

CONTRIBUTO SUGLI ASPETTI GEOLOGICI E VULCANOLOGICI DI MONTE DI VEZZI (ISOLA D'ISCHIA) PER LO STUDIO DEGLI EVENTI FRANOSI DELL'APRILE 2006

CONTRIBUTION ON GEOLOGICAL AND VOLCANOLOGICAL ASPECTS OF MONTE DI VEZZI (ISCHIA ISLAND, ITALY) TO STUDY THE LANDSLIDE EVENTS OF APRIL 2006

SILVIO DI NOCERA^(*), FABIO MATANO^(*), GIUSEPPE ROLANDI^(*) & ROBERTO ROLANDI^(*)

^(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi "Federico II", Largo S. Marcellino 10, 80138 Napoli, rolandi@unina.it

RIASSUNTO

L'attività vulcanica dell'Isola d'Ischia si articola cronologicamente in 5 fasi, che coprono un intervallo compreso tra 150 ka e l'epoca storica. L'evoluzione del vulcanismo in questo arco temporale è accompagnata da una serie di eventi vulcano-tettonici, riconducibili alle seguenti fasi: a) sollevamento dell'horst dell'Epomeo, b) individuazione degli alti strutturali di Monte Vico, Panza (ad ovest), Monte di Vezzi, Monte Torone, Monte Campagnano (ad est), c) formazione del graben ischitano nel settore orientale dell'isola. Il Monte di Vezzi rientra nella 2ª fase del vulcanismo ischitano (150 ka-75ka), ed è stato interpretato da vari autori come un duomo lavico. Nella presente nota il Monte di Vezzi viene definito come una morfologia vulcanica complessa, costruitasi, in un primo momento, con il contributo di una attività di tipo stromboliano, che evolve, a sua volta, ad una attività di fontane laviche, con produzione di un banco di *lava spatters*, culminante, infine, con la messa in posto di un "dome flow" massivo, in cui sono presenti lineazioni da flusso. Successivamente alla deposizione, il corpo lavico viene interessato da una fatturazione da stress termico durante il raffreddamento, sebbene i risultati dell'analisi mesostrutturale evidenzino anche un contributo alla fatturazione da parte dei movimenti tettonici controllati dal campo di stress regionale. Il modello vulcanologico localizzato nell'area di Monte di Vezzi ha consentito di individuare i principali fattori geologici che possono aver contribuito a creare sul versante condizioni favorevoli alla instabilità, quali: 1) la presenza di materiali con competenza differente lungo il contatto lave - scorie agglutinate, 2) l'elevato grado di fratturazione delle lave sommitali del duomo, 3) la presenza di un gradino morfologico ampio circa 6 m in corrispondenza del contatto *lava spatters* - duomo, legato al maggiore arretramento del tratto di pendio sommitale nelle lave fratturate del duomo, 4) l'accumulo di maggiori spessori (fino a circa 5 m) di coperture piroclastiche recenti sciolte, sia in posizione primaria che ridepositate, lungo tale gradino, 5) la presenza nella parte inferiore del pendio di strati scoriacei a frana-poggio (inclinazione 25-30°) con scarso spessore delle coperture piroclastiche. I fenomeni franosi attivatisi sul versante settentrionale del Monte VeZZi, non presentano le caratteristiche tipologiche e cinematiche

ABSTRACT

Volcanic activity at Ischia Island encompasses five phases, aged between 150 ky B.P. and 1302 A.D. Different stages of volcanic activity implied different volcano-tectonic events, summarized as follows: a) Epomeo horst resurgence, b) built of the structural highs of Mt. Vico, Mt. Panza (at west), Mt. di VeZZi, Mt. Torone, Mt. Campagnano (at east), c) Ischia graben development in the eastern sector of the island. According to several authors Mt. di VeZZi, constructed in the second phase of activity (150 ky-75ky), is a lava dome. In this paper we define it as a complex volcanic morphology, firstly built by strombolian activity passing to a lava fountaining phase. This produced a spatter lava bank and culminated with the emplacement of a massive "dome flow", which shows fluidal bending structure. After the deposition and during cooling the lava body experienced thermally induced stress joints, notwithstanding that the results of mesostructural analysis indicate that tectonic movements related to the regional stress field contributed to joints development.

The geological model of the Mt. di VeZZi area made it possible to identify the following main geological factors that concurred to cause the instability of the slope:

- the different mechanical behavior of terrains along the boundary lava-welded scoria deposits;
- the diffuse presence of joints in the upper lava deposits;
- the presence of a 6 m wide morphological step at the previously quoted boundary, due to the withdraw of the upper part of the slope where the fractured lavas crop-out;
- the piling up along this step of thick loose recent pyroclastic products (up to 5 m of thickness) both primary and reworked;
- the presence in the intermediate part of the slope of scoriaceous layers 25-30° northward dipping.

The landslides occurred on the northern Mt. di VeZZi slope, and shows geomorphological characteristics and mechanical behavior other than those of the landslides typical of the island. Because of this, further studies are needed on the slope evolution at Ischia island, mainly at Mt. di VeZZi, where a residual risk still exists both in the sites of May 2006 landslides as well as in the nearby areas showing similar geological features.

* lo studio e la pubblicazione sono stati effettuati con fondi del Dipartimento di Scienze della Terra, per le elaborazioni cartografiche sono state utilizzate le attrezzature del laboratorio CUGRI presso il DST di Napoli; nella nota è compreso un contributo sull'analisi della fratturazione di Luigi Ferranti e Stefano Mazzoli

che più frequenti del contesto geo-vulcanologico dell'isola; questo aspetto della franosità isolana necessita pertanto di un ulteriore maggior approfondimento degli studi, in particolare nell'area di Monte di Vezzi, dove esiste ancora oggi, oltre ad un rischio residuo nelle aree interessate dai fenomeni franosi nell'Aprile 2006, anche un rischio da frana in zone adiacenti, morfologicamente e geologicamente simili.

TERMINI CHIAVE: *evoluzione vulcanologica, coperture sciolte, frana, Monte di Vezzi, Ischia*

INTRODUZIONE

Il RITTMANN, nei suoi fondamentali studi sulla geologia dell'Isola d'Ischia (RITTMANN, 1930; 1948; RITTMANN & GOTTINI, 1980), considera il Monte di Vezzi costituito da lava massiccia, associata ad una serie di cupole di ristagno che si snodano sul versante sud-orientale dell'isola, che sono a loro volta sepolte sotto una coltre di depositi piroclastici delle attività esplosive più recenti. La cupola lavica di Monte di Vezzi, in particolare, affiora sul versante settentrionale ed occidentale, per circa 30 m. Cupole laviche di minori dimensioni associate all'attività del Monte di Vezzi si individuano sul versante nord-occidentale, alle quote di 230 e 190 m s.l.m.. Quest'ultima, affiorante in località Pietra Marina, mostra gli stessi caratteri chimico-petrografici della cupola del Monte di Vezzi. RITTMANN ritiene, inoltre, che un grosso deposito di scorie agglutinate presente a sud, si ricollegli solo apparentemente alla struttura del Monte di Vezzi, risultando appartenere, in realtà, ad un vulcano più antico. Secondo lo stesso autore, infine, il centro eruttivo di Monte di Vezzi, ha avuto una fase esplosiva più recente (fase esplosiva di Monte di Vezzi), i cui prodotti sono presenti con grossi spessori a sud e ad est del rilievo, sovrapposti alla cupola.

VEZZOLI (1988) inquadra il Monte di Vezzi come un domo lavico formatosi nella seconda fase di attività del vulcanismo ischitano, avente uno spessore di 150 m, che poggia su formazioni più antiche (formazioni della Scarrupata di Barano) e del tutto ricoperto da formazioni piroclastiche più recenti della 3^a e 4^a fase di attività vulcanica dell'Isola d'Ischia. Le piccole cupole laviche del versante nord-occidentale non vengono associate all'attività del Monte di Vezzi, essendo considerate più antiche.

Nel presente lavoro vengono discussi i risultati di un rilevamento geologico di dettaglio e di uno studio vulcanologico, corredati da alcune analisi strutturali, eseguiti nell'area del Monte di Vezzi, che portano a definire una sequenza stratigrafica dei prodotti vulcanici in parte diversa rispetto a quelle presenti in letteratura e consentono di definire in maniera più coerente l'evoluzione dei processi vulcanologici e vulcanotettonici che hanno portato alla formazione della struttura del Monte di Vezzi, nonché la distribuzione dei depositi di copertura e la morfologia vulcanica nel cui ambito si sono originati i dissesti di fine aprile 2006.

Nell'ambito del contesto descritto è stata successivamente compiuta un'indagine sulle componenti fisiche dell'area di Monte di Vezzi rivolta, in particolare, ai principali elementi litologici, stratigrafici e strutturali riconoscibili sul terreno e mediante l'ausilio di foto aeree.

KEY WORDS: *volcanological evolution, loose covers, landslide, Monte di Vezzi, Ischia*

INTRODUCTION

According to the volcanological studies of Rittmann about Ischia island (RITTMANN, 1930; 1948; RITTMANN & GOTTINI, 1980), Mt. di Vezzi is a massive lava dome joined to several dome structures cropping out in the South Western sectors of the island, buried by pyroclastic deposits of recent explosive activity. In the Mt. di Vezzi area, Rittmann considers the two little lava domes cropping out at NW, at 230 and 190 m a.s.l. as belonging to the same eruptive period, whereas a large spatter lava deposit cropping out at the Southern margin is considered the product of an ancient volcanic activity not associated to the Mt. di Vezzi. In this area the very thick pyroclastic sequence overlapping this spatter lava deposit represents a late explosive phase of this eruptive center.

VEZZOLI (1988) confirms the presence of the lava dome structure formed during the second phase of Ischia volcanic cycle, estimating a thickness of 150 m for the whole structure. The Mt. di Vezzi dome overlaps the products of the Scarrupata di Barano, and is buried by the pyroclastic products of the recent explosive activity. According to this author, the NW little dome structures belong to the ancient Scarrupata activity.

In this work results of a detailed geological survey with some structural analyses and a volcanological study in the Mt di Vezzi area are presented, which define a different stratigraphic sequence of the volcanic units, getting new light about the sequence of the volcanic and volcanotectonic events that gave rise to the Mt. di Vezzi structure. Main purpose of this work is to define the volcanic morphology and the distribution of cover deposits playing the role of sliding surface for the April 2006 landslide. The results of the analysis of morphostructural elements performed in the field and by aerial photo have been represented on the geolithologic and loose pyroclastic cover thickness maps, which represent basic elements for the slope stability analysis in the Mt. di Vezzi area.

Tali elementi sono stati rappresentati in una Carta Geologica ed in una Carta delle Coperture, elementi fondamentali per l'elaborazione di un'analisi razionale dei singoli fattori ambientali, finalizzata alla comprensione delle problematiche sulla stabilità dei versanti nell'area di Monte di Vezzi.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO DELLA ZONA VULCANICA CAMPANA (CVZ)

La catena sud-appenninica rientra nel sistema orogenico peri-mediterraneo appenninico-magrebide e si presenta caratterizzata da una complessa evoluzione cinematica quaternaria, strettamente condizionata dall'arretramento flessurale della litosfera di avampaese in subduzione (PATACCA & SCANDONE, 1989). Dal Tortoniano superiore al Quaternario, si sono sviluppati contemporaneamente processi di "rifting" nel settore tirrenico di retroarco e propagazioni progressive di sovrascorrimenti con vergenza nord-orientale, comportanti l'accavallamento di unità tettoniche costituite da successioni sedimentarie mesozoico-terziarie sull'avampaese apulo (PATACCA *et alii*, 1990), che hanno prodotto differenti contesti tettono-sedimentari nell'area di catena ed ai suoi margini.

L'evoluzione plio-quaternaria del margine tirrenico dell'Appennino meridionale è caratterizzata da intensi processi estensionali, sviluppati prevalentemente lungo faglie normali orientate NW-SE e, subordinatamente, lungo sistemi di faglie normali e trascorrenti orientate NE-SW (IPPOLITO *et alii*, 1973; BARTOLE *et alii*, 1984). Lungo la fascia tirrenica campana, nel corso del Quaternario, si è sviluppato un vulcanismo potassico (Roccamonfina, Campi Flegrei, Ischia e Somma-Vesuvio) e sistemi di faglie orientate NW-SE e NE-SW, che delimitano bacini fortemente subsidenti (ad es. le pianure del Volturno, Campania e del Sele) (Fig. 1).

TECTONIC AND GEOLOGICAL SETTING OF THE CAMPANIAN VOLCANIC ZONE (CVZ)

The Southern Apennines thrust-belt is part of the Africa-verging circum-Mediterranean Apennine-Magrebides orogenic system and presents a complex Quaternary kinematics, closely controlled by the roll-back of the sinking foreland lithosphere (PATACCA & SCANDONE, 1989). From the late Tortonian to Quaternary, progressive NE-vergent thrust propagation of Mesozoic-Tertiary sedimentary units over the Apulian foreland and rifting in the back-arc region of the Tyrrhenian area have coexisted (PATACCA *et alii*, 1990) causing different tectono-sedimentary conditions in the chain area and in its margins.

The Plio-Quaternary evolution of the Tyrrhenian margin of the Southern Apennines is characterized by severe extensional processes occurred by means of NW-SE normal faults and, subordinately, NE-SW normal to strike-slip transfer systems (IPPOLITO *et alii*, 1973; BARTOLE *et alii*, 1984). Along the Campanian Tyrrhenian belt, NW-SE- and NE-SW-trending faults bound strongly subsiding basins (e.g. Volturno, Campania and Sele plains) and a potassic volcanism (Roccamonfina, Campi Flegrei, Ischia and Somma-Vesuvio) developed during Quaternary times (Fig. 1).

The complex volcanic system of Campi Flegrei - Ischia is located in a central position within the NW-SE-trending graben of the Campania Plain (Fig. 1), which is filled with clastic (continental and marine) and volcanic deposits from 2 to 5 km thick

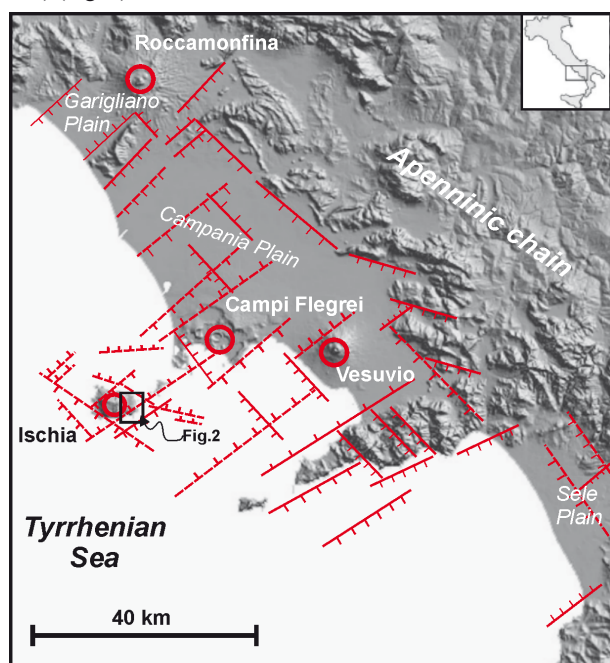


Fig. 1 - Principali elementi strutturali quaternari lungo il bordo tirrenico dell'Appennino Campano
- Main Quaternary structural elements along the Tyrrhenian margin of the Campanian Apennines

L'articolato sistema vulcanico di Ischia - Campi Flegrei è ubicato in una posizione centrale nell'ambito del graben orientato NW-SE della Piana Campana (Fig. 1), e presenta una successione di riempimento potente da 2 a 5 km, costituita da depositi vulcanici e clastici di ambiente continentale e marino (CARRARA *et alii*, 1973; FINETTI & MORELLI, 1974; BRANCACCIO *et alii*, 1991). Il substrato è formato da unità di piattaforma carbonatica, localmente ricoperte da unità terrigene mioceniche, e raggiunge la profondità massima di circa 5 km proprio in corrispondenza dell'area dei Campi Flegrei, risalendo lateralmente verso Monte Massico, i Monti di Avella e i Monti Lattari (DI GIROLAMO *et alii*, 1988; ORTOLANI & APRILE, 1978).

