

ALMA MATER STUDIORUM A.D. 1088
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea Magistrale in Geologia e Territorio

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali

Tesi di Laurea Magistrale

Il record marino di eventi eruttivi nei fondali
circostanti l'isola di Pantelleria

Candidato:

Cristiana Giglio

Relatore:

Prof.ssa Claudia Romagnoli

Correlatore:

Prof. Giorgio Gasparotto

Dott.ssa Aida Maria Conte

Sessione Luglio 2017
Anno Accademico 2016-2017

INDICE

Introduzione _____	1
Cap. 1 Inquadramento dell'Isola di Pantelleria: _____	3
1.1 Inquadramento geologico _____	4
1.2 Vulcanismo dell'isola di Pantelleria _____	6
1.3 Il record marino dell'attività di Pantelleria _____	13
Cap. 2 Dati e metodi	
2.1 La campagna PANTHER _____	16
2.2 Analisi di laboratorio _____	25
2.2.1 Preparazione e analisi dei campioni _____	26
Cap. 3 Risultati delle analisi:	
3.1 Caratteristiche litostratigrafiche e sedimentologiche delle carote _____	29
3.2 Caratteristiche litologiche dei livelli campionati _____	38
3.3 Dati composizionali _____	56
Cap. 4 Discussione dei dati	
4.1 Caratteristiche deposizionali dei livelli analizzati _____	88
4.2 Caratteristiche composizionali _____	90
4.3 Considerazioni cronologiche ed implicazioni per la storia eruttiva di Pantelleria _____	95
Cap. 5 Conclusioni _____	100
Bibliografia _____	101
Ringraziamenti	

Introduzione

Il Mar Mediterraneo rappresenta uno degli archivi più interessanti per gli studi di tefrocronologia soprattutto in per il Quaternario, così come evidenziato da molti autori (Keller et al., 1978; Paterne et al., 1986; Sulpizio et al., 2008). Negli ultimi decenni, gli studi di tefra marini nell'area mediterranea hanno portato al significativo miglioramento delle ricostruzioni di attività esplosiva dei vulcani situati in quest'area. Oltre all'importanza nel campo vulcanologico, l'identificazione dei livelli di tefra a terra o in sedimenti marini costituisce un supporto stratigrafico significativo per investigazioni di tipo paleoclimatico e paleoceanografico (Caron et al., 2012). Questo perché i livelli di tefra marini possono essere considerati un evento geologico istantaneo e perciò essere un buon marker cronostatigrafico per i sedimenti di mare profondo (Paterne et al., 1988).

Lo studio sviluppato in questo lavoro di tesi comprende la ricerca e la caratterizzazione, nei depositi marini, di materiali vulcanici primari relativi all'attività vulcanica dell'isola di Pantelleria. Questo studio è stato possibile grazie alla campagna oceanografica PANTHER (PANTelleria *High-Energy Eruptions*) effettuata nell'ambito del progetto EUROFLEETS2. La campagna si è svolta a bordo della nave da ricerca Minerva Uno ed ha permesso il prelievo di carote di sedimento dai fondali circostanti l'isola. Tre di queste carote, provenienti da aree poste alcune decine di km ad est dell'isola, sono state descritte e campionate; al loro interno sono stati reperiti diciassette livelli di tefra più un livello vulcanogenico estratto direttamente dal 'naso' del carotiere (*Core Catcher*) di una delle carote.

Attraverso le evidenze litologiche ed analisi composizionali sul contenuto in elementi maggiori, è stata ipotizzata una correlazione, laddove possibile, tra i livelli analizzati ed eventi eruttivi di Pantelleria riportati in letteratura, sulla base sia di archivi terrestri-prossimali che marini-distali. Questi eventi sono relativi alla storia eruttiva recente dell'isola (fase "neo-pantelleria", 50-8 ka). Nel caso del campione PAN07-CC viene proposta l'associazione con l'evento più importante e conosciuto di Pantelleria, noto come Tufo Verde o *Green Tuff* (GT; 50 ka fa).

Il quadro di cronologia relativa proposto per i livelli di tefra studiati è stato basato su alcune considerazioni fatte sulle carote in esame, in attesa che le datazioni provenienti dalla biostratigrafia, in corso di analisi nei laboratori dell'*University of Limerick* (Irlanda), forniscano indicazioni più precise sull'età dei livelli campionati. Queste informazioni permetteranno di confermare le correlazioni con eventi eruttivi noti o di documentarne altri, le cui evidenze sull'isola possono non essersi conservate; in ogni caso, ne risulterà un ampliamento del quadro conoscitivo sulla storia eruttiva dell'isola.

Cap.1 Inquadramento dell'Isola di Pantelleria

Questo capitolo presenta sinteticamente il contesto tettonico e strutturale e l'evoluzione vulcanologica dell'isola di Pantelleria, ubicata nel Canale di Sicilia (*Fig. 1.1*).

L'isola (con una superficie di $\sim 83 \text{ km}^2$) è situata a circa 85 km dalla Sicilia e 70 km dalla Tunisia. Costituita da prodotti vulcanici emessi negli ultimi 320 ka circa (Mahood e Hildreth, 1986), Pantelleria rappresenta la località tipo delle "pantelleriti" o rioliti peralcaline (Civetta et al., 1988; Orsi et al., 1986).

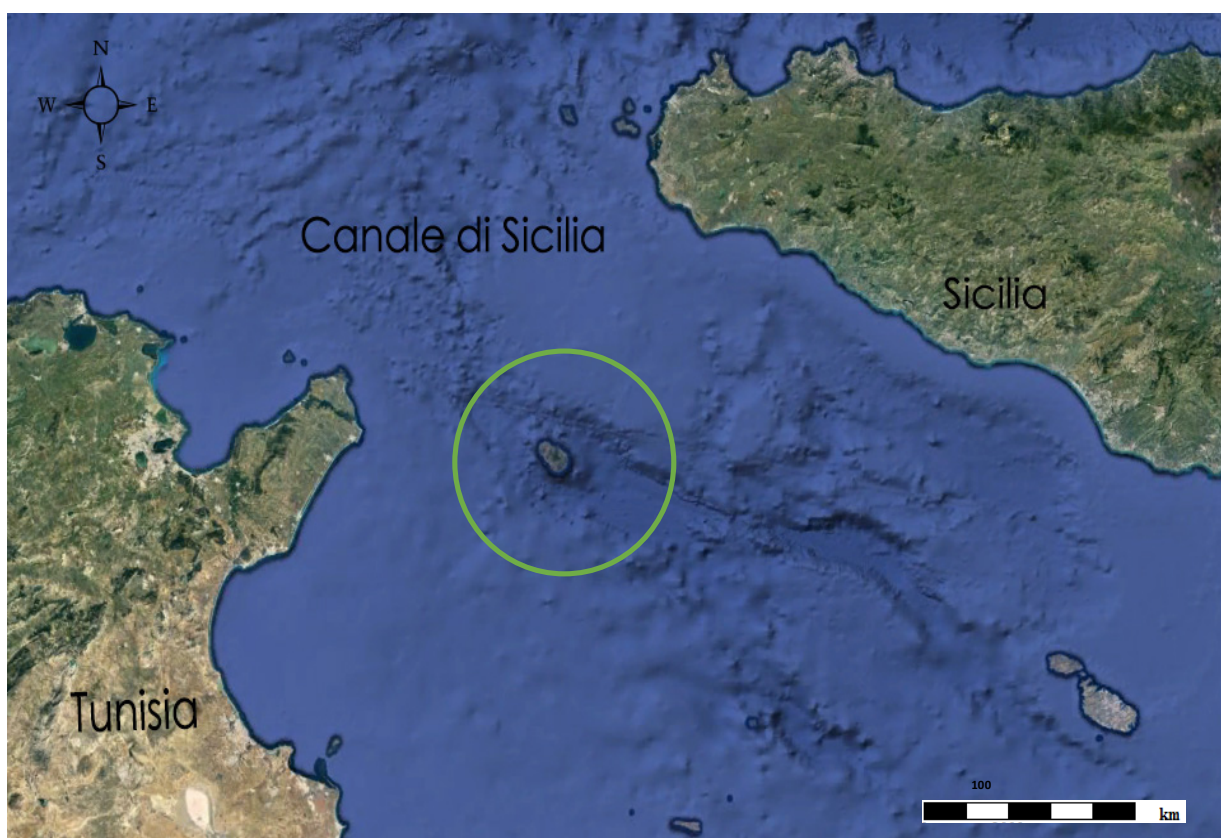


Figura 1.1 Il cerchio verde mostra l'ubicazione dell'Isola di Pantelleria. (Fonte: Google Earth)

L'isola raggiunge la sua massima elevazione di 836 m s.l.m. nella sua parte centrale, la cima di Montagna Grande, e rappresenta la parte emersa di un complesso vulcanico più ampio, sommerso per il 72% del totale, che si innalza dai fondali da un massimo di 1300 m di profondità (*Fig. 1.2*, Bosman et al., 2011). L'edificio vulcanico di Pantelleria è costituito da uno stratovulcano con l'asse maggiore di circa 36 km orientato NO-SE, in linea con il contesto strutturale del Canale di Sicilia, e l'asse minore di circa 15 km (Conte et al., 2014). I fianchi orientale e occidentale sono piuttosto ripidi e lineari, mentre quello NO e SE sono articolati in una serie di centri eruttivi minori a morfologia sub-conica (*Fig. 1.2*; Bosman et al., 2011).

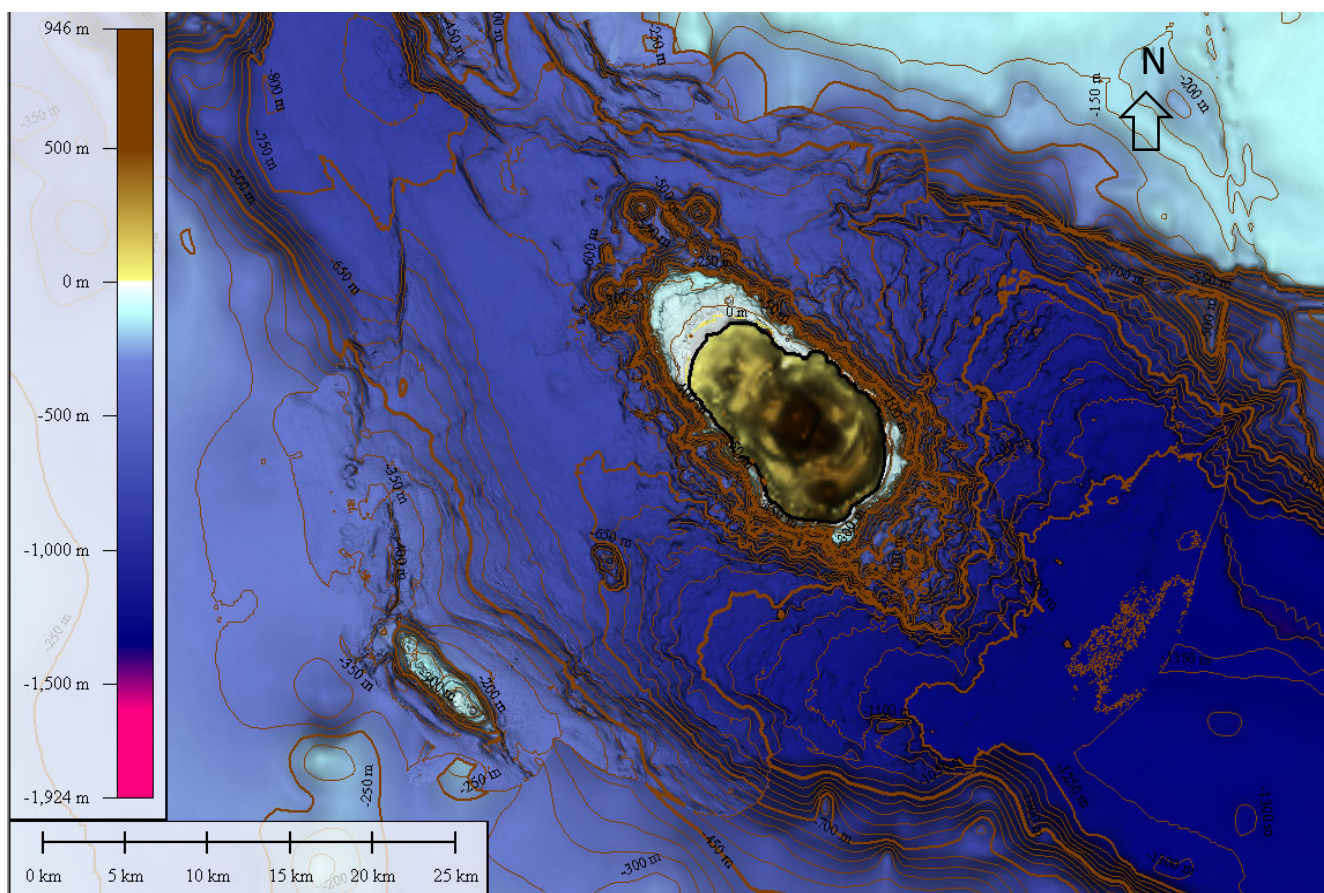


Figura 1.2 Carta batimetrica delle porzioni sommerse dell'Isola di Pantelleria e del graben omonimo. Equidistanza delle isobate: 50 m (dati multibeam Reson 8160 e GEBCO Digital Atlas; da Saccarello, 2015).

1.1 Inquadramento geologico

Pantelleria è ubicata nel Rift del Canale di Sicilia che occupa la porzione più settentrionale del margine continentale africano (Blocco Pelagiano) ove esso si è generato come Rift intraplacca, dal Miocene Superiore al Pliocene inferiore (Civile et al., 2010).

Il Rift si è sviluppato in una crosta continentale di circa 40 km di spessore che si assottiglia a 25 km alla sua periferia, sino a circa 17 km nella sua parte mediana (Colombi et al., 1973; Cassins, 1981). Nella parte assiale del rift si osservano, infatti, profonde depressioni tettoniche orientate NO-SE (Fig. 1.3): il Graben di Pantelleria (PG), il Graben di Malta (MG) e il Graben di Linosa (LG).

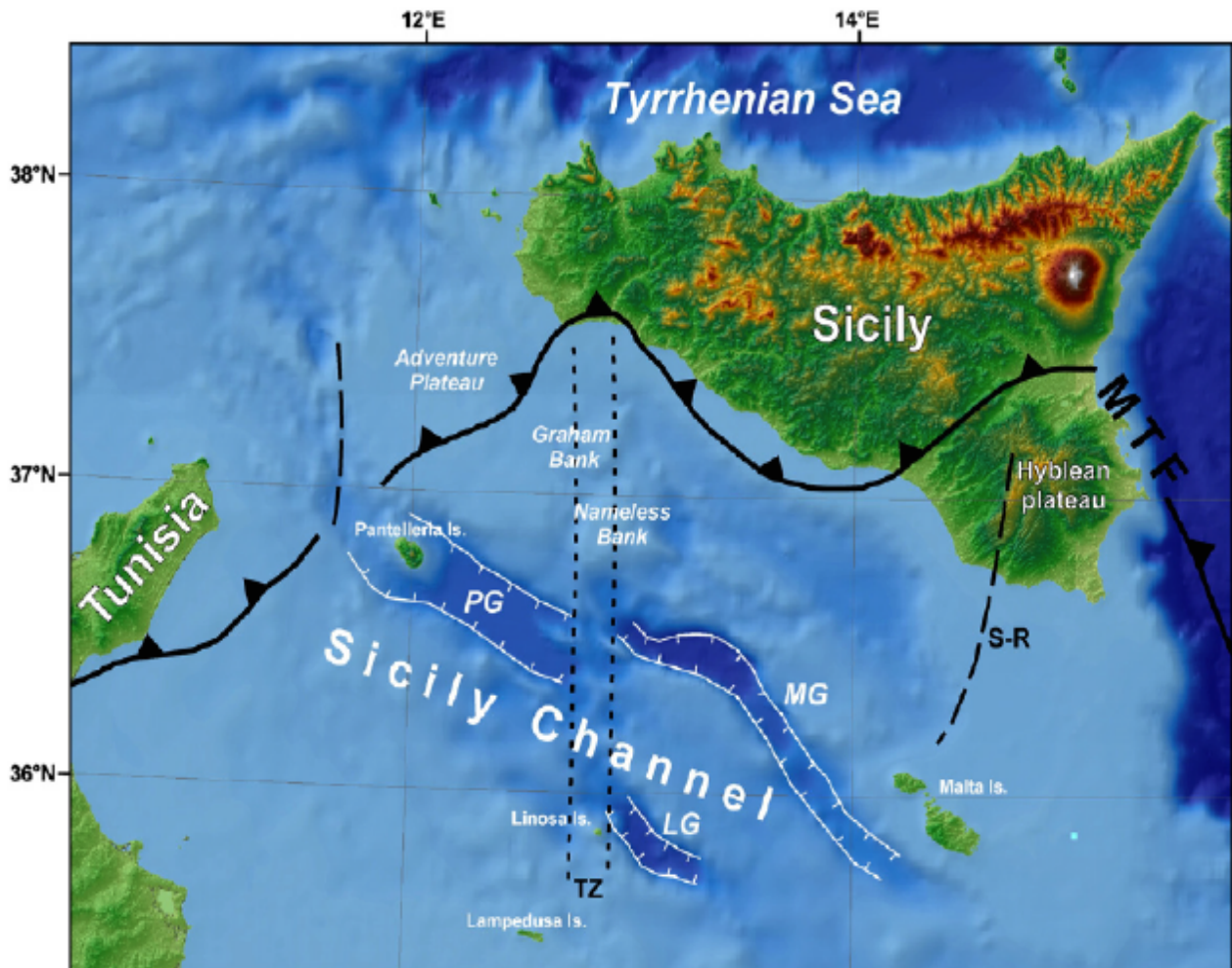


Figura 1.3 Carta morfologica del Canale di Sicilia e le aree circostanti la zona in esame (da Civile et al., 2010). Il Graben di Pantelleria (PG), il Graben di Malta (MG) e il Graben di Linosa (LG) rappresentano le principali depressioni tettoniche nel Canale di Sicilia. In figura è anche riportato il fronte di deformazione esterno del sistema Maghrebide- Sud appenninico (MTF). S-R è il sistema di faglia di Scicli-Ragusa; TZ indica l'ampia zona trasforme con trend in direzione nord (Civile et al., 2010).

Il Rift è localizzato all'interno del blocco carbonatico pelagiano che costituisce l'avampaese della catena magrebide (Fig. 1.3). La presenza di un ambiente di rift in una zona di avampaese prossima ad un'area collisionale è una condizione geodinamica complessa che ne conferisce uno scenario unico nel suo genere (Civile et al., 2010). Per questo motivo la zona di rift del Canale di Sicilia è stata oggetto di ipotesi genetiche spesso contrastanti tra loro; alcuni autori considerano le depressioni tettoniche come ampi e discreti bacini di *pull-apart*, coinvolgendo i livelli di crosta profonda e sviluppando una vasta zona di taglio destra (Jongsma et al., 1985; Reuther and Eisbacher, 1985; Ben-Avraham et al., 1987; Boccaletti et al., 1987; Cello, 1987; Finetti, 1984; Catalano et al., 2009; vedi Civile et al., 2010 per riferimenti bibliografici). Altri interpretano la zona di rifting come il risultato della convezione mantellica sviluppatasi durante il *roll-back* dello *slab* litosferico africano in subduzione sotto il bacino tirrenico (Argnani, 1990) o invocano variazioni laterali di densità nella crosta per spiegare la marcata frammentazione osservata lungo la zona collisionale del Mediterraneo centrale e la formazione di faglie trasformi (Reuther et al., 1993).

La tettonica trans-tensionale, che ha prodotto il Rift, è stata accompagnata da un vulcanismo che ha generato due complessi vulcanici in parte emersi che formano le isole di Pantelleria e Linosa (*Fig. 1.3*): la prima nella parte assiale, e la seconda alla periferia del Rift (Imbò, 1965; Zarudzki, 1972).

