulsione nel territorio ora descritto, i "ripiani" degra-



Sezione E - 1. Alluvioni della piana del F. Coscile - Olocene; 2. Sabbie rossastre e terra rossa - Tardo Pleistocene - Interglaciale; 3. Conglomerati ben cementati con sabbie, di fan delta - Tardo Pleistocene; 4. Argille siltose grigio - azzurre - Calabriano; 5. Superfici di scorrimento e versi di movimento (freccia). Le altezze sono deformate per 3 volte.

- 1 [Pattern 1] 2 [Pattern 2] 3 [Pattern 3] 4 [Pattern 4] 5 [Pattern 5]
- 1. Terre rosse e fan delta
- 2. Argille grigio
- 3. Argille vari colori scagliose
- 4. Unità del Frido
- 5. Dolomie e calcari

Le leggende schematiche valgono anche per tutte le altre sezioni geologiche.

dano verso il F. Coscile (le cui quote d'alveo oscillano da 338 m al P.te della Virtù fino a 120 m ca. alla confluenza col T. Scaraporci, per una lunghezza complessiva di ca. 6.650 km), come se questo operi un richiamo gravitativo, mentre è molto probabile che i ribassamenti siano singenetici al meccanismo dell' "espulsione" come fenomeni di scorrimento all'indietro (back slidings), (Figg. 13 e 19). Come pure le deformazioni sia dei corpi delle AVS, delle argille azzurre calabriane che di quelli dei conglomerati sabbiosi dei fan delta (con i depositi dell'Interglaciale che li ricoprono) affioranti nel versante sud orientale in destra del F. Eiano e meridionale sono state generate a seguito dei "rilasci" derivati dall' "impennata" e dallo "squarcio" finale dell'espulsione. I materiali che ricoprono detti versanti, in sostanza, sono stati messi in posto per "scivolamento" o "rilascio" gravitativo sulla superficie di rottura

dell'espulsione (versante destro del F. Eiano) che andava formandosi. Infatti, vi ritroviamo i depositi affioranti sul "dorso" del rilievo di M.te Iotte, come se questi fossero, appunto, "travasati", "crollati", "scivolati" o franati nella depressione creatasi a seguito dello "squarcio" ivi prodotti (Figg. 17 Sez. C', 18 e 20). Molto significativo, a tal proposito, è l'affioramento di q. max. 275 m di Argille Varicolori Scagliose, in sinistra V.ne Salina, poggianti per gravità sui calcari dolomitici giurassici, a loro volta sostenenti sabbie conglomeratiche calabriane (Figg. 12, 13, 18 e 20).

Inoltre, a parziale riprova che la valle del F. Eiano sia stata generata dal fenomeno meccanico qui definito "squarcio", ci si può riferire oltre alla giacitura degli strati dei conglomerati di fan delta immergenti da bande opposte o quasi nei due tronconi dell' "espulsione" e della

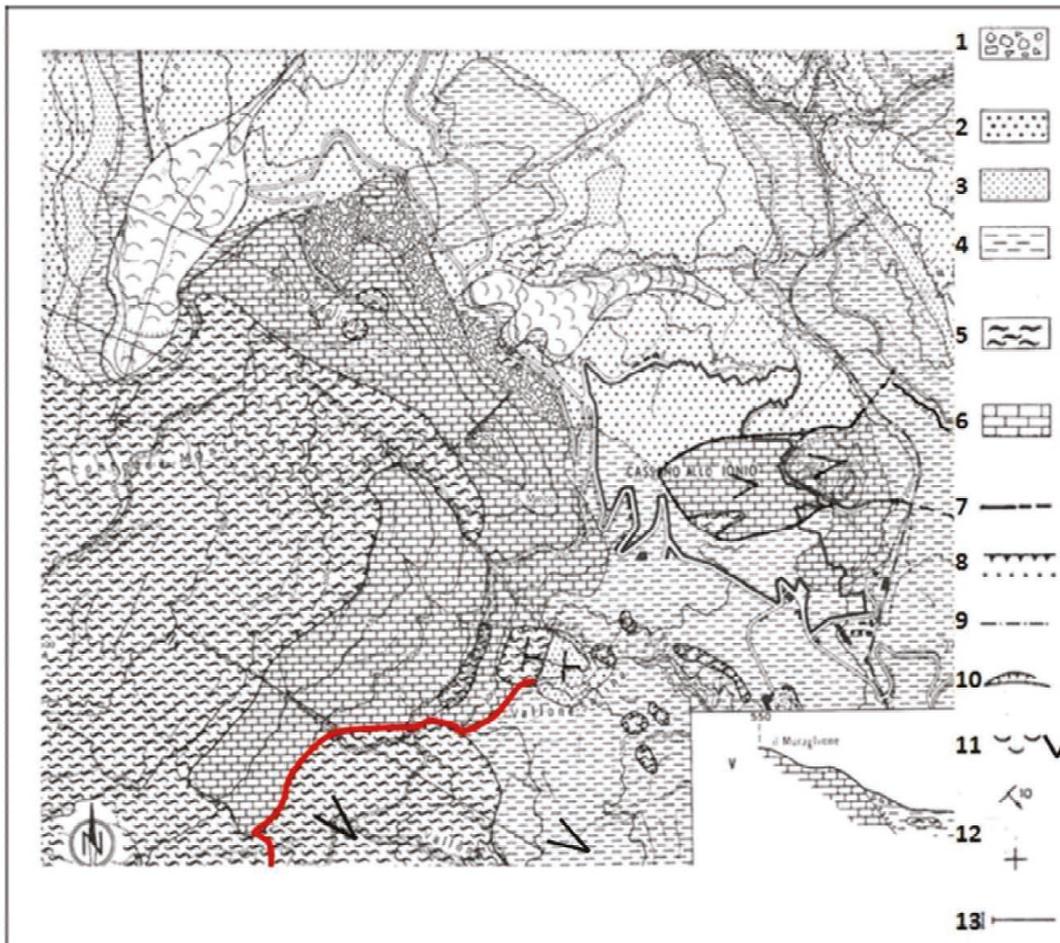


Figura 18 - Carta geologica di Cassano allo Jonio (da Melidoro, 1966): 1. detriti di falda, in prevalenza carbonatici - Attuale; 2. Conglomerati in prevalenza di fan delta (tardo Pleistocene); Calabriano; 3. Sabbie gialle; 4. Argille marnose e sabbie argillose grigio-azzurre; Cretaceo - Eocene; 5. Argille Varicolori Scagliose; Trias - Giura; 6. Dolomie e calcari subcristallini; 7. Faglie; 8. Sovrascorrimenti e contatti di frana; 9. Limiti di frane, anche antiche; 10. Cigli di distacco di frane attuali; 11. Aree in frana; 12. Giacitura degli strati: inclinati e orizzontali; 13. Traccia di sezione.