Un importante sistema di faglie trascorrenti N140° è presente nei rilievi carbonatici circostanti la Piana Campana (ad es. Penisola Sorrentina e Monti di Caserta), le quali probabilmente predatano il Pleistocene inferiore (CINQUE *et alii*, 1993). A partire dal Pliocene superiore e nel corso del Pleistocene inferiore il margine tirrenico dell'Appennino meridionale era dominato da un regime estensionale che ha prodotto ampi rigetti verticali lungo le faglie orientate N-S e NW-SE ("sistema appenninico") (CAIAZZO *et alii*, 2006; CINQUE *et alii*, 1993). A partire dal Pleistocene inferiore e fino al Pleistocene medio, un ulteriore sistema di faglie orientate NE-SW ("sistema anti-appenninico") diseca il margine tirrenico e origina le strutture a horst e graben che lo caratterizzano (CAIAZZO *et alii*, 2006), causando anche alcune dislocazioni orizzontali sinistre (ORTOLANI & PAGLIUCA, 1988). Questi eventi tettonici costituiscono i principali fattori responsabili della definizione morfostrutturale della regione e sono ricollegabili alle fasi distensive responsabili dell'apertura e della formazione del bacino Tirrenico (CAIAZZO *et alii*, 2006). A partire dal tardo Pleistocene medio si è sviluppato un nuovo evento deformativo, caratterizzato da un regime estensionale NE-SW e tuttora attivo (CAIAZZO *et alii*, 2006).

Dati geofisici e di sondaggi profondi indicano la probabile esistenza, nel sottosuolo della Piana Campana, di strutture secondarie a horst e graben (CARRARA *et alii*, 1973) o di strutture monocliniche orientate E-W (ORTOLANI & APRILE, 1978). I graben principali sembrano corrispondere alla Piana del Volturno ed alla depressione di Acerra-Napoli (Golfo di Napoli), che continua nell'area dei Campi Flegrei. Questi ultimi dovrebbero essere ubicati in una posizione centrale del graben, in un'area di forte depressione strutturale con il basamento carbonatico sprofondato a più di 3-4 km di profondità (ROSI & SBRANA, 1987). Secondo ORTOLANI & PAGLIUCA (1987, 1988) e DI GIROLAMO *et alii* (1988) i centri eruttivi flegrei corrispondono al settore più depresso nell'ambito della Piana Campana, caratterizzato da depositi molto potenti (fino a 5 km), dalla presenza in superficie di una densa griglia di fratture orientate NW-SE e NE-SW e dalla probabile presenza alla base della crosta di intense deformazioni distensive.

Secondo altri Autori (CARRARA *et alii*, 1973; FINETTI & MORELLI, 1974; RAPOLLA *et alii*, 1989) il graben della Piana Campana è interrotto da un alto strutturale sepolto orientato ENE-WSW, ubicato presso la Caldera dei Campi Flegrei e le isole vulcaniche di Procida e Ischia. L'attività vulcanica, controllata da fratture orientate NE-SW e subordi-

(CARRARA *et alii*, 1973; FINETTI & MORELLI, 1974; BRANCACCIO *et alii*, 1991). The substratum consists of carbonate platform units, locally covered by Miocene terrigenous units, and reaches the maximum depth of about 5 km just below the Campi Flegrei area, laterally rising towards Massico, Avella and Lattari Mountains (DI GIROLAMO *et alii*, 1988; ORTOLANI & APRILE, 1978).

An important system of N140° trending strike-slip faults is present in the carbonate mountains surrounding the Campania Plain (e.g. Sorrento Peninsula and Caserta Mt.) and seems to predate Early Pleistocene (CINQUE *et alii*, 1993). Since Late Pliocene and in Early Pleistocene the Tyrrhenian margin of the Southern Apennines was dominated by an extensional regime that created large vertical offsets along N-S and NW-SE (e.g. "Apenninic system") trending faults (CAIAZZO *et alii*, 2006; CINQUE *et alii*, 1993). Also a NE-SW trending fault system (e.g. "anti-Apenninic system") dissects the Tyrrhenian margin starting from the Early Pleistocene to the Middle Pleistocene and formed the horst-and-graben structure that characterized it (CAIAZZO *et alii*, 2006), causing also some horizontal left displacements (ORTOLANI & PAGLIUCA, 1988). These tectonic events are the main responsible for the morphostructural definition of the region and are comparable with the stretching phases responsible for the opening and widening of the Tyrrhenian basin (CAIAZZO *et alii*, 2006). A new deformation event, characterized by NE-SW trending extensional regime, started in the late Middle Pleistocene and is currently active (CAIAZZO *et alii*, 2006).

Geophysical data and drillings indicate the probable existence of secondary horst and graben structures (CARRARA *et alii*, 1973) or E-W trending monoclinic structures (ORTOLANI & APRILE, 1978) within the Campania Plain. The main grabens seem to correspond to the Volturno plain and Acerra-Napoli depression (Napoli Gulf), the latter continues into the Campi Flegrei area which should be located in a central position in the graben, in an area of structural depression with the carbonate basement lowered to a depth of more than 3-4 km (ROSI & SBRANA, 1987). After ORTOLANI & PAGLIUCA (1987, 1988) and DI GIROLAMO *et alii* (1988) Phlegrean eruptive centres are located in the most depressed part of the Campania Plain, where very thick sediments (up to 5 km) are present, a dense grid of NW-SE and NE-SW fractures has been recognized at surface and severe tensile deformations at the crust base are very likely.

After other authors (CARRARA *et alii*, 1973; FINETTI & MORELLI, 1974; RAPOLLA *et alii*, 1989) the Campania Plain graben is interrupted by an ENE-WSW-trending buried structural high located near to the Campi Flegrei Caldera and the volcanic islands of Procida and Ischia. Volcanic activity, controlled by NE-SW and subordinately NW-SE fractures, has accompanied extensional processes on the margin during the Pliocene and Quaternary. Trachytic volcanism is active in the Neapolitan area, at the districts of Somma-Vesuvio and Campi Flegrei (SCANDONE *et alii*, 1991).

natamente NW-SE, è stata accompagnata da processi estensionali lungo il margine tirrenico durante il Pliocene ed il Quaternario. In particolare un vulcanismo trachitico è attivo nei distretti del Somma-Vesuvio e dei Campi Flegrei dell'area napoletana (SCANDONE *et alii*, 1991).

STORIA GEOLOGICA E VULCANOLOGICA DELL'ISOLA DI ISCHIA

L'Isola di Ischia è la parte emersa di un più ampio complesso vulcanico attivo, ubicato nel settore più occidentale dell'area dei Campi Flegrei ed è morfologicamente dominato nella sua parte centrale dal Monte Epomeo (787 m s.l.m.). Nella parte orientale dell'isola (Fig. 2) è presente una depressione, delimitata verso ovest dal versante orientale del Monte Epomeo e verso sud-est da un allineamento di rilievi (Monte Barano, Monte Vezzi, Il Torione, fino a circa 400 m s.l.m.).

GEOLOGICAL AND VOLCANOLOGICAL BACKGROUND OF THE ISCHIA ISLAND

The Ischia Island is the emerged part of a large active volcanic complex located on the westernmost portion of the Campi Flegrei area and is morphologically dominated in its central part by the Mt. Epomeo (787 m a.s.l.). In the eastern part of the island (Fig. 2) a lowland is present, which is delimited by the eastern slope of Mt. Epomeo toward the west and by an alignment of peaks toward south-east (Mt. Barano, Mt. Vezzi, Il Torione, up to about 400 m a.s.l.).

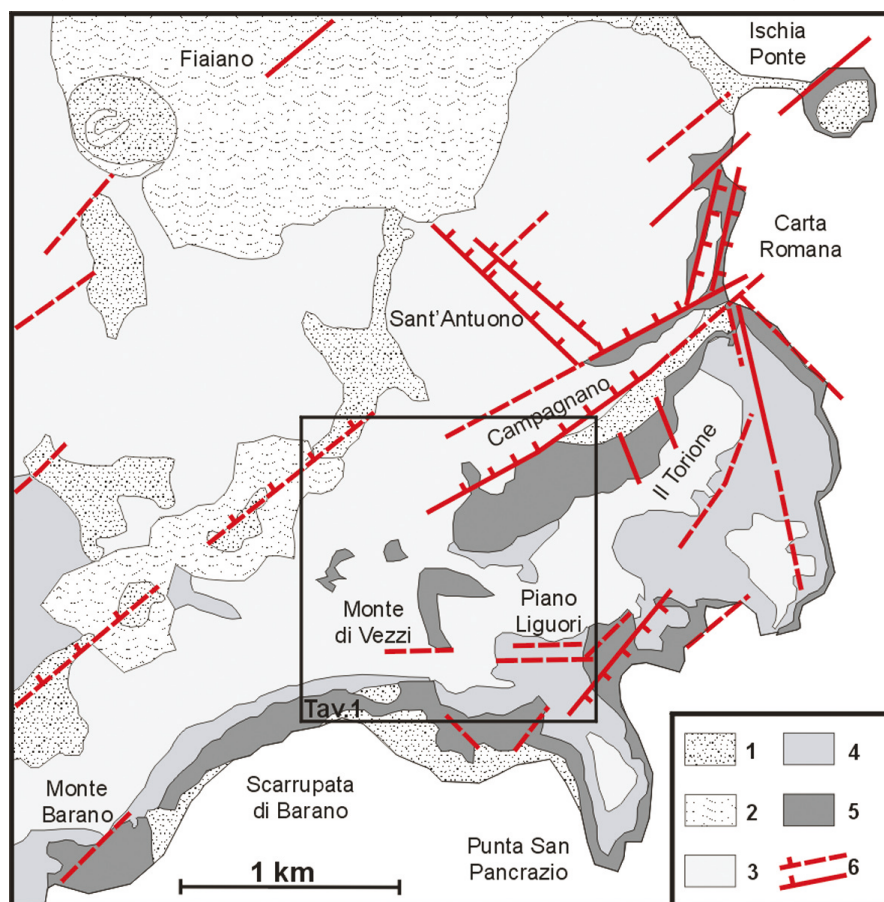


Fig. 2 - Carta geologica schematica del settore sud-orientale dell'Isola d'Ischia (mod. da VEZZOLI, 1988)

Legenda: 1. Depositi piroclastici rimaneggiati e depositi di spiaggia, frana e versante recenti ed olocenici; 2. Centri vulcanici più recenti di 3 ka (Arso, Cava Nocelle e Montagnone); 3. Depositi vulcanici di 5-10 ka (Formazione Piano Liguori, centri vulcanici del Cantariello e della Selva del Napolitano); 4. Depositi vulcanici di 20-55 ka (Tufo Verde di Monte Epomeo, Formazione Pignatiello, Formazione C.S. Costanzo, centri vulcanici di Grotta di Terra, Solchiaro e S. Anna); 5. Depositi vulcanici (centri vulcanici di Parata, Monte Vico, Monte di Vezzi, Castello d'Ischia, Scarrupata di Barano) del primo complesso vulcanico (73 - >150 ka); 6. Faglie e fratture

- Geological sketch map of S-E sector of Ischia Island (modified after VEZZOLI, 1988)

Legend: 1. Recent and Holocene reworked pyroclastic deposits, beach, landslide and slope talus deposits; 2. Historical volcanic centers younger than 3 ka (Arso, Cava Nocelle and Montagnone); 3. Volcanic deposits of 5-10 ka (Piano Liguori Fm., Cantariello and Selva del Napolitano volcanic centers); 4. Volcanic deposits of 20-55 ka (Monte Epomeo Green Tuff, Pignatiello Fm., C.S. Costanzo Fm., Grotta di Terra, Solchiaro and S. Anna volcanic centers); 5. Volcanic deposits (Parata, Monte Vico, Monte di Vezzi, Castello d'Ischia, Scarrupata di Barano volcanic centers) of the first volcanic complex (73- >150 ka); 6. Faults and fractures

L'isola di Ischia è formata principalmente da rocce vulcaniche (trachiti e alcalitrachiti, con subordinati trachibasalti, latiti e fonoliti), e subordinatamente da depositi da frana, di spiaggia, di versante e depositi alluvionali e colluviali (VEZZOLI, 1988); tali successioni riflettono una storia complessa caratterizzata da un'alternanza di fasi costruttive e distruttive dovute all'interazione tra processi collegati al vulcanismo, alla vulcano-tettonica, alla tettonica, all'erosione ed alla

Ischia is mainly made up of volcanic rocks (trachytes and alkali-trachytes, with subordinate trachybasalts, latite and phonolites) and subordinate landslide deposits and beach, slope, alluvial and colluvial sediments (VEZZOLI, 1988), reflecting a complex history of alternating constructive and destructive phases due to the interplay among volcanism, volcano-tectonism, tectonics, erosion and sedimentation (DE VITA *et alii*, 2006). The geological history of Ischia has been sub-

sedimentazione (DE VITA *et alii*, 2006). La storia geologica di Ischia è stata suddivisa in cinque maggiori periodi di attività, caratterizzati da distinti caratteri vulcanologici e chimici: più antico di 150 ka (1° ciclo), 150-75 ka (2° ciclo), 55-33 ka (3° ciclo), 28-18 (4° ciclo) e da 10 ka ad oggi (5° ciclo) (CHIESA *et alii*, 1987).

Le rocce affioranti più antiche, di circa 150 ka di età, appartengono ad un complesso vulcanico parzialmente eroso, i cui resti affiorano nella parte sud-orientale dell'isola (Fig. 2). I prodotti vulcanici successivi sono costituiti da piccoli duomi e "lava-dome" trachitici e fonolitici di età compresa tra 150 e 74 ka, esposti ai margini periferici dell'isola. Lungo la costa meridionale è stata ipotizzata la presenza di una struttura calderica con un'età >75 ka (VEZZOLI, 1988).

La grande eruzione del Tufo Verde di Monte Epomeo avvenne circa 55 ka fa, originando un'ampia caldera (RITTMANN & GOTTINI, 1980; VEZZOLI, 1988); il Tufo Verde è formato principalmente da ignimbrite trachitica. Dopo questo evento eruttivo, l'attività vulcanica proseguì fino a 33 ka fa con una serie di eruzioni esplosive trachitiche magmatiche ed idromagmatiche (formazioni Tuffite e Colle Jetto, e Tufo di Citara), i cui centri eruttivi erano ubicati principalmente nel settore occidentale dell'isola. Il collasso della caldera è stato seguito da una risorgenza nella parte centrale dell'isola, che ha prodotto un sollevamento netto di circa 800–1100 m, almeno a partire da 30 ka (ORSI *et alii*, 1991; ACOCELLA & FUNICIELLO, 1999). Il sollevamento si è esplicato sia attraverso la riattivazione di faglie regionali che attraverso la formazione di faglie direttamente correlate al processo vulcano-tettonico, ed ha avuto come risultato un sollevamento differenziale dei vari blocchi individuati (ORSI *et alii*, 1991; ACOCELLA & FUNICIELLO, 1999). Negli ultimi 33 ka un moderato vulcanismo si è sviluppato principalmente all'esterno dell'area del duomo risorgente, particolarmente nella parte orientale dell'isola (Fig. 2) delimitata verso sud-est dalla dorsale di Monte Barano-Monte Vezzi-Campagnano (ACOCELLA & FUNICIELLO, 1999).

Il periodo di attività più recente è iniziato circa 10 ka fa, ma si è concentrato principalmente intorno a 5.5 ka e negli ultimi 2.9 ka, caratterizzato da centri eruttivi ubicati principalmente nella parte orientale dell'isola (VEZZOLI, 1988; ORSI *et alii*, 1991; 1996; 2003). Essi hanno generato una sequenza piroclastica (Formazione di Piano Liguori) ampiamente esposta nell'angolo sud-occidentale dell'isola (Fig. 2). Durante gli ultimi 5.5 ka hanno avuto luogo numerose eruzioni: le eruzioni effusive hanno portato alla messa in posto di *lava-dome* e colate laviche, mentre eruzioni esplosive magmatiche e freato-magmatiche hanno generato coni e anelli di tufo e depositi piroclastici da *fall* variamente dispersi (ORSI *et alii*, 2003). L'eruzione più recente (colata lavica dell'Arso) è avvenuta nell'anno 1301.

Le fratture estensionali orientate NE-SW e NW-SE presenti nell'isola sono correlate ai sistemi di faglie regionali isorientate responsabili dell'evoluzione plio-quadernaria del margine campano; le strutture N-S e E-W ubicate nell'area centrale dell'isola si sono formate durante il sollevamento del duomo risorgente (ACOCELLA & FUNICIELLO, 1999). Una debole attività sismica (terremoti di

divided into five main periods of activity, characterized by distinct volcanological and chemical features: older than 150 ky (1st cycle), 150-75 ky (2nd cycle), 55-33 ky (3rd cycle), 28-18 (4th cycle) and 10 ky to Present (5th cycle) (CHIESA *et alii*, 1987).

The oldest exposed rocks, about 150 ky old, belong to a partially eroded volcanic complex, whose remnants crop out in the south-eastern part of the island (Fig. 2). The subsequent volcanism products are small trachytic and phonolitic domes and lava-domes, aged between 150 and 74 ky, exposed along the island peripheral margins. Along the southern coastline the presence of a caldera structure with an age >75 ky has been inferred (VEZZOLI, 1988).