Nel Canale di Sicilia vi sono poi numerosi centri eruttivi sommersi minori, localizzati sia a basse che ad elevate profondità (Calanchi et al., 1989; Rotolo et al., 2006) a testimonianza di un vulcanismo ancora attivo (es. Banco Graham, *Fig. 1.3*).

1.2 Vulcanismo dell'Isola di Pantelleria

La storia vulcanica dell'isola di Pantelleria è caratterizzata dall'alternanza di periodi di attività e di quiescenza. I periodi di attività hanno prodotto eruzioni esplosive di elevata intensità, alcune delle quali accompagnate da collassi calderici. L'occorrenza sia di eruzioni di magmi composizionalmente evoluti che di collassi calderici suggerisce che, in corrispondenza dell'isola, si siano formate camere magmatiche superficiali, probabilmente all'intersezione di significativi lineamenti tettonici, in cui si accumula e differenzia magma trachitico originatosi in serbatoi più profondi (Civetta et al., 1984, 1988). Queste camere ospiterebbero magmi di composizione da trachitica a riolitica, mentre magmi basaltici, sempre eruttati al di fuori delle depressioni calderiche, risalgono verso la superficie attraverso fratture crostali legate alla dinamica del Rift del Canale di Sicilia.

Studi vulcanologici, petrologici e geochimici su Pantelleria sono stati condotti fin dal XIX secolo da molti autori (tra cui: Wright, 1980; Wolff e Wright, 1981; Cornette et al., 1983; Civetta et al., 1983; Civetta et al., 1984, 1988, 1998; Mahood e Hildreth, 1983, 1986; Orsi et al., 1989 e 2008; Avanzinelli et al., 2004; Rotolo et al., 2007) evidenziando le caratteristiche strutturali e vulcanologiche dell'isola, così come le caratteristiche mineralogiche e geochimiche delle rocce vulcaniche affioranti.

Pantelleria, località tipo delle "pantelleriti", è caratterizzata da prodotti in una associazione bimodale di magmi basaltici leggermente alcalini e magmi evoluti peralcalini. Questi ultimi, caratterizzati da rapporto molare $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Indice di Agpaicità) >1 , hanno alimentato eruzioni molto variabili in magnitudo, intensità e stile eruttivo (Orsi et al., 2008).

La struttura dell'isola è dominata, nella parte centrale, dalla presenza di due caldere concentriche (*Fig. 1.4*): la Caldera La Vecchia, con un'area di $\sim 42 \text{ km}^2$ (Scaillet et al., 2011), datata tra 106 e 175 ka con il metodo K-Ar (Mahood e Hildreth, 1986) e 130-160 ka tramite correlazioni paleomagnetiche (Speranza et al., 2010). La caldera Cinque Denti (o caldera Monastero, Civetta et al., 1984) è la più recente tra le due, copre una superficie di $\sim 30 \text{ km}^2$ (Scaillet et al., 2011) ed è datata con il metodo K-Ar a $45-50 \pm 5 \text{ ka}$ (Mahood e Hildreth, 1986; Civetta et al., 1988). La sua formazione è associata all'eruzione Pliniana del Tufo Verde che ne ha causato il collasso (vedi oltre).

La storia vulcanologica dell'isola di Pantelleria e gli stili eruttivi ad essa correlati possono essere descritti, in maniera sommaria, in tre fasi principali (Rotolo et al., 2013):

1. La fase I (324-180 ka) è caratterizzata prevalentemente da flussi lavici a composizione pantelleritica, con alternanza di tufi saldati e depositi da caduta localizzati (Mahood e Hildreth, 1986). L'intensa copertura da parte dei depositi più recenti non consente di stimare la quantità di magma eruttato durante questa fase.

2. La fase II (180-45 ka) è costituita da abbondanti eruzioni esplosive che comprendono più di otto depositi di ignimbrite, includendo la formazione della caldera 'La Vecchia' (Mahood e Hildreth, 1986; Speranza et al., 2010) e della caldera 'Cinque Denti'. Inoltre, in questa fase si sono verificate eruzioni di tipo stromboliano, con piccoli volumi di depositi piroclastici da caduta. Il volume totale di magma eruttato durante questo ciclo può essere approssimato tra 8 e 12 km³ DRE (*dense rock equivalent*).
3. La fase III (45-8 ka, "Neo-Pantelleria") include più di cinquanta eruzioni stromboliane, a bassa energia, di pomici a composizione pantelleritica, flussi di lava pantelleritici e duomi di lava (Civetta et al., 1988; Rotolo et al., 2007 e ivi consultazione; Speranza et al., 2010; Scaillet et al., 2011).

Gli stadi finali comprendono anche un'attività basaltica-effusiva extra-calderica che sarebbe stata limitata alla porzione nord-orientale dell'isola. Il volume totale di magma eruttato ammonta a meno di 5 km³ DRE (Civetta et al., 1988).

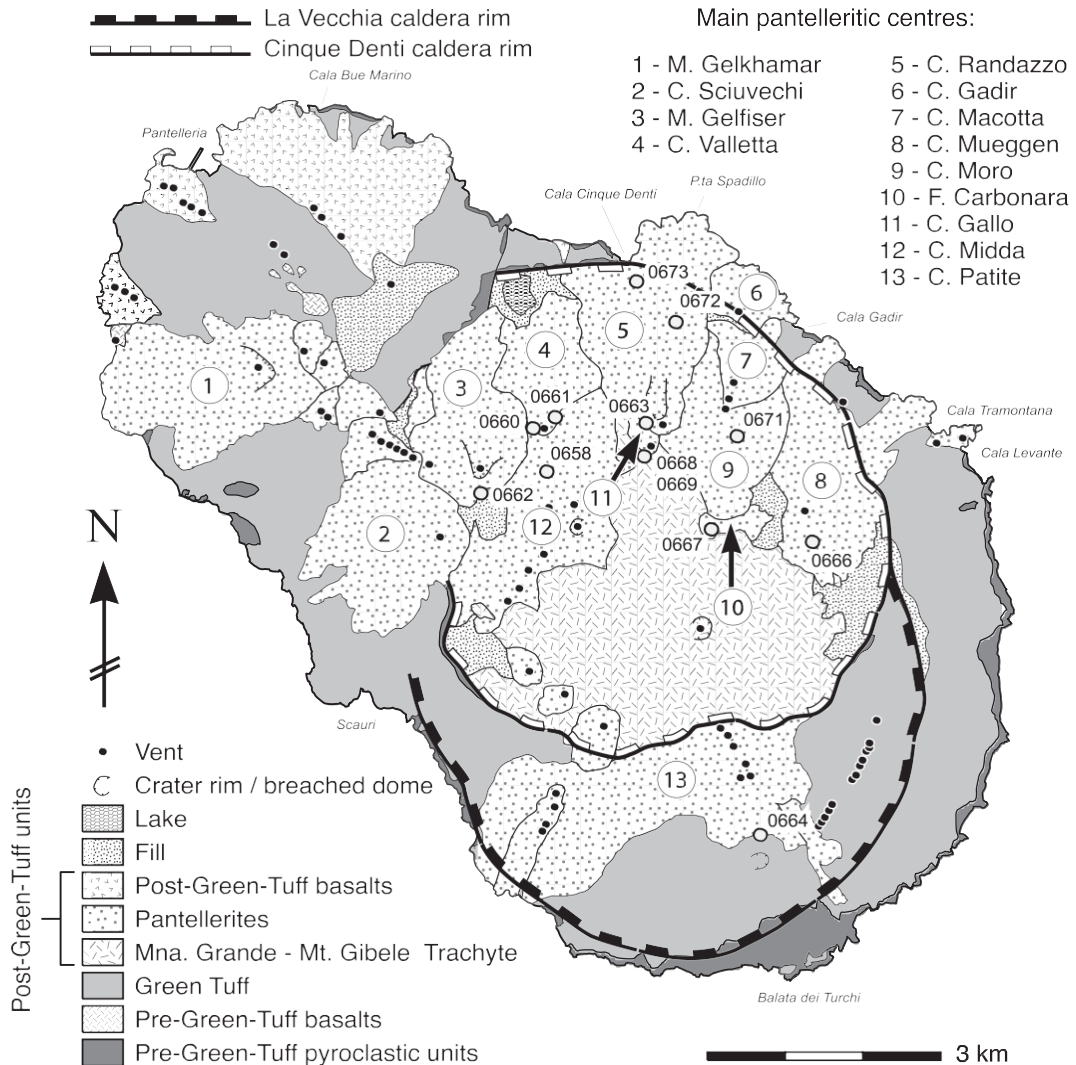


Figura 1.4 Schema geologico dell'isola di Pantelleria contenente i bordi calderici e centri eruttivi con un'indicazione delle Unità pre e post Tufo Verde (Green Tuff, GT). (Da Scaillet et al., 2011).

Sebbene i magmi a composizione trachitica e pantelleritica dominino le unità affioranti sull'isola, nella storia vulcanica di Pantelleria sono presenti, anche se in minor percentuale, flussi di lava basaltica e coni di scorie (Mahood e Hildreth, 1986; Civetta et al., 1984) la cui emissione si è intercalata tra un ciclo silicico e l'altro. I basalti ricoprono il ~ 6% della superficie di Pantelleria e sono concentrati soprattutto nella parte nord-occidentale dell'isola. La mancanza di sovrapposizioni tra le unità rende difficoltosa la ricostruzione dell'attività basaltica post-Tufo Verde (menzionata successivamente) in relazione alle pantelleriti e trachiti che dominano gli affioramenti sull'isola.

Civetta et al. (1984) riportano alcune datazioni, effettuate con il metodo K-Ar, sui flussi di lava della porzione nord-occidentale con un'età compresa tra 30-10 ka. In contrasto con l'estesa attività basaltica della parte a NW di Pantelleria, nei restanti due terzi dell'isola non affiora alcuna unità basaltica ma solo qualche dicco.

L'eruzione esplosiva più importante nella storia eruttiva di Pantelleria, che ha causato la deposizione di uno strato piroclastico sull'intera isola, è nota come "Tufo Verde" o *Green Tuff* (GT), (Civetta et al., 1984). Essa marca l'inizio della fase vulcanica recente ("Neo-Pantelleria") e i relativi prodotti ricoprono un'area minima di 85 km² estendendosi fino alla linea di costa (Fig. 1.4). Le datazioni radiometriche del Tufo Verde sono state condotte da vari autori, ottenendo vari intervalli di età: 46.9±2.0, 49.9±2.1 e 50.8±2.2 ka (Civetta et al., 1988) e 50.8±3.6, 50.0±3.5 e 47.0±3.2 (Cornette et al., 1983).

Come accennato, la storia precedente l'eruzione del Tufo Verde e del relativo collasso calderico (circa 50 ka) non può essere ricostruita in dettaglio perché oggi affiorano solamente pochi residui dei prodotti eruttati in quel periodo. Questo è dovuto sia ai ripetuti collassi calderici nella parte centrale dell'Isola e all'erosione lungo costa, sia alla copertura dell'intera isola da parte del Tufo Verde (Fig. 1.4).

La fase Neo-Pantelleritica è stata suddivisa da Civetta et al. (1988) in sei cicli silicei, alcuni intercalati da eruzioni basaltiche alternate a collassi calderici, di cui l'eruzione del Tufo Verde rappresenta il primo ciclo siliceo. Tutti i cicli di attività silicica hanno eruttato magmi variabili in composizione da pantelleriti a trachiti, spesso con emissione di magmi più differenziati durante le prime fasi del ciclo (Orsi et al., 2008). Ciò è stato interpretato come conseguenza di eruzioni drenanti una camera magmatica zonata a livelli progressivamente più profondi durante ogni ciclo eruttivo (Civetta et al., 1988).

Primo ciclo. Il Tufo Verde, ampiamente distribuito su tutta l'isola, è costituito da una sequenza piroclastica prodotta da una complessa eruzione, con magmi di composizione variabile da pantellerite a trachite comenditica (Civetta et al., 1984). L'eruzione del Tufo Verde, l'evento esplosivo di più alta magnitudo degli ultimi 50 ka a Pantelleria, è stata studiata in dettaglio (Wright, 1980; Wolff e Wright, 1981; Orsi e Sheridan, 1984). Essa ha generato un deposito che ancora oggi affiora su tutta l'isola e verosimilmente anche un grosso cono di pomici, coinvolto poi nel collasso calderico che accompagnò l'eruzione (Orsi et al., 2008).

La ricostruzione dell'evento tramite i depositi *on-shore* e su basi di stratigrafia chimica, mostra una variazione composizionale dalla base al tetto dei prodotti, nei quali si passa da pantellerite alla base sino a trachite poco evoluta al tetto.

Questo aspetto ha suggerito che l'eruzione del Tufo Verde sia stata alimentata da un serbatoio di magma eterogeneo che ha prodotto depositi zonati (Williams et al., 2014). Il volume del magma eruttato, benché non facilmente calcolabile, poiché parte della sequenza piroclastica fu deposta in mare e parte fu coinvolta nel collasso calderico che accompagnò l'eruzione, è stato stimato da vari autori a partire da 1.5 km^3 , 3.5 km^3 e 7 km^3 (rispettivamente da Civetta et al., 1988; Mahood e Hildreth, 1986; Wolff e Wright, 1981). La ricostruzione della messa in posto della corrente piroclastica durante la sua diffusione radiale sull'isola, effettuata da Williams et al. (1984) su base geochimica, è rappresentabile per intervalli temporali da t_1 a t_8 (Fig. 1.5) e mostra che il flusso piroclastico ha raggiunto il mare.

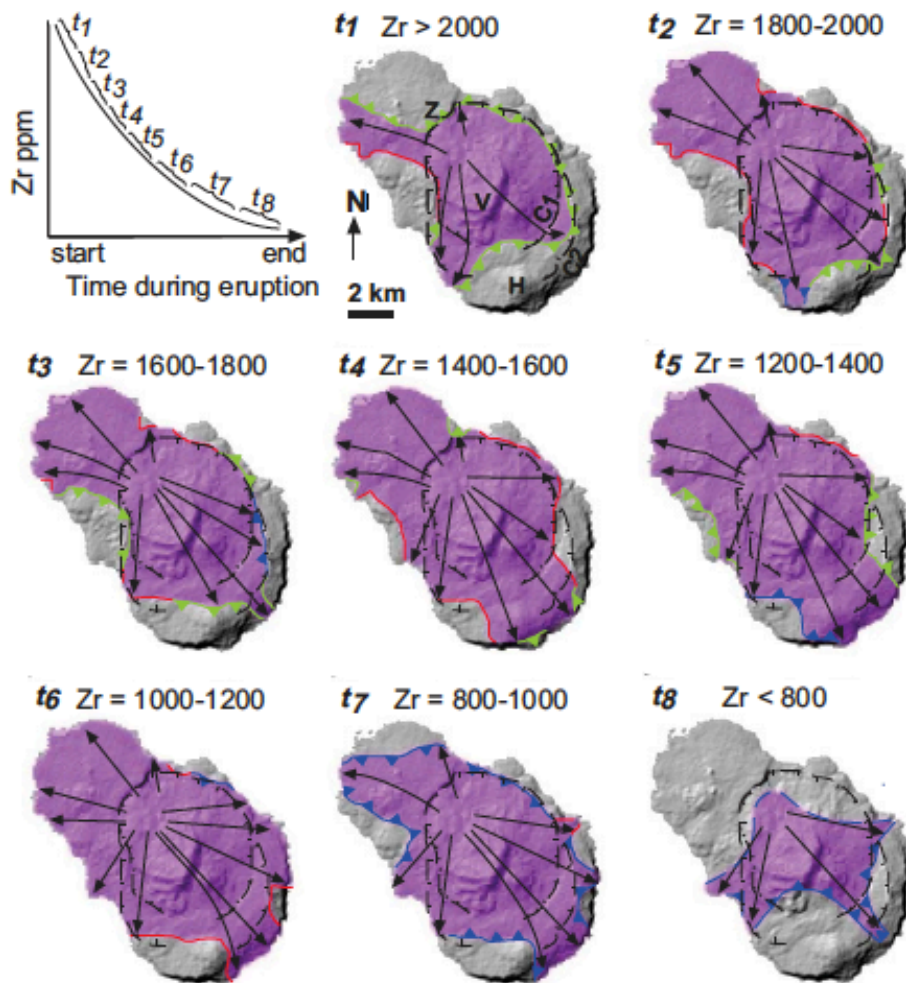


Figura 1.5 Ricostruzione temporale e spaziale della messa in posto del Tufo Verde, ricostruito dalla mappatura dettagliata di intervalli successivi distinti in base al contenuto di Zr nell'ignimbrite del GT. Si noti la variazione della distribuzione in senso radiale durante otto 'fette temporali' (t_1 - t_8). Le frecce nere indicano il cambiamento di direzione della corrente densa; in verde, il suo limite distale che varia a seconda del lasso temporale considerato. In rosso, il limite stazionario della corrente mentre in blu il suo arretramento verso la sorgente (stadi finali dell'evento eruttivo). Le lettere H, Z e V stanno ad indicare alcune aree di riferimento sull'isola, in particolare: H= Cuddia Attalora, Z= scarpata Zinedi e infine V= Montagna Grande. Invece, C1= bordo interno della caldera 'Monastero' e C2= bordo esterno della caldera 'La Vecchia'. (da Williams et al., 2014).

Sulla base di evidenze di campagna, presenza di paleosuoli e dati geocronologici, è stato poi ricostruito lo sviluppo dell'attività vulcanica recente nei cicli di attività silicica seguenti al primo (Civetta et al., 1988; Fig. 1.6).

Secondo ciclo. I prodotti del secondo ciclo silicico (Fig. 1.6) sono depositi piroclastici da caduta pantelleritici, e flussi lavici pantelleritici e trachitici, eruttati tra 35 e 29 ka. La maggior parte dell'attività di questo ciclo proviene da tre edifici vulcanici allineati in direzione N-S. Il volume di magma eruttato è pari a circa 1.0 km³ D.R.E.

Terzo ciclo. Il terzo ciclo silicico include depositi piroclastici da caduta, flussi e duomi lavici (Fig. 1.6). La maggior parte delle rocce di questo ciclo sono state eruttate da centri allineati su strutture che seguono l'allineamento regionale NO-SE. Tutte le rocce di questo ciclo hanno età simile, intorno ai 20 ka (Civetta et al., 1988). Il volume totale di magma eruttato durante questo ciclo è stato stimato a circa 0,5 km³ D.R.E.

Quarto ciclo. Il quarto ciclo silicico è rappresentato da depositi piroclastici da caduta e da duomi e flussi lavici. I prodotti attribuiti a questo ciclo sono raggruppati soprattutto sulla base dell'ubicazione dei loro centri eruttivi che descrivono una struttura circolare, al margine della Caldera Monastero (Fig. 1.6). Le età K-Ar delle rocce attribuite a questo ciclo variano da 15 a 20 ka. La maggior parte delle eruzioni sono iniziate con fasi esplosive che hanno prodotto depositi piroclastici da caduta di composizione pantelleritica e sono poi proseguite con flussi lavici alimentati da magma a composizione meno evoluta. Il volume di magma eruttato è stato stimato intorno a 0,4 km³.

Quinto ciclo. L'attività del quinto ciclo silicico ha prodotto depositi piroclastici da caduta e flussi e duomi lavici. I centri di questo ciclo sono principalmente localizzati nella parte centro-settentrionale dell'isola (Fig. 1.6). I prodotti emessi sono coperti da un diffuso paleosuolo di colore rosso scuro, marker stratigrafico facilmente riconoscibile sull'intera isola, indicatore di una fase di quiescenza e datato a 12-14 ka (Civetta et al., 1988). I magmi eruttati hanno lo stesso tipo di variazione composizionale di quelli dei cicli precedenti, anche se con una minore variabilità. Durante questo ciclo è stata eruttata una piccola quantità di magma, il cui volume è stato stimato intorno a 0,25 km³.