Figura 19 - La piega - "espulsione" di C.da Lotte (freccia tozza) vista da W, con la faglia trascorrente sinistra connessa al movimento di "spremitura" ed "espulsione"; quest'ultima deformazione ha comportato lo "scivolamento" dei terreni rossi dell'Interglaciale (freccie nere). Sulla destra, la faglia-canyon (freccia sottile) ove oggi scorre il F. Garda e la piccola deformazione da rigonfiamento da carico di località Piano delle Rose, l'Acqua, ecc. (freccia piccola verticale). Nel graben affiorano corpi dolomitici staccatisi dal gruppo del M.te Caramolo, che sembrano in "movimento" verso S. L'immagine è deformata di 3 volte nelle altezze.

DGPV, anche ad esempio, all'elemento in conglomerati sabbiosi di località Torre Sarda (427 m) che, in destra F. Eiano, si protende verso NE come fosse rimasto in sito durante lo "squarcio" risultando il corpo mancante al "vuoto" del vallone S. Nicola, suo "dirimpettaio" in sinistra (Fig. 19). Così come l'elemento del versante sud occidentale del M. Spirito Santo (508 m) appare ben incastrarsi nel "vuoto" di località Castagna in destra Eiano (Figg. 13 e 14). Tutto ciò pure in accordo con le litologie e le giaciture degli strati dei conglomerati dei fan delta.

Questi, poi, estesamente affioranti nella parte più settentrionale del F. Eiano, mostrano le giaciture degli strati in destra Eiano tutte a reggipoggio, immergenti di 10°-

15° verso W, mentre in sinistra tendono ad immergere verso N, NNE ed E con inclinazioni tra i 5° ed i 15° ed anche 30°. Fanno eccezione le giaciture verso S delle masse dislocate dalla rottura che da S. Nicola sfiora Lauropoli, le località Laccata, Terra dei Preti, ove prevalgono immersioni a S e SSE (Figg. 12 e 13).

Infine, altro motivo che fa ritenere il F. Eiano come un corso d'acqua impostatosi in una recente rottura meccanica (lo "squarcio") e non l'esito di un lungo processo di erosione è, tra l'altro, l'assenza di un cono di deiezione, almeno abbozzato, nella zona di sbocco nella Piana all'altezza della F.ta ferroviaria del Garda, nonché l'assenza totale di qualsiasi accenno a significativi terrazzi fluviali.

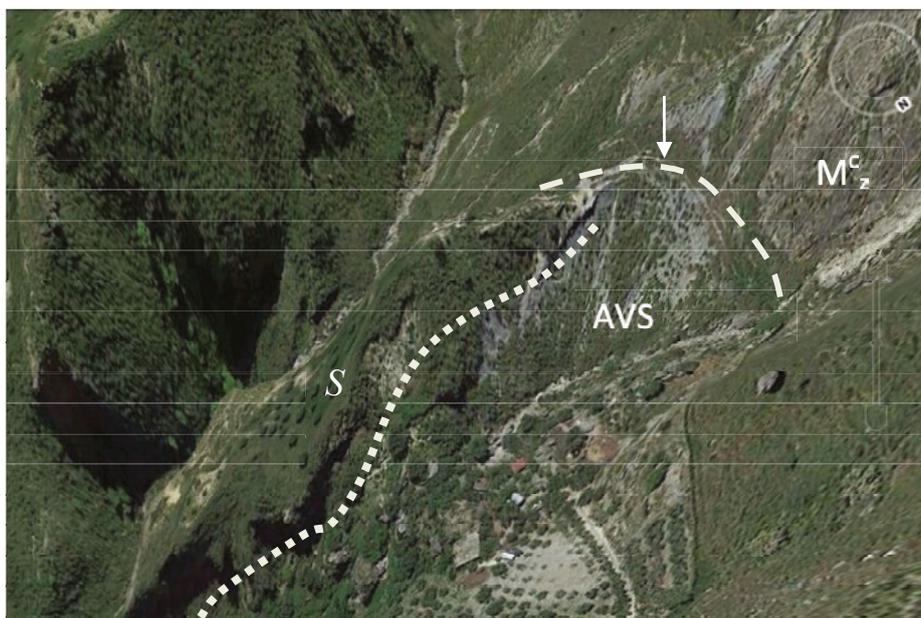


Figura 20 - Argille Varicolori Scagliose AVS (freccia) "scivolate", "travasate" sui calcari del Giurassico ( $M_z^c$ ) che sostengono le sabbie del Calabriano (S), con un contatto molto inclinato. L'immagine è deformata di 3 volte nelle altezze.