The large Mt. Epomeo "Green Tuff" caldera-forming eruption occurred at about 55 ky (RITTMANN & GOTTINI, 1980; VEZZOLI, 1988); this tuff consists mostly of trachytic ignimbrites. After this eruption, volcanism continued with a series of trachytic hydromagmatic and magmatic explosive eruptions (e.g. Tuffite, Colle Jetto formations and Citara Tuff) up to 33 ky, whose vents were mainly located along the western sectors of the island.

The caldera collapse was followed by the resurgence in the central part of the island, the latter produced a net uplift of about 800-1100 m, at least since 30 ky B.P. (ORSI *et alii*, 1991; ACOCELLA and Funicello, 1999). The uplifting occurred through both reactivation of regional faults and generation of faults directly related to volcano-tectonism, which resulted in the formation of differentially displaced blocks (ORSI *et alii*, 1991; ACOCELLA & FUNICIELLO, 1999).

Moderate volcanism in the last 33 ky mainly occurred outside the area of the resurgent dome, particularly in the eastern part of the island (Fig. 2) bordered towards the south-east by the Mt. Barano-Mt. Vezzi-Campagnano alignments (ACOCELLA & FUNICIELLO, 1999).

The most recent period of activity began about 10 ky B.P., but was mainly concentrated around 5.5 ky and in the past 2.9 ky, with vents mainly located in the eastern part of the island (VEZZOLI, 1988; ORSI *et alii*, 1991, 1996, 2003). They generated a pyroclastic sequence (Piano Liguori Formation) widely exposed in the south-western corner of the island (Fig. 2). During the past 5.5 ky, a lot of eruptions took place: effusive eruptions emplaced lava domes and lava flows, while explosive magmatic and phreato-magmatic eruptions generated tuff cones and rings and variably dispersed pyroclastic-fall and current deposits (ORSI *et alii*, 2003). The most recent eruption (Arso lava flow) dates to 1301 AD.

The NE-SW and NW-SE extensional fractures found on the island are related to the iso-oriented regional system responsible for the Plio-Quaternary evolution of the Campania margin; N-S and E-W structures located around the resurgent domes formed during the uplift (ACOCELLA & FUNICIELLO, 1999). Shallow seismic activity (e.g. 1881 and 1883 Casamicciola earthquakes) has been related to resurgence (ALESSIO *et alii*, 1996).

Resurgence is accompanied by activation and/or reactivation of

Casamicciola del 1881 e del 1883) è stata ricollegata al processo di risorgenza (ALESSIO *et alii*, 1996).

Il processo di risorgenza è stato accompagnato dall'attivazione e/o dalla riattivazione di faglie e dalla ripresa dell'attività vulcanica, che ha indotto una sismicità che potrebbe aver innescato movimenti gravitativi superficiali. Inoltre, la disponibilità di grosse quantità di materiale vulcanoclastico sciolto, rapidamente accumulatosi lungo i versanti durante le eruzioni, ha favorito lo sviluppo di processi di diffusa franosità (De Vita *et alii*, 2006). Infatti, durante l'ultimo periodo di attività vulcanica (da 10 ka all'Attuale), periodi di quiescenza si sono alternati con periodi di vulcanismo molto intenso, correlati alla dinamica della risorgenza del Monte Epomeo, che si è esplicata attraverso fasi intermittenti di sollevamento e quiete tettonica (Orsi *et alii*, 1991, 1996; Tibaldi & Vezzoli, 1997). Negli ultimi 5.5 ka, la riattivazione di faglie e la correlata attività vulcanica sono accompagnate dalla messa in posto di depositi di frana, di versante e colluviali, che marciano fasi di intensa erosione e rideposizione di prodotti vulcanici primari. Essi sono stati generati in quattro fasi principali, datati, rispettivamente, tra 5.5 e 2.9 ka, intorno a 2.9 ka, fra 2.6 e 2.3 ka, e tra 2.3 e 1.9 ka (DE VITA *et alii*, 2006).

Sebbene alcune delle frane più antiche siano state associate a eruzioni vulcaniche o a spostamenti verticali, altri fenomeni franosi avvenuti in tempi molto recenti sono da ritenersi collegate solo ad attività sismica od a piogge di notevole intensità (MELE & DEL PRETE, 1998; DEL PRETE & MELE, 1999; DE VITA *et alii*, 2006).

LA SUCCESSIONE STRATIGRAFICA DEL MONTE DI VEZZI

La struttura del Monte di Vezzi viene identificata come un apparato vulcanico complesso, che culmina con un domo lavico, ammantato da depositi piroclastici sciolti dell'attività esplosiva più recente. Per una conoscenza più dettagliata di tale attività, è stata svolta un'indagine nell'ambito di un'area ampia circa 5 kmq, nella quale sono stati approfonditi gli aspetti relativi ai principali elementi litologici, stratigrafici e strutturali, riconoscibili in campagna mediante rilevamento di dettaglio e mediante l'ausilio di foto aeree. La dettagliata ricostruzione delle attività vulcaniche ha portato ad individuare una struttura vulcanica dalla morfologia alquanto articolata e complessa, che culmina con un duomo lavico, la cui morfologia, come descritto in seguito, ha certamente condizionato la deposizione dei prodotti incoerenti formati dalle successive attività esplosive più recenti.

La Carta Geologica di Tav. 1 illustra la distribuzione dei terreni affioranti in superficie ed i rapporti geometrici esistenti tra di essi, mentre due sezioni geologiche (Fig. 3) descrivono schematicamente il modello geologico del sottosuolo. Sono state inoltre ricostruite alcune sezioni stratigrafiche (Fig. 4) ubicate nei diversi settori del centro eruttivo, con lo scopo di descrivere qualitativamente la successione dei prodotti coeva con l'attività eruttiva, e quella dei prodotti più recenti che ricoprono la struttura del Monte di Vezzi.

I prodotti coevi dell'attività del Monte di Vezzi nei vari settori dell'apparato vulcanico (Fig. 4) vengono descritti di seguito, dal

faults and renewal of volcanism, which generate seismicity that could trigger surface gravitational movements. Furthermore, the availability of large amount of loose volcaniclastic material, rapidly accumulated along the slopes during eruptions, favours future landsliding (DE VITA *et alii*, 2006). As a matter of fact, during the last period of volcanic activity (10 ky to Present), periods of quiescence alternate with periods of very intense volcanism, related to the Mt. Epomeo resurgence, which took place through intermittent phases of uplifting and tectonic quietness (ORSI *et alii*, 1991, 1996; TIBALDI & VEZZOLI, 1997). In the past 5.5 ky, reactivation of faults and related volcanic activity are accompanied by emplacement of landslides, colluvial and slope deposits which mark phases of intense erosion and redeposition of primary volcanic products. They were generated in four main phases, dated between 5.5 and 2.9 ky, around 2.9 ky, between 2.6 and 2.3 ky, and between 2.3 and 1.9 ky, respectively (De Vita *et alii*, 2006).

Although some of the oldest landslides have been associated to volcanic eruptions or vertical displacements, other landslides occurred in very recent times are only related to seismic activity or to exceptionally heavy rains (MELE & DEL PRETE, 1998; DEL PRETE & MELE, 1999; DE VITA *et alii*, 2006).

MONTE DI VEZZI STRATIGRAPHIC SUCCESSION

A detailed field survey of a 5 km² wide area was carried out aiming at a better knowledge of geological features of Mt. di Vezzi. In this phase of the research lithological, stratigraphic and structural elements both in the field outcrops and through aerial photos were investigated. Mt. di Vezzi resulted a complex volcanic edifice culminating with a lava dome whose presence greatly influenced the deposition of loose pyroclastic products of recent activity.

The geological map reported in Plate 1 shows the outcropping deposits and the geometrical relationships among them, whereas in the two geological sections (Fig. 3) the sketch model of the subsurface deposits is reported.

Field description of the main stratigraphic sequences (Fig. 4) was performed to reconstruct both the volcanic succession of the Mt. di Vezzi, and the sequence of recent explosive products covering this structure.

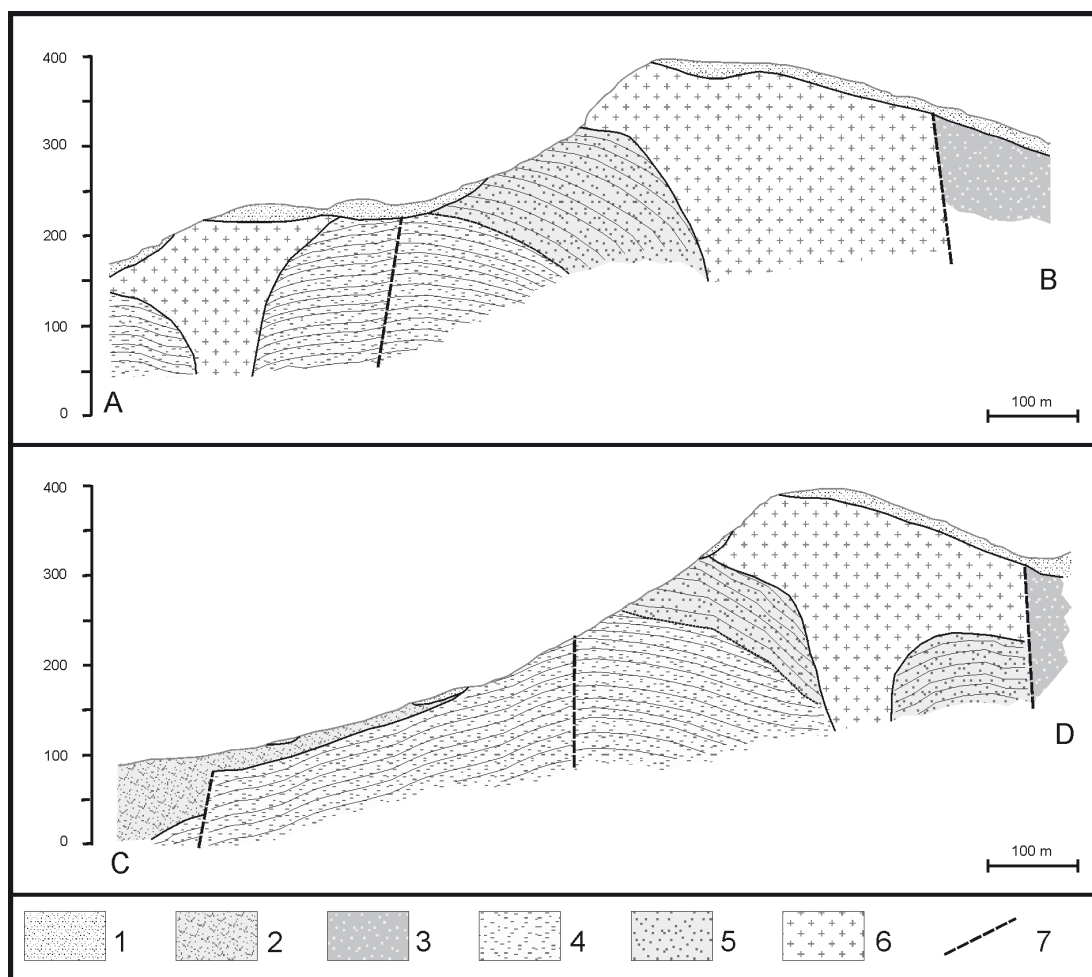


Fig. 3 - Sezioni geologiche AB e CD dell'area di Monte di Vezzi; le tracce delle sezioni sono riportate in Tav. 1. Legenda: 1. Formazione di Piano Liguori; 2. Deposito da Pumice flow; 3. Formazione di Monte di Vezzi; 4. Prodotti da caduta di attività stromboliana del Complesso eruttivo di Monte di Vezzi; 5. Scorie saldate del Complesso eruttivo di Monte di Vezzi; 6. Dome flows di Monte di Vezzi e Pietra Marina; 7. Faglie e fratture.
 - *AB and CD geological cross-sections of the Mt. Vezzi area; section traces are in Tav. 1. Legend: 1. Piano Liguori Fm.; 2. Pumice flow deposits; 3. Monte di Vezzi Fm.; 4. Fall products of strombolian activity of the Monte di Vezzi eruptive complex; 5. Agglutinate lava spatter of the Monte di Vezzi eruptive complex; 6. Monte di Vezzi and Pietra Marina dome flows; 7. Faults and fractures*

basso verso l'alto:

Settore settentrionale

a) Depositi scoriacei stratificati

Alla quota di 130 m s.l.m. sono presenti banchi di scorie scure e pomice grigio-chiare poco vescicolate, clinostratificate (25° - 30°), immergenti verso N-NW, alternati, nella parte alta, con livelli cineritici di colore giallo-ocraceo e/o violaceo (Tav. 2, Foto 1). La stessa successione si rinviene alla quota di 270 m s.l.m., chiusa da un livello cineritico violaceo, con a tetto un paleosuolo.

b) Scorie agglutinate

A quote comprese tra 270 e 280 m s.l.m. i prodotti mostrano un cambiamento nella giacitura, che si dispone verso SE, unitamente ad una diversa tipologia di deposito, riferibile a banchi di scorie agglutinate (Tav. 2, Foto 2), il cui spessore si spinge fino alla quota di 320-330 m s.l.m..

Northern sector

a) Stratified Scoria deposit

At 130 m a.s.l. black, poorly vesiculated scoria and gray pumice levels crop out, showing in the upper part alternating scoria and yellow-violet ash levels (Plate 2, Photo 1). The layered scoria deposit dips 25 - 30° toward NW. The scoria and ash layers crop out up to 270 m a.s.l., and are overlain by a paleosoil.

b) Agglutinated scoria

Between 270-280 m a.s.l. the scoria deposit is overlapped by a 30-40 m thick bank of lava spatter, clearly showing flattened scoriaeous spatter fragments in the matrix (Plate 2, Photo 2). The lava spatter deposit dips toward SE.

c) *Lava massiccia*

Costituisce la ripida parete lavica ad andamento sub-verticale, con spessore di 30-40 m. La lava mostra una struttura tipo *fluidal banding*, con le linee di flusso immergenti verso SE (Tav. 2, Foto 3). Le lave si presentano interessate da una estesa fatturazione meccanica ad andamento sub-verticale, con le fratture interessate da una evidente spaziatura (Tav. 2, Foto 4).

Settore nord-occidentale

La lava del domo affiora estesamente con la sua parete sub-verticale, che si raccorda ad una quota di 230 m s.l.m. con la restante parte del versante (Tav. 2, Foto 5). In qualche punto si osserva la transizione verso le sottostanti scorie agglutinate. Un carattere molto evidente è costituito dalla presenza di una serie di piani di fatturazione sub-orizzontali molto marcati (Tav. 2, Foto 6). Alle quote di 238 m e 190 m s.l.m. si individuano due piccole morfologie domiche. La più grande, posta a quota inferiore (Pietra Marina), è costituita da una lava grigio scura interessata da un marcato *fluidal banding* basale. Risulta evidente il contatto tra le lave del domo e le sottostanti scorie scure nelle quali la cupola lavica si è intrusa (Tav. 2, Foto 7).

Settore meridionale

Lungo il versante meridionale, alla quota di 230 m s.l.m., sono presenti i prodotti di un'attività esplosiva, con caratteri di prossimalità, costituiti da pomice di varie dimensioni, inglobanti blocchi lavici, talora di notevoli dimensioni. Questi prodotti passano con continuità ad un banco di scorie agglutinate di grosso spessore (Tav. 2, Foto 8), sigillato a tetto da un paleosuolo, che separa questa formazione dai prodotti della più recente fase esplosiva recente del Monte di Vezzi.

Settore orientale (successione stratigrafica del Monte Torrione)

In questo settore si perde la continuità nell'ambito dei prodotti del Monte di Vezzi, passando ad una successione di prodotti del tutto simile appartenenti al Monte Torone, ubicato immediatamente ad est. La successione consta di alternanze di prodotti piroclastici, breccie a grossi elementi, banchi di scorie scure, ed è chiusa a tetto da un tipico deposito ignimbrico a matrice compatta grigio-chiara, con tessitura eutassitica. A quota 270 m s.l.m. questa successione è separata da un paleosuolo dai terreni di copertura più recenti.

I DEPOSITI PIROCLASTICI DELL'ATTIVITÀ ESPLOSIVA RECENTE

I prodotti del Monte di Vezzi sono ricoperti, nell'ambito dei vari settori esaminati, da prodotti piroclastici dell'attività esplosiva più recente (Fig. 4), appartenenti alle formazioni indicate di seguito in ordine cronologico-stratigrafico (RITTMANN & GOTTINI, 1980; VEZZOLI, 1988):

Successione inferiore di depositi piroclastici stratificati (Formazione di Pignatiello)

La successione, che consta dei prodotti di almeno quattro sequenze eruttive da *fall*, separati da paleosuoli, si rinviene nel settore orientale (Tav. 1), addossata al Monte Torrione, e mostra un caratteristico

c) *Massive lava dome*

Lava dome sub-vertical wall, 30-40 m thick, is present above the lava spatter. The lava shows very typical fluidal banding structure, with the flow plains dipping toward SE (Plate 2, Photo 3). During the cooling the lava body suffers thermally induced stress centimeter spaced joints (Plate 2, Photo 4).