Sesto ciclo. I prodotti del ciclo eruttivo silicico più recente dell'isola di Pantelleria (~ 10-8 ka) includono depositi piroclastici da caduta, duomi e flussi lavici emessi da centri eruttivi ubicati all'interno dell'area calderica (Fig. 1.6). Tutti i prodotti di questo ciclo sovrastano il paleosuolo rosso scuro che ricopre quelli emessi dal ciclo menzionato in precedenza. Le eruzioni furono esplosive e alimentate da magmi variabili in composizione da pantellerite a trachite. Se pur di difficile calcolo, in quanto i prodotti emessi si depositarono in mare e in parte su una topografia accidentata che favorì il loro successivo rimaneggiamento, il volume totale di magma eruttato è stimato in circa 0,5 km³.

La Figura 1.7 (da Scaillet et al., 2011) mostra un cronogramma dell'attività eruttiva post-Tufo Verde, in cui sono stati inseriti i sei cicli silicei sopracitati, datati tramite il metodo K/Ar da diversi autori.

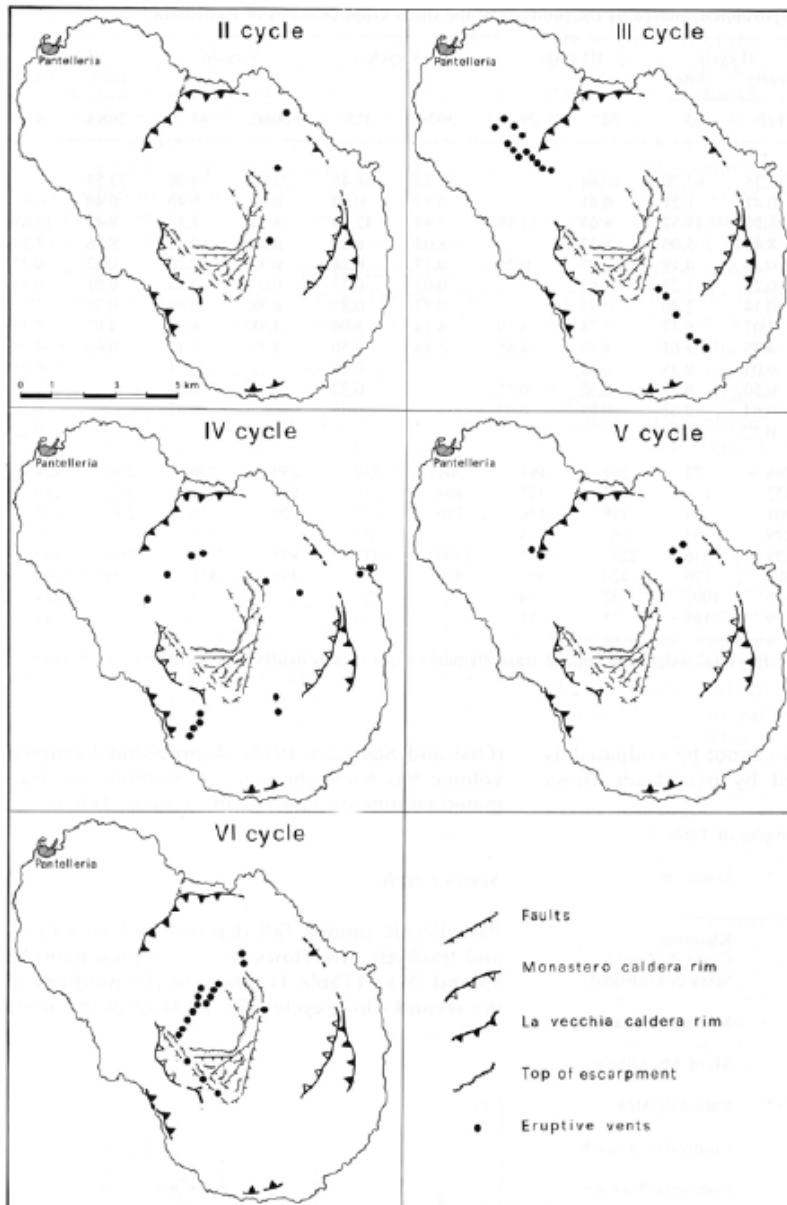


Figura 1.6 Carta dell'ubicazione dei centri eruttivi di attività silicica, dal secondo al sesto ciclo (Civetta et al., 1988).

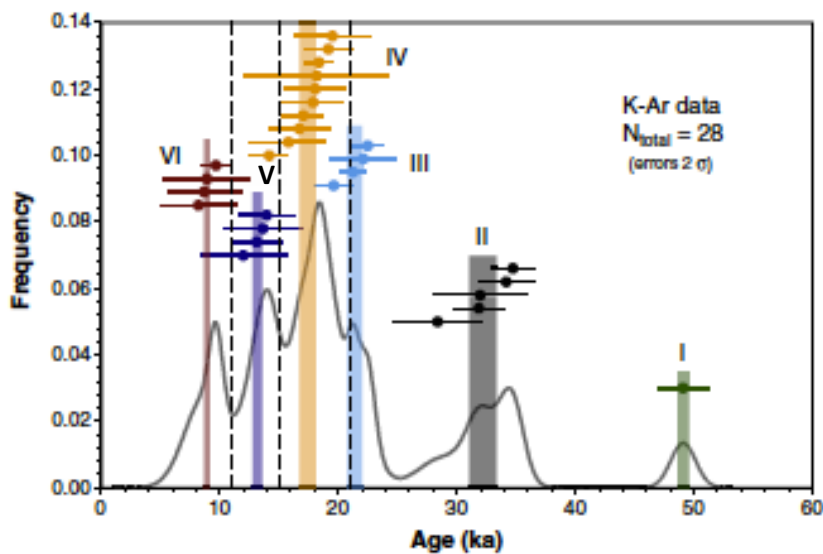


Figura 1.7 Cronogramma Età-Frequenza dell'attività vulcanica post-Tufo Verde basato sulle datazioni K/Ar da Civetta et al. (1988), Cornette et al. (1983) e Orsi et al. (1991). La suddivisione dei cicli silicei è denominata con i numeri romani (da I a VI) per definire i gruppi dei dati K/Ar, plottati con vari colori. Le linee colorate, in verticale, rappresentano la media ponderata delle età corrispondenti ai gruppi K/Ar. Le linee tratteggiate tra il ciclo siliceo III-IV, IV-V e V-VI denotano la presenza di paleosuoli desunti da Civetta et al. (1998) e Orsi et al. (1991). (da Scaillet et al., 2011).

Studi più recenti ad alta risoluzione, con la tecnica $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, sono stati effettuati per affinare la cronostratigrafia dell'attività post-calderica dell'isola di Pantelleria su prodotti peralcalini recenti, finora mai datati con questa tecnica. Scaillet et al. (2011) hanno proposto un cronogramma più dettagliato dell'attività recente (post-Tufo Verde) comparandolo con quello effettuato in precedenza da Civetta et al. (1988) tramite la tecnica K/Ar, che però aveva una risoluzione più limitata, con errore superiore a 2-4 ka. Si osserva infatti che, mentre i primi due cicli (I e II) desunti da Civetta et al. (1988) e Orsi et al. (1991) sono ben risolti con i dati K/Ar, la suddivisione degli ultimi quattro è poco distinta (Fig. 1.7): le datazioni con K/Ar appaiono continue nell'intervallo 22 ka- 8 ka, senza alcun gap nella distribuzione delle età che potrebbe indicare fasi di stasi dell'attività effusiva (Fig. 1.7), possibili tramite il riconoscimento di paleosuoli (Scaillet et al., 2011).

Il miglioramento nella precisione (in media ± 0.7 ka) delle tecniche analitiche, con $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ di Scaillet et al., 2011, permette di valorizzare la struttura temporale dell'attività post-calderica rispetto alle datazioni precedenti effettuate con il metodo K/Ar. Il cronogramma dell'attività derivato dai nuovi dati è mostrato in Figura 1.8: la loro distribuzione è in grado di meglio definire la frequenza eruttiva nell'intervallo 16-7 ka, rispetto al *range* temporale più disperso del K/Ar (poste tra 24 e 7 ka).

Un ulteriore argomento messo in discussione da Scaillet et al. (2011) rispetto alle datazioni di Civetta et al. (1988), riguarda la presenza di tre paleosuoli posti tra i Cicli III-IV, IV-V e V-VI (Fig. 1.7). Il primo è riconosciuto anche da Scaillet et al. (2011) come un paleosuolo rosso scuro (*dark-red paleosol*, DRP; Fig. 1.8), mentre gli altri due sono probabilmente molto poco evoluti e non sono stati rintracciati da studi posteriori a quello di Civetta et al. (1988). Il DRP è un orizzonte di alterazione prominente e localmente spesso (>1 m) e sotto alcuni aspetti suggerisce una stasi nell'attività vulcanica. Le evidenze di terreno e le recenti datazioni con il metodo $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mostrano che la maggior fase di stasi dell'attività eruttiva è collocata tra le unità Valletta (14.7 ka \pm 0.5 ka) e Mueggen (11.9 \pm 0.8 ka). Quindi la durata massima della stasi sarebbe di 2.8 ± 0.9 ka, centrata a 13.3 ka (Fig. 1.8): rispetto alla precedente datazione, essa è più vecchia e meglio individuata temporalmente. Le unità stratigrafiche più antiche del paleosuolo vengono così a concentrarsi in un'età attorno a 15 ka, mentre quelle più recenti si distribuiscono tra 12 e 7 ka, indicando una generalizzata diminuzione nella frequenza delle eruzioni nel tempo da circa 3.5 ka^{-1} e 0.8 ka^{-1} (Scaillet et al., 2011).

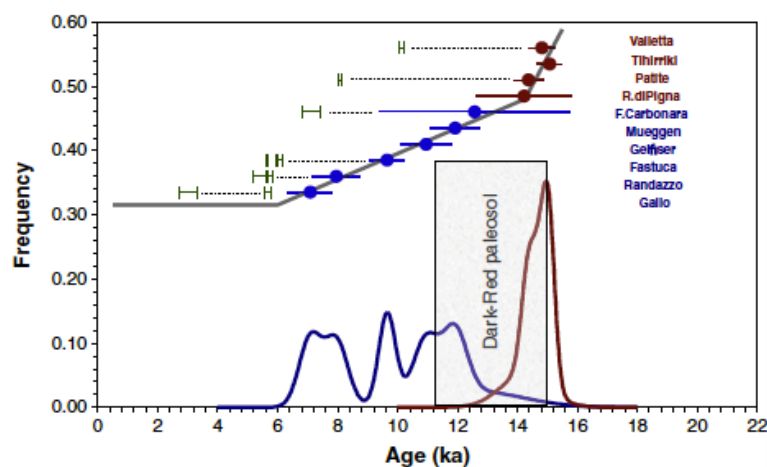


Figura 1.8 Cronogramma dell'attività vulcanica post-Tufo Verde delle età $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. Le unità sono combinate in ordine stratigrafico: da quelle più antiche (unità Valletta) a quelle più recenti (unità Gallo). Il rettangolo in nero considera il lasso temporale di formazione del paleosuolo rosso-scuro (DRP) dedotto da i depositi esposti in affioramento. I simboli in verde sono le età al ^{14}C delle unità corrispondenti. Da notare l'errore sistematico tra $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ e ^{14}C . La linea in grigio fitta le età con la frequenza corrispondente, mostrando un'impennata evidente nell'attività eruttiva a circa 14 ka. (da Scaillet et al., 2011).

1.3 Il record marino dell'attività di Pantelleria

Il record geologico di eventi eruttivi in ambiente marino può essere costituito da diversi tipi di depositi, in relazione a diversi processi ed ambienti di provenienza dei prodotti: ad esempio, la caduta di ceneri provenienti da vulcani subaerei oppure flussi piroclastici provenienti da sorgenti subaeree o sottomarine (Kennet, 1981). Per *tefra* si intendono non solo i prodotti da caduta (*air-fall*) ma anche quelli derivati da flussi piroclastici come le ignimbriti, o meglio, tutti i prodotti piroclastici primari provenienti da sorgenti vulcaniche subaeree o sottomarine (Kennet, 1981).

I sedimenti vulcanoclastici sono, invece, il risultato di trasporto, deposizione e/o rideposizione dei prodotti emessi da una sorgente vulcanica (es. *debris flows* o torbiditi vulcanogeniche; Fig. 1.9).

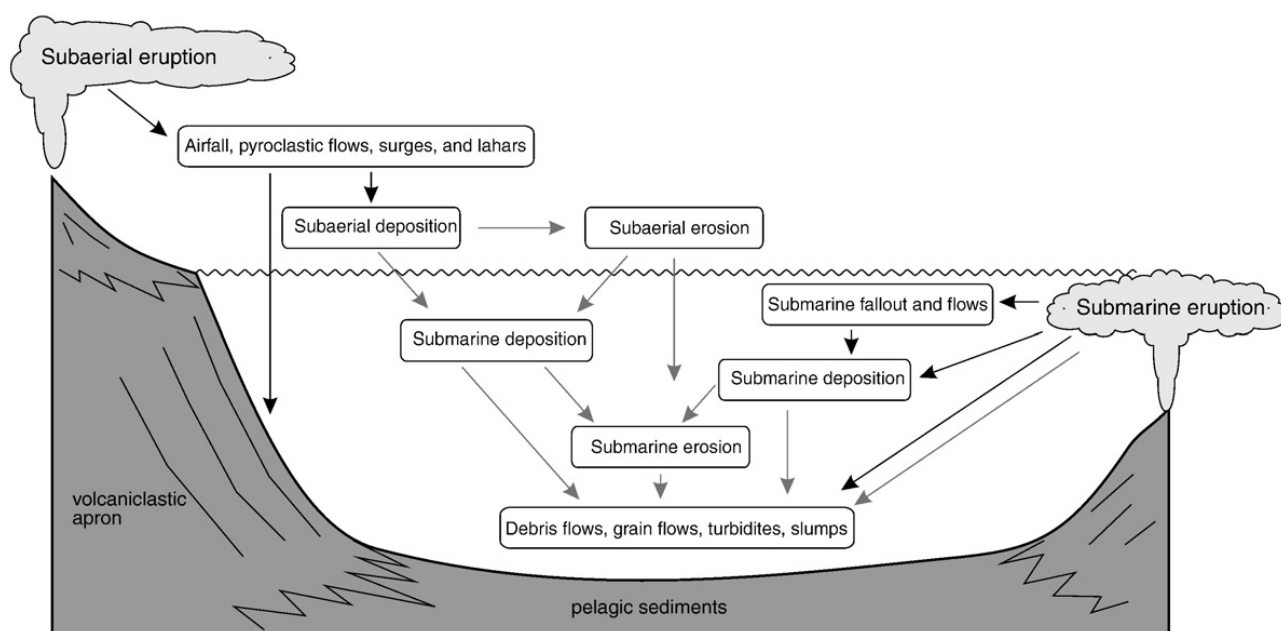


Figura 1.9 Insieme delle sorgenti e dei processi di trasporto dei sedimenti vulcanogenici in ambienti subaerei e subacquei. Le frecce di colore nero mostrano una deposizione diretta del sedimento; le frecce grigie indicano rimaneggiamento del sedimento prima della deposizione (da Manville et al., 2009).

La descrizione geochemica di depositi prodotti dall'attività vulcanica esplosiva, come i livelli di tefra, viene largamente utilizzata come strumento di correlazione stratigrafica. Infatti, durante le eruzioni esplosive i tefra possono essere trasportati nell'alta/bassa atmosfera dando luogo a dispersione di cenere su vaste aree geografiche. Livelli di cenere vulcanica deposti in mare sono generalmente meglio conservati che non a terra e possono essere utilizzati come un buon marker cronostatigrafico per i sedimenti di mare profondo (Paterne et al., 1988). La deposizione di tefra costituisce così un archivio naturale inestimabile sull'attività esplosiva, fornendo importanti informazioni sulla frequenza e intensità degli eventi e per la pericolosità vulcanica.

Gli studi sui tefra utilizzano tecniche analitiche che consentono di analizzare anche singoli frammenti di vetro (es. EPMA). Questo, se da un lato può rendere difficoltoso un confronto diretto con le analisi su roccia totale (che sono, generalmente, disponibili per i prodotti vulcanici sulle aree "sorgenti" a terra), dall'altro ha fornito con maggior precisione l'eventuale variabilità chimica di alcuni livelli "marker" (es. X-2 e Y-5 nella tefrostratigrafia del Mediterraneo, Narcisi e Vezzoli, 1999).

In certi casi questa variabilità composizionale riflette l'eterogeneità delle relative unità piroclastiche e può essere una caratteristica di eruzioni che coinvolgono ampi volumi di materiali emessi e sono associate a processi di frazionamento o mixing della camera magmatica (Narcisi e Vezzoli, 1999). In ambiente marino, tuttavia, l'eterogeneità composizionale dei livelli di tefra può essere dovuta anche a risedimentazione o bioturbazione (Paterne et al., 2008).

Livelli con un chimismo distintivo dei prodotti emessi, in generale, consentono il riconoscimento di depositi associabili a specifiche eruzioni anche se rinvenuti lontano dalle sorgenti vulcaniche.

L'eruzione del Tufo Verde, GT (*Green Tuff*) a Pantelleria ha prodotto depositi ritrovati in molte zone del Mar Mediterraneo (dove viene riconosciuto come livello Y-6) e, persino, in sedimenti di alcuni laghi balcanici (es. Lago Ohrid, tra Albania e Macedonia; Vogel et al., 2009; Lago Prespa, tra Macedonia, Albania e Grecia, da Damaschke et al., 2013.). Il livello Y-6 è un esempio di tefra distale a composizione peculiare (peralcalina, tipica dei prodotti pantelleritici) correlato, su basi stratigrafiche, all'eruzione del Tufo Verde (Keller et al., 1978; Negri et al., 1999).

Il relativo deposito primario in facies prossimale, è stato riconosciuto sui fondali circostanti l'isola di Pantelleria da Anastasakis e Pe-Piper (2006) nel bacino a Sud-Ovest dell'isola dove corrisponde ad un'unità sismica riconoscibile nell'intero bacino (*Fig. 1.10*). Qui è stata recuperata una carota di sedimento dall'eccezionale lunghezza pari a ~ 30 m, al cui interno sono reperiti 10 m di deposito torbido ben gradato, poggiante su altri 18 m costituiti da uno spesso intervallo vulcanogenico. Questi depositi sono stati correlati (tramite evidenze sismiche, vulcanologiche, stratigrafiche e geochemiche) all'eruzione esplosiva del Tufo Verde (~ 50 ka) che, con ~ 20 m di spessore di ignimbrite (a terra), ha raggiunto la costa in quasi tutta l'isola (*Fig. 1.5*) e il flusso piroclastico è verosimilmente entrato in mare. Secondo Anastasakis e Pe-Piper (2006), infatti il deposito vulcanogenico massivo ritrovato a Sud di Pantelleria, a circa 40 km di distanza dalla sorgente, si correla con l'evento del GT. La rilevanza dello spessore dell'intervallo vulcanogenico implica che esso possa essere stato depositato da un flusso iperconcentrato generato nel momento in cui l'ignimbrite del Tufo Verde è entrata in mare, attraverso un processo di trasformazione del flusso piroclastico in acqua satura (Anastasakis e Pe-Piper, 2006). La scarsa cernita di tale intervallo, comparato ai depositi del GT a terra, sarebbe il risultato della deposizione dei flussi iperconcentrati ritrovati nel bacino di Pantelleria, in cui la turbolenza è stata dominata dall'alta densità del flusso. Al contrario, l'unità torbida al tetto del deposito vulcanogenico risulta avere un notevole grado di cernita e granulometria, corrispondendo al momento in cui la nuvola ignimbritica si è evoluta in componenti ben gradati provenienti dalla colonna eruttiva pliniana. Probabilmente, essa rappresenta la porzione diluita della corrente piroclastica, coeva all'eruzione dell'ignimbrite (Anastasakis e Pe-Piper, 2006).