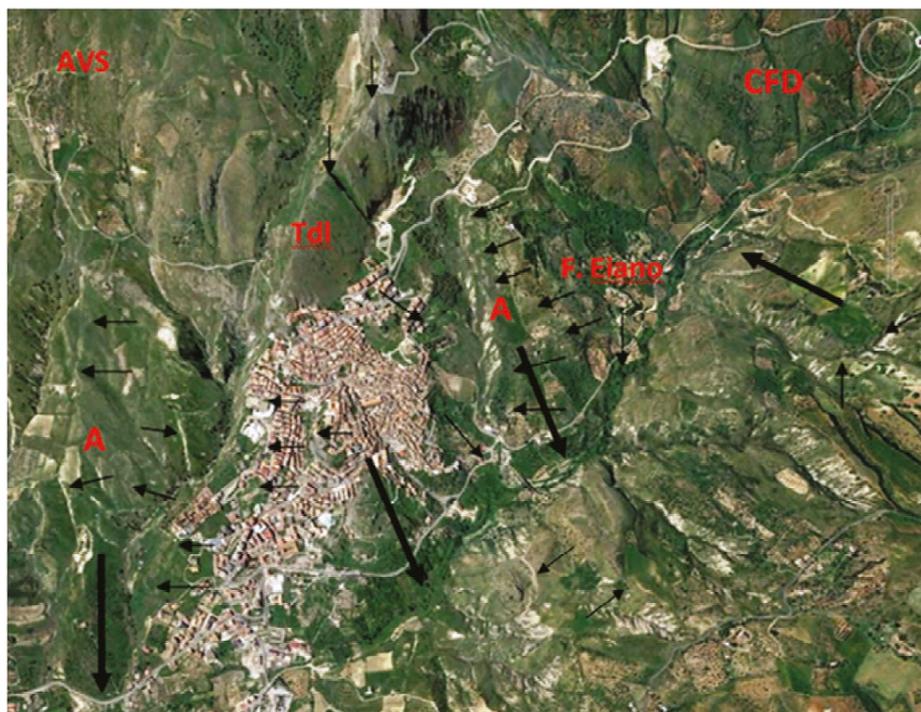
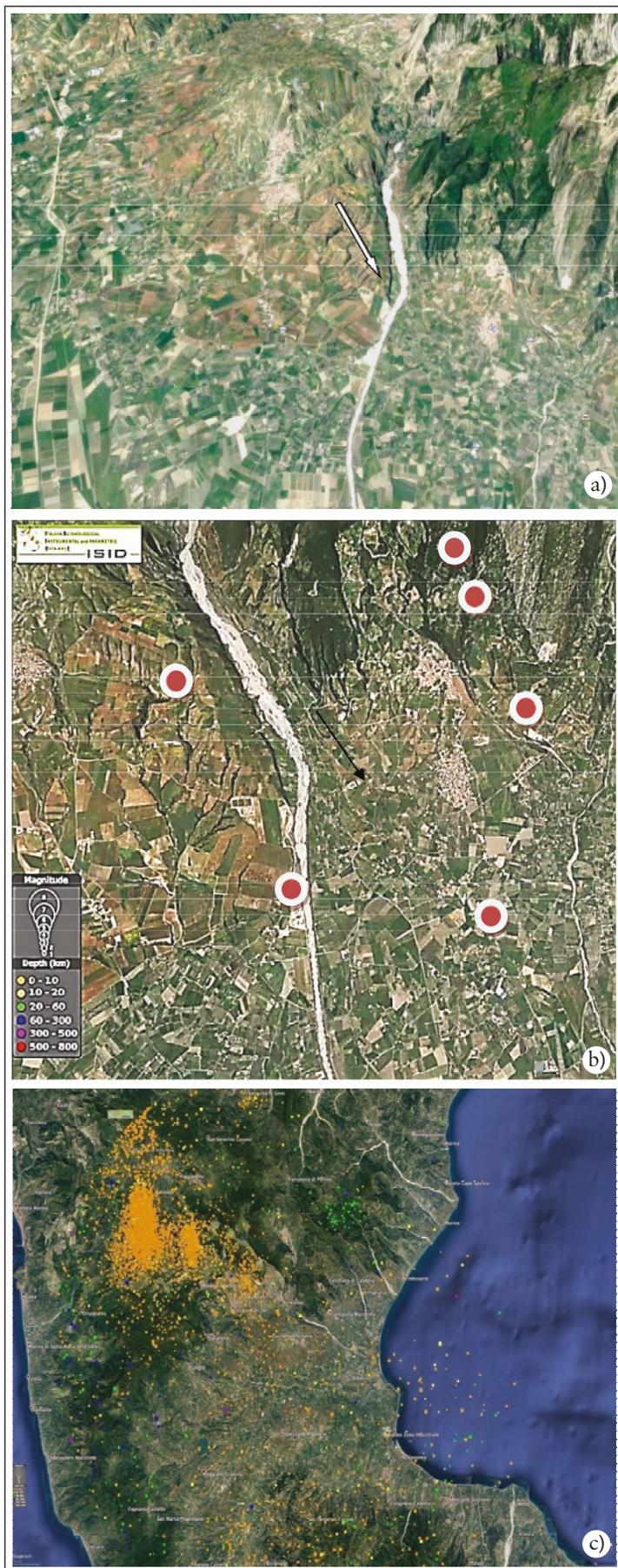


Figura 21 - Cassano allo Jonio visto da E. Si notano da destra in alto i depositi conglomeratici di fan delta stratificati (CFD) del tardo Pleistocene, i calcari e le dolomie del Triassico - Giurassico (T dl), che, provenendo da WNW, hanno "punzonato" le Argille grigio - azzurre e le Sabbie di origine marina, datate Calabriano (A), dislocate, rialzate e deformate rispetto alla loro primaria giacitura, le Argille Varicolori Scagliose (AVS) del Cretaceo - Eocene, di località Fiego e Cannelle, "travasate", "sversate" nel versante destro dell'Eiano, la deformazione dell'andamento del F. Eiano a causa della grande, antica frana del corpo sul quale sorge l'abitato (freccione da Pietra Castello). I solchi che percorrono i corpi delle Argille grigio - azzurre e sabbie (freccie) definiscono antiche superfici di rottura (frane potenziali), delle quali taluna coinvolge pure zone già edificate, a rischio in caso di sismi alquanto energetici. Le freccie grandi indicano direzione e verso dei movimenti gravitativi che coinvolgono ancora oggi parti significative del versante in destra e sinistra F. Eiano. L'immagine è deformata di 3 volte in altezza.



Per la formazione sabbiosa tardo pleistocenica ( $Q^{s-cl}$ ), nei versanti meridionali le giaciture sono generalmente immergenti verso S di  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  e  $30^\circ$  mentre nel versante rivolto a NW anche le giaciture si accordano con tale orientazione, inclinate di  $5^\circ - 10^\circ$ .

Analogamente per le unità mesozoiche (Dolomie, Frido - Crete Nere e AVS) le giaciture sono rivolte prevalentemente verso occidente, come pure nel versante in destra Eiano, sia quelle delle masse carbonatiche che delle AVS immergono verso SE, W (oltre  $30^\circ$  per le unità carbonatiche), mentre per le AVS oltre  $50^\circ$  verso S ed E, ad es. nella C.da Fiego e nel V. ne Salina. Queste ultime giaciture confermano ancora una volta la provenienza dai quadranti occidentali delle masse carbonatiche e la loro disposizione (giacitura) di risalita ("impennata") verso Est e, per le AVS il loro "scivolare" verso E e S lungo la scarpata di rottura formatasi dall' "impennata", provenendo dalle parti più elevate del movimento di "espulsione" (Fig. 17 Sez. A). A tal proposito è significativa la notevole deformazione morfologica delle località Fiego e Buggetta e V.ne dei Morti (Figg. 12, 13 e 18), osservabile dalle numerose ed irregolari crenulazioni delle curve di livello; è come se le AVS fossero colate ("travasate") verso Sud dalla sommità delle Cont. de Salituri e Iotte assieme alle soprastanti formazioni dei Conglomerati sabbiosi, delle Argille grigio-azzurre, delle Sabbie grossolane, tutti del Calabriano e del tardo - Pleistocene, nonché delle Sabbie fini ocracee dell'Interglaciale, dando l'impressione (errata!) che questi ultimi depositi neogenico - pleistocenici (peraltro di modesto spessore in quella zona), siano trasgressivi sulle sottostanti AVS lì dove affiorano.