North-western sector

A huge vertical lava wall is present (Plate 2, Photo 5), whereas the underlying spatter lava crops out in few points. The lava dome shows at its base several sub-horizontal cutting plains (Plate 2, Photo 6). At 238 and 190 m a.s.l. two little lava domes are well evident. The biggest one, cropping-out at Pietra Marina locality, is constituted by a dark-gray lava, very rich at the base of fluidal banding structures, directly covering the basal scoria of Mt. di Vezzi (Plate 2, Photo 7).

Southern sector

Along the southern sector of Mt. di Vezzi, at 250 m a.s.l., products of explosive activity, made up by pumice and large lava blocks (Plate 2, Photo 8), underlie a thick bank of agglutinate lava spatter (Plate 2, Photo 9). This deposit is separated by a paleosoil from the overlying fall products of explosive activity younger than Mt. di Vezzi described below.

Western sector (Mt. Torrione sequence)

Toward the east a volcanic succession, very similar to that of the Mt. di Vezzi, crops out. It is made up by pumice and scoria levels more than 150 m thick, explosive breccia and lava banks (Plate 2, Photo 10). A gray ignimbrite showing a typical eutassitic texture closes the top of the succession, which ends with a paleosoil at 270 m a.s.l.

PIROCLASTIC DEPOSITS OF THE YOUNGER EXPLOSIVE ACTIVITY

The Mt. di Vezzi structure is covered by pyroclastic deposits of the younger explosive activity, which are described hereafter in a chrono-stratigraphic order:

The lower stratified pyroclastic sequence (Pignatiello formation)

It consists of four eruptive sequences, separated by dark brown paleosuols. At Mt. Torrione this sequence exhibits a general dipping toward SW (Plate 2, Photo 11). It is formed by yellow to red pumice

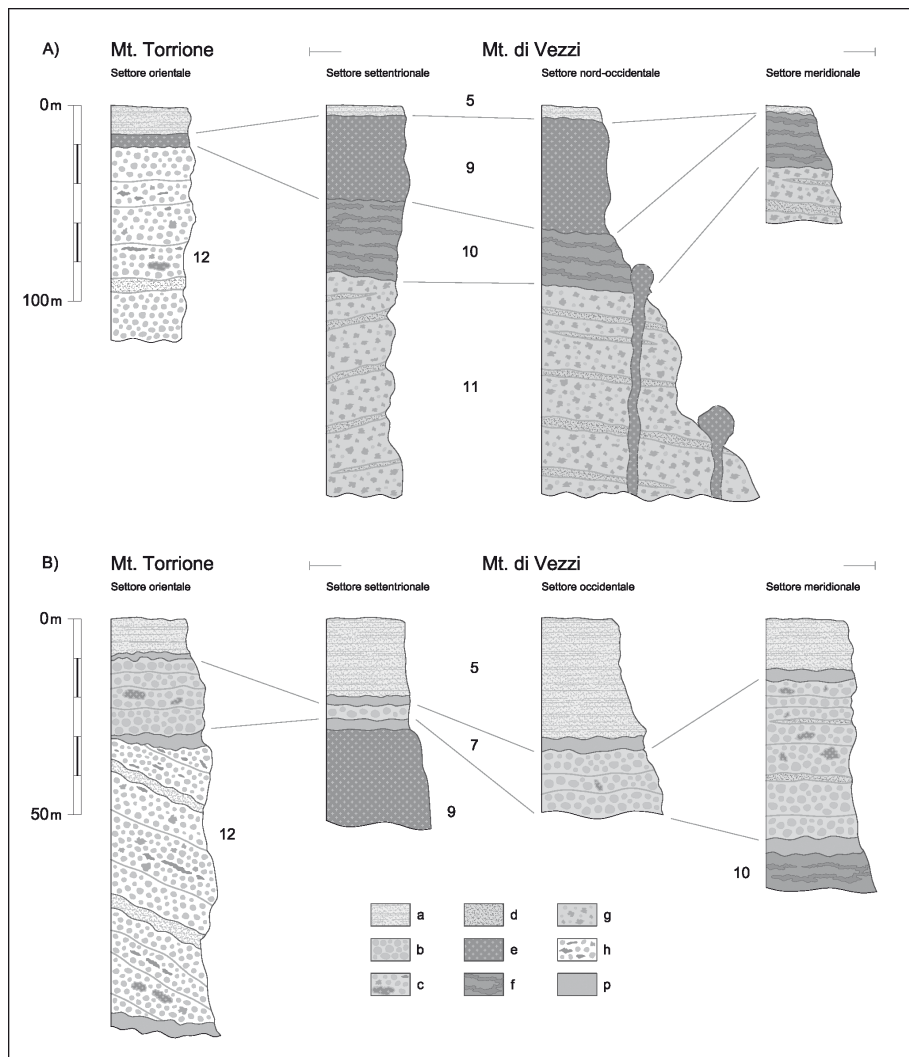


Fig. 4 - Sezioni stratigrafiche schematiche che illustrano i rapporti geometrici nell'ambito delle unità del ciclo vulcanico antico (A) e tra i depositi dei cicli vulcanici recente ed intermedio e le unità del substrato (B). I numeri delle unità si riferiscono alla legenda della Tav. 1. Legenda dei simboli litologici: a) cineriti massive, b) grosse pomici, c) pomici con scorie e blocchi lavici, d) cineriti, e) lave, f) scorie agglutinate, g) scorie scure, h) breccie e scorie con blocchi di lava, p) paleosuolo

- Stratigraphic sketch logs showing geometric relationships among the units of the ancient volcanic cycle (A) and between the historic and intermediate volcanic cycles deposits and the substratum units (B). Unit numbers refer to Tav. 1. Legend: a) massive ash, b) large sized pumice, c) pumice with embedded scoria and lava blocks, d) volcanic ash, e) lava flow, f) agglutinate scoria, g) blocks scoria, h) breccia and scoria deposit including lava block, p) paleosoil

aspetto clinostratificato, con generale immersione verso SW (Tav. 2, Foto 9). Essa è costituita da alternanze di livelli pomicei da caduta con spessore variabile, di colore dal grigio-giallognolo al rossiccio, generalmente a gradazione inversa. Alcune sequenze mostrano chiari caratteri di prossimalità, per la presenza di elementi pomicei e litici di grossa pezzatura di colore giallo ocra.

Successione superiore di depositi piroclastici stratificati (Formazione del Monte di Vezzi)

I prodotti di questa formazione sono presenti con gli spessori maggiori sul versante meridionale e sono separati da un paleosuolo dalle sottostanti scorie agglutinate (Tav. 2, Foto 10); essi constano di strati e banchi di pomici grigio-chiare decimetriche, inglobanti scorie scure e litici lavici di varia pezzatura. Tra i blocchi rigettati sono spesso presenti blocchi di scorie scure agglutinate. Ai prodotti pomicei si intercalano livelli di cineriti massive grigio-chiare. Alla stessa formazione sono da ricondurre i prodotti affioranti in discordanza su quelli della Formazione del Pignatiello (Tav. 2, Foto 9) nel settore orientale (Tav. 1).

fall layers of variable thickness, generally reverse graded. Some basal layers are constituted by coarse grained pyroclastic material, indicating a proximal source.

The upper stratified pyroclastic sequence (Mt. di Vezzi explosive formation)

This pyroclastic fall formation shows the maximum thickness in the southern sector being separated by a paleosoil from the underlying lava spatter (Plate 2, Photo 12). It consists of large-sized pumice levels, including large scoria spatters and lava blocks. The pumice levels are intercalated with gray ash levels. The products of this formation crop out also in the eastern sector, defining a clear unconformity at the top of the Pignatiello formation (Plate 2, Photo 11).

Prodotti da Pumice flow (Facies incoerente della formazione del Tufo Verde ?)

Sono costituiti da un grosso banco di pomice affiorante con evidenza nel settore settentrionale (Tav. 1), dove si sovrappongono direttamente alle scorie scure clinostatificate del Monte di VeZZi, separati da un paleosuolo. Il banco pomiceo presenta alla base delle alternanze di livelli pomicei da caduta, contenenti grossi blocchi lavici scuri, e di livelli cineritico-sabbiosi di colore giallo-ocra, e mostra una generale tessitura massiva, nella quale si individua una vaga gradazione e stratificazione, dovuta ad un allineamento delle particelle di più grosse dimensioni (Tav. 2, Foto 11). Questi caratteri tessitura- li sono tipici della messa in posto di flussi piroclastici ad alta concentrazione di particelle. Nella matrice si rinvengono frequentemente grossi frammenti lavici del substrato. In prossimità del rilievo di Monte di VeZZi vi sono chiare evidenze di una risalita in contropendenza del deposito da flusso, testimoniata dalla progressiva attenuazione dello spessore sul versante.

Cineriti massive grigio-chiare (Formazione di Piano Liguori)

I prodotti di questa formazione, la cui origine è chiaramente da attività freatomagmatica, sigillano a tetto i prodotti delle precedenti formazioni (Tav. 1), e constano, nei settori orientale, meridionale e settentrionale, di orizzonti cineritici di colore grigio-chiaro a laminazione piano parallela. Verso l'alto gli orizzonti sono rimarcati da sottili livelli pomicei (Tav. 2, Foto 12). Nel settore occidentale le laminazioni sono prevalentemente oblique, disponendosi piano-parallele verso l'alto.

Depositi scoriacei dell'attività moderatamente esplosiva recente (Prodotti scoriacei del centro eruttivo di Cava Nocelle)

In località "Case Balestrieri", all'imbocco della "Cava S. Antonio", e fino alla quota di 140 m s.l.m. (Tav. 1), si incontrano i prodotti scoriacei di questo centro eruttivo con caratteri di prossimità. Sono costituiti da grosse scorie scure inglobanti blocchi litici di grossa pezzatura, interessati da un diffuso arrossamento, derivanti dall'attività stromboliana o hawaiana di questo piccolo cono avventizio, allineato con gli altri due centri eruttivi del Molaro e del Vateliero, lungo una faglia ad andamento anti-appenninico presente al margine sud-orientale del graben di Ischia.

ANALISI DELLA FRATTURAZIONE NELL'AMBITO DEL DOME FLOW DEL MONTE DI VEZZI

(a cura di Luigi Ferranti & Stefano Mazzoli)

E' stata eseguita un'analisi di tipologia, caratteristiche geometriche ed orientazione della fratture che interessano il *dome flow* domo-lava lungo il versante settentrionale di Monte VeZZi. Per questo settore dell'isola di Ischia non erano sinora disponibili dati strutturali, ad eccezione di n° 2 misure di joints (ad orientazione NE-SW) riportate in ACOCELLA & FUNICIELLO (1999).

Due stazioni di analisi strutturale (1 e 2 in Fig. 5) sono state effettuate nelle lave acide a tessitura fluitale che costituiscono il duomo lavico vero e proprio. La restante stazione (1a in Fig. 5) è invece ubicata nelle scorie saldate, moderatamente coerenti, immediatamente

Pumice flow deposit (inchoerent facies of the Tufo Verde formation ?)

A thick pumice bank crops out at the base of the Northern slope separated by a paleosoil from the overlying Mt. di VeZZi layered scoria deposit. The very base of the pumiceous deposit clearly shows an alternating of sand-sized, yellow layers, and pumice and block layers (Plate 2, Photo 11), emplaced by a fall mechanism. In the massive upper pumiceous deposits a vague gradation and stratification can be observed, due to the alignment of particles during the flow, typical of highly concentrated currents. Large scoriaceous and lava blocks are embedded in the pumiceous matrix. Near the base of the Mt. di VeZZi relief, evidence of a progressive climbing up of the flow deposit have been observed, giving rise to a typical "pinch-out" structure.

Massive gray-ash deposit (Piano Liguori Formation)

These products are clearly associated to a phreatomagmatic activity and close the pyroclastic sequence covering the Mt. di VeZZi structure. They are formed by stratified, plain-parallel, ash deposits in the northern and western sectors, while are typically sand-waved in the western one. Ash-sized and pumiceous fall deposits are present in the upper part (Plate 2, Photo 12).

Scoriaceous deposits of the recent moderately explosive activity (Scoriaceous products of the Cava Nocelle eruptive center)

At "Case Balestrieri" locality, near the "Cava S. Antonio", proximal scoriaceous products of Cava Nocelle cone are present, extending up to 140 m a.s.l. The products are made up of coarse grained, black to reddish scoria deposits, with embedded large-sized lava lithics, associated to a strombolian activity-forming a series of adventitious cones (Molaro, Vateliero, Cava Nocelle cones) placed along an anti-Appenninic fault extending at the SE rim of Ischia graben.

FRACTURE ANALYSIS IN THE MT DI VEZZI LAVA FLOW

(by Luigi Ferranti & Stefano Mazzoli)

Fracture analysis has been carried out on the dome flow cropping out along the southern slope of Monte VeZZi. For this part of the island, no structural data were available so far, apart from 2 measured NE-SW striking joints reported in ACOCELLA & FUNICIELLO (1999).

Two structural sites (1-2 in Fig. 5) are located in felsic lavas, showing magmatic flow structures, forming the dome s.s.. A third site is located in the moderately coherent, welded scoriae immediately adjacent to the previous lavas. These levels, exposed at uniform altitudes of 305-325 m, show a general southward dip (Fig. 5). Their

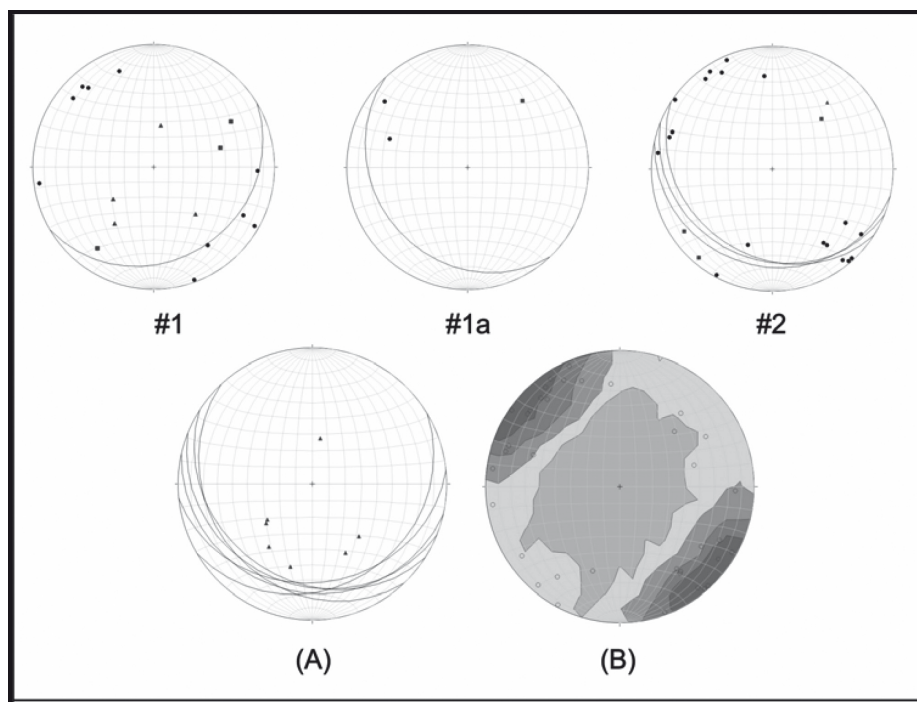


Fig. 5 - Dati di orientazione delle fratture nelle lave di Monte di Vezzi. Proiezioni equiareali, emisfero inferiore. I quadrati ed i cerchi rappresentano rispettivamente i poli alle fratture parallele ed ortogonali alla parete. I triangoli rappresentano i poli alle fratture a basso angolo. Le ciclografiche indicano la giacitura di flusso magmatico. Le proiezioni numerate #1, #1a e #2 si riferiscono ai dati di singole stazioni di analisi strutturale ubicate in Tav. 1. Le proiezioni cumulative in basso riportano (A) le fratture a basso angolo ($n=7$) ed il layering magmatico ($n=6$), e (B) i joints ($n=37$). Per i joints sono mostrate le isolinee di Kamb

- Orientation data for fractures within the lavas of Mt. di Vezzi shown on lower hemisphere equiareal projections. Boxes and dots represent the poles to joints parallel and perpendicular to the geomorphic slope, respectively. Triangles represent the poles to the low-angle fractures. Ciclografiche represent the magmatic layering. #1, #1a and #2 numbered plots show orientation data for single structural analysis sites located in Tav.1. The cumulative projection at bottom show (A) the low-angle fractures ($n=7$) and the magmatic layering ($n=6$), and (B) the joints ($n=37$). Poles to joints are shown with isolines of Kamb contour

adiacenti le lave precedenti. La giacitura di questi livelli, ubicati a quote uniformi comprese tra 305 e 325 m s.l.m., è caratterizzata da una generale immersione verso sud. Le caratteristiche litoidi e la coerenza di questi livelli hanno permesso la formazione di fratture ben sviluppate, preservate e rilevabili. Si fa notare che non è stato possibile rinvenire fratture coerenti e misurabili nelle formazioni cineritiche e scoriacee sottostanti (che formano l'ossatura dell'edificio vulcanico), poco litificate.