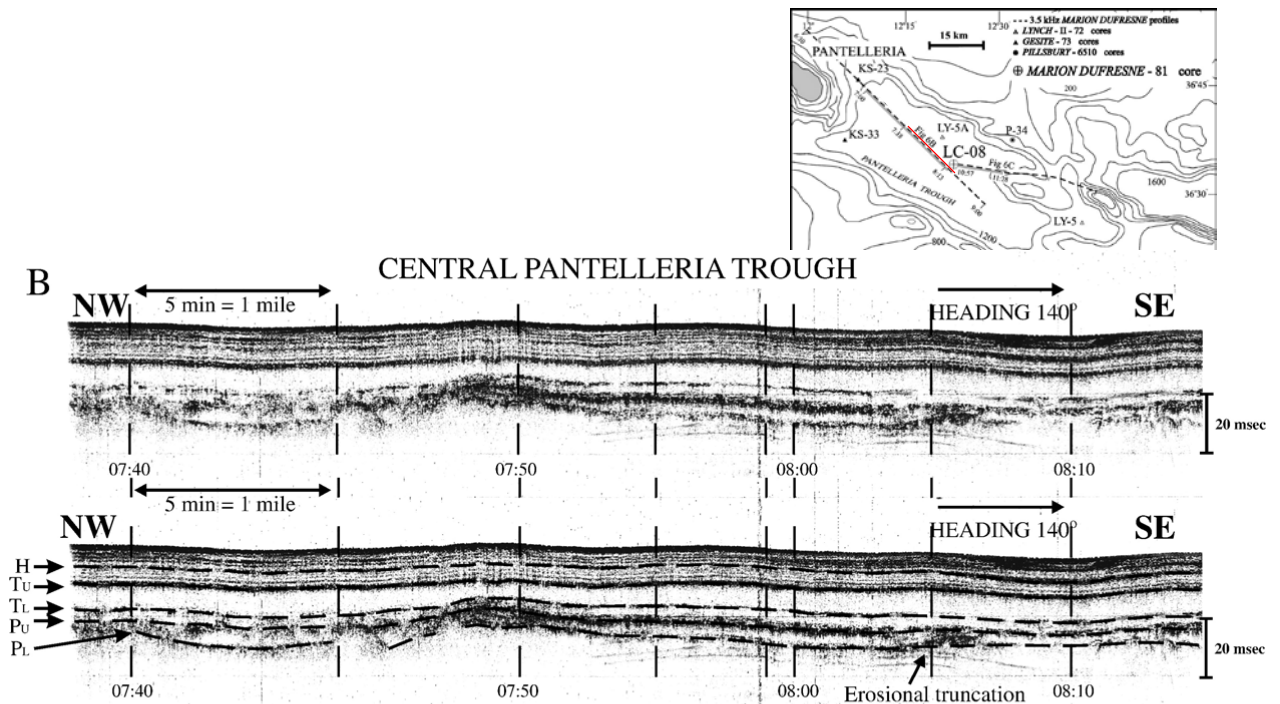


Figura 1.10 Profilo sismico del bacino a Sud- Ovest di Pantelleria e relativa interpretazione (in basso). L'intero livello vulcanogenico correlato con il Green Tuff, sarebbe compreso tra i riflettori T_U e P_L (Anastasakis e Pe-Piper, 2006).

L'unica eruzione sottomarina direttamente osservata a Pantelleria alla fine del 1891 (Fig. 1.11) è riportata dalla testimonianza di Riccò (1892). Tale eruzione fu caratterizzata dalla fuoriuscita di prodotti vulcanici, circa 5 km a largo della costa nord-orientale dell'isola. L'eruzione durò sette giorni, producendo bombe di lava scoriacee (*lava ballons*) di composizione basaltica-alcina che galleggiavano sulla superficie del mare (vedi Conte et al., 2014). L'eruzione del 1891 è stata descritta da Foerstner (1891), Butler e Perry (1892), Riccò (1892) e Washington (1909), (vedi riferimenti in Conte et al., 2014).

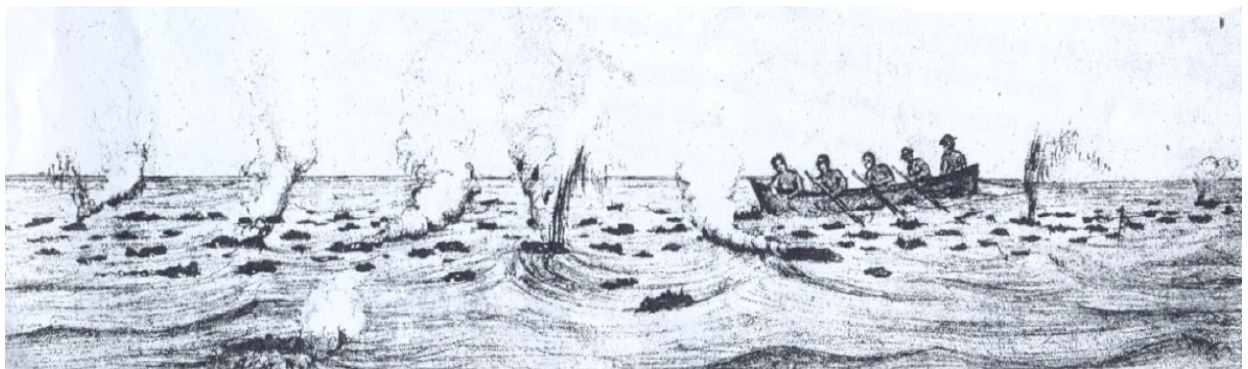


Figura 1.11 Nel disegno è testimoniata l'attività vulcanica recente di Pantelleria. In particolare, l'eruzione avvenuta a ~ 4 km a nord-ovest dell'isola nel 1891 A.D di cui Riccò fu testimone oculare (Riccò, 1892).

Cap.2 Dati e metodi

2.1 La campagna PANTHER

Lo studio dei depositi relativi all'attività vulcanica di Pantelleria, trattati in questo lavoro, è stato possibile grazie alla campagna oceanografica PANTHER (PANTelleria *High-Energy Eruptions*) effettuata nell'ambito del progetto EUROFLEETS2. Questo progetto, sostenuto dall'European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI), consente l'accesso alle infrastrutture navali europee da parte di ricercatori EU. La campagna si è svolta a bordo della nave da ricerca Minerva Uno (*Fig. 2.1*) del CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) nel periodo dal 6 all' 11 Agosto 2016. I partecipanti alla campagna fanno parte di diversi paesi europei tra cui: Gran Bretagna, Irlanda, Italia e Spagna, per un totale di tredici tra ricercatori, dottorandi e studenti.

Il principale scopo del progetto Panther è quello di ricostruire gli impatti degli eventi eruttivi ad alta energia registrati e conservati sul fondale marino circostante l'edificio vulcanico di Pantelleria.

A questo scopo, le attività a bordo hanno compreso rilievi batimetrici e geofisici, e campionamenti di carote di sedimento sia a Est che Sud-Ovest dell'isola (*Fig. 2.2*).



Figura 2.1 Foto della R/V Minerva Uno scattata da drone (copyright Explorer Society).

Vengono di seguito sinteticamente esposte le tecniche di acquisizione dei dati batimetrici, tramite ecoscandaglio multifascio (*Multibeam echosounder, MBES*), e di dati sismici ad alta risoluzione (*CHIRP*).

Multi Beam Eco Sounder (MBES). L'ecoscandaglio multifascio (*Multi Beam*) è un sonar utilizzato per misurare la profondità del fondo marino. Il funzionamento si basa sulla registrazione del tempo impiegato da un impulso sonoro inviato da un trasduttore, posto sotto la chiglia della nave, per raggiungere il fondale e venire riflesso nuovamente verso il rilevatore (Zhou & Chen, 2004). I sistemi MBES inviano numerosi impulsi contemporaneamente in un fascio a forma di ventaglio, il cui apice coincide con l'emettitore (*Fig. 2.3*) e rilevando ("insonorizzando") un'area ampia del fondale e non solo una linea sulla verticale della nave, come nel caso degli ecoscandagli tradizionali.

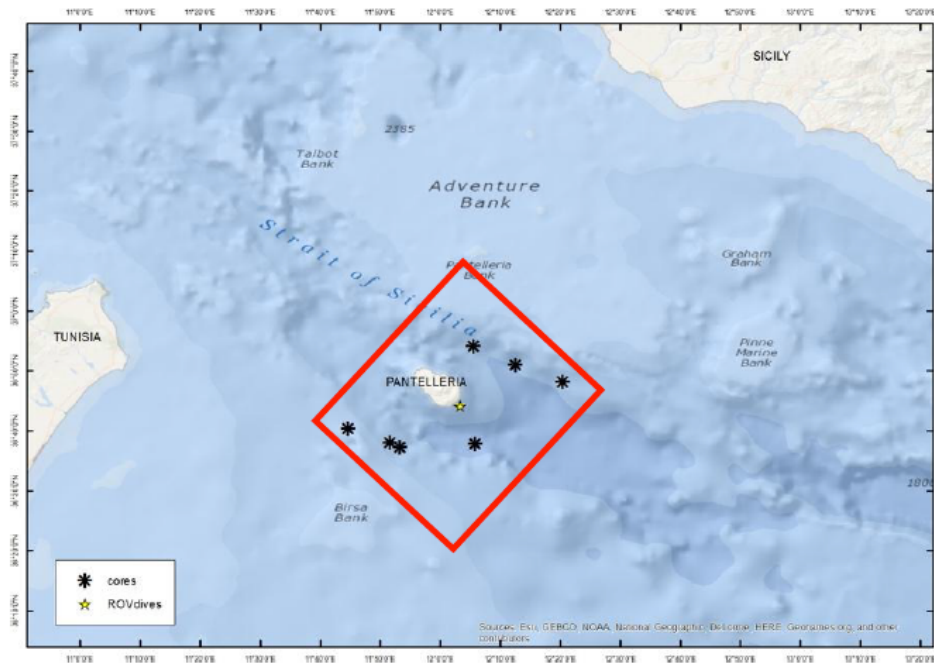


Figura 2.2 L'area di lavoro, circostante l'isola di Pantelleria, è evidenziata dal rettangolo rosso. Gli asterischi neri rappresentano i punti di carotaggio effettuati durante la campagna. La mappa batimetrica proviene dai dati GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans).

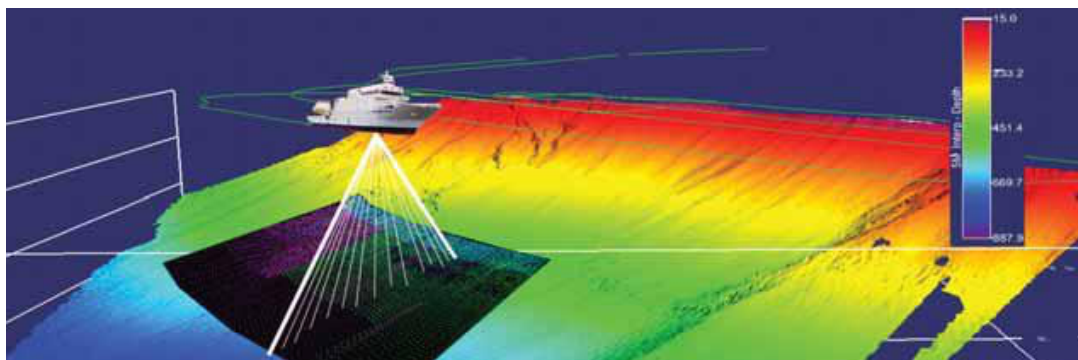


Figura 2.3 Esempio di geometrie di acquisizione di rilievi Multi Beam.

Conoscendo la velocità del suono nella colonna d'acqua tramite opportune misurazioni con sonda CTD (Conducibilità elettrica, Temperatura e Densità dell'acqua) effettuate prima e durante l'acquisizione, si ottiene infine un dato di profondità.

I dati morfo-batimetrici dell'area in questione sono stati acquisiti tramite il sistema RESON8125, operando ad una profondità variabile tra 150 m e 2000 m e ad una velocità compresa tra 4 e 10 nodi. La registrazione dei dati di navigazione è stata effettuata adoperando il *software* PDS2000. I dati sono stati successivamente elaborati con il *software* Caris & Sips, per ottenere un DEM marino del fondale.

CHIRP Sub-Bottom. Insieme all'acquisizione dei dati con il MBES, nell'area in esame sono stati rilevati anche alcuni profili sismici ad alta risoluzione con tecnica CHIRP (*Compressed High Intensity Radar Pulse*), che sfrutta l'emissione di un segnale acustico ad alta frequenza per indagare la struttura interna di sedimenti non consolidati (Bull et al., 1998). La risoluzione verticale ottenibile è dipendente dalla frequenza di emissione del segnale e dalla granulometria.

Nel caso della campagna PANTHER, i rilievi sismici sono stati effettuati utilizzando il sistema di registrazione digitale SwanPRO 2.00 (Fig.2.4) con files che sono stati registrati in formato XTF e convertiti in file SEG-Y per consentire l'interpretazione. La penetrazione massima raggiunta dal segnale è risultata intorno agli 80 m con risoluzione dell'ordine di 1 m.

Il sistema Chirp ha operato simultaneamente con l'ecoscandaglio a fascio multiplo per consentire la miglior collocazione dei punti di carotaggio.



Figura 2.4 In questa immagine si osserva la postazione dell'acquisizione sismica a bordo della R/V Minerva Uno. Lo schermo centrale mostra l'acquisizione dei profili sismici (Chirp) in corso; il cambio dei vari parametri (es. trig rate), affinché siano ad alta risoluzione, viene visualizzato da profili sfalsati.

Campionamento con carotiere a gravità. Per il campionamento di sedimento dal fondale è stato utilizzato un carotiere a gravità con tubo di lunghezza pari a 6 m (Fig. 2.5)

Sono state raccolte sette carote di sedimento, di lunghezza media di 5 m, per un totale di 34 m circa di recupero totale (Fig. 2.6 e Tabella 2.1). Sulla base di osservazioni speditive sul sedimento visibile all'estrazione della carota, è stata fatta una sintetica descrizione a bordo (Tabella 2.1).

In questa tesi sono state analizzate solo alcune delle carote campionate durante la spedizione oceanografica. Esse derivano dall'area a Est di Pantelleria e sono, rispettivamente, la PAN05, PAN06 e PAN07 (Fig. 2.6 e Tabella 2.1).



Figura 2.5 Recupero del carotiere a gravità in uno dei siti di carotaggio.

N.	Date	Arrival Time UTC	Dep. Time UTC	Lat (deg N)	Long (deg E)	winch tension (kg)	Num. sections	WD (m)	recovery (m)	Comment
PAN01	09/08/16	06:30	07:17	36.6245	12.0664	2432	6	1086	5.305	Silty grey mud at core bottom, continued grey mud throughout the core with a disturbed core top.
PAN02	09/08/16	09:16	09:48	36.6275	11.8714	2301	6	507	5.54	Grey sandy coarse volcanic clasts, changing into black sand in middle sections and grey sandy mud on top. Disturbed core top.
PAN03	09/08/16	10:27	11:04	36.6355	11.8622	2432	6	520	5.46	Grey clay at core bottom changing into coarse sand in middle sections with grey mud on top. Disturbed core top.
PAN04	10/08/16	05:25	05:34	36.6541	11.7532	1532	1	147	0.85	Light grey mud with shelly material at bottom and brown shelly mud at top.
PAN05	10/08/16	08:23	09:05	36.9023	12.0921	2432	6	746	5.44	Grey sandy mud at top and bottom of each section, the core top is disturbed. On outside of core barrel some volcanic shards
PAN06	10/08/16	09:44	10:32	36.8495	12.2095	2414	6	993	5.59	Grey mud throughout, disturbed core top and stuffed. Some sediment lost when taking core out of water.
PAN07	10/08/16	11:22	12:25	36.8003	12.3472	2229	6	763	5.295	Volcanic material at core bottom in core catcher (bagged). Grey mud throughout. Core top disturbed.

Tabella 2.1 Elenco dei siti di campionamento e relative descrizioni speditive delle carote prelevate; quelle oggetto di studio sono evidenziate in giallo. Le ubicazioni sono mostrate in Fig. 2.6 (da EUROFLEETS2 Cruise Summary Report).

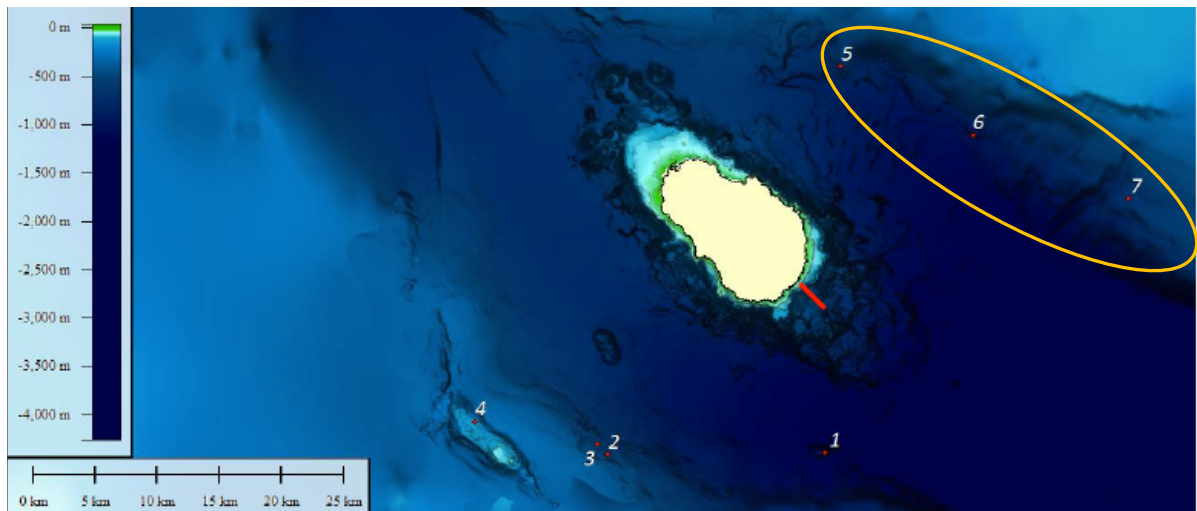


Figura 2.6 Ubicazione di tutti i siti di carotaggio. Le carote numero 5, 6 e 7, a Est dell'isola e raggruppate nel cerchio giallo, sono state campionate, descritte e analizzate all'interno di questo lavoro.

Nelle *Figure 2.7, 2.8a- b, 2.9 a- b e 2.10 a- b* vengono mostrati i profili CHIRP (e le relative ubicazioni) raccolti nelle aree di carotaggio subito prima delle operazioni di campionamento, ciò al fine di caratterizzare le geometrie dei riflettori sismici interessati dalla successione campionata e di avere indicazioni sul regime deposizionale presente.