Mentre essi, si ribadisce, sono "crollati", "franati" sulla scarpata dell' "impennata" che si formava nell'espulsione e nello "squarcio" conseguente (Figg. 18 e 20), il che, sotto l'aspetto applicativo ha notevole importanza ad es. per quanto riguarda i valori di resistenza meccanica di quei terreni. È, infatti, intuitivo che tali depositi non presenteranno i caratteri delle resistenze di picco, bensì quelli molto prossimi ai valori residui. Pertanto, in particolare l'edificato di Cassano J. a seguito dell'espansione edilizia mostrerà qualche serio problema, specialmente in condizioni sismiche e non solo (Fig. 21).

Per quanto riguarda la datazione molto recente ("freschezza") della cinematica ("squarcio"), va sottolineata l'assenza di coni di deiezione alla base dei due versanti dell'Eiano, ove, ad un primo esame, sembrerebbero es-

Figura 22 - a) La parte orientale della DGPV di Lauropoli, "scivolando" verso ESE dal M.te Spirito Santo, sposta il T. Ragnanello verso la sua sinistra, deformandone il tracciato e restringendone l'alveo (freccia); ciò comporta accentuate erosioni dei terreni conglomeratico - sabbiosi dei fan delta e del terrazzo fluviale recentissimo sul lato sinistro, in territorio di Francavilla Marittima. b) Principali epicentri sismici della zona in esame. Sorprende notarne soltanto qualcuno di modesta magnitudo, molto esaltato per motivi di leggibilità, se confrontati con quelli di altre aree più a N della immagine c).



Figura 23 - Terreni rossi interglacial, in lento scorrimento verso sud e verso nord (freccie), campionati per le analisi diffrattometriche.

Tassi di erosione in cm/anno						
Spessore eroso (m)	<b>200</b>					
durata (anni)	75000	100.000	150000	200.000	300000	400.000
erosione (cm/anno)	0,267	0,200	0,133	0,100	0,067	0,050
Spessore eroso (m)	<b>250</b>					
durata (anni)	75000	75000	75000	75000	75000	75000
erosione (cm/anno)	0,333	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267
Spessore eroso (m)	<b>300</b>					
durata (anni)	75000	100.000	150000	200.000	300000	400.000
erosione (cm/anno)	0,400	0,300	0,200	0,150	0,100	0,075
Spessore eroso (m)	<b>400</b>					
durata (anni)	75000	100.000	150000	200.000	300000	400.000
erosione (cm/anno)	0,533	0,400	0,267	0,200	0,133	0,100
Spessore eroso (m)	<b>500</b>					
durata (anni)	75000	100.000	150000	200.000	300000	400.000
erosione (cm/anno)	0,667	0,500	0,333	0,250	0,167	0,125

Tabella 1 - Possibili tassi di erosione a partire dal Mindel-Riss e oltre, poi dal Riss-Würm, per diversi spessori di materiali non lapidei.

	Valore Medio	Errore standard	Deviazione Standard
Argilla (%)	19	±4.08	±10.8
Sabbia tot. (%)	59	±7.52	±19.9
pH (H <sub>2</sub> O)	7.93	±0.08	±0.22
Effervescenza	3	±0.28	±0.75
S.O. (%)	1.73	±0.17	±0.46
Conducibilità (mS/cm)	0.24	±0.064	±0.17

Tabella 2 - Risultati delle analisi granulometriche e chimiche di due campioni provenienti dall'area di Tre Piani (Lauropoli) e di Cassano.

servi condizioni di forte erosione (V. ne S. Nicola e F. so Giostratico, rispettivamente in sinistra e destra dell'Eiano), nonché al suo sbocco nella zona di Doria, ai piedi del rilievo in esame presso la Piana del Coscile - Crati (Figg. 6 e 13).

## 6. ANALISI MINERALOGICHE DEI DEPOSITI ROSASTRI DELL'INTERGLACIALE

Nella grande deformazione vengono coinvolti, oltre le unità calcareo dolomitiche triassico - giurassiche, del Frido, delle AVS ed i terreni marini e continentali Plio-Pleistocenici, anche suoli continentali rossi di epoca Interglaciale Riss - Würm (Heilmann, 1972; Guerricchio & Melidoro, 1975), (Figg. 2, 4, 5, 6, 7, 9, 16, 19 e 23), appartenenti a MIS5 tipici di 110.000-130.000 anni fa o Mindel - Riss ? (200.000 - 400.000) a dimostrazione, comunque, dell'età molto recente dei fenomeni di tettonica gravitativa di quell'area al confine Calabro - Lucano.

A tal proposito l'Heilmann perviene alla conclusione che essi hanno avuto una genesi policiclica avvenuta in tre fasi pedogenetiche connesse con le variazioni delle condizioni ambientali. La prima fase, la più antica, si sarebbe verificata nel periodo interglaciale Riss - Würm; la secon-

da si sarebbe estesa al periodo olocenico più umido; la terza potrebbe essere cominciata con la distruzione delle foreste in tempi storici. Verrebbe, però, da ritenere che l'ossidazione di quei terreni sia iniziata in un interglaciale ancora più antico, ad es. nel Mindel - Riss, facendo fatica ad interpretare i fenomeni di erosione della valle del T. Raganello in un tempo apparentemente troppo breve. Esso, infatti, erode trasversalmente la zona frontale di una piega rovesciata composta dai conglomerati di fan delta e dai terreni rossi continentali per cui non sarebbero stati, forse, sufficienti gli anni dall'Interglaciale Riss - Würm ad approfondire la sua valle. Ad ogni buon fine, si acclude una semplice tabella sui possibili tassi di erosione, supponendo spessori da erodere fino a 250 m, valutando sia un'erosione nel Riss - Würm, che per comodità si è limitato a 100.000 anni, sia quella nel Mindel - Riss pari a 400.000 e 200.000 anni (Tab. 1). In ogni caso sono risultati valori alquanto bassi anche per l'intervallo Riss - Würm, per cui anche il tempo posteriore a tale interglaciale potrebbe essere stato sufficiente da parte del Raganello a erodere la sua valle attuale (Tab. 1).

Infine, dalla Carta dei suoli della Regione Calabria, per l'area di interesse si riporta quanto segue: "I suoli dell'unità si caratterizzano, nel loro complesso, per l'evidente alterazione biochimica confermata dalle colorazioni bruno-rossastre riconducibili all'insolubilizzazione degli ossidi ed idrossidi di ferro. La successione degli orizzonti è il risultato di un processo intenso di lisciviazione dell'argilla con differenziazione di un orizzonte di accumulo dell'argilla stessa. Lo scheletro è generalmente comune (< del 15%) negli orizzonti superficiali, mentre aumenta negli orizzonti profondi".