In base alle osservazioni, sono state distinte fratture molto inclinate e fratture a medio-basso angolo di inclinazione. All'interno delle prime sono state ulteriormente distinte due famiglie, in base alla geometria ed all'orientazione. Queste sono mostrate separatamente nelle proiezioni di Fig. 5 come *joints* paralleli ed ortogonali alla parete. Data l'orientazione del versante e la giacitura, i primi hanno direzione essenzialmente NW-SE (direzione circa parallela a quella del *layering* magmatico), mentre i secondi hanno direzione NE-SW. I valori di inclinazione risultano lievemente minori per la prima famiglia (50° - 85°) rispetto alla seconda (65° - 90°). I *joints* a direzione NE-SW si presentano netti, sub-planari e a spaziatura abbastanza regolare metrica. Il loro sviluppo minimo è di diversi metri, eccedendo spesso il limite all'affioramento. Talora un singolo *joint* curva progressivamente, sino ad assumere immersioni opposte. In alcuni casi è evidente una segmentazione in fratture minori con geometria *en-echelon*. I *joints* a direzione NW-SE, paralleli alla parete, sono meno sviluppati e più irregolari, anche se la disposizione dell'affioramento introduce un fattore di limitazione all'osservazione rispetto a quelli orientati NE-SW. L'interazione di questi due sistemi definisce in molti casi diedri salienti o recedenti rispetto alla parete, in condizio-

lithological characteristics allowed the development and preservation of macroscopically observable and measurable fractures. On the other hand, no such fractures were observed in the underlying, poorly lithified ash and scoria levels forming the main volcanic edifice.

Based on observation and measurement, steeply dipping fractures have been distinguished from moderately dipping ones. Within the former, two joint sets have been further distinguished based on geometry and orientation. These – roughly slope-parallel and slope-normal – joint sets have been plotted separately in the diagrams of Fig. 5. Taking into account slope orientation and fracture attitude, slope-parallel joints are NW-SE striking (their strike being also roughly parallel to that of magmatic layering), whereas slope-normal joints are NE-SW striking. Inclination values are slightly less for the former joint set (50° - 85°) with respect to the latter (65° - 90°). NE-SW striking joints are sharp and sub-planar, showing regular, metric spacing. Their minimum length (persistence) is of several meters, and often exceeds outcrop boundaries. Sometimes joints display a curved shape and therefore may attain opposite dip directions; in some instances they also show segmentation into minor *en-echelon* fractures. NW-SE striking, slope-parallel joints are less developed and more irregular, although outcrop orientation introduces a limitation to their observation. The interaction between these two joint sets defines blocks bounded by planar surfaces and locally variable stability conditions.

The third joint set includes moderately inclined fractures (30° - 55°). These are mainly irregular and show variable dimensions. In some instances fracture surfaces are curved, showing a convex-up geometry. Cross-cutting and 'T-junction' relationships between this

ne di stabilità localmente variabile.

La terza famiglia distinta nei *plot* di Fig. 5 è rappresentata da fratture a medio-basso angolo di inclinazione (30°-55°). Queste fratture si presentano irregolari, talora ben sviluppate, talaltra di piccole dimensioni e raccordate alle discontinuità rappresentate dal *layering* magmatico. In alcuni casi, questa terza famiglia di fratture mostra superfici curve, con convessità rivolta verso l'alto. Queste fratture mostrano sia rapporti di precedenza, sia di successione rispetto ai *joints* ad alto angolo precedentemente descritti, apparendo pertanto sostanzialmente coevi ai precedenti.

In base alle osservazioni non è possibile stabilire con certezza la genesi dei vari *set* di fratture. Va in ogni caso osservato che esse non sono limitate al solo carapace esterno ed immergono in entrambi i sensi stabiliti dalla loro direzione. Ciò ha particolare significato per i *joints* a direzione NW-SE, paralleli alla parete, in quanto questi immergono anche contro monte e dunque non paiono semplicemente attribuibili a rilascio tensionale superficiale. Inoltre, le fratture si presentano generalmente serrate e solo in alcuni casi mostrano una dilatazione incipiente, probabilmente condizionata dai processi morfogenetici. Per i *joints* analizzati, o almeno per parte di essi, una genesi da raffreddamento può essere presa in considerazione. Tuttavia, va osservato che coppie di *joints* ad immersione opposta definiscono frequentemente sistemi coniugati per entrambe le famiglie di *joints* ad alto angolo ed anche la famiglia a direzione NE-SW, seppur meno rappresentata, risulta ben individuata (*contour plot* in Fig. 5). Ciò tende a far ipotizzare che la formazione di questi *joints*, od almeno di parte di essi, sia di tipo tettonico, controllata dal campo di stress regionale agente durante e/o dopo il raffreddamento, piuttosto che da stress esclusivamente termicamente indotto durante il raffreddamento. Si ricorda che, sulla base di dati strutturali e della sismicità, un sostanziale controllo da parte del campo di stress regionale sui fenomeni vulcano-tettonici locali è stato ipotizzato da ZUPPETTA *et alii* (1993), ALESSIO *et alii* (1996), ACOCELLA & FUNICELLO (1999). La presenza di due famiglie di *joints*, a direzione NE-SW e NW-SE, era già stata segnalata da questi Autori, seppur non in questo settore dell'isola.

LA DISTRIBUZIONE DEGLI SPESSORI DELLA COLTRE PIROCLASTICA

La tipologia ed il cinematismo dei dissesti che si sono verificati al Monte di Vezzi oltre ad essere strettamente collegati alle condizioni morfologiche, litostratigrafiche e geostrutturali dell'ammasso roccioso dipendono, come riscontrato da numerosi autori in vari casi riferiti in letteratura (CASCINI, 1998a; 1998b; CASCINI *et alii*, 2000), anche dallo spessore dei terreni più degradati in superficie, costituenti le cosiddette coperture sciolte. Pertanto, data l'importanza di tale fattore predisponente i dissesti, si è ritenuto opportuno redigere una carta tematica (Fig. 6), in cui viene evidenziata la diffusione areale delle coperture sciolte, con indicazione dei relativi spessori significativi. La procedura per la redazione di tale carta è basata, oltre che su osservazioni e controlli di campagna, sulla definizione del

fracture set and the previously mentioned high-angle sets are not consistent (i.e., fractures belonging to one set may either predate or postdate those of the other sets). This feature suggests that the different joint sets are essentially coeval.

It is worth noting that joints are not restricted to the external carapace and they dip in both directions normal to their strike. This is particularly significant for NW-SE trending, slope-parallel joints, in that they dip also toward the slope and therefore appear not to merely result from surface stress relaxation. Furthermore, joints are generally barren and only in a few instances they show incipient dilation, probably controlled by morphogenetic processes.

The hypothesis that the analysed fractures, or at least part of them, represent cooling joints in the lava has to be taken into account. However, it should be noted that joints showing opposite dip directions define conjugate systems for both the steeply dipping joint sets mentioned previously, and also the NE-SW striking set, although less represented, is well developed (*contour plot* in Fig. 5). This suggests that these joints, or at least part of them, are of tectonic origin (i.e., their development was controlled by the regional stress field active during and/or after cooling of the host rock, rather than by thermally-induced stress alone). On the other hand, based on structural data and information from seismicity, a substantial control of the regional stress field on local volcano-tectonic phenomena has been already suggested by ZUPPETTA *et alii* (1993), ALESSIO *et alii* (1996), ACOCELLA & FUNICELLO (1999). The occurrence of two steep, NE-SW and NW-SE striking joint sets had already been reported by the latter authors, although not in this part of the island.

THE DISTRIBUTION AND THICKNESS OF THE PYROCLASTIC COVER

The type and mechanism of landslides occurred at Mt. Vezzi are strictly linked to the morphological, lithological and geo-structural features of the rocks. Moreover, as is well known, they depend on the thickness of the altered pyroclastic products closing the successions, hereafter labeled *loose pyroclastic cover*. Taking into account their key role in the occurrence of landslides, we decided to work out a thematic map reporting the spatial distribution of *loose pyroclastic cover*, pointing out their thickness as well (CASCINI *et alii*, 2000; AA.VV., 1998a; 1998b). The methodology used to draw the map needed the detailed field survey of the area and was based on the definition of a homogeneous behavior of lithotypes as far as the slope stability is concerned.

comportamento omogeneo nei confronti della stabilità dei versanti.
 I terreni considerati come coperture sciolte comprendono sia depositi che a seguito di processi erosione, trasporto e sedimentazione hanno coperto le formazioni del substrato, sia la porzione più alterata delle unità litologiche subaffioranti. I materiali di deposizione primaria sono ben visibili, prevalentemente lungo le aree erose dalle frane dell'aprile 2006 ed in tutti i settori ove l'erosione è stata più intensa. I depositi risedimentati (detriti e colluvioni) ad opera delle acque dilavanti e dei processi di trasporto di massa si conservano sul versante settentrionale lungo il raccordo tra le lave del domo e le scorie saldate, ricoprendo localmente anche piccoli spessori di forma-

The deposits here labeled *pyroclastic loose cover* represent both the altered part of the outcropping lithologic units as well as the different rocks that in consequence of erosion, transport and sedimentation processes cover the bedrock. The primary products can be observed along the cuts brought to light by April 2006 landslide and in all the sectors where the erosion was more intense.

The slope debris and colluvial deposits, reworked by sheet waters and mass transport processes, are preserved on the northern Mt. di Vezzi slope along the boundary between the lava dome and the welded scoria deposits. They somewhere cover thin pyroclastic deposits younger than the lava dome (*Piano Liguori Formation* and

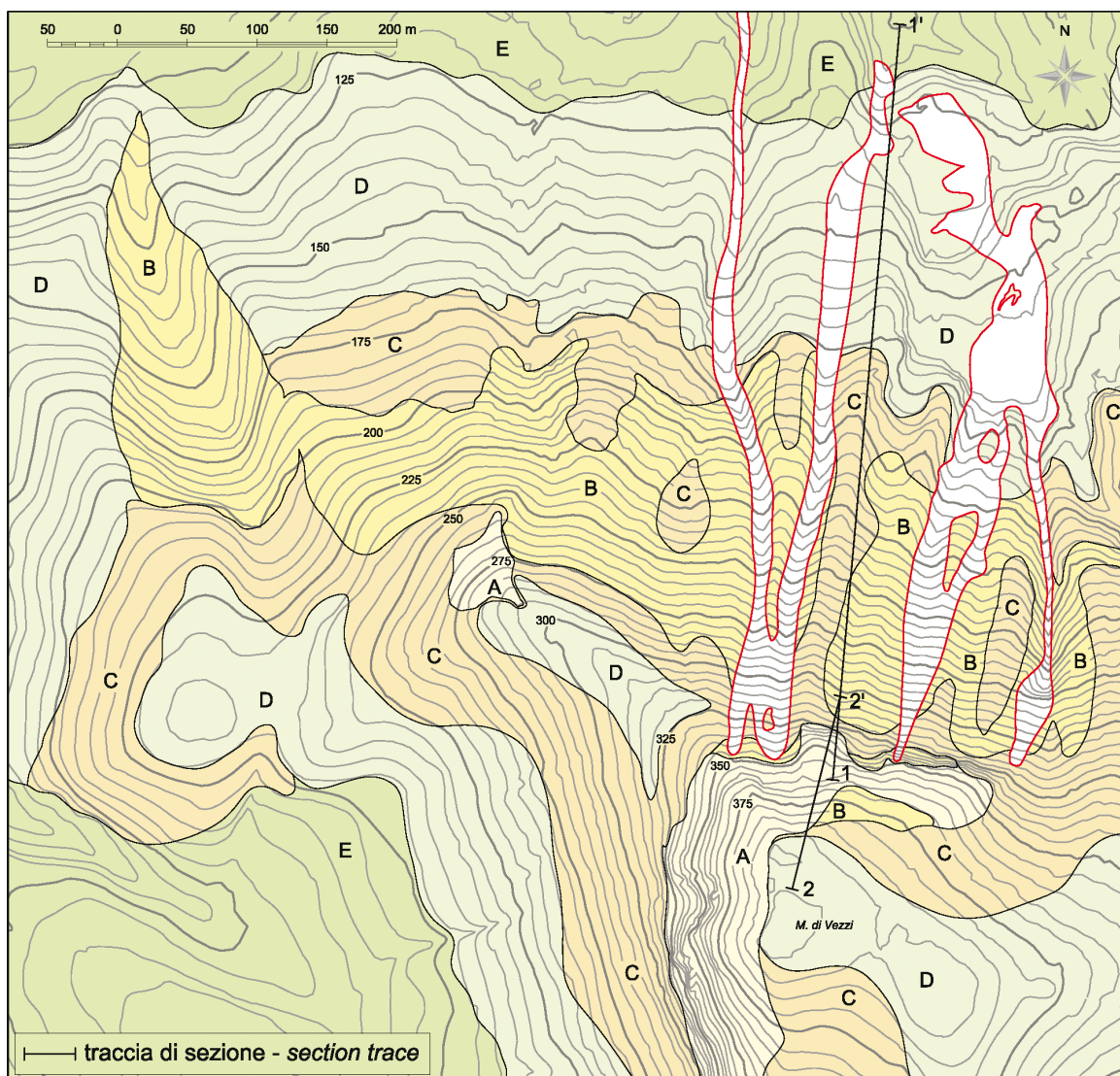


Fig. 6 - Carta della distribuzione delle classi di spessore delle coperture sciolte. Legenda: A. Classe A con spessori inferiori a 0,5 m; B. Classe B con spessori compresi tra 0,5 e 2,0 m; C. Classe C con spessori compresi tra 2,0 e 5,0 m; D. Classe D con spessori compresi tra 5,0 e 10,0 m; E. Classe E con spessori superiori a 10,0 m.
 - Map showing the distribution of the thickness classes of loose cover deposits. Legend: A. Class A, thickness < 0,5 m; B. Class B, thickness 0,5 - 2,0 m; C. Class C, thickness 2,0 - 5,0 m; D. Class D, thickness 5,0 - 10,0 m; E. Class E, thickness > 10,0 m.

zioni piroclastiche più recenti della lava (Formazione di Piano Liguori e Formazione del Pignatello). Le colluvioni sono diffusamente distribuite anche alla base dei versanti e lungo gli impluvi interessati dalle frane. Di regola sulle coperture sciolte si sviluppa con continuità un suolo, localmente spesso alcuni decimetri. In particolare, in corrispondenza di pianori sommitali e delle aree pianeggianti di fondovalle sulle piroclastiti di deposizione primaria sono visibili livelli di suolo ben evoluto.

Nell'ambito delle coperture sono stati considerati anche gli accumuli di frana, la cui natura litologica è prevalentemente rappresentata da pomice e scorie inglobate in una massa cineritica completamente destrutturata.

La raccolta dei dati sulle caratteristiche delle coperture sciolte ha per il momento un carattere ancora preliminare in quanto ad essa si è pervenuto attraverso la ricostruzione di alcuni profili stratigrafici ricavati in tagli naturali ed in alcuni pozzetti scavati a mano, e da alcune prove penetrometriche (DE VITA *et alii*, 2007) eseguite sul versante settentrionale.

Tra le classi individuate sono state scelte quelle correlate a semplici osservazioni basate sulle caratteristiche morfologiche e strutturali dei versanti che più facilmente possono essere restituite su base topografica, a scala 1:5.000. Così operando si sono distinte le seguenti 5 classi di spessore:

Classe A – spessore < 0.50 m

Classe B - spessore 0.50 m-2.00 m

Classe C - spessore 2.00 m-5.00 m

Classe D - spessore 5.00 m-10.00 m

Classe E - spessore > 10.00 m

CLASSE A (spessore < 0.50 m)

La classe A comprende le aree di versante in cui il substrato è direttamente affiorante o si presenta subaffiorante, in quanto ricoperto da cineriti destrutturate ed alterate, inglobanti frammenti clastici (pomice e scorie) di piccole dimensioni, ricoperte da un suolo più o meno sviluppato di colore bruno scuro; tali terreni hanno uno sviluppo molto discontinuo e localmente raggiungono lo spessore massimo di 0,50 m. Il substrato comprende più unità litologiche indipendentemente dall'età e dalla genesi, caratterizzate da comportamento omogeneo nei confronti della stabilità dei versanti.