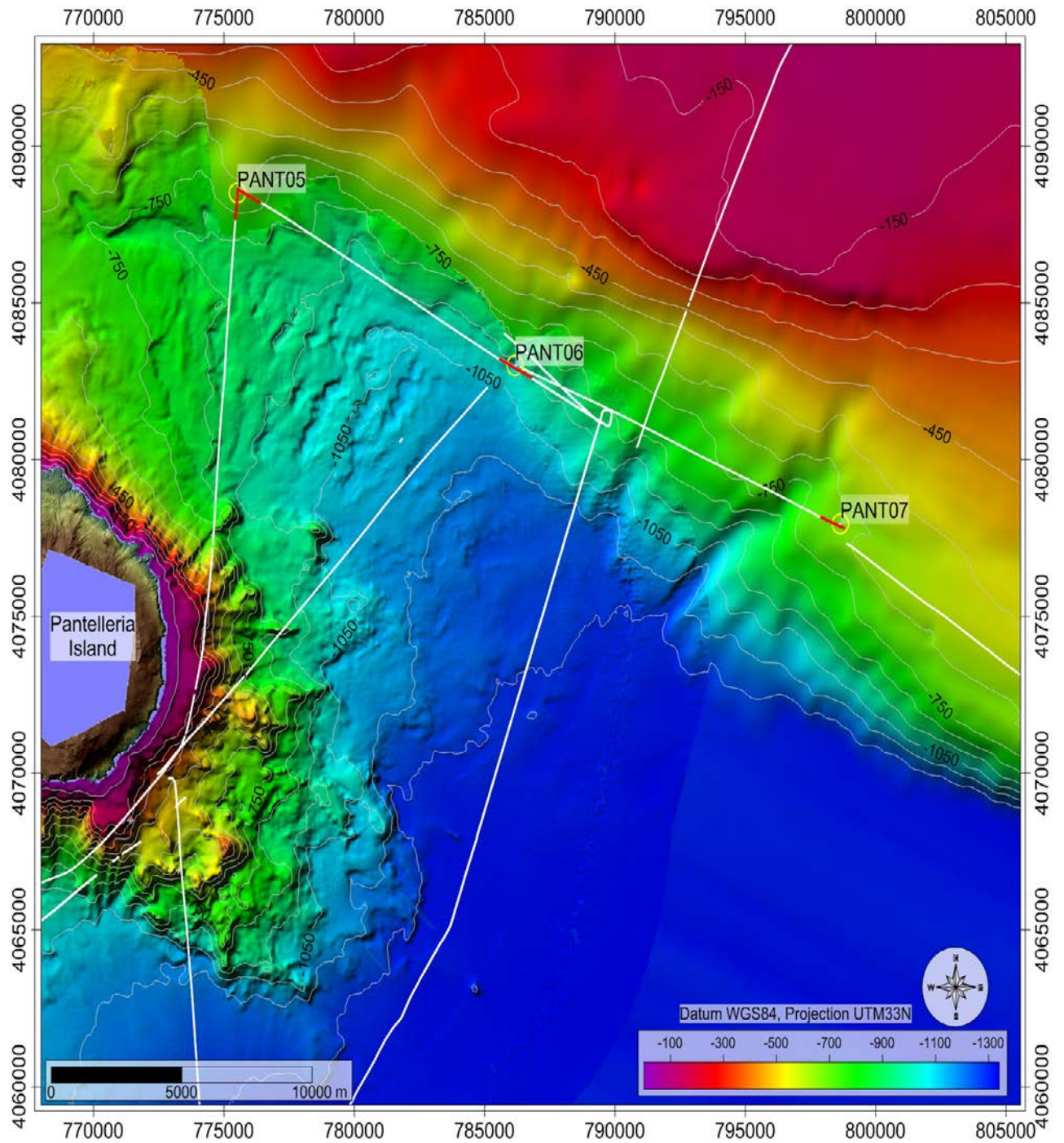


Figura 2.7 *Mappa multibeam con ubicazione delle linee CHIRP sui fondali circostanti l'isola di Pantelleria. I transetti in rosso, in corrispondenza dei punti di carotaggio PAN05, PAN06 e PAN07, rappresentano i profili sismici CHIRP riferiti alle figure 2.8, 2.9 e 2.10.*

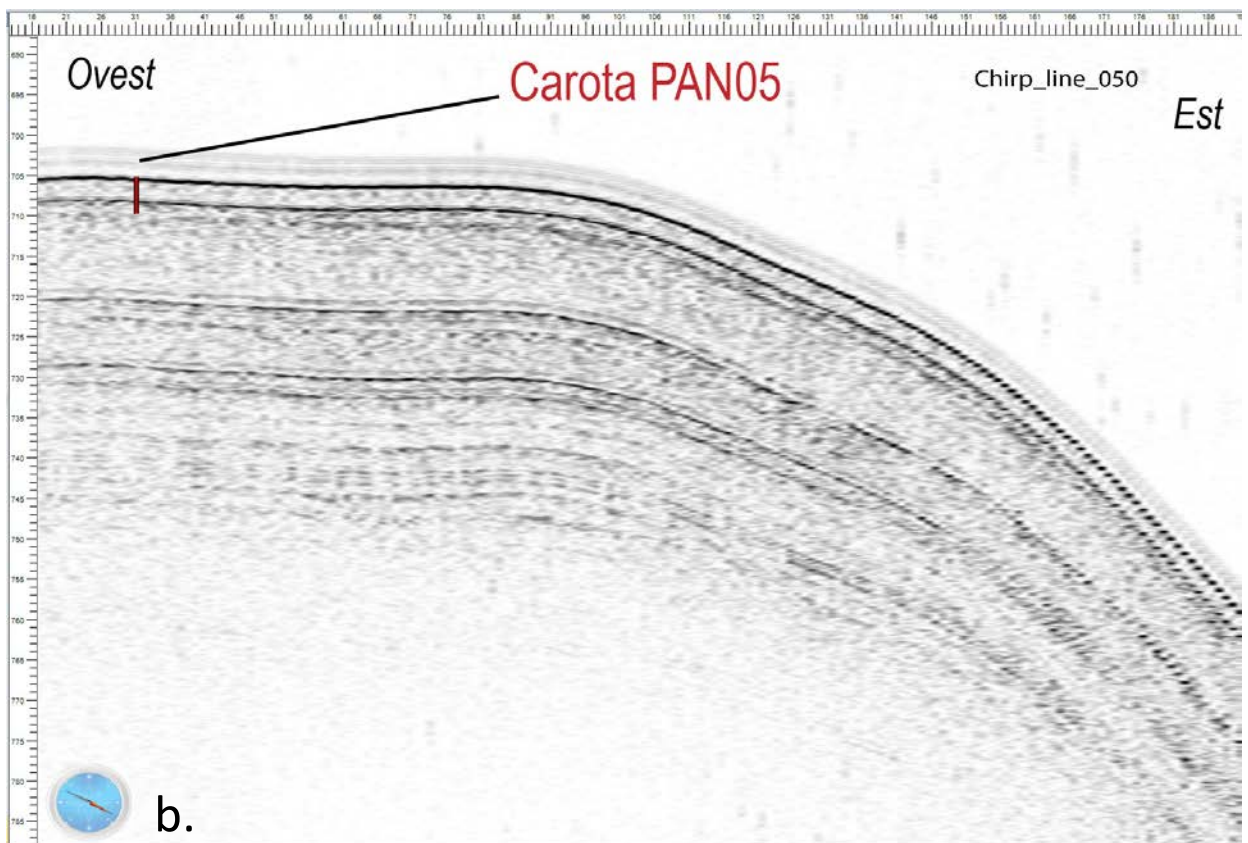
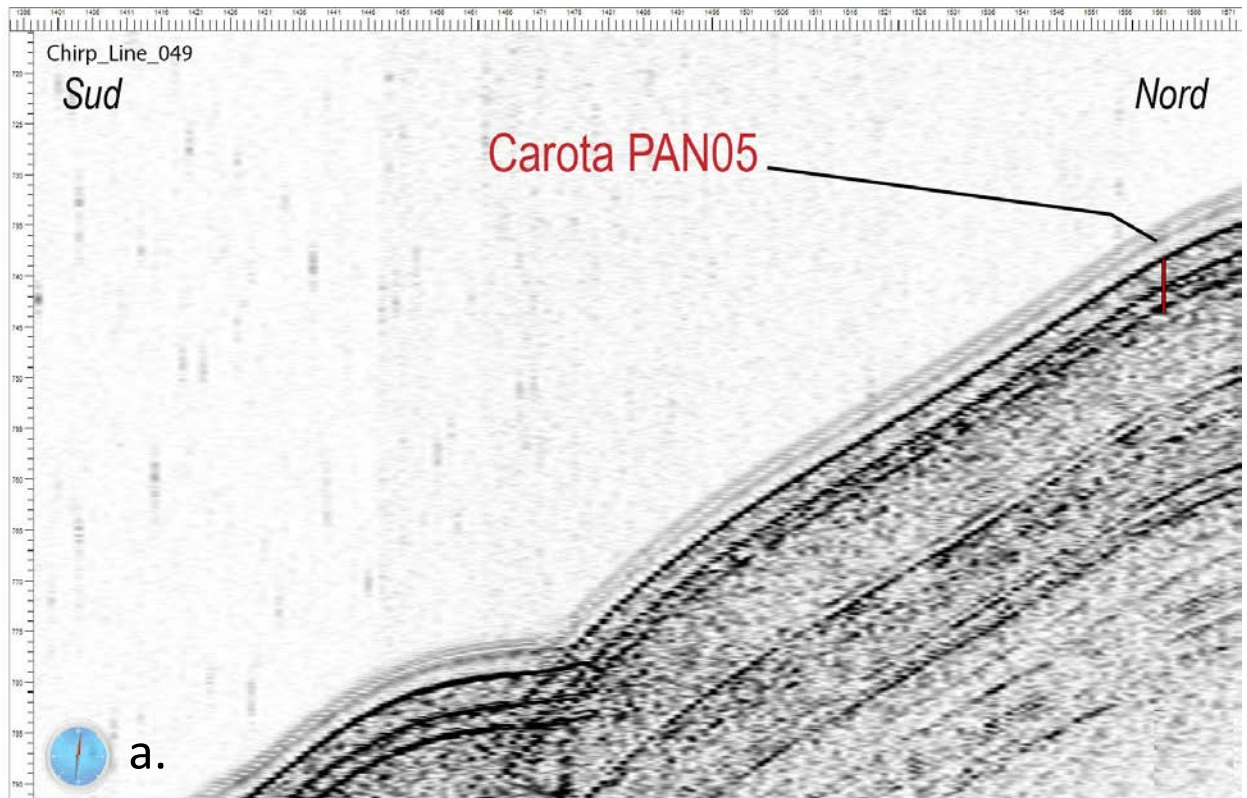


Figura 2.8 a-b Profili sismici CHIRP (SBP): a) direzionato S-N e b) direzionato E-O nell'area di prelievo della carota PAN05. Il segmento in rosso rappresenta approssimativamente la parte di successione sedimentaria campionata nella carota. La geometria dei riflettori appare piano-parallela e continua lateralmente. Si osservano alcuni riflettori ad alta impedenza entro la sequenza campionata. Esagerazione verticale: 10x. Velocità utilizzata per la conversione tempi-distanze: 1515 m/s.

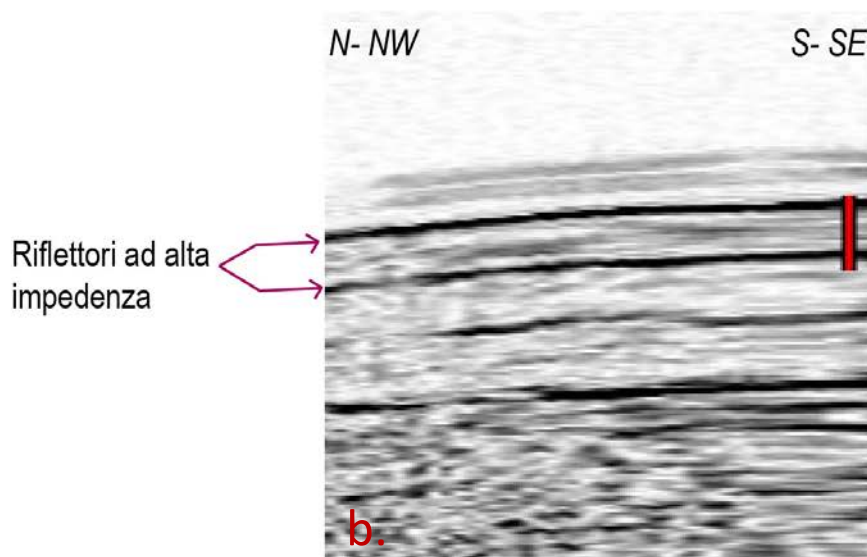
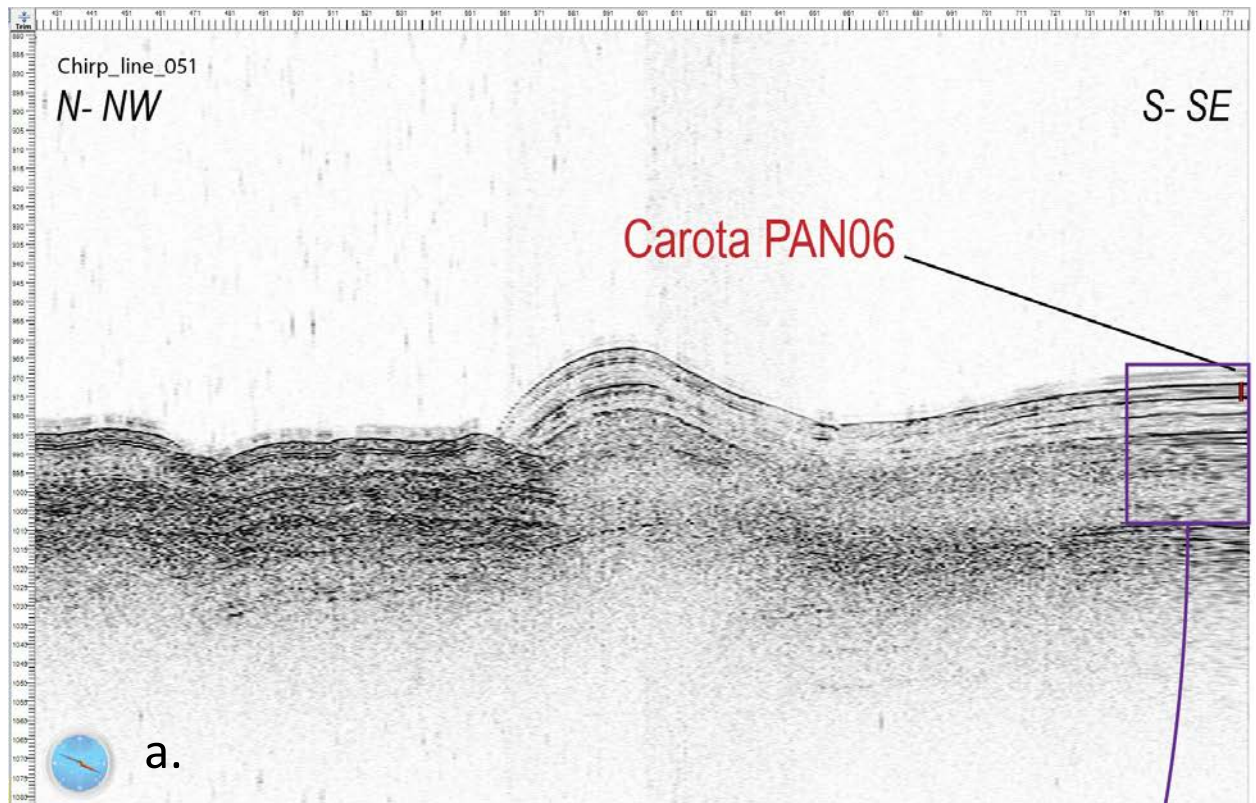


Figura 2.9 a-b Profilo CHIRP (SBP) nell'area di prelievo della carota PAN06. La scala è in metri, l'esagerazione verticale è pari a 10x e la velocità utilizzata per la conversione tempi-distanze equivale a 1515 m/s. Lo zoom del profilo nell'area di carotaggio PAN06 (approssimativamente rappresentato dal segmento in rosso) permette di riconoscere due riflettori a maggior impedenza: quello superiore corrisponde alla superficie di fondo mare e l'altro si osserva verso la base della carota campionata.

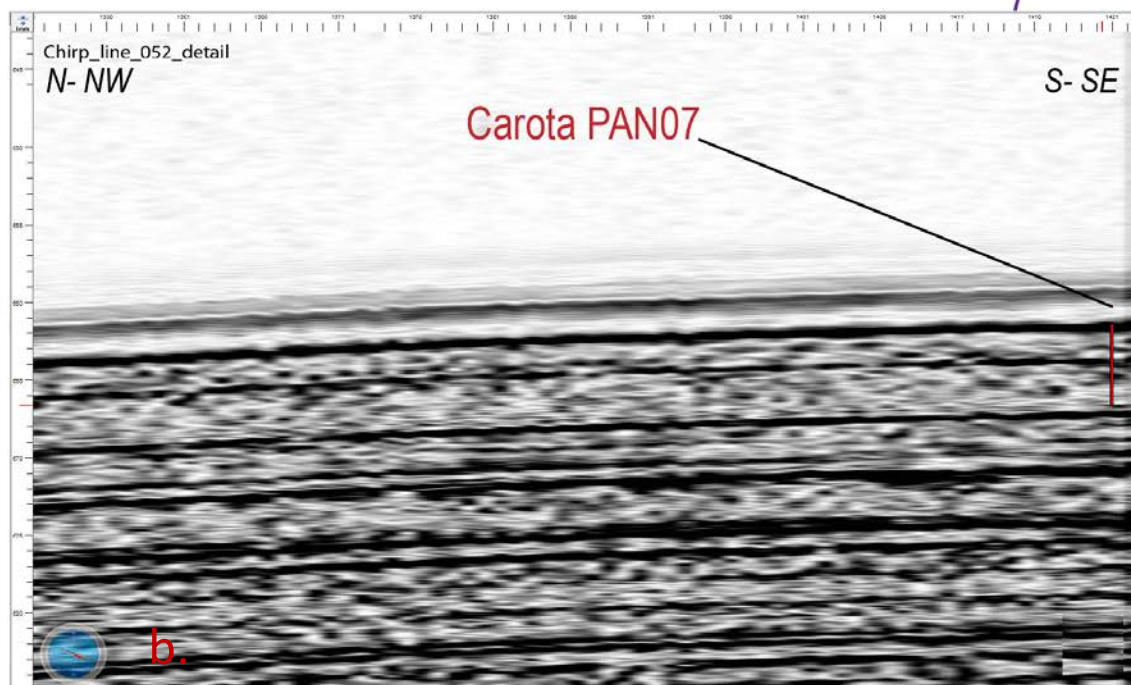
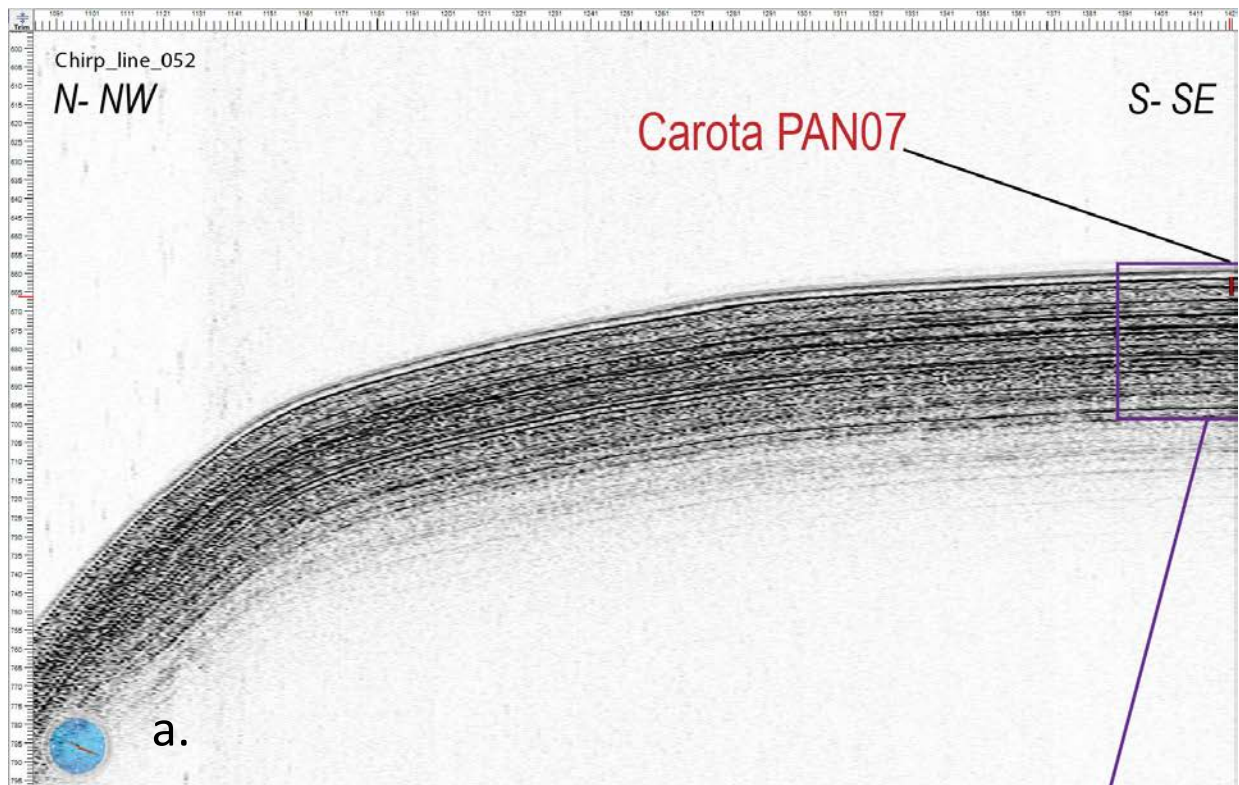


Figura 2.10 a-b Il profilo CHIRP (SBP) mostra l'ubicazione dell'area di prelievo della carota PAN07 (approssimativamente rappresentato dal segmento in rosso). I riflettori del sottofondo sono piano-paralleli e ad elevata continuità laterale. La scala è in metri; l'esagerazione verticale è al 10x e il valore di velocità utilizzato per la conversione dei tempi-distanze è pari a 1515 m/s.