La capacità di ritenuta idrica è elevata ed il drenaggio è buono. La stabilità delle superfici ha determinato le

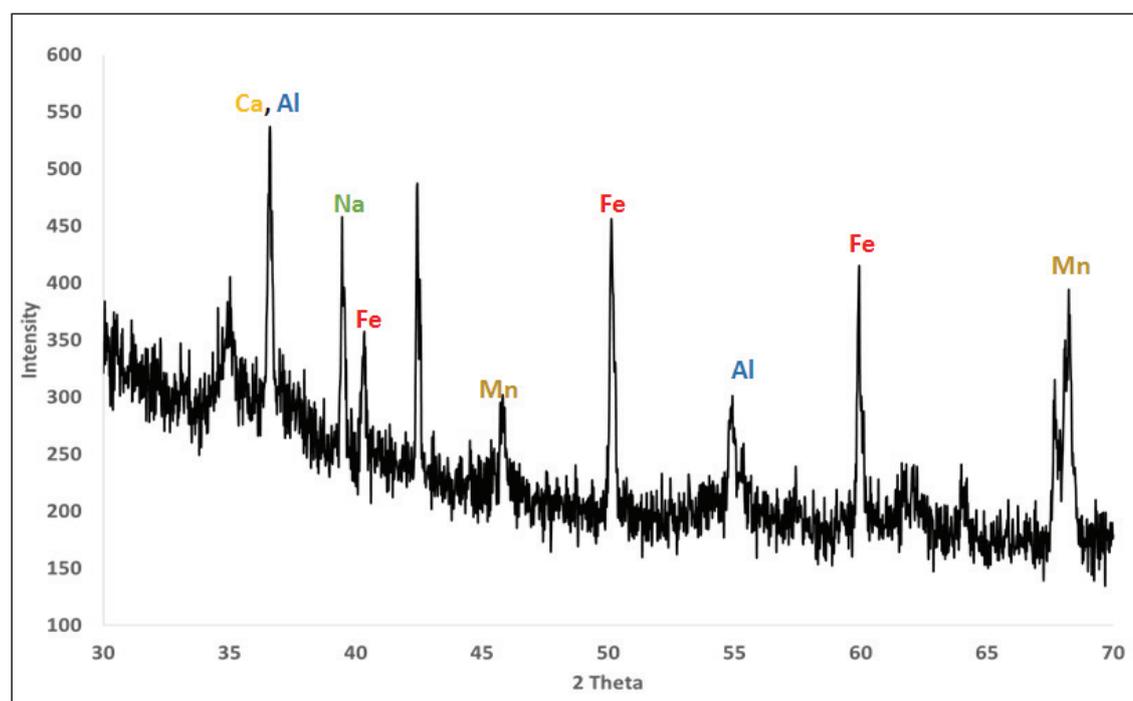


Figura 24 - Diffratogramma riassuntivo di campioni di terreni rossi dell'Interglaciale Riss - Würm (?) coinvolti nei fenomeni tettonico - gravitativi della zona di Cassano J. e di Lauropoli. I picchi dei vari ossidi che li costituiscono sono relativi alla Magnetite, Ilmenite, Ematite, Limonite, ecc.

condizioni per la lisciviazione più o meno completa dei carbonati. Questi ultimi, presenti nel substrato pedogenetico (parent material), localmente lo sono anche negli orizzonti superficiali a causa del rimaneggiamento operato dall'idrografia superficiale.

Allo spettrometro di massa sono stati analizzati n° due campioni (Tab. 2) provenienti dall'area di Tre Piani (Lauropoli) e di Cassano (Fig. 22). I risultati sono riassunti nel diffrattogramma di Fig. 24 che riporta i vari ossidi di ferro, alluminio e Mn costituenti i minerali prevalenti, insieme al quarzo, dei terreni rossi della zona studiata.

## 7. CONCLUSIONI

L'area di Cassano - Lauropoli, indagata in passato da vari Autori, è il prodotto di estese deformazioni tettonico - gravitative, inizialmente individuate nel solo fianco orientale del gruppo del M.te Caramolo in territorio di Saracena, oggi percorse dal F. Garga e dai torrenti Tiro e Fiumicello. Queste, per compressione da WNW verso ESE ed E, avrebbero formato una piega rovesciata con vergenza verso E, qui chiamata "espulsione" del "M.te di Cassano J." (o di "C.da Iotte"), che nel suo piano assiale si "squarcia" originando la Valle del F. Eiano e la DGPV di Lauropoli.

Tuttavia, ad un esame più approfondito, per spiegare i fenomeni di "spremitura" ed "espulsione" affrontati, è sembrato più ragionevole individuare i carichi e le spinte verso N, NE ed E da parte di tutta la struttura del gruppo del M.te Caramolo, a partire dalle faglie distensive decorrenti da E S E a W lungo i bacini fluviali dei fiumi Tiro e Argentino. Nell'"espulsione" ha origine, poi, per "sfondamento" o "punzonamento" il rilievo in Dolomie e Argille Varicolori Scagliose, ecc. di C.da Iotte, che, nel suo iniziale movimento verso ESE ed E si "impenna", "squarciandosi", appunto, e "scaricando", "travasando" parte dei depositi Calabrian - Pleistocenici e quelli dell'Interglaciale Riss - Würm (o Mindel - Riss ?) che li ricoprivano sia verso valle (ESE e in parte E, cioè verso l'area dell'attuale T. Raganello e verso S, cioè verso il Coscile - Crati) che verso monte (WNW e W, cioè Castrovillari e il F. Coscile).

Lo "squarcio" rappresenta, poi, la rottura principale del corpo della DGPV di Lauropoli (oggi percorso dal F. Eiano), ad impronta triangolare, che viene moderatamente traslata verso S, SE ed ESE.

Con tale dinamica, la parte terminale del T. Raganello, che doveva proseguire la direzione mantenuta nella gola sottostante l'abitato di Civita, cioè ca. NS, subito dopo l'uscita dalla gola stessa viene deviata in senso antiorario di ca. 50° (cioè verso E) dall'esteso corpo della "espulsione - piega - DGPV di Lauropoli". Tale ostacolo gli fa assumere l'attuale direzione da WNW a ESE, divenendo quindi fiume con foce propria, mentre in precedenza doveva essere un tributario di sinistra del Coscile - Crati.