In particolare, appartengono a questa classe gli affioramenti delle lave massicce, delle scorie agglutinate lungo le scarpate ad ovest e nord del duomo lavico e delle scorie scure inferiori nella porzione medio-bassa del versante settentrionale di Monte di Vezzi. Sono, inoltre, ascrivibili a tale classe ulteriori affioramenti di prodotti piroclastici appartenenti alle successioni di età più recente del domo variamente diffuse su tutti i versanti della struttura vulcanica (Fig. 7). Gli affioramenti sono discontinui e non di rado localizzati lungo aree di displuvio e di scarpate, che per la loro ridotta estensione non sono stati rappresentati in carta.

CLASSE B (spessore 0.50 m - 2.00 m)

La classe B, comprensiva di coperture di limitato spessore e quasi ovunque discontinue, è diffusa principalmente nel tratto medio-alto

Pignatiello Formation).

The colluvial deposits are emplaced at the dome footslope and along the stream network where the landslides occurred. The *pyroclastic loose cover* is always overlain by a soil, somewhere up to a few decimeters thick. In particular, on the plain surfaces both at high altitude and in the valley bottom well-formed soil layers crop out above the primary pyroclastic deposits.

Even the landslide deposits, mainly made up by pumice and scoria fragments embedded in a loose ash matrix with no sedimentary structure, were classified as a *pyroclastic loose cover*.

The data survey on *pyroclastic loose cover* is at present in a preliminary stage, since the stratigraphic succession was reconstructed simply by investigating few natural and hand drilled cuts. Moreover, some SPT tests were performed (DE VITA *et alii*, 2007) along the northern slope.

Among all the thickness classes recognized we selected to draw on the map those more easy to be reported on the topographic map at 1:5000 scale, deduced through simple field observations of morphological and structural features of the Mt. di Vezzi flanks. Five thickness classes were pointed out through the methodology here presented:

Class A - thickness < 0.50 m

Class B - thickness 0.50 m-2.00 m

Class C - thickness 2.00 m-5.00 m

Class D - thickness 5.00 m-10.,00 m

Class E - thickness > 10.00 m

CLASS A (thickness < 0.50 m)

Class A generally encompasses the areas where the bedrock directly or almost directly crops out, covered only by reworked and altered ash deposits, with embedded fine grained pumice and scoria fragments. The succession is closed by a dark brownish soil. These deposits are very scattered and locally reach a 0,40 m maximum thickness. The substratum is made up by several lithological units apart from their age and origin, characterized by a homogeneous behavior with respect to the slope stability.

In particular, in this class fall the outcrops of *massive lava*, of *agglutinated scoria* along the W and N scarps of the lava dome and of *lower dark scoria* in the intermediate to lower part of the northern Mt. di Vezzi slope. To this class were also ascribed some scattered outcrops of younger products diffused along the whole of the volcanic structure (Fig. 7). These last outcrops mainly located along the stream network and the scarps are very discontinuous and, since their narrow extent, were not mapped.

CLASS B (thickness 0.50 m - 2.00 m)

This class, encompassing thin and scattered pyroclastic covers, is mainly diffused in the intermediate to high part of the northern

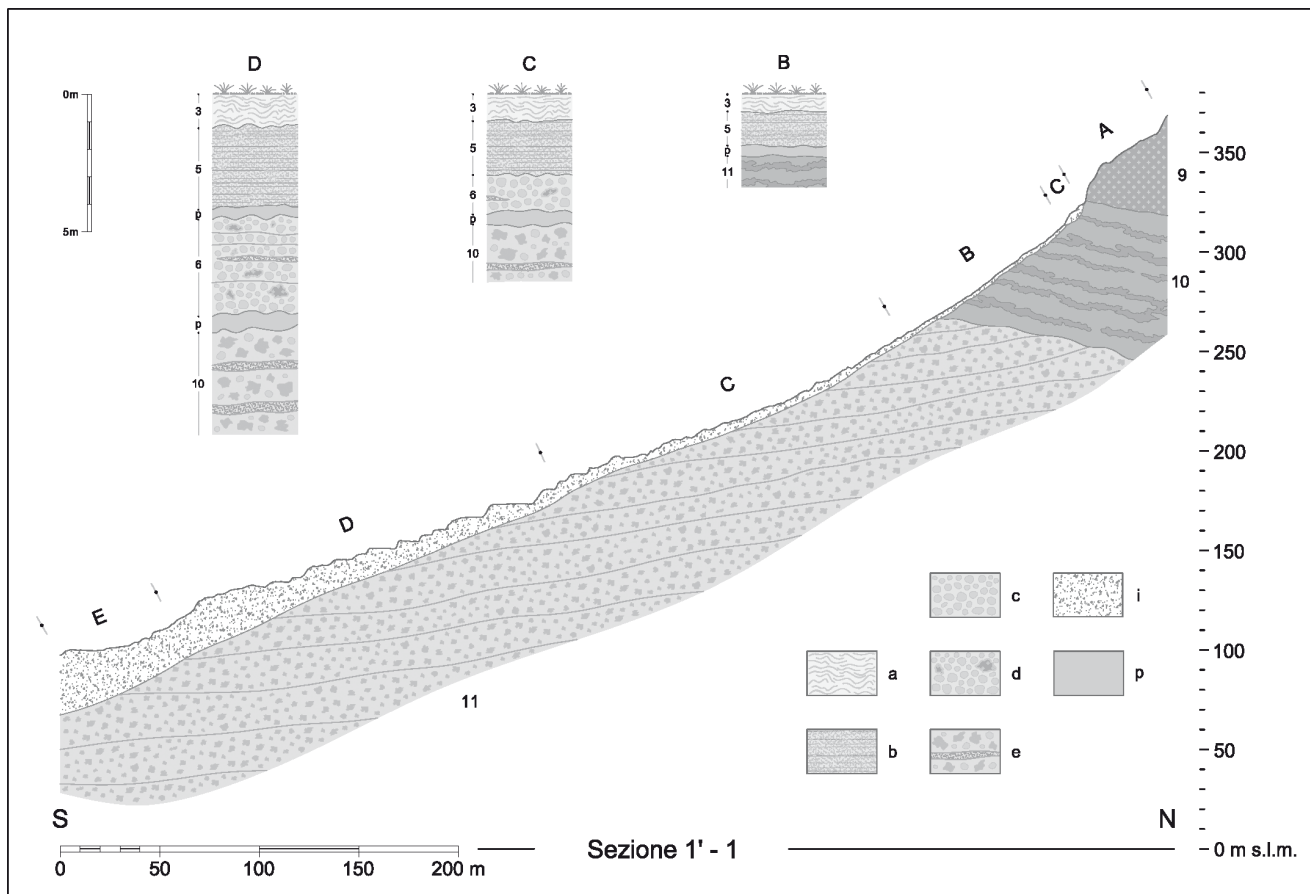


Fig. 7 - Sezione geologica 1-1' illustrante la distribuzione e la natura (illustrata con stratigrafie tipo) delle classi di spessore ed i rapporti con le unità del ciclo vulcanico antico lungo il versante settentrionale di Monte di Vezzi. La traccia della sezione è riportata in Fig. 6; i numeri delle unità si riferiscono alla legenda della Tav. 1. Legenda dei simboli litologici: a) colluvioni, b) cineriti con pomici, c) pomici bianche da flusso, d) pomici inglobanti blocchi lavici, e) scorie e pomici con livelli cineritici, p) paleosuolo, i) copertura indifferenziata

- Geological cross-section 1-1' showing kind (showed with standard logs) and distribution of thickness classes and relationships with the Ancient volcanic Cycle units along the Monte di Vezzi northern slope. Section trace is showed in Fig. 6; unit numbers refer to Tav. 1 legend. Legend: a) Colluvial deposit, b) pumice and ash deposit, c) pumice clasts associated with pyroclastic flow deposit, d) pumice deposit including lava block, e) scoria and pumice layer alternated with ash layers, p) paleosoil, i) covering deposit

del versante settentrionale di Monte di Vezzi compreso tra 200 m e 300 m di quota (Fig. 7).

I terreni che costituiscono la classe B comprendono colluvioni, formate da piroclastiti a tessitura caotica includenti accumuli eterogenei di piccoli clasti di pomici e scorie subarrotondate, derivanti dalla degradazione dei terreni facenti parte di successioni piroclastiche successive alla messa in posto delle lave. Nella porzione superiore si presentano umificate, mentre il passaggio con le sottostanti scorie agglutinate è marcato da un sottile e discontinuo paleosuolo di colore ocraceo, poco evoluto e localmente concrezionato. Sul versante settentrionale questa classe di spessore si riscontra anche in un'area limitata della cornice sommitale del domo lavico in corrispondenza della quale si è verificata il distacco di terreni della Formazione di Piano Liguori, che hanno contribuito all'alimentazione del corpo della frana n° 3 (DE VITA *et alii*, 2007; IOVINO *et alii*, 2007).

slope of Mt. di Vezzi, between 200 and 300 m elevation (Fig. 7).

The lithotypes falling in class B are colluvial deposits made up of pyroclastic products displaying chaotic texture and containing fine subrounded pumice and scoria lenses. These clasts derive from the alteration of the primary pyroclastic products younger than lava flows. In the topmost of the succession these deposits are humified, whereas the passage to the underlying *agglutinate scoria* is bounded by a thin and discontinuous ochraceous paleosoil, little evolved and locally containing calcareous concretions.

On the northern slope this class can be find also in a narrow area of the upper ledge of the lava dome where the detachment of deposits of the *Piano Liguori Formation* occurred, feeding the n. 3 landslide (DE VITA *et alii*, 2007; IOVINO *et alii*, 2007).

CLASSE C (spessore 2.00 m - 5.00 m)

La classe C è ampiamente rappresentata in gran parte dei settori alti dei versanti di Monte di Vezzi (Fig. 7). In particolare è frequente tra quota 300 m e 330 m a nord ed ad ovest, mentre ad est ed a sud si rinviene fino a quota 360 m. Ulteriori sviluppi della classe C sono stati riscontrati lungo il tratto medio-basso del versante settentrionale e occidentale tra quota 175 m e 225 m.

I terreni che costituiscono questa classe nei settori più elevati del versante sono caratterizzate, in superficie, da un suolo di colore bruno scuro, che evolve verso il basso ad un livello di colluvioni, costituito da ceneri argillificate e ricche in humus, contenenti numerose pomice sub-arrotondate rimaneggiate a granulometria variabile di colore chiaro. Tali terreni ricoprono in maniera discontinua il passaggio tra le scorie e le lave soprastanti. Le osservazioni di campo hanno evidenziato che le nicchie delle frane sono impostate nell'ambito di tali terreni, quasi in corrispondenza di vallecole morfologiche. Le colluvioni ricoprono porzioni alterate di terreni della Formazione di Piano Liguori e, nei settori orientali, livelli piroclastici da riferire alla Formazione del Pignatiello (Fig. 7).

I maggiori spessori della classe C sono più diffusamente presenti lungo il tratto medio-basso dei versanti, ed in particolare sul versante settentrionale (Fig. 7). Le colluvioni ricoprono porzioni alterate dei terreni della Formazione di Piano Liguori, costituiti da livelli di cineriti massive e bianche, localmente marcate da una sottile laminazione parallela, con diffuse piccole pomice arrotondate di colore arancione. In corrispondenza delle sezioni più spesse, al di sotto dei terreni appartenenti alla Formazione di Piano Liguori, sono visibili banchi di pomice bianche clasto-sostenute debolmente stratificate a dimensioni centimetriche da riferire alla formazione del *pumice flow*. La base di tale sequenza è marcata da un livello tufaceo, localmente concrezionato e discontinuo, di colore violaceo scuro che chiude la successione di strati scoriacei.

CLASSE D (spessore 5.00 m - 10.00 m)

La classe D è diffusa lungo tutto il tratto medio basso del versante settentrionale e del versante occidentale (Fig. 7). I terreni che caratterizzano la classe D sono rappresentati in buona parte dai termini litologici della formazione del *pumice flow*. Il deposito nella porzione più superficiale è costituito da livelli di pomice sciolte scarsamente addensate, come documentano i profondi solchi incisi dalle frane dell'aprile 2006 nell'ambito di tale formazione piroclastica.

Le sezioni stratigrafiche hanno evidenziato una composizione articolata dei terreni racchiusi in tale classe. La sezione più completa è rappresentata nella Fig. 8. Dall'alto verso il basso, al di sotto un livello di ceneri rimaneggiate ed umificate (colluvioni) inglobanti pomice derivante probabilmente dall'alterazione delle piroclastiti della Formazione di Piano Liguori e delle pomice della formazione del *pumice flow*, sono presenti uno o più livelli di un paleosuolo di colore arancione scuro intercalato a ceneri biancastre che sormontano livelli decimetrici di piroclastiti della Formazione di Piano Liguori. Verso il basso il deposito è interrotto da un sottile livello di paleosuolo di colore rossiccio, al di sotto del quale si sviluppa un banco potente 1-2 m di

CLASS C (thickness 2.00 m - 5.00 m)

Class C is widely distributed in most of the slopes of Mt. di Vezzi (Fig. 7). It mainly occurs between 300 and 320m altitude towards N and W, whereas at E and S it can be found up to 360m elevation. Other class C deposits were found along the intermediate-low northern and western slope between 175m and 225m elevation.

The lithotypes falling in this class in the higher part of the slopes are covered by a dark brown soil, passing towards the base to a colluvial layer. This layer is made up of clayey and humus-rich ash, containing several coarse to fine reworked subrounded whitish pumice fragments. These deposits are discontinuously scattered along the boundary between scoria deposits and lava flows. Field survey made it possible to recognize that the landslide *niche* is located into these deposits, near narrow morphological valleys (V. foto). The colluvial deposits cover the altered part of *Piano Liguori Formation* deposits, and in the eastern part cover pyroclastic layers of the *Pignatiello Formation* (Fig. 7).

Huge thickness of class C deposits mainly outcrops along the intermediate-low part of the slopes. In particular along the northern slope (Fig. 7) the colluvial deposits cover the altered deposits of the *Piano Liguori Formation*, mainly made up of massive whitish ashes, elsewhere thinly laminated. Along the thicker stratigraphic sequences beneath the deposits of the *Piano Liguori Formation* clast supported coarse white *pumice flow* pumice layers, slightly stratified, crop out.

The base of this sequence shows a dark purple welded tuff layer locally containing concretions (paleosoil?) (v. foto) directly overlying the *Dark scoria and pale grey pumice Formation*.

CLASS D (thickness 5.00 m - 10.00 m)

Class D is widespread along the intermediate-low northern and western slope (Fig. 7). The lithotypes of class D are mainly made up by the *Pumice flow formation* deposits.

In its upper part the deposit is made up by loose to slightly welded pumice layers, as testified along the deep gullies of the April 2006 landslide cut into this pyroclastic formation. The stratigraphic succession of this area evidences the variable features of the products of this class. The most complete section is reported in Fig. 8. From the top to the base beneath a humified and reworked (colluvial) ash layer containing altered pumice fragments from the *Piano Liguori* and *Pumice Flow Formation* one or more levels of a dark orange paleosoil alternating with whitish ashes crop out and overlay decimeter thick pyroclastic layers of *Piano Liguori Formation*. Towards the bottom the deposit is interrupted by a reddish paleosoil, overlying a 1-2 m thick white pumice layer of the *Pumice Flow Formation*. At the base of the succession, along the landslides cuts, a thin layer formed to the *dark scoria and pale grey pumice* crop out. Likely in the previous sector, in these area the

pomice bianche della formazione del *pumice flow*. Quest'ultima formazione ricopre un'unità formata da scorie scure e pomice grigio chiara, lasciandone apparire in affioramento sezioni di limitato spessore lungo i tratti erosi dalle frane. Anche in questi settori del versante al contatto tra le due formazioni è presente in maniera discontinua un paleosuolo costituito da cineriti di colore violaceo scuro.

La classe di spessore D è presente anche in alcuni settori soprastanti la cornice sommitale del domo lavico, compresa tra quota 325 e quota 380 m s.l.m., in accordo con i dati geoelettici (DI MAIO *et alii*, 2007). In questo caso i terreni che caratterizzano tale classe di spessore sono costituiti principalmente dai depositi da caduta della Formazione di Piano Liguori, rappresentati nella porzione più superficiale da ceneri in strati intercalate a sottili livelli decimetrici di pomice.