Dopo il recupero le carote sono state tagliate in spezzoni da 1 m, etichettate e stoccate all'interno di frigoriferi appositi a 4°C a bordo della nave Minerva Uno (Fig. 2.11). In seguito sono state imballate e spedite all'Ulster University College di Dublino (UCD) per la successiva apertura e descrizione (Paragrafo 2.2).

Nel solo caso della carota PAN07 è stato raccolto, lavato e fotografato l'abbondante sedimento vulcanoclastico contenuto nel naso del carotiere (Fig 2.11 A).

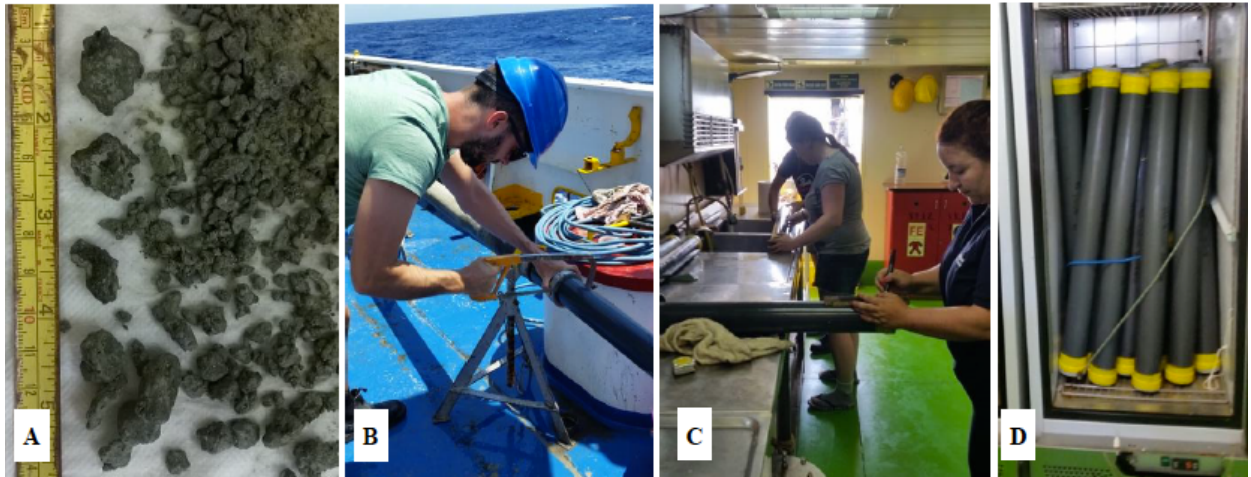


Figura 2.11 A) Campione ricco di pomici e scorie vulcaniche recuperate dal 'naso' della carota PAN07; le immagini seguenti mostrano i vari passaggi a cui sono state sottoposte le carote prelevate: vengono tagliate in sezioni da 1 m, catalogate e tappate (B), successivamente, portate nel laboratorio e pulite per essere etichettate (C) e infine riposte all'interno del frigorifero (D).

2.2 Analisi di laboratorio

Le carote di sedimento, raccolte durante la spedizione oceanografica, sono state spedite al laboratorio dell'University College di Dublino (Irlanda) dove sono state sottoposte ad analisi di suscettività magnetica tramite il *Multi Sensor Core Logger* (MSCL) e successivamente descritte, fotografate e campionate (nel periodo 10- 11 Dicembre 2016).

Multi Sensor Core Logging (MSCL). Questo strumento consente analisi non distruttive sulle carote ancora chiuse. Esso consiste di una piattaforma automatica su cui vengono depositati i campioni e acquisite le relative proprietà fisiche; l'analisi può essere fatta attraverso *liner* di metallo, di plastica o direttamente sulla superficie esposta della carota. A seconda degli obiettivi, dall'analisi possono essere ricavate varie proprietà fisiche, quali:

- attenuazione della densità dei raggi gamma (γ)
- velocità e intensità delle onde P
- resistività
- suscettività magnetica

Generalmente i dati vengono acquisiti e registrati dallo strumento ogni 1-2 cm. Tali dati sono ancora in corso di analisi; quelli di suscettività magnetica riferiti alle carote PAN05, PAN06 e PAN07 sono riportati nel Cap. 3 dei risultati.

Il campionamento, l'acquisizione di fotografie e la descrizione delle tre carote considerate, fasi a cui ho partecipato personalmente, si sono svolte nei laboratori dedicati al trattamento delle carote (*core handling*) dell'*Ulster University College* di Dublino. I log delle carote che sono stati elaborati (vedi Cap.3) riportano anche altre osservazioni macroscopiche come colore, litologia, contatti e strutture visibili.

In maniera preliminare, sono stati osservati i dati della suscettività magnetica e considerati i picchi magnetici corrispondenti a determinati livelli degli spezzoni di carote. Successivamente, sono stati prelevati i campioni laddove, ad occhio nudo e al tatto, erano riconoscibili livelli di frammenti vulcanici o vetro. Ulteriori campionamenti sulle carote permetteranno di effettuare analisi biostratigrafiche (a cura dell'*University of Limerick*, Irlanda) rendendo possibile una datazione relativa delle carote.

2.2.1 Preparazione e analisi dei campioni

Come già detto, i campioni studiati in questa tesi derivano da livelli vulcanogenici individuati nelle tre carote PAN05, PAN06 e PAN07 (*Tabella 2.2*). La preparazione dei campioni è avvenuta presso i laboratori del Bigea (Unibo) seguendo dei passaggi consecutivi:

- Lavaggio e setacciatura in umido (quest'ultima fase solo per il campione del 'naso' della carota PAN07 che si presentava abbondante e ricco di frazioni grossolane)
- Asciugatura in forno a 40°C
- Osservazioni al microscopio e descrizione qualitativa della litologia dei livelli campionati, documentata con foto al microscopio binoculare
- Selezione dei singoli frammenti di pomici e vetri da sottoporre ad analisi
- Inglobamento in resina epossidica dei campioni da analizzare con microsonda e lucidatura
- Montaggio su portacampioni di granuli selezionati per le analisi morfologiche al microscopio elettronico a scansione (SEM).

Per determinare la composizione chimica dei campioni nelle carote PAN05, PAN06 e PAN07, le analisi sono state eseguite utilizzando un sistema SEM-EDX (BiGeA) e la microsonda EMPA (*Electron Micro Probe Analyzer*) presso il IGAG-CNR di Roma.

Per le analisi morfologiche è stato il SEM (*Scanning Electron Microscope*) del BiGeA (Philips 515b). Le osservazioni sono state condotte a 15 kV.

L'analisi dei vetri, tramite SEM-EDX, è stata eseguita con le seguenti condizioni operative:

- Tensione di lavoro (*accelerating voltage*): 15 kV;
- Corrente del campione (*beam current*): 2 nA;
- Tempo di conteggio: 100 live s.
- Standard utilizzati: silicati ed ossidi naturali della collezione "*Smithsonian Microbeam Standards*" (<http://mineralsciences.si.edu/facilities/standards.htm>).

Per ridurre la perdita del sodio (*Na-loss*), durante le analisi, il fascio elettronico è stato operato in modalità scansione su di un'area di circa 5x4 µm. Nonostante questa precauzione è stato necessario apportare una correzione empirica per la perdita di Na poiché i vetri analizzati hanno un contenuto elevato di alcali.

A questo scopo è stata eseguita una stima empirica della perdita di Na nei vetri analizzati eseguendo analisi sequenziali ad intervalli di 20-40-60-80-100 *live s* e calcolando una curva % Na-tempo (Na- *decay curve*). La perdita di Na è stata stimata a circa il 25% ed al set di dati è stato applicato un fattore correttivo ($\text{wt\% Na}_2\text{O} * 1.25$).

Per quanto riguarda la microsonda EMPA, è stato utilizzato uno spettrometro Cameca SX50-52. Le condizioni di lavoro sono state effettuate con una tensione di corrente pari a 15 keV, un fascio di corrente a 15 nA e tempo di conteggio per ogni elemento pari a 10 s. Per evitare la perdita di Na, il fascio di corrente è stato impostato a 15 m μ .

Le analisi sono state calibrate utilizzando i seguenti standard, sia naturali che sintetici: ortoclasio (K), wollastonite (Ca, Si), manganese nativo (Mn), corindone (Al), giadeite (Na), magnetite (Fe), nichel nativo (Ni), cloruro di potassio (Cl), periclasio (Mg), cromo nativo (Cr), rutilo (Ti), silvite (Cl) e fluoroflogopite (F).

Nelle stesse condizioni di lavoro, i valori < 0.05 wt% sono indicativi di concentrazioni molto basse. Tutte le correzioni relative agli effetti di numero atomico, assorbimento e fluorescenza dei raggi-x (dovuti a continua eccitazione) sono state basate sulla procedura PAP (Pouchou e Pichoir, 1991).

Le analisi degli elementi maggiori sono state effettuate su frammenti singoli, eseguendo circa 20 punti analisi per ciascuno. In seguito, ai dati estrapolati dalle analisi sono stati applicati vari passaggi:

- sono stati elaborati ed ordinati con il programma Excel escludendo i punti con una chiusura bassa (inferiore a ~ 94%);
- la maggior parte delle chiusure comprendevano valori relativamente bassi e questo fattore potrebbe riflettere un diverso grado di idratazione dei granuli sottoposti ad analisi;
- effettuata una cernita dei dati utili per caratterizzare i depositi vulcanogenici; i dati sono stati ricalcolati a 100, corredati con la somma degli alcali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) e con il calcolo molare dell'indice agpaitico o *Agpaitic Index* ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3$);
- i dati utili per le analisi sono stati tabulati e plottati nel *software* GCDkit 4.1 (**GeoChemical Data ToolKit**) per l'elaborazione di diagrammi classificativi dei campioni.

Denominazione campione	Livello campionato (cm)	Sigla corrispondente
PAN05	214-215	L
PAN05	235-236	M
PAN05	372-373	N
PAN05	375-376	P
PAN05	379-381	O
<hr/>		
PAN06	191-192	C
PAN06	194-195	F
PAN06	197-198	A
PAN06	252-253	G
PAN06	321-323	D
PAN06	327-329	B
PAN06	332-334	E
<hr/>		
PAN07	90-91	H
PAN07	169	I
PAN07	180-181	J
PAN07	185-186	K
<hr/>		
Denominazione	Suddivisione granuli	Granulometria
PAN07- CC	Pant_1	> 1 mm
PAN07- CC	Pant_2	≥ 2 mm
PAN07- CC	Pant_2 F	≥ 2 mm frammenti fibrosi

Tabella 2.2 Livelli vulcanogenici campionati nelle tre carote e sigla corrispondente. Il 'naso' della carota PAN07 è stato analizzato considerando una suddivisione granulometrica (separando granuli > 1 o 2 mm) e morfologica (forma dei frammenti pomicei contenuti nella frazione ≥ 2 mm).

Cap.3 Risultati delle analisi

I livelli analizzati sono stati prelevati dalle carote provenienti dal settore a nord-ovest dell'isola di Pantelleria (*Fig. 2.6 e Tabella 2.2*). Nei paragrafi successivi, le carote verranno descritte nel loro insieme evidenziando le caratteristiche litostratigrafiche e sedimentologiche di ognuna di esse (Paragrafo 3.1). La descrizione del materiale vulcanogenico contenuto nei livelli campionati verrà trattata con maggior dettaglio nel paragrafo 3.2 (e nella *Tabella riassuntiva 3.1*), proseguendo nel 3.3 con la caratterizzazione geochemica dei vari depositi.

3.1 Caratteristiche litostratigrafiche e sedimentologiche delle carote

La litostratigrafia delle carote PAN05, PAN06 e PAN07 è mostrata tramite opportuni *log*, rispettivamente, in *Fig. 3.1.1, Fig. 3.1.2 e Fig. 3.1.3*. Le principali caratteristiche sedimentologiche vengono elencate qui di seguito:

- ✓ Carota PAN05: di lunghezza pari a 5.44 m (coordinate geografiche: 36°54'8"N-12°5'34"E, recuperata ad una profondità del fondale di 746 m; vedi anche paragrafo 2.1, *Tabella 2.1*) è costituita prevalentemente da silt argilloso intervallato, tramite contatti netti e gradualmente, a livelli centimetrici ben definiti di lapilli e cenere da grossolana a media-fine. In particolare, il primo livello dall'alto è costituito da cenere grossolana, con bassa percentuale siltosa; esso si osserva dal centimetro 212 al 216 con contatto netto-irregolare al tetto e alla base (*Fig. 3.1.1a e Fig. 3.1.1b*). Al di sotto, si osserva un livello di 4 cm (234-238 cm) di cenere grossolana e frammenti vulcanici isolati in contatto netto-irregolare alla base e al tetto entro cui si è campionato il livello M. Infine, nell'intervallo 368-385 cm si presenta un livello vulcanogenico spesso, con tendenza *fining upward* e contatto netto alla base e al tetto. È costituito da frammenti vulcanici di dimensioni varie (da millimetriche a sub-centimetriche) alla base, per poi diminuire di granulometria al tetto (livelli P e N), dove si osserva cenere fine in matrice fangosa. In corrispondenza di questo intervallo è evidente il picco dell'anomalia magnetica, rappresentata dalla curva blu, che tende ad aumentare in corrispondenza del livello O, supposto come la base della sequenza *fining upward*.

Per tutta la lunghezza della carota PAN05 ci sono variazioni di colore che vanno dal marrone-grigio (2.5Y 5/2), al grigio (5Y 5/1) sino al grigio olivastro (GLE1 5/5GY e GLE1 5/10Y) alla base (Colori Munsell in *Fig. 3.1.1a*). Nelle porzioni più superficiali della carota, precisamente al centimetro 75 e 140, si osservano delle chiazze di fango (*mud patches*): la prima a geometria lenticolare e contorni poco definiti mentre la seconda a forma ovale e contatti netti. Esse si distinguono dal resto della carota sia per la granulometria più fine (fangosa) sia per la colorazione tendente al grigio chiaro.

Abbondante è anche la presenza di microfossili e frammenti di gusci, soprattutto nelle prime decine di centimetri della carota (da 20 cm a circa 60 cm). Più in profondità, al centimetro 270, è stato rinvenuto un unico frammento conchigliare di dimensioni millimetriche ($\cong 3$ mm) ed un altro si ritrova a 356 cm. Altri resti fossili in matrice fangosa sono presenti ad una profondità di circa 292 centimetri.

Carota PAN05

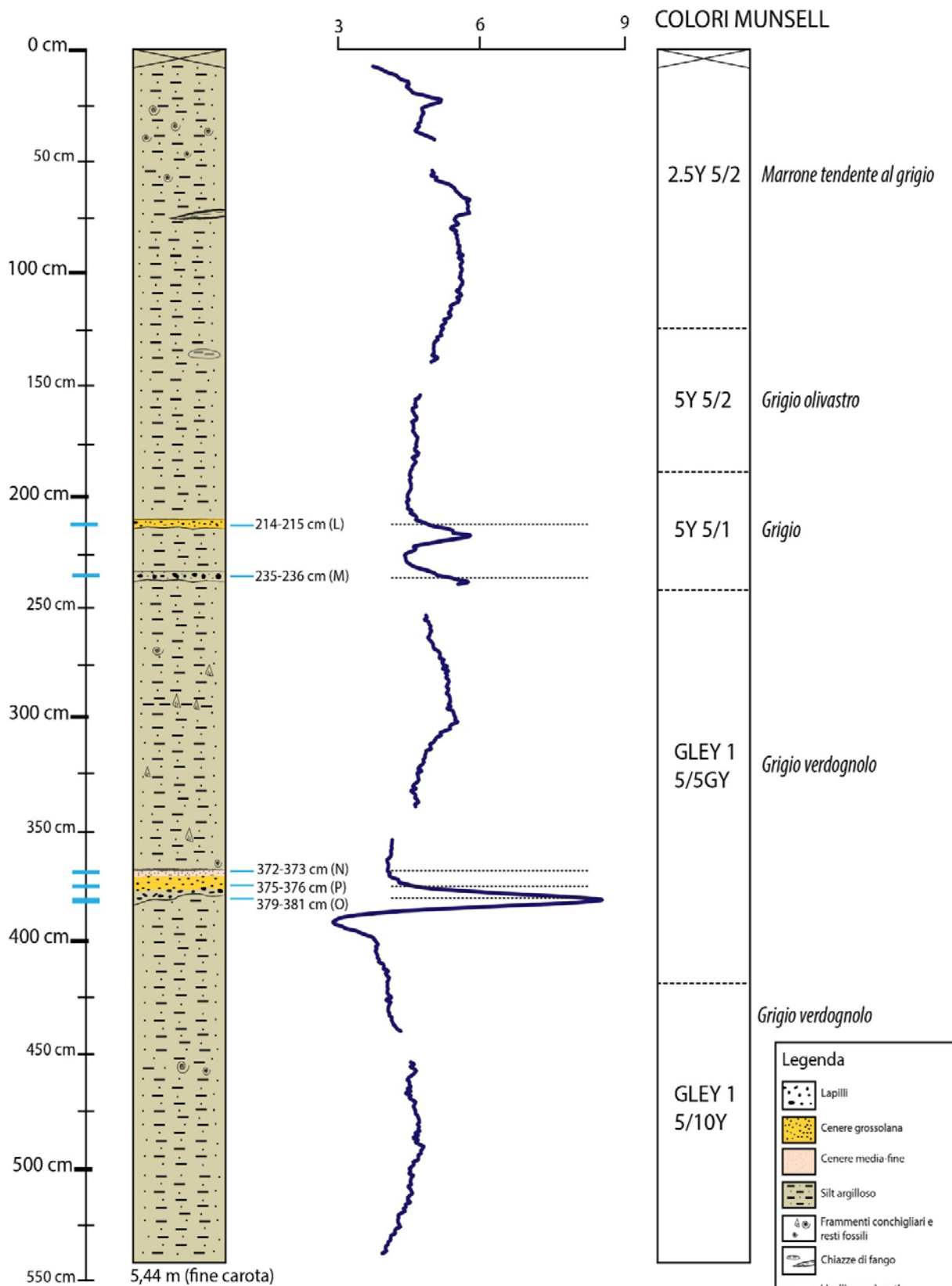


Figura 3.1.1 a Log della carota PAN05 con la rispettiva curva della suscettività magnetica ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$).