I corpi dell'"espulsione" e della DGPV, a causa delle spinte tangenziali ancora perduranti, nonché della presenza a non grande profondità delle AVS, Frido e Argille

grigio - azzurre, sono sottoposti a fenomeni gravitativi verso l'antica depressione del Coscile - Crati e del tratto del neo - Raganello, subendo deformazioni in grande definibili "plastico - gravitative". Queste creano delle ondulazioni multiple, con formazioni di ripiani, rigonfiamenti, contropendenze e scarpate tipiche delle rotture per frana. Nella grande deformazione vengono coinvolti, oltre la citata unità delle AVS ed i terreni marini e continentali (fan delta) Calabrian e tardo Pleistocenici, anche i depositi continentali di terre rosse di epoca Interglaciale Riss - Würm (?), (terreni rossi MIS5 tipici di 110.000 - 130.000 anni fa), o Mindel - Riss (?) (200.000 - 400.000 anni fa), a dimostrazione dell'età comunque molto recente dei fenomeni tettonici e gravitativi insieme di quell'area molto significativa al confine Calabro - Lucano. All'interno dello "squarcio" si "scaricano" vari corpi di frane s.s., fra cui la principale è quella delle rocce dolomitiche del Trias (su cui poggia la parte più antica dell'abitato di Cassano J.), (Figg. 12 e 18) dei terreni argillosi e conglomeratico - sabbiosi calabrian e tardo pleistocenici (su cui si estende la parte recente dello stesso) e delle AVS; tale grande frana, con direzione W-E, perviene fin nell'alveo del F. Eiano, deviandolo vistosamente verso il versante opposto come mostra l'ampia curvatura del suo corso.

È intuitivo che riportando le masse nella condizione pre - DGPV facendo ruotare in senso orario non solo il corpo triangolare ora visto ma anche il resto del rilievo Iotte che si è densamente fratturato radialmente, allentandosi anche verso E, il Raganello doveva essere, infatti, un tributario di sinistra del F. Coscile - Crati, con il collegamento che poteva ubicarsi tra l'abitato di Doria e la località Tre Ponti odierne. In modo analogo per il F. Eiano, che prima dell'espulsione del "M.te di Cassano J." doveva avere un percorso molto diverso dall'attuale, essendo anch'esso un tributario di sinistra del Coscile - Crati o al più un tributario di destra del T. Raganello.

Dai risultati geologico - geomorfologici del lavoro risulta quanto mai importante la comprensione dei fenomeni tettonico - gravitativi e gravitativi in un territorio come quello calabrese, ove questi costituiscono i motivi geomorfologici fondamentali, specialmente quelli in A V S o similari. Detti fenomeni devono essere attentamente considerati sia per gli aspetti di una corretta cartografia, sia, soprattutto, per le valutazioni della loro influenza nei riguardi delle prossime risposte sismiche.

Risulterebbe, quindi, particolarmente utile seguire con misure interferometriche SAR satellitari le evoluzioni dei movimenti, adatti sia alla migliore validazione del modello proposto che per monitorare puntualmente i rischi da frane s.s. Per l'aspetto sismico bisognerebbe adottare, infine, nuove prescrizioni per le costruzioni future ed un possibile adeguamento, almeno per le più importanti già esistenti, tenendo presente, però, che sono sempre le strutture geologico - geomorfologiche (grandi frane in particolare) a controllare le risposte sismiche locali, certamente esaltandole.

## BIBLIOGRAFIA

AMODIO MORELLI L., BONARDI C., COLONNA V., DIETRICH D., GIUNTA G., IPPOLITO F., LIGUORI S., LORENZONI S., PAGLIONICO A., PERRONE V., PICARRETA C., RUSSO M., SCANDONE P., ZANETTIN-LORENZONI & ZUPPETTA A. (1976) - *L'arco Calabro - Peloritano nell'Orogene Appenninico - Maghrebide*. Mem. Soc. Geol. It., 17, 1-60, Roma.

BOUSQUET J.C. (1973) - *La tectonique récente de l'Appennin calabro - lucanien dans son cadre géologique et géophysique*. Geologica Romana, XII, 1-103, 7 tav. f.t., Roma.

BURTON A.N. (1971) - *Carta Geologica della Calabria 1: 25.000. Relazione Generale*, CASMEZ Servizio Bonifiche, 120 pp., Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (Napoli).

CARTA GEOLOGICA DELLA CALABRIA (1969) - *Fogli 221: Francavilla M. ma, Castrovillari, Saracena, Spezzano Albanese*. Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (Napoli).

CARTA DEI SUOLI REGIONE CALABRIA  
<http://93.51.147.138:900/intro/carta--dei-suoli.html>  
<http://93.51.147.138:900/Catsuoli250k/COMUNISUOLI/Comuni-Suoli-CS.htm>

COLELLA A. (1988) - *International Workshop on Fan Deltas - Excursion Guidebook - Calabria, Italy*. Edited by A. Colella - Grafica Cosentina - Cosenza,

COLTORTI M. & PIERUCCINI P. (2006) - *The Last Interglacial pedocomplexes in the litho- and morpho-stratigraphical framework of the central-northern Apennines*. Quaternary International, 156-157, 118-132.

GUERRICCHIO A. (1975) - *Fenomeni gravitativi profondi e struttura geologica nei Monti di Fagnano Castello (Calabria Settentrionale)*. Geol. Appl. e Idrogeol., XX, I, pp. 64- 98, Bari, Italy.

GUERRICCHIO A. & MELIDORO G. (1975) - *Ricerche di Geologia Applicata all'Archeologia dell'antica città di Sibari sepolta*. Geol. Appl. e Idrogeol., X, parte I, 107-128 + 1 Tav., Bari, Italy.

GUERRICCHIO A. & MELIDORO G. (1981) - *Movimenti di massa pseudo - tettonici nell'Appennino dell'Italia meridionale*. Geol. Appl. e Idrogeol., XVI, pp. 251- 284, Bari, Italy.

GUERRICCHIO A. (1990) - *Cause tettoniche nelle deviazioni dei fiumi adriatici*. Atti XXII Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche, 1-19. Ed. Bios, Cosenza, Italy.

GUERRICCHIO A. & MELIDORO G. (1996) - *Morfostrutture di grandi scendimenti gravitativi nella fascia costiera tirrenica comprendente la Valle di Maratea*. Geol. Appl. e Idrogeol., XXXI, pp. 325 - 336, Bari, Italy.

GUERRICCHIO A. & RONCONI M. L. (1997) - *The geomorphyc modifications produced by the 1783 Calabrian Earthquake on the coastal slope of San Lucido (Tyrrhenian Calabria)*. Geol. Appl. e Idrogeol., XXXII, 99 - 120, Bari, Italy.