CLASSE E (spessore > 10.00 m)

La classe E comprende coperture di elevato spessore, che caratterizzano le aree di raccordo di fondovalle a quote inferiori di 125 m (Fig. 7). Non si esclude che spessori analoghi siano possibili anche in corrispondenza dei ripiani sommitali e dei ripiani intermedi, quali quelli soprastanti il domo lavico di Monte di Vezzi e di località Pietra Marina. Di regola in queste ultime aree i terreni sono costituiti da depositi piroclastici in giacitura primaria da riferire principalmente alla Formazione di Piano Liguori. Per queste aree più elevate nello studio si è ritenuto opportuno evidenziare lo spessore delle porzioni più alterate e meno addensate della formazione affiorante.

DISCUSSIONE DEI DATI

Formazione della struttura vulcanica del Monte di Vezzi

Sulla base della ricostruzione dell'assetto geologico-stratigrafico, delle caratteristiche vulcanologiche dei prodotti e della loro distribuzione, si può ipotizzare la sequenza degli eventi che hanno portato alla formazione della struttura vulcanica del Monte di Vezzi, che può essere descritta attraverso tre fasi eruttive principali:

Fase 1 - Attività stromboliana e formazione di un "Cinder Cone"

Il centro eruttivo di Monte di Vezzi fa parte di quelle numerose attività vulcaniche antiche, allineate lungo un elemento strutturale a carattere regionale, ubicato nel versante sud-orientale dell'Isola d'Ischia (Monte Campagnano, S. Pancrazio, Scarrupata, ecc.). Queste attività si evolvono, nella maggior parte dei casi, attraverso lo sviluppo di una fase moderatamente esplosiva di tipo stromboliano, che evolve, a sua volta, verso una fase più francamente effusiva, concludendosi con la messa in posto di un domo lavico (RITTMANN & GOTTINI, 1980).

In particolare, per quel che concerne l'attività del Monte di Vezzi, la presenza dei depositi scoriacei clinostratificati basali (25-30°) indica che l'attività vulcanica di tipo stromboliano ha portato alla formazione di un edificio a forma più o meno conica per accumulo balistico dei prodotti scoriacei (*cinder cone*). Durante l'evolversi di questa tipologia esplosiva a carattere magmatico, non possono essere escluse fasi epi-

boundary between the two last formations is marked by a dark purple paleosoil.

The class D deposits are also present in several zones above the upper escarpment of the lava dome between 325 and 380 m a.s.l. according to geoelectrical data (DI MAIO *et alii*, 2007). In this last area the class D deposits are mainly represented by pumice fall deposits of the *Piano Liguori Formation*, made up in the upper part of the sequence by thin ash layers alternated to decimeter thick pumice layers.

CLASS E (thickness > 10.00 m)

This class mainly encompasses the thick pyroclastic layers emplaced on the slope pediment at elevation lower than 125 m a.s.l. (Fig. 7). We cannot certainly state that it is not possible to find similar thickness of *loose pyroclastic cover* on the plain surfaces at high and/or intermediate altitude, like the plains above the Mt. Vezzi lava dome or at Pietra Marina site. Generally the pyroclastic deposits emplaced in these zones mainly display primary features and can be ascribed to the *Piano Liguori Formation*. In the present study, however, when drawing the thickness of *loose pyroclastic cover* in the map, for the plain areas located at higher altitude we considered only the thickness of the most altered and less welded part of the field cropping formation.

DISCUSSION

Formation of Mt. di Vezzi volcanic structure

Taking into account the geological and stratigraphical setting presented in the previous sections, as well as the volcanological features of the products and their distribution, the sequence of events that built the structure of Mt. di Vezzi was reconstructed. Three main volcanological phases were recognized:

Phase 1 – Strombolian activity and growth of a "Cinder Cone"

The eruptive center Mt. di Vezzi belongs to the several ancient vents grown along a structural regional alignment located on the SE side of the Ischia Island (Mt. Campagnano, S. Pancrazio, Scarrupata etc.). At these vents a weakly explosive strombolian activity is generally recorded, passing to a decidedly effusive activity that ends with the emplacement of a lava dome (RITTMANN & GOTTINI, 1980).

In particular, at Mt. Vezzi the presence of clinostratified scoria basal deposits (25-30°), makes it possible to hypothesize that strombolian activity formed a conic volcanic edifice due to the ballistic piling up of scoriaceous spatters (*cinder cone*). It is not possible to exclude the occurrence of hydromagmatic phases alternating to this purely magmatic activity, as the presence of finely fragmented ash layers interbedded to scoria levels testifies.

Explosive activity formed a little very asymmetrical volcanic edifice, with a less developed southern sector. Several are the pos-

sodiche di tipo idromagmatico, come dimostra la presenza di livelli cineritici frammentati intercalati nella parte alta tra i prodotti scoriacei.

L'attività esplosiva ha prodotto probabilmente un edificio vulcanico di piccole dimensioni, caratterizzato da una marcata asimmetria, dove il settore meridionale risultava meno sviluppato. Diverse cause, come è noto, possono essere responsabili di tale asimmetria nella forma, quali ad esempio una maggiore velocità del vento verso una determinata direzione, una particolare inclinazione del condotto che causa un accumulo prevalente di prodotti su di un lato, o per fenomeni di *breaching* dovuti a flussi lavici viscosi che erodono un settore dell'orlo craterico, nella fattispecie, quello meridionale, dove sono più consistenti gli accumuli lavici di chiusura dell'attività. Non si può escludere, infine, che l'asimmetria sia stata esaltata maggiormente da locali disturbi tettonici, responsabili di un incompleto sviluppo della struttura nel settore meridionale.

Fase 2 - Attività delle Fontane di lava

In questa fase dell'eruzione si sviluppano delle fontane laviche, segno evidente che il contenuto in gas del magma va diminuendo, pur essendo ancora consistente, con produzione di *lava spatters*, ovvero, lava nella quale si osservano distintamente i clasti agglutinati, assimilabile ad una vera e propria *lava clastogenica*, dove i singoli clasti espulsi ad alta temperatura subiscono azioni di deformazione plastica e di saldatura (processo di agglutinamento). La lava clastogenica si ricompone, quindi, attorno al centro eruttivo, ammantando la sommità dell'orlo craterico e, in virtù dall'andamento asimmetrico del fondo dello stesso cratere, acquisisce un'inclinazione verso SE a causa di un ulteriore modesto rifluimento.

Fase 3 - Attività effusiva finale

L'energica perdita di volatili durante la fase delle fontane di lava determina un rapido aumento della frazione cristallina e, quindi, della viscosità. La lava fluisce lentamente sul substrato e in virtù del suo elevato *yield strength* tende ad ispessirsi nel momento in cui la forza viscosa diventa superiore a quella inerziale. La presenza nella lava del Monte di Vezzi di linee di flusso (*fluidal banding*), che evolvono a vere e proprie superfici di taglio a mano a mano che la stessa si raffredda, conferma inequivocabilmente l'attribuzione di questo deposito ad una struttura del tipo *dome flow*. Successivamente alla deposizione, il corpo lavico viene interessato da una fatturazione da stress termico durante il raffreddamento, nel momento in cui la contrazione supera la forza viscosa tensile, con propagazione secondo piani perpendicolari alla direzione di contrazione. I risultati dell'analisi meso-strutturale sul corpo domo, oltre a mettere in evidenza questo aspetto, evidenziano anche un contributo alla fatturazione da parte dei movimenti tettonici controllati dal campo di stress regionale.

Il susseguirsi delle attività appena descritte ha portato, in definitiva, alla formazione di una struttura dalla morfologia alquanto articolata, schematizzata nelle sezioni geologiche (Fig. 3), associata un apparato dalla morfologia complessa, rispetto alle quale il domo lavico non rappresenta il solo deposito che forma la struttura del Monte di Vezzi.

sibile reasons responsible for this asymmetrical shape, as the higher wind speed towards a direction, a peculiar sloping of the conduit causing the prevailing piling up of products on a side, or breaching phenomena linked to viscous lava flows eroding a sector of the crater rim. In this specific case the southern sector, where huge was the accumulation of lava closing the activity, could have been eroded. Finally, we cannot exclude that a tectonic local disturbance, responsible for the incomplete development of the southern sector of the edifice, caused its asymmetrical shape.

Phase 2 - Lava fountaining activity

During this phase of the eruption lava fountains occur, testifying to the decreasing gas content of magma, even if enough to produce lava spatters. In some lava blocks agglutination welded clasts can be observed, very similar to clastogenic lavas, in which the single fragments erupted at high temperature are plastically deformed and tend to weld (agglutination). This clastogenic lava grows around the vent blanketing the top of the crater rim and, owing to the asymmetric shape of the crater bottom, gains a SE sloping caused by a further moderate flowage.

Phase 3 - Final effusive activity

The huge volatile loss during the lava fountaining phase causes a strong increase in crystal content and hence of viscosity. Lava slowly flows on the substrate, and due to its high yield strength becomes thicker when the viscous force exceeds the inertial force. The presence in the Mt. di Vezzi lava of fluidal banding, evolving to shear surfaces, definitely confirms this deposit as a dome flow type. After the emplacement, during the cooling the lava body experiences thermal stress joints, when the contraction exceeds the tensile viscous force, propagating into plains normal to the contracting direction. Results of mesostructural analysis on the lava dome point out this feature as well as the contribution to joints development of tectonic movements of the regional stress field.

The volcanic phases described in this section brought to a complex volcanic structure, drawn in the sketch geological sections of Figure 4, where is reported a scoriaceous ancient volcanic edifice, culminating with a lava spatter bank and a very typical dome flow structure.

CONDIZIONAMENTO DELLA MORFOLOGIA VULCANICA NELLA DEPOSIZIONE DELLE PIROCLASTITI SCIOLTE DEI CICLI RECENTI

La particolare morfologia associata alla struttura vulcanica del Monte di Vezzi ha operato un forte condizionamento nella deposizione dei prodotti incoerenti formati dalle successive attività esplosive. Si osserva al riguardo che le prime coltri piroclastiche originatesi da centri eruttivi ubicati nei settori meridionali (Formazione del Pignatiello e fase esplosiva recente del Monte di Vezzi) si conservano con grossi spessori a sud, su di un substrato dislocato per faglia, e ad est, tra la concavità morfologica che si individua tra il Monte Torrone ed il Monte di Vezzi (Tav. 1, Figg. 3 e 4). Tali depositi sono del tutto assenti o presenti in piccoli lembi sul versante settentrionale, dove l'erosione è risultata più energica perché le coltri piroclastiche si sono depositate su di un substrato rigido, inclinato con un angolo di circa 30° (Tav. 1, Figg. 3 e 4). Per contro, i prodotti da flusso, probabilmente associati all'attività dell'Epomeo, provenienti da N-NE, impattando con il versante del Monte di Vezzi, sono risaliti in contropendenza direttamente sui prodotti scoriacei della prima fase eruttiva, originando una caratteristica struttura deposizionale a "pinch-out", con chiusura intorno alla quota di 200 m s.l.m.. L'ultimo deposito che ha ricoperto la struttura di Monte di Vezzi con spessori significativi è rappresentato dalla Formazione di Piano Liguori. Si tratta di prodotti cineritici ascrivibili ad una fase di "ash-cloud" derivante da una importante attività freatomagmatica di epoca preistorica (< 10 ka), la cui origine è attualmente ancora controversa (BUCHNER, 1990). La deposizione di questi prodotti, avvenuta dopo circa 50 ka dall'attività del Tufo Verde, ha trovato nel settore settentrionale un substrato completamente denudato nei tratti con maggiori pendenze, mentre ha contribuito ad ispessire la coltre piroclastica negli altri settori morfologicamente favorevoli alla deposizione (Fig. 6).

FATTORI GEOLOGICI E MORFOSTRUTTURALI PREDISPONENTI ALL'EVOLVERSI DEI MOVIMENTI FRANOSI

In corrispondenza del passaggio tra le lave del domo ed i livelli soggiacenti di scorie agglutinate, tra le quote di 330 e 350 m s.l.m., risulta evidente una brusca variazione di pendenza, che produce un piccolo gradino morfologico, parzialmente ricoperto dalle coperture sciolte e da blocchi lavici rimobilizzati (Fig. 8).

Questa particolare condizione morfostrutturale ha, infatti, favorito localmente un maggior accumulo di prodotti piroclastici sia primari, segnatamente della Formazione di Piano Liguori, che ridepositati, frammenti a materiale detritico, i cui spessori complessivi ricadono nella fascia C (Fig. 6). Il deposito è continuo e localmente è ricoperto da grossi blocchi di lava crollati dalla parete sovrastante (Tav. 1), al punto da individuare un piccolo sentiero lungo il coronamento, in prossimità del quale si sono individuate le aree di distacco dei recenti movimenti franosi. In definitiva, quindi, il tratto di versante in cui avviene il passaggio litologico tra le lave del duomo e le scorie sal-

ROLE OF THE LAVA DOME IN CONTROLLING THE EMPLACEMENT OF YOUNGER LOOSE PYROCLASTIC DEPOSITS

The volcanic morphology of the Mt di Vezzi greatly influenced the emplacement of pyroclastic deposits of the younger explosive activity. In this regard, huge thickness of the first pyroclastic products coming from the eruptive vents located in the southern sector (Pignatiello Formation, and of the last explosive phase of Mt. di Vezzi) are preserved at South, on a substrate displaced by a fault, and at East, along the morphological concavity between Mt. Torrone and Mt. di Vezzi (Tav. 1, Fig. 4). They only rarely crop out along the northern slope, where strongest was the erosion owing to the emplacement of the pyroclastic layers above a rigid substratum, 30° sloping. On the other hand, the pyroclastic flow products, probably linked to the Epomeo activity, coming from N-NE, ascended the Mt. di Vezzi flank directly overlying the scoria products of the first eruptive phase, showing a "pinch-out" depositional feature, which reaches the maximum altitude of 200 m a.s.l. The last meaningful deposit covering Mt. di Vezzi is the Piano Liguori Formation. These are ash cloud deposits of a phreatomagmatic activity occurred in prehistoric age (< 10 ky), whose origin is still a matter of debate (BUCHNER, 1990). The deposition of these products, occurred around 50 ky after the emplacement of the Green Tuff, on a bare substratum in the northern sector where the slopes were higher, whereas contributed to thicken the loose pyroclastic cover in the other sectors where deposition was easier (Fig. 6).

MORPHOSTRUCTURAL FACTORS PREDISPOSING THE LANDSLIDE PHENOMENA

At the boundary between the lava dome and the underlying agglutinated scoria deposit, between 330 and 350 m a.s.l., a strong slope variation is recorded, producing a narrow morphological step, partly blanketed by loose pyroclastic cover and remobilized lava blocks (Fig. 8).

This morphological shape locally favored the piling of thick pyroclastic products, namely of the Piano Liguori Formation that, reworked and emplaced together with lava fragments, reach a thickness falling in the class C. The deposit is continuous and somewhere covered by lava blocks fallen from the overhanging lava wall. A narrow path is present along the landslide crown, near which the detachment areas of recent landslides are located. In conclusion, the portion of the flank where the passage between the lavas of the dome and the welded scoria deposit occurs, located at 330-350 m a.s.l., corresponds to a sudden slope variation, covered by a thick pyroclastic cover. These latter acquire the role of factors predisposing the land-

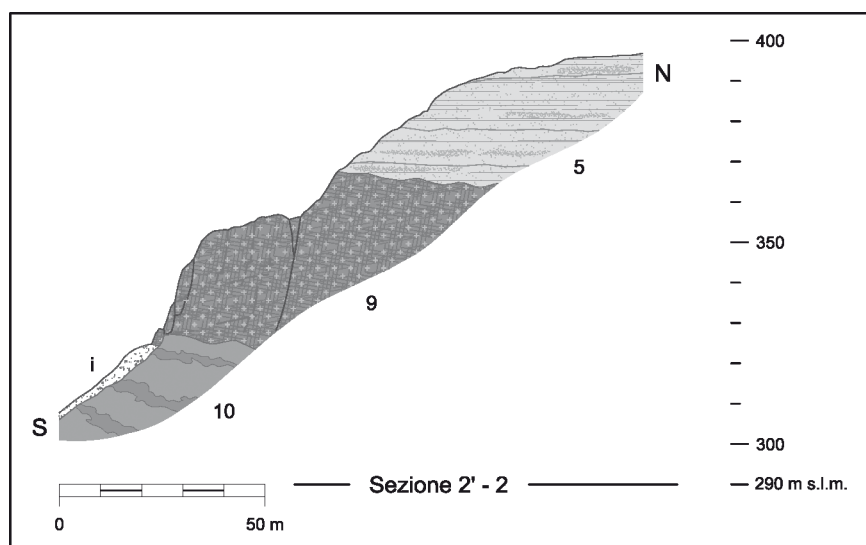


Fig. 8 - Sezione geologica 2'-2' illustrante i distacchi di prismi di lava lungo la scarpata di coronamento sommitale del versante settentrionale di Monte di Vezzi. La traccia della sezione è riportata in Fig. 6; i numeri delle unità si riferiscono alla legenda della Tav. 1

- Geological cross-section showing the lava blocks detached from the top escarpment of the Monte di Vezzi northern slope. Section trace is showed in Fig. 6; unit numbers refer to Tav. 1

date, assume il ruolo di un vero e proprio fattore predisponente per i movimenti franosi, essendo tra l'altro sede di effimere emergenze idriche dovute al forte contrasto di permeabilità tra i due tipi di deposito.