Carota PAN05

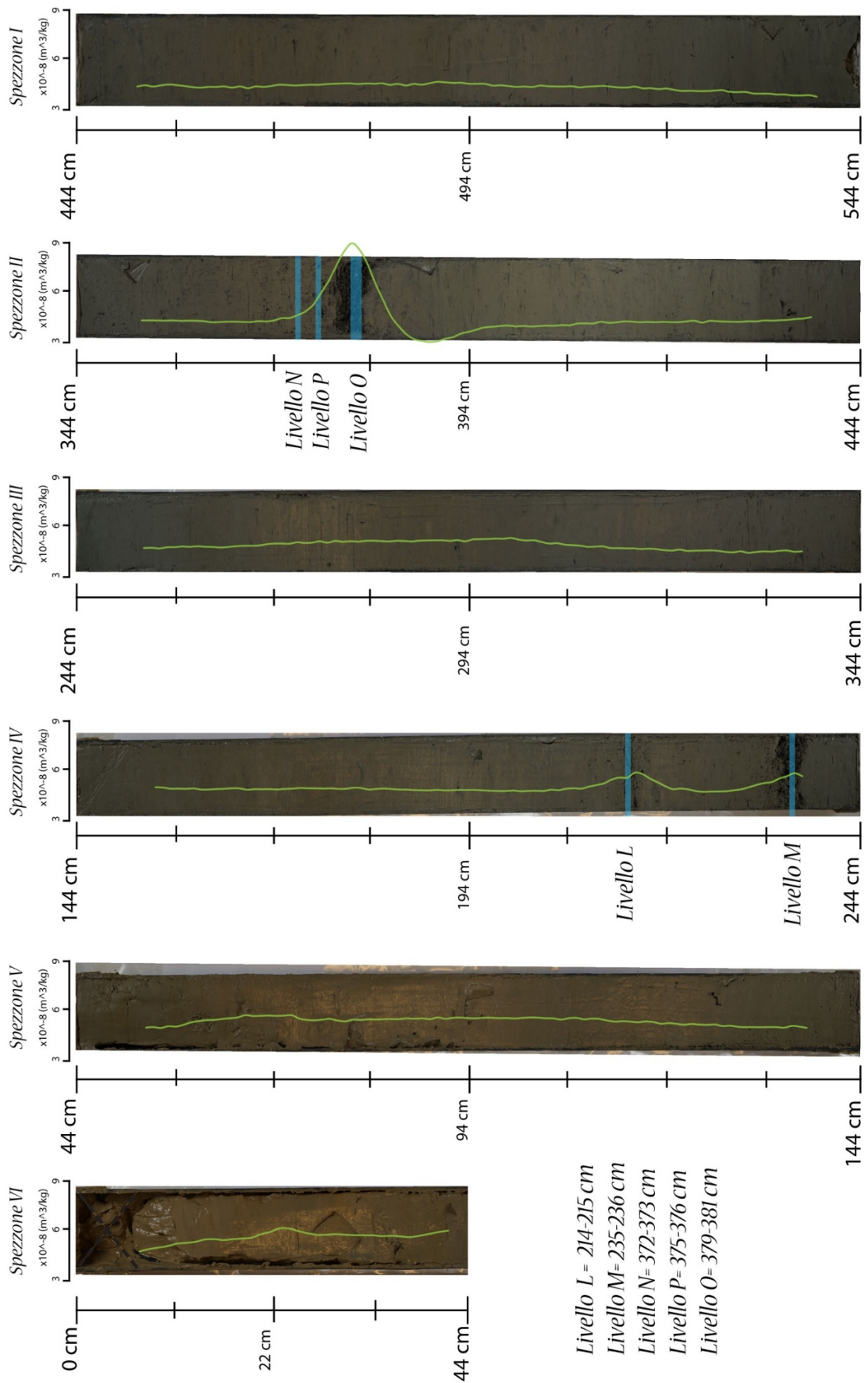


Figura 3.1.1b Foto degli spezzioni della carota PAN05 con le posizioni dei vari livelli vulcanogenici campionati (segmenti di colore azzurro, sigle come in Tabella 2.1). Le curve in verde rappresentano il valore di suscettività magnetica.

- ✓ Carota PAN06: di lunghezza pari a 5.59 m (coordinate geografiche 36°50'58" N-12°12'34" E; profondità del fondale 993 m; vedi anche paragrafo 2.1, *Tabella 2.1*). La granulometria è prevalentemente siltoso-argillosa. Dal centimetro 7 sino al 12 c'è alternanza di bande fangose centimetriche con contatti netti a colorazione variabile dal grigio-verde (2.5Y 5/3) sino al ruggine; simili alternanze si ritrovano al centimetro 49 e alla base della carota (*Fig. 3.1.2a* e *Fig. 3.1.2b*). Come si osserva nella curva di suscettività magnetica, essa appare molto discontinua anche se, per alcuni livelli campionati, le anomalie sono evidenti soprattutto in corrispondenza dei cm 252-253 e 332-334. Anche verso la base della carota si riscontra qualche picco di anomalia magnetica che però non corrisponde a nessuno dei livelli vulcanogenici campionati. L'intera successione presenta alternanze di colori dal grigio (5Y 5/1), al verde oliva (5Y 5/3) sino al grigio-verdastro (GLEY 5/10Y) e grigio-nero verdognolo (GLEY 4/10Y).

Nella parte centrale della carota ci sono livelli centimetrici di cenere da grossolana a fine, alcuni dei quali ricchi in frammenti di lapilli visibili ad occhio nudo. In particolare, si osserva un importante intervallo di origine vulcanica a 185- 198 cm costituito da cenere media alla base e cenere fine al tetto (*tendenza fining upward*), e contiene resti di fossili isolati. Esso è stato campionato in tre livelli distinti (C, F, A). Un secondo livello vulcanogenico, a 250-257 cm (G), con contatto netto a base e a tetto, è caratterizzato da cenere media e presenta al suo interno una "tasca" irregolare (sub-triangolare) di cenere medio-fine. Verso la base della carota, dal centimetro 321 al 336, si osserva un ampio intervallo in cui si riconoscono diversi livelli: quello inferiore, a contatto erosivo con la successione, è costituito da ceneri fini e passa al livello superiore, con contatto netto-graduale, a lapilli in matrice siltoso-argillosa; mentre al top del livello si trovano di nuovo ceneri (livelli D, B, E). La presenza di microfossili si osserva sia nei primi 30 cm della carota, sia verso la metà di quest'ultima (da 360 cm a 400 cm; *Fig. 3.1.2a*). Si tratta per lo più di foraminiferi e altre specie di dimensioni sub-millimetriche. Inoltre, la bioturbazione è scarsa e si ripresentano, nel primo metro circa della carota, chiazze di fango (*mud patches*) a colorazione grigiastra, come nella carota PAN05.

Carota PAN06

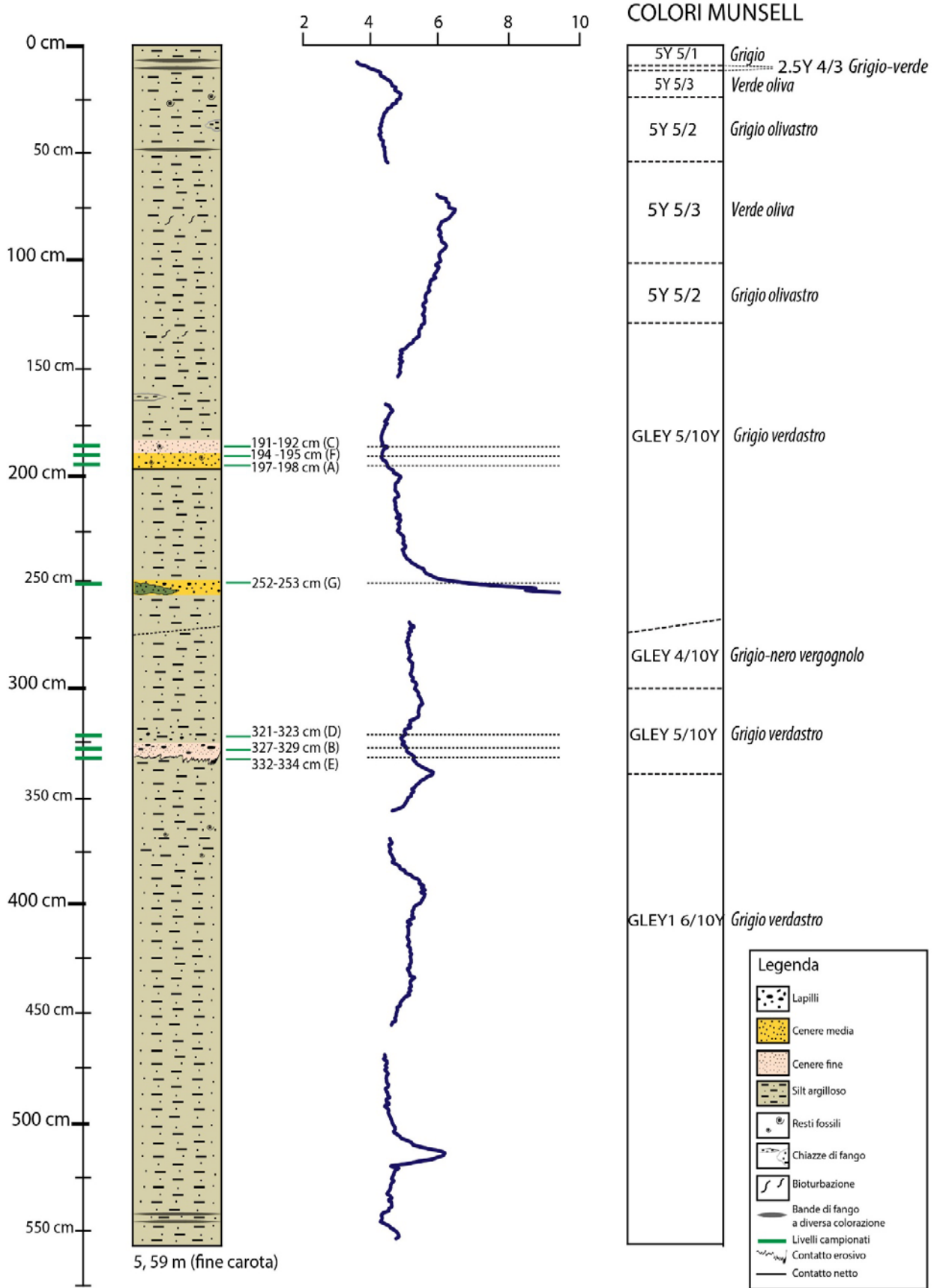


Figura 3.1.2a Log della carota PAN06 con l'indicazione dei livelli vulcanogenici campionati e con la curva di suscettività magnetica associata ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$).

Carota PAN06

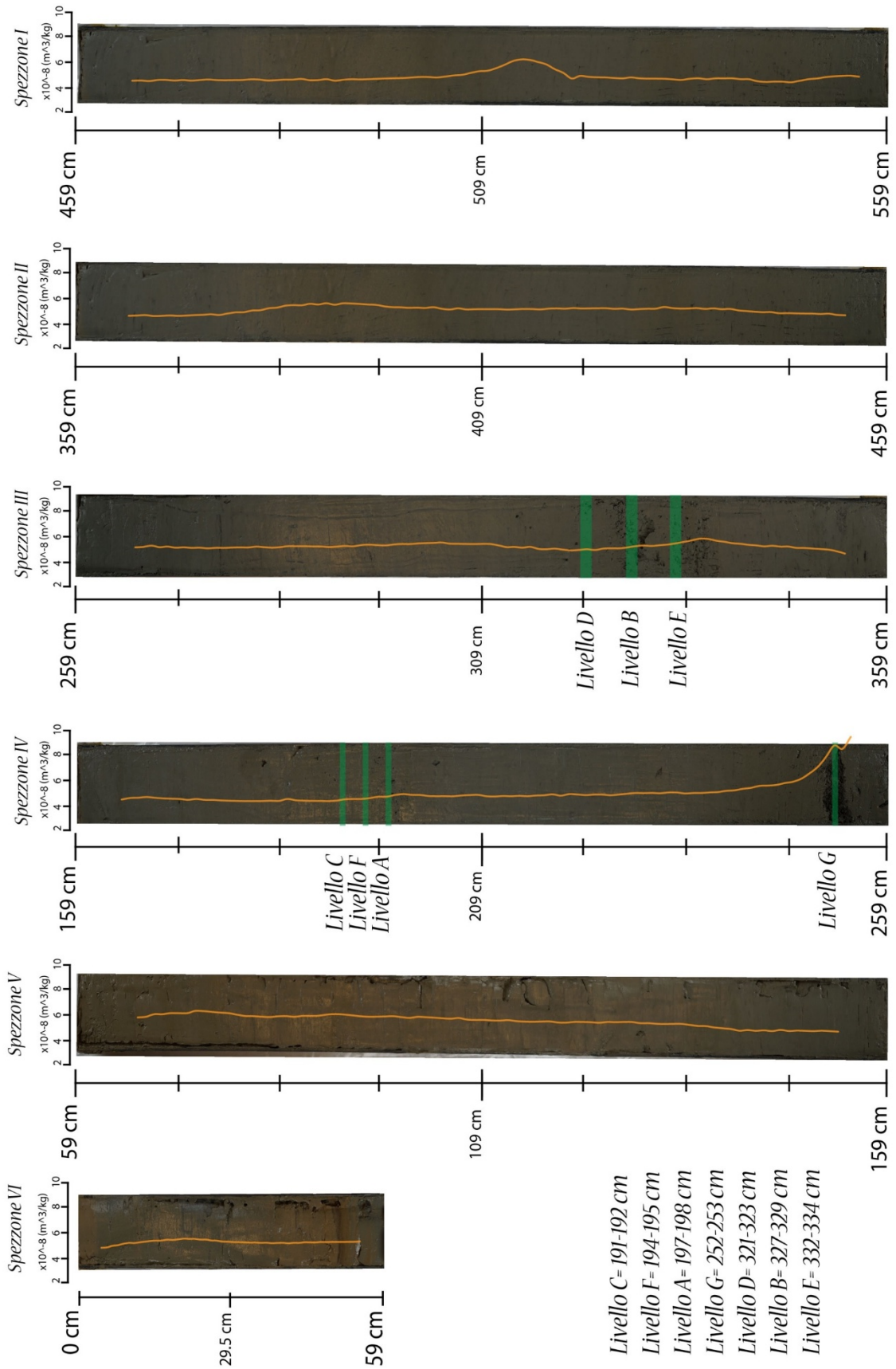


Figura 3.1.2b Foto degli spezzoni della carota PAN06 con annesse curve della suscettività magnetica. Tutti i livelli vulcanogenici campionati sono evidenziati con un segmento in verde (sigle come in Tabella 2.1).

- ✓ Carota PAN07: lunghezza pari a 5.29 m, (coordinate: 36°48'1" N- 12°20'49" E ad una profondità del fondale di 763 m; vedi anche paragrafo 2.1 nella *Tabella 2.1*). Come per le altre due carote precedentemente descritte, la granulometria principale è siltoso-argillosa, con intervalli vulcanogenici di cenere da media a fine e frammenti di lapilli (*Fig. 3.1.3a e Fig. 3.1.3b*). Al centimetro 89-91 si è osservato un intervallo vulcanogenico a gradazione inversa (*coarsening upward*): dalla base al tetto si osservano ceneri fini passanti a ceneri medie, con lapilli sparsi. Esso è stato campionato nella sua parte inferiore (livello H). In corrispondenza di questo livello è evidente un picco di anomalia magnetica positiva. Un unico centimetro di materiale vulcanogenico è presente al cm 169 (livello I), dal quale è stata rinvenuta una scarsa quantità di materiale rappresentato da lapilli di forma allungata, estremamente vescicolati. Alla profondità di 179-181 cm vi è un altro intervallo di lapilli immersi in una matrice costituita da cenere molto fine (livello J). Infine, al centimetro 185, si trova un lapillo immerso nella matrice siltosa che costituisce l'intera carota (livello H). Per i livelli sopracitati, tranne che per il livello H, la curva di suscettività magnetica non presenta picchi e diminuisce gradualmente da ~ 8 a 6 ($\times 10^{-8}$ m³/kg); mentre, verso la base della carota le anomalie sono molto più discontinue con picchi minori (v. anche *Fig. 3.1.3b*).
Abbondante la presenza di microfossili, soprattutto nei primi centimetri della carota, mentre raramente si osservano tracce di bioturbazione che compaiono, come nelle precedenti carote, sotto forma di chiazze di fango a colorazione grigio-marrone. La tonalità del sedimento siltoso varia dal grigio-verde chiaro (2.5Y 5/3), al marrone-grigio (2.5Y 5/2) sino al grigio (5Y 5/1 e 5Y 6/1). Per la carota PAN07 bisogna considerare anche il recupero di materiale proveniente dal "naso" del carotiere al momento della sua estrazione (PAN07-CC *Core Catcher*). Questo 'livello', per il quale non si sono conservate le caratteristiche sedimentologiche primarie, è rappresentato da frammenti vulcanici di lapilli e cenere di dimensioni da millimetriche a sub-centimetriche. Verrà descritto in dettaglio nel paragrafo 3.2.

In ognuna delle carote, il prelievo dei campioni è stato basato sulle variazioni, visibili ad occhio nudo, dei depositi quali i cambi di colore, la granulometria e la presenza di lapilli e materiale vetroso.

La *Tabella 2.2* del paragrafo 2.2.1 contiene l'elenco dei campioni e le rispettive sigle utilizzate per rinominarli (v. anche *Fig. 3.1.1a- 3.1.1b, Fig. 3.1.2a- 3.1.2b e Fig. 3.1.3a- 3.1.3b*).

Carota PAN07

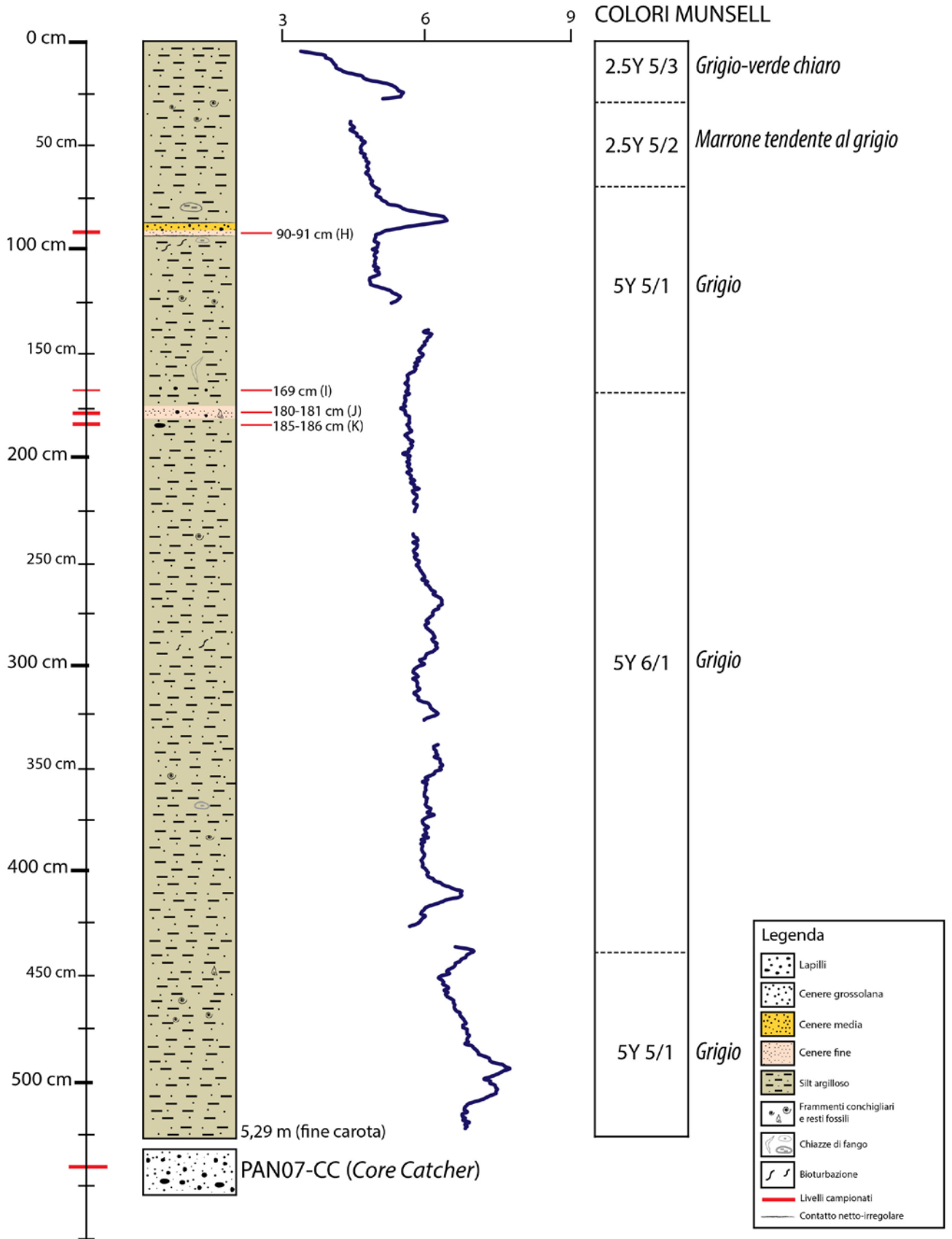


Figura 3.1.3a Log della carota PAN07 con indicazione dei livelli vulcanogenici campionati. La curva in blu rappresenta la suscettività magnetica ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$).