GUERRICCHIO A. (2000) - *La fragilità del territorio dell'Italia Centro Meridionale desumibile da immagini da satellite*. Atti X Congr. Naz. Geologi, International Conference, 2, 443-482, Roma.

GUERRICCHIO A. & SPILOTRO G. (2001) - *Studio Geotecnico, della Franosità, Idrogeologico e della Vulnerabilità Idrogeologica del Territorio del Parco Nazionale del Pollino*. Elaborazione degli strumenti di pianificazione e regolamentazione del Parco. (studio inedito per conto dell'ITALECO SpA - Roma)

GUERRICCHIO A. (2005) - *Tectonics, deep seated slope deformations (DSGSDs) and large landslides in the Calabria Region (Southern Italy)*. Giornale di Geologia Applicata, I, 73-90, Firenze.

GUERRICCHIO A. (2010) - *Deformazioni gravitative profonde e grandi frane nella Maiella (Abruzzo)*. Collana di "Difesa del Suolo e Pianificazione Territoriale", 38 pp., Nuova Editoriale Bios, Cosenza.

GUERRICCHIO A. (2014) - *Pattern dei reticoli idrografici e riconoscimento di alcuni grandi scendimenti tettonico - gravitativi dei versanti occidentali della Sila, delle Serre, del Bacino Crotonese e del M.te Bulgheria*. 35° Tecn. Per la Difesa dall' Inquin., 323 - 345, Guardia Pse Terme (Cosenza), Italy.

GUERRICCHIO A. (2015) - *Frane ciclopiche e DGPV nella fascia costiera calabrese tra la Piana di Gioia Tauro e Punta Pezzo, interessata dal Ponte dello Stretto di Messina*. Tecniche per la Difesa dall'Inquinamento, 36°, 321-354, EdiBios, Guardia Pse Terme, Cosenza, Italy.

GUERRICCHIO A. (2015) - *Il Bacino Crotonese: un esempio di grande scendimento gravitativo innescato dal "crickogeno" silano*. Geologia dell'Ambiente 1/2015, pp. 33-47, Roma.

GUERRICCHIO A. & SIMEONE V. (2016) - *La grande deformazione territoriale profonda della Sila Nord-occidentale, con sbarramento del fiume Crati, spostamenti ed "effetti leva" nei terreni della Piana di Sibari, condizionata anche dalla tettonica trascorrente del Pollino*. Geologia Tecnica & Ambientale, 2/3, 16, pp. 35 - 54, Roma.

HEILMANN P. G. (1972) - *On the Formation of Red Soils in the Lower Crati Basin (South Italy)*. Publ. of the Int. Soil Museum, Utrecht (The Netherlands).

MELIDORO G. (1966) - *Scorrimenti gravitativi quaternari di argille scagliose ofiolitifere e frane indotte nei depositi pleistocenici dei dintorni di Cassano allo Jonio*. Geol. Appl. e Idrogeol., 1, 87-91, 1 tav.

OGNIBEN L. (1969) - *Schema introduttivo alla geologia del confine calabro - lucano*. Mem. Soc. Geol. It., VIII, 4, 453-763, Pisa.

OGNIBEN L. (1973) - *Schema geologico della Calabria in base ai dati odierni*. Geologica Romana, XII, 243 - 585, Roma.

VEZZANI L. (1968) - *I terreni plio-pleistocenici del Baso Crati (Cosenza)*. Atti Acc. Gioenia Sc. Natur. Catania, S. 6, 20, 28-84, 2 fig., 6 tav.

## RINGRAZIAMENTI

L'autore ringrazia vivamente l'Ing. Matteo Stancato, l'Ing. Luigi Pugliese, il Responsabile del Lab. di Pianificazione Territoriale Francesco Di Mauro dell'UNICAL per i preziosi aiuti al computer e al

CAD. Ringrazio altresì i colleghi Prof. Ing. Vincenzo Simeone e Prof. Ing. Angelo Doglioni del POLIBA per le utili discussioni e le immagini DEM fornitemi.

Ringrazio infine il Prof. Ing. Alfredo Aloise del Dipartimento di Ingegneria Chimica dell'UNICAL per le analisi allo spettrometro di massa.

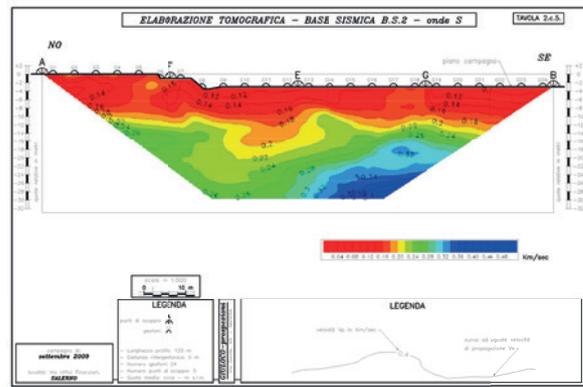
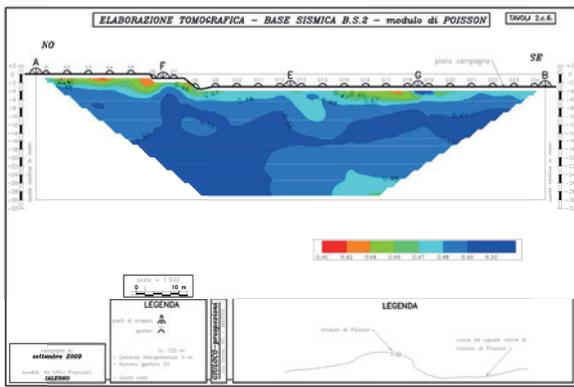


### **In ricordo di Francesco Guerricchio**

*Siamo molto vicini al Prof. Geol. Alessandro Guerricchio per la dolorosa perdita del figlio Francesco.*

*Avvocato e prezioso funzionario del Politecnico di Bari ha svolto il suo ruolo con meticolosa professionalità e apprezzatissima applicazione motivo per il quale è amplificata fortemente la percezione della sua assenza.*

*I colleghi geologi pugliesi si stringono in un abbraccio solidale e affettuoso al caro Alessandro Guerricchio e alla sua famiglia.*



## GIULOCO-prospezioni s.a.s. del Dott. Geol. Giuseppe Locorotolo

[iscritta al Registro delle Imprese di Matera R.E.A. n. 84248] P. IVA IT 01249760776