A partire dalla quota di 330 m s.l.m., lungo tutta la restante parte del versante, fino alla quota di 200 m s.l.m., la coltre piroclastica mostra uno spessore esiguo, ricadente nella fascia B, ritornando ad ispessirsi a quote inferiori per la presenza sempre più consistente dei prodotti da flusso che risalgono in contropendenza la struttura vulcanica pre-esistente. Appare evidente, quindi, che una volta innescatisi i movimenti franosi a partire dal coronamento, dove le piroclastiti hanno maggiori spessori, i flussi dei corpi franosi coinvolgono successivamente una coltre piroclastica di minore spessore (0,5-1 m) lungo gran parte del versante, tra le quote di 330 e 200 m s.l.m., che diventa di nuovo cospicua a quote inferiori a 200 m s.l.m., per la presenza dei depositi del *pumice flow*.

Un altro fattore predisponente di dissesti è legato allo stato di fatturazione che interessa la scarpata sommitale in lava. Il corpo lavico ha caratteristiche litoidi in cui si rinvengono fratture molto inclinate, a medio e alto angolo, ben sviluppate, a differenza della formazione delle scorie saldate, immediatamente sottostante, dove le fratture ben definite sono praticamente assenti. L'analisi strutturale ha evidenziato che i set di fratture che incidono il corpo lavico non sono limitati al solo carapace esterno, ma sono pervasivi, e che gran parte di esse sono state indotte dal campo di stress tettonico regionale con direzione NW-SE e NE-SW. La roccia lavica, pertanto, risulta suddivisa in più prismi, localmente anche sovrapposti tra loro, il cui volume oscilla tra 0,5 m³ e 5-6 m³. Questi blocchi una volta separati dal corpo roccioso, secondo il meccanismo caratteristico delle frane di espansione laterale, tendono a scivolare molto lentamente (circa 1-2 mm/anno) verso valle, andando a sovrapporsi alle coperture sciolte, proprio in corrispondenza del raccordo lave-scorie saldate. Anche questi processi hanno contribuito localmente alla destrutturazione dei terreni sciolti, favorendo nel contempo la locale alterazione dei parametri geotecnici.

slide phenomena.

Starting from 330 m a.s.l., downward to 200 m a.s.l., the pyroclastic cover is very thin, falling into class B, and becomes again thicker at lower elevation owing to the contribution of pyroclastic flow deposits climbing up the volcanic flank. It is clear, therefore, that, once the landslide is triggered at the crown, where the pyroclastic cover is thicker, it flows along most of the flank between 330 and 220 m a.s.l. firstly involving a thinner pyroclastic cover (0,5-1 m), which becomes thicker again at an altitude lower than 200 m a.s.l.

Another factor predisposing landslides is the presence of joints in the lava escarpment. The lava body is very compact and shows well developed highly inclined joints, at intermediate and high angle. The underlying welded scoria formation, on the contrary, shows no joints. Structural analysis pointed out the sets of joints cutting the lava body do not involve only the external carapace, but are pervasive and most of them are linked to the regional tectonic stress field NW-SE and NE-SW striking. The lava is therefore subdivided into several prisms, locally overlapping each other, ranging between 0.5 and 5-6 cubic meters volume. Once these blocks are parted from rock body, according to the lateral expansion landslide mechanism, slowly (ca 1-2 m/y) slide towards the valley, and overlay the loose pyroclastic cover, just at the boundary between lava and welded scoria deposits. These processes locally contributed to the lost of coherence of loose terrains, at the same time favoring the local change of geotechnic parameters.

CONCLUSIONI

Nella presente nota viene descritto in dettaglio il modello geovulcanologico elaborato per l'area di Monte di Vezzi, al fine di individuare i principali fattori geologici che possono aver contribuito a creare sul versante condizioni favorevoli all'instabilità. Lo studio svolto ha consentito la ricostruzione dei principali eventi tettono-vulcanici che hanno interessato la porzione sud-orientale dell'isola e che hanno portato all'attuale assetto stratigrafico-strutturale del rilievo di Monte di Vezzi e ha permesso di individuare i principali fattori predisponenti localmente la franosità, quali:

- la presenza di materiali con competenza differente lungo il contatto lave - scorie saldate;
- l'elevato grado di fratturazione delle lave sommitali;
- la presenza di un gradino morfologico ampio circa 6 m in corrispondenza del suddetto contatto, legato al maggiore arretramento del tratto di pendio sommitale nelle lave fratturate;
- l'accumulo di maggiori spessori (fino a circa 5 m) di coperture piroclastiche recenti sciolte, sia in posizione primaria che ridepositate, lungo tale gradino;
- la presenza nella parte inferiore del pendio di strati scoriacei a frangipoggio (25-30°) con scarso spessore delle coperture piroclastiche.

Sulla base di tali evidenze si osserva, inoltre, che i movimenti franosi verificatisi a fine aprile 2006 nell'Isola d'Ischia sul versante settentrionale del Monte Vezzi non presentano le caratteristiche tipologiche e cinematiche che più frequentemente si verificano nel contesto geo-vulcanologico dell'isola. Questi aspetti devono indurre, quindi, ad un maggior approfondimento degli studi di tali tipologie di dissesti che possono evolversi in alcuni versanti dell'isola d'Ischia, in primo luogo nell'area di Monte di Vezzi, dove esiste ancora oggi, oltre ad un rischio residuo nelle aree franate nel maggio 2006, anche un rischio da frana in zone adiacenti, morfologicamente e geologicamente simili a quelle dissestate.

OPERE CITATE / REFERENCES

- ACOCCELLA V. & FUNICIELLO R. (1999) - *The interaction between regional and local tectonics during resurgent doming: the case of the island of Ischia, Italy*. J. Volcanol. Geotherm. Res., **88**: 109-123.
- ALESSIO G., ESPOSITO E., FERRANTI L., MASTROLORENZO G. & PORFIDO S. (1996) - *Correlazione tra sismicità ed elementi strutturali nell'isola di Ischia*. Il Quaternario. Ital. J. Quat. Sci., **9**, (1): 303-308.
- BARTOLE R., SAVELLI D., TRAMONTANA M. & FORESE C.W. (1984) - *Structural and sedimentary features in the Tyrrhenian margin off Campania, Southern Italy*. Marine Geology, **55**: 163-180.
- BRANCACCIO L., CINQUE A., ROMANO P., ROSSKOPF C., RUSSO F., SANTANGELO N. & SANTO A. (1991) - *Geomorphology and neotectonic evolution of a sector of the Tyrrhenian flank of the Southern Apennines Naples, Italy*. Z. Geomorphol. **82**: 47-58.
- BUCHNER, G. (1986) *Eruzioni vulcaniche e fenomeni vulcano-tettonici di età preistorica e storica nell'isola d'Ischia*. In *Eruption vulcanique, tremblement de terre et vie des hommes dans la Campanie Antique*, Pubbl. n. 7, Centre J. Berard, Napoli.
- CAIAZZO C., ASCIONE A. & CINQUE A. (2006) - *Late Tertiary-Quaternary tectonics of the Southern Apennines (Italy): New evidences from the Tyrrhenian slope*. Tectonophysics, **421**: 23-51.
- CARRARA E., IACOBUCCI F., PINNA E. & RAPOLLA A. (1973) - *Gravity and magnetic survey of the Campanian Volcanic area, South Italy*. Boll. Geof. Teor. e Appl., **15**: 39-51.
- CASCINI L. (2006) - *L'emergenza idrogeologica del Maggio 1998 nella Regione Campania* - Volume unico -Ed Rubbertino - G.N.D.C.I.; Univ. Salerno.
- CASCINI L., GUIDA D., ROMANZI G., NOCERA N. & SORBINO G. (2000) - *A preliminary model for the landslides of May 1998 in Campania Region*. In: *The geotechnics of hard soils-soft rocks*, Balkema Ed., 1623-1649, Rotterdam

CONCLUSIONS

The present paper describes in detail the geological model of the Mt. di Vezzi area aiming at identifying the main geological factors concurring to cause the instability of the slope. The research carried out made it possible to reconstruct main volcano-tectonic events occurred on the island which brought to the present stratigraphic and structural setting of the Mt. di Vezzi relief. Moreover, it allowed us to point out main factors predisposing the landslides in the area. In particular, these latter are:

- the presence of materials displaying different mechanical behavior along the boundary lava-welded scoria deposits;
- the diffuse presence of joints in the upper lava deposits;
- the presence of a ca. 6 m wide morphological step at the previously quoted boundary, due to the withdraw of the upper part of the flank where the fractured lavas crop out;
- the piling up along this step of thicker loose recent pyroclastic cover (up to 5 m thick) both primary and reworked;
- the presence in the intermediate part of the slope of scoriaceous layers 25-30° northward dipping.

The landslide movements occurred on the northern Mt. di Vezzi slope show geomorphological characteristics and mechanical behavior other than those of the landslides typical of the island. Because of this, further studies are needed on the slope evolution at Ischia island, mainly at Mt. di Vezzi, where a residual risk still exists both in the sites of May 2006 landslides as well as in the nearby areas showing similar geological features.

- CINQUE A., PATACCA E., SCANDONE P. & TOZZI M. (1993) - *Quaternary kinematic evolution of the Southern Apennines. Relationships between surface geological features and deep lithospheric structures*. *Annali di Geofisica*, **36**, 2: 249-259.
- CHIESA S., CIVETTA L., DE LUCIA M., ORSI G. & POLI S. (1987) - *Volcanological evolution of the Island of Ischia*. *Rend. Acc. Sc. Fis. Mat. in Napoli, Spec. Issue: DI GIROLAMO P. (ed.) The volcanoclastic rocks of Campania (Southern Italy)*, 69-83.
- DE VITA P., CLEMENTE E., ROLANDI M. CELICO P. (2007) - *Modelli geologico-tecnici nelle aree di innesco delle frane del 30/04/2006 del M.te di Vezzi (Ischia, Italia)* In this issue.
- DE VITA S., SANSIVERO F., ORSI G. & MAROTTA E. (2006) - *Cyclical slope instability and volcanism related to volcano-tectonism in resurgent calderas: The Ischia island (Italy) case study*. *Engineering Geology*, **86**: 148–165
- DEL PRETE S. & MELE R. (1999) - *L'influenza dei fenomeni d'instabilità di versante nel quadro morfoevolutivo della costa dell'isola d'Ischia*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **118**: 339–360.
- DI GIROLAMO P., GHIARA M.R., LIRER L., MUNNO R., ROLANDI G. & STANZIONE D. (1984) - *Vulcanologia e petrologia dei Campi Flegrei*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **103**: 349-413.
- DI GIROLAMO P., MORRA V., ORTOLANI F. & PAGLIUCA S. (1988). *Osservazioni petrologiche e geodinamiche sul magmatismo "orogenico-transizionale" della Campania nell'evoluzione della fascia tirrenica della catena appenninica*. *Boll. Soc. Geol. It.* **107**: 561-578.
- DI MAIO R., PIEGARI E. SCOTELLARO C. & SOLDOVERI M.G. (2006) - *Tomografie di resistività per la definizione dello spessore e del contenuto d'acqua delle coperture piroclastiche a M.te di Vezzi (isola d'Ischia)* in questo volume
- FINETTI I. & MORELLI C. (1974) - *Esplorazione sismica a riflessione dei golfi di Napoli e Pozzuoli*. *Boll. Geof. Teor. e Appl.*, **16**, 175-222.
- IOVINO M., PERIELLO ZAMPELLI S. & SAVANELLI S. (2006) - *Le frane del 30/4/2006 del M.te di Vezzi (Ischia, Napoli) nel contesto di scivolamento-valanga-colata nei suoli vulcanici in Campania*. In this issue.
- IPPOLITO F., ORTOLANI F. & RUSSO M. (1973). *Struttura marginale tirrenica dell'Appennino campano: reinterpretazione di dati di antiche ricerche di idrocarburi*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **12**: 227-250.
- MELE R. & DEL PRETE S. (1998) - *Fenomeni di instabilità dei versanti in Tufo Verde del Monte Epomeo (Isola d'Ischia-Campania)*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **117**: 93–112.
- ORSI G., GALLO G. & ZANCHI A. (1991) - *Simple-shearing block resurgence in caldera depression. A model from Pantelleria and Ischia*. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **47**: 1–11.
- ORSI G., PIOCHI M., CAMPAJOLA L., D'ONOFRIO A., GIALANELLA L. & TERRASI F. (1996) - *14C geochronological constraints for the volcanic history of the island of Ischia (Italy) over the last 5000 years*. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **71**: 249–257.
- ORSI G., DE VITA S., DI VITO M., ISAIA R., NAVE R. & HEIKEN G. (2003) - *Facing volcanic and related hazards in the Neapolitan area*. In: HEIKEN G., FAKUNDINY R. & SUTTER J. (Eds.), *Earth Sciences in Cities*, American Geophysical Union (Special Publication), Washington, pp. 121–170.
- ORTOLANI F. & APRILE F. (1978) - *Nuovi dati sulla struttura profonda della Piana Campana a Sud Est del Fiume Volturno*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **97**: 591-608.
- ORTOLANI F. & PAGLIUCA S. (1987) - *Relationships between volcanism and structures in Campania during the Quaternary*. *Rend. Acc. Sc. Fis. Mat., Spec. Issue* 1987: 215-221.
- ORTOLANI F. & PAGLIUCA S. (1988) - *Struttura e vulcanismo del margine tirrenico dell'Appennino Campano e tettonica compressiva recente*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **41**: 1229-1234.
- PATACCA E., SARTORI R. & SCANDONE P. (1990) - *Tyrrhenian basins and Apenninic arcs: kinematic relations since Late Tortonian times*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **45**: 425-451.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (1989) - *Post-Tortonian mountain building in the Apennines. The role of the passive sinking of a relict lithospheric slab*. In: A. BORIANI, M. BONAFEDE, G.B. PICCARDO & G.B. VAI (Eds.), *The lithosphere in Italy*. *Advances in Earth Science Research*. *It. Nat. Comm. Int. Lith. Prog., Mid-term Conf.* (Rome, 5-6 May 1987), *Atti Conv. Lincei*, **80**: 157-176.
- RAPOLLA A., FEDI M. & FIUME G. (1989) - *Crustal structure of the Ischia-Phlegraean geothermal fields, near Naples, Italy, from gravity and aeromagnetic data*. *Geophysical Journal*, **97**: 409–419.
- RITTMANN A. (1930) - *Geologie der Insel Ischia*. *Z. f. Vulkanol. Ergänzungsband*, **6**.
- RITTMANN A. (1948) - *Origine e differenziazione del magma ischitano*. *Bull. Suisse Mineral. Petrogr.*, **28**, 643
- RITTMANN A. & GOTTINI V. (1980) - *L'Isola d'Ischia- Geologia*. *Boll. Serv. Geol. Ital.*, **101**: 131–274.
- ROSI M. & SBRANA A. (eds.) (1987) - *Phlegraean Fields*. C.N.R. Quaderni de "La Ricerca scientifica", **114** (9), 175 pp, Rome.
- SCANDONE R., BELLUCCI F., LIRER L. & ROLANDI G. (1991) - *The structure of the Campanian Plain and the activity of the Neapolitan volcanoes (Italy)*. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **48**: 1–31.
- TIBALDI A. & VEZZOLI L. (1997) - *Intermittenza e struttura della caldera risorgente attiva dell'isola d'Ischia*. *Il Quaternario*. *J. Quat. Sci.* **10** (2): 465–470.
- VEZZOLI L. (ed.) (1988) - *Island of Ischia*. C.N.R. Quaderni de "La Ricerca scientifica", **114** (10), 135 pp., Rome.
- ZUPPETTA A., SAVA A. & ZUPPETTA C. (1993), - *Evoluzione vulcano-tettonica dell'isola d'ischia: un modello per gli ultimi 35ka di attività*, *Boll. Soc. Geol. It.*, **112**: 353-369.

Received October 2006 - Accepted February 2007