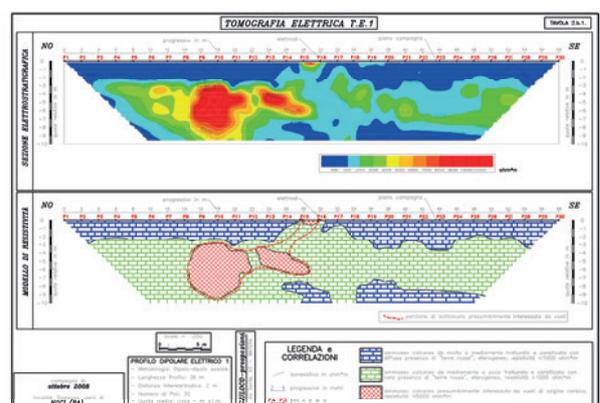
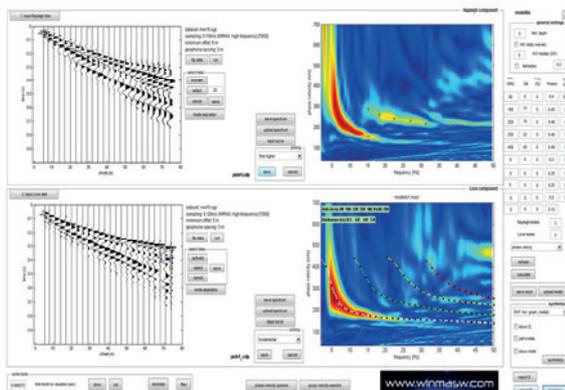
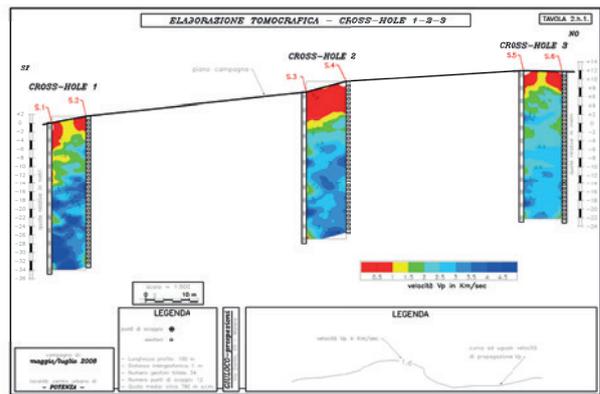
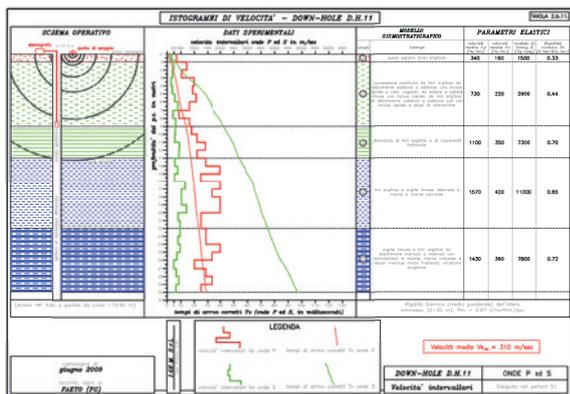
Sede: via De Sariiis, 14 75100 Matera Tel. & Fax 0835.264522 Cell. 335.6204363

Indirizzo e-mail: [glocorotolo@teletu.it](mailto:glocorotolo@teletu.it) indirizzo WEB: <http://home.teletu.it/giuloco>

La GIULOCO-prospezioni opera nel settore delle indagini geognostiche con specializzazione nel campo della Geofisica Applicata da oltre 25 anni. Eseguce interventi di supporto per studi geologico-tecnici inerenti tematiche ambientali, ingegneristiche, idrogeologiche finalizzate alla ricostruzione di sequenze stratigrafiche, individuazione di corpi sepolti, caratterizzazione geodinamica dei litotipi, individuazione di livelli acquiferi.

Operando in diverse regioni viene a contatto con contesti geologici differenti, accrescendo continuamente la propria esperienza applicativa potendo fornire così valide indicazioni geognostiche su un'ampia gamma di terreni. Le metodologie geofisiche applicate sono quelle della geosismica e della geoelettrica, con le seguenti tipologie d'indagine:

- Prospezione geosismica a rifrazione di superficie in onde P e S, con calcolo dei moduli dinamici e  $V_{seq}$ - $V_{s30}$  e con elaborazione tomografica delle sezioni sismostratigrafiche (BASE SISMICA); software utilizzati IXRefrax v. 1.21 della Interpex Limited e Rayfract v. 3.32 della Intelligent Resources Inc.;
- Prospezione geosismica in foro in onde P e S, con calcolo dei moduli dinamici e  $V_{s30}$  (DOWN-HOLE e CROSS-HOLE), sia con tiri diretti che con elaborazione tomografica); software utilizzato IXRefrax v. 1.21 della Interpex Limited e Rayfract v. 3.32 della Intelligent Resources Inc.;
- Prospezione geosismica di superficie attiva in onde di Rayleigh, sia in componente verticale che radiale, e in onde di Love, con analisi congiunta, con calcolo di  $V_{s30}$  (MASW); software utilizzato winMASW Academy 7.1 della EliaSoft;
- Prospezione geosismica di superficie passiva, con metodologia REMI, ESAC e HVSr, anche in analisi congiunta con acquisizioni tipo MASW; software utilizzato winMASW Academy 7.1 della EliaSoft;
- Prospezione geoelettrica di resistività con metodologia Schlumberger o Wenner (SONDAGGIO ELETTRICO VERTICALE); - prospezione geoelettrica di resistività e di caricabilità (polarizzazione indotta) 2D e 3D con metodologia Dipolo-Dipolo Assiale, Schlumberger, Wenner, Wenner-Schlumberger, Polo-Polo, Polo-Dipolo con elaborazione tomografica (PROFILO di RESISTIVITÀ); software utilizzato EarthImager 2D/3D della AGI;
- Prospezione georadar GPR; eseguita con sistema radar Ris MF Hi-Mod I prodotto dalla I.D.S. - Ingegneria dei Sistemi S.p.A., con software di elaborazione GRED 3D;





**TRIVELSONDA S.r.l.**

# GEOPROVE S.R.L.

LABORATORIO MATERIALI DA COSTRUZIONE • LABORATORIO TERRE E ROCCE  
INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE



Autorizzazione ministeriale ad effettuare e certificare prove su materiali da costruzione DM 275 del 12 giugno 2018.

Autorizzazione ministeriale ad effettuare e certificare prove su terre, rocce e prove in sito DM 278 del 14 giugno 2018.