Carota PAN07

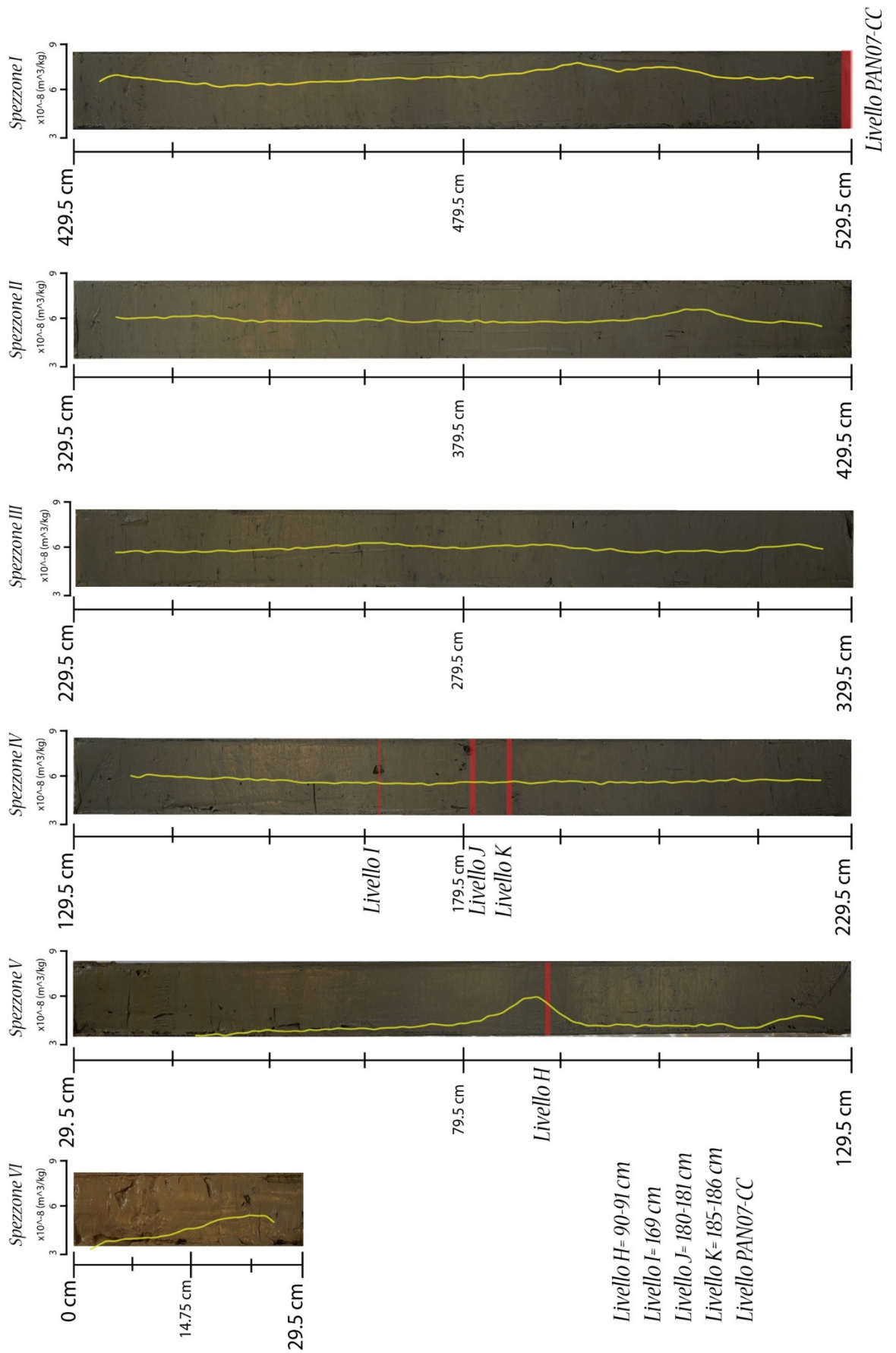


Figura 3.1.3b Foto degli spezzoni della carota PAN06 in cui è possibile osservare le variazioni di colore e la variazione di suscettività magnetica tramite le curve di riferimento. I vari livelli vulcanogenici sono riportati con il segmento in rosso (sigle come in Tabella 2.1).

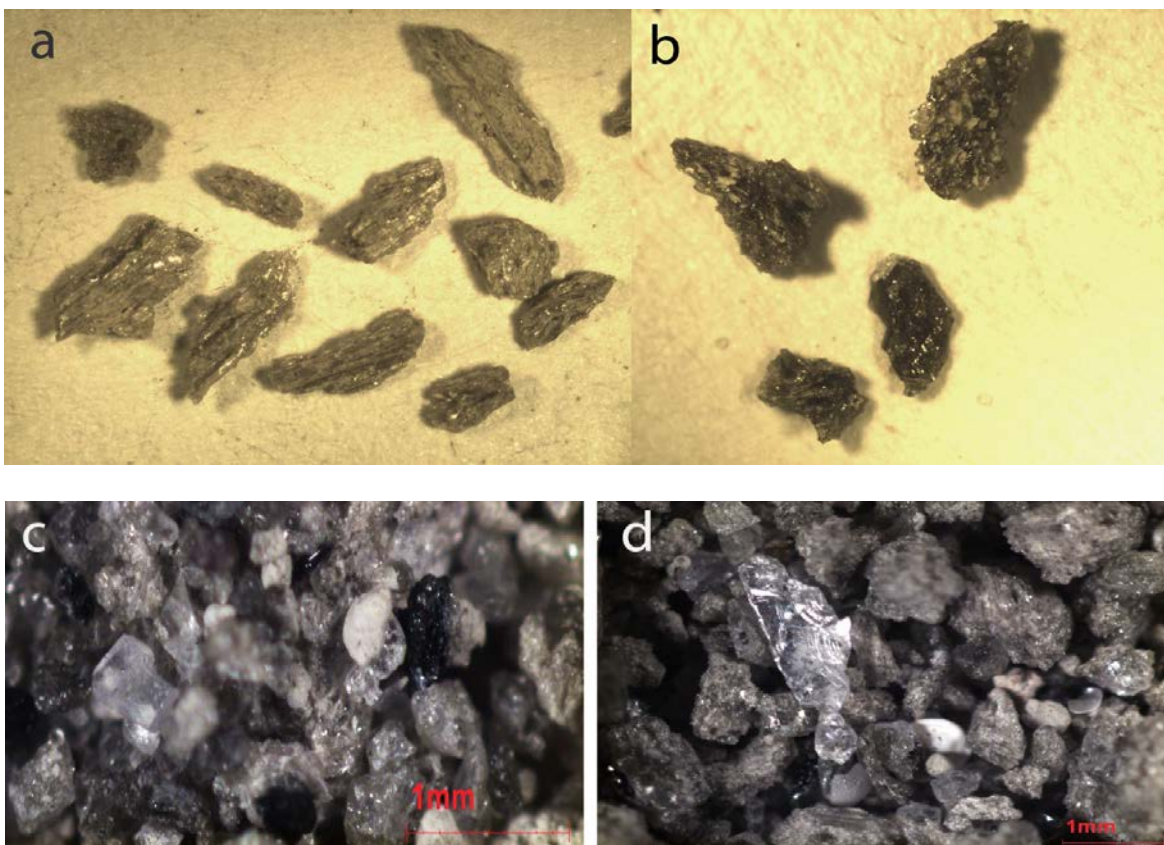
3.2 Caratteristiche litologiche dei livelli campionati

Di seguito, vengono riportate le descrizioni effettuate, al microscopio ottico, di ogni singolo livello vulcanogenico campionato (indicato con i centimetri corrispondenti al campionamento e con una sigla; v. anche *Tabella 3.1*) rinvenuto all'interno delle tre carote PAN05, PAN06 e PAN07. Quest'ultima include anche il campione PAN07-CC (dal "naso" del carotiere, *Core Catcher-CC*).

Dalla carota **PAN05** sono stati selezionati ad occhio nudo e campionati cinque livelli vulcanogenici che vengono descritti dall'alto verso il basso della carota.

PAN05 214-215 cm (L): il campione è caratterizzato da un discreto valore di anomalia magnetica positiva e contiene abbondanti frammenti pomicei mediamente millimetrici (max 5 mm) e sub-millimetrici. La loro forma è irregolare con colore grigiastro (*Fig. 3.2.1a*) e sono caratterizzati da vescicole sub-sferiche o fibrose (con vescicole tubulari). Più raramente si ritrovano frammenti millimetrici di vetro vescicolato (circa il 2%) e colore scuro-verdastro (*Fig. 3.2.1b*). I frammenti di probabili cristalli rappresentano una percentuale molto scarsa, sono traslucidi con colori dal nero al biancastro e dimensioni sub-millimetriche (*Fig. 3.2.1c e d*). Scarsa è anche la presenza di microfossili (0,5%), per lo più foraminiferi.

Nelle foto morfologiche scattate al SEM (*Fig. 3.2.1*), si mettono in evidenza alcune differenze tra i granuli di pomici molto vescicolate e quelle fibroso-allungate: le prime hanno vacuoli semi-sferici che punteggiano tutta la superficie del frammento (e); le seconde hanno una struttura allungata con le 'camere' sub-tubulari (f). Un frammento di vetro si presenta, invece, con una superficie più compatta ma screziata da fratture ad andamento irregolare (g).



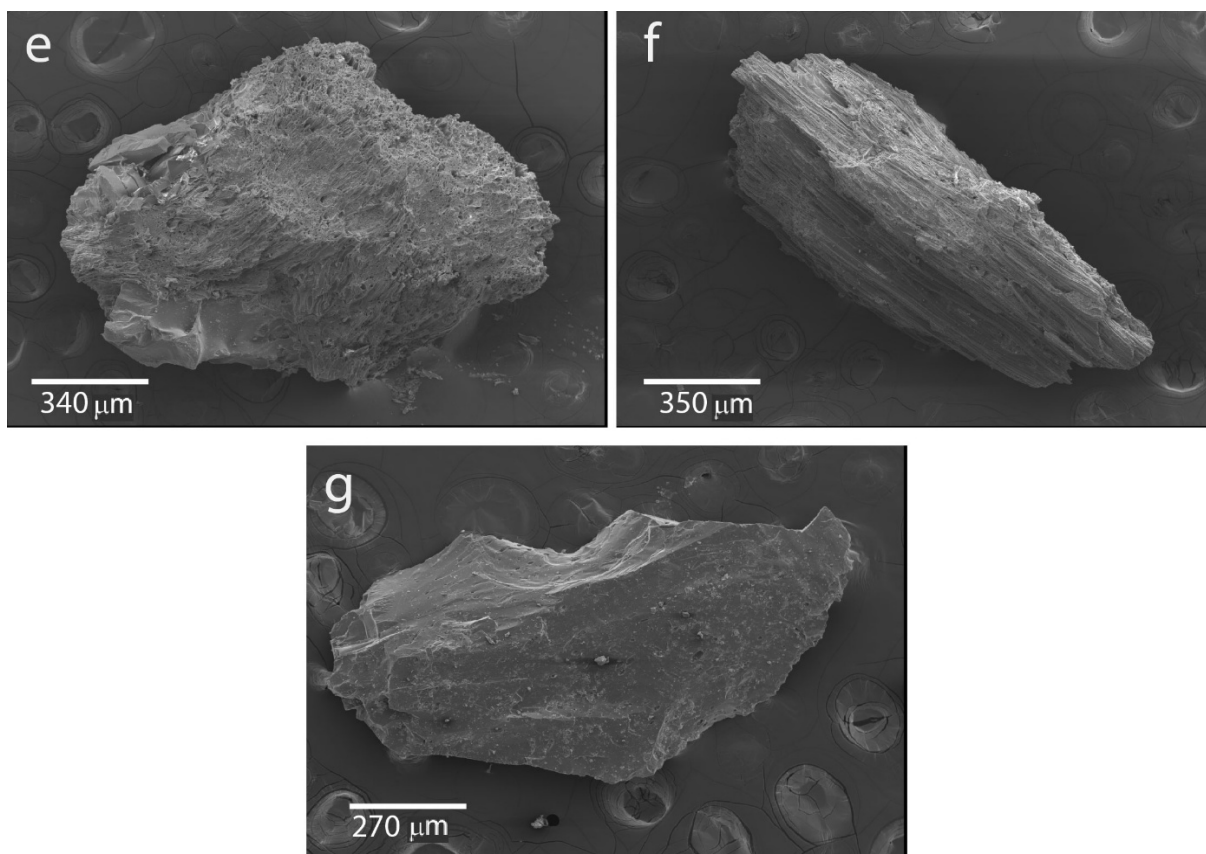


Figura 3.2.1 Campione PAN05 214-215 cm (L). In a) si osservano pomici selezionate dal campione, di colore grigiastro, struttura fibrosa e camere tubulari (dimensioni millimetriche e sub-millimetriche); b) frammenti di vetro vescicolato con superficie ricca di cavità sub-sferiche (dimensioni sub-millimetriche). Nelle foto c) e d) vi sono particolari della frazione ricca di vetro e cristalli con aspetto tozzo e rari resti fossili. Le tre immagini, scattate al SEM, mostrano la morfologia di: e) un granulo di pomice vescicolata (78x), f) un granulo di pomice fibrosa con camere tubulari-allungate (75x) e g) un frammento di vetro con fratture distinte sulla superficie (97x).

PAN05 235-236 cm (M): anche in questo livello, insieme al precedente, si osserva un discreto valore di anomalia magnetica positiva, analogamente al livello L. L'insieme del campione presenta una granulometria eterogenea (Fig. 3.2.2); è costituito perlopiù da granuli di pomice di forma irregolare e dimensioni da millimetriche a sub-centimetriche (fino a 1 cm). I vacuoli sulla superficie dei frammenti sono prevalentemente sub-sferici, mentre scarsa è la presenza di granuli fibrosi con vescicole tubulari-allungate (Fig. 3.2.2b ed e). Rari sono anche i frammenti di vetro scuro, vescicolato (Fig. 3.2.2c e d) così come qualche litico di dimensioni millimetriche. I cristalli sono rarissimi e quasi assenti i microfossili.

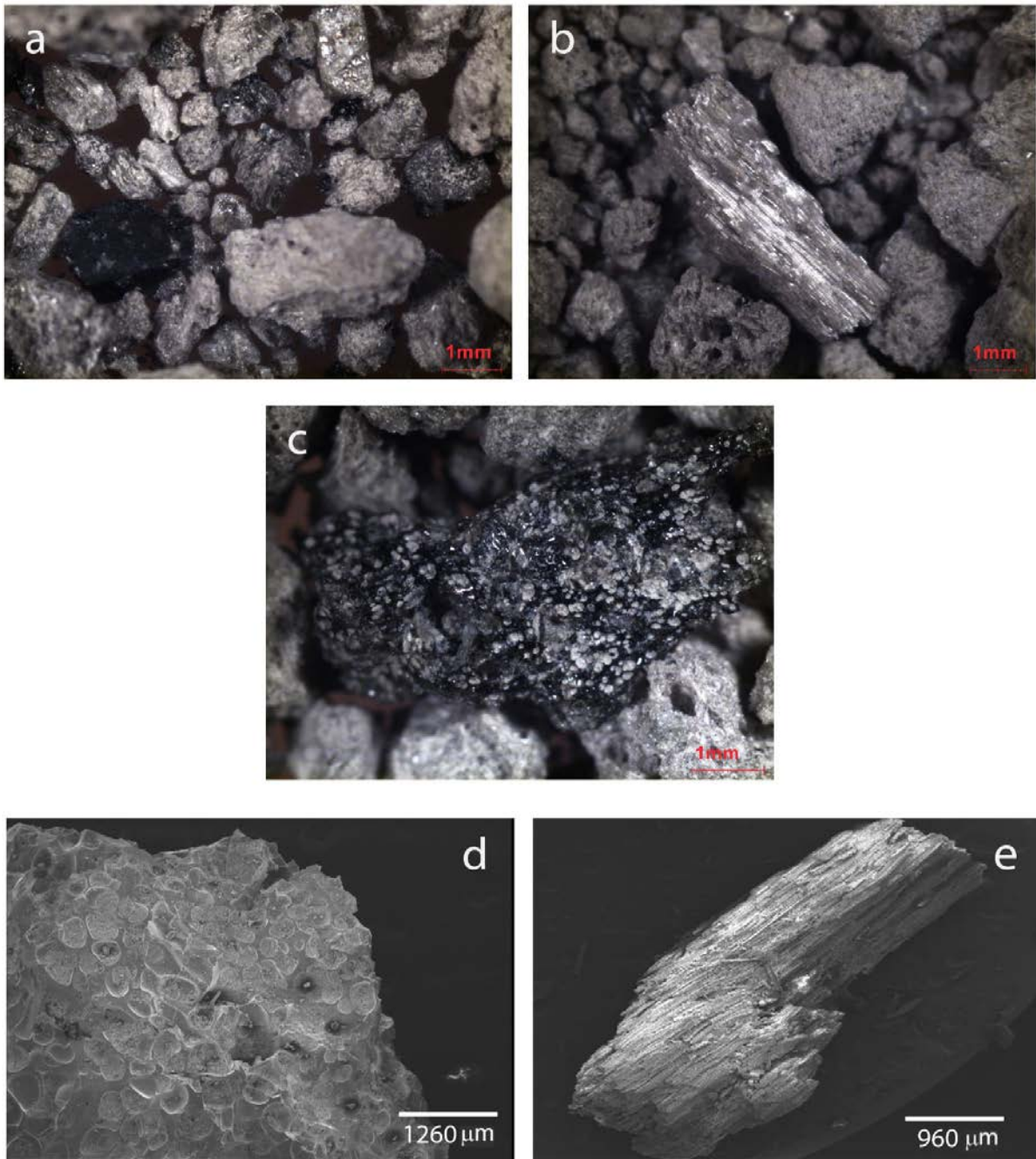


Figura 3.2.2 Campione PAN05 235-236 cm (M). La granulometria è eterogenea e costituita da abbondanti granuli di pomice vescicolate (a) con una bassa percentuale di pomice fibrose con vescicole tubulari (b); rara è la presenza di frammenti di vetro nero millimetrico, con superficie ricca di vacuoli semi-sferici (c). Le immagini al SEM mostrano alcuni particolari morfologici (al SEM) di un granulo di pomice (d, 20.4x) in cui risaltano le cavità superficiali dovute ai vacuoli. In e) un granulo di pomice fibroso-allungata (27x).

I successivi tre livelli fanno parte di un intervallo di circa 20 cm ricco di materiale vulcanico, la cui base irregolare è ben visibile nella carota PAN05 (Figure 3.1.1a e 3.1.1b), livello che, tra l'altro, dà luogo ad una evidente anomalia magnetica positiva (Fig. 3.1.1a e 3.1.1b).

PAN05 372-373 cm (N): il campione ha granulometria della cenere da fine a media, con presenza variegata di specie fossili (foraminiferi, frammenti di echinodermi, ecc; Fig. 3.2.3a). Nell'insieme, gli elementi morfologici prevalenti sono pomice grigio chiaro con aspetto fibroso e, in minoranza, pomice con vacuoli sferici sulla superficie; entrambe le tipologie hanno dimensioni sub-millimetriche (Fig. 3.2.3b e c). I frammenti di vetro nero hanno vacuoli di notevoli dimensioni che ricoprono la superficie del granulo. Probabili frammenti di cristalli presenti hanno un abito tozzo, traslucido e colorazione da nera a biancastra.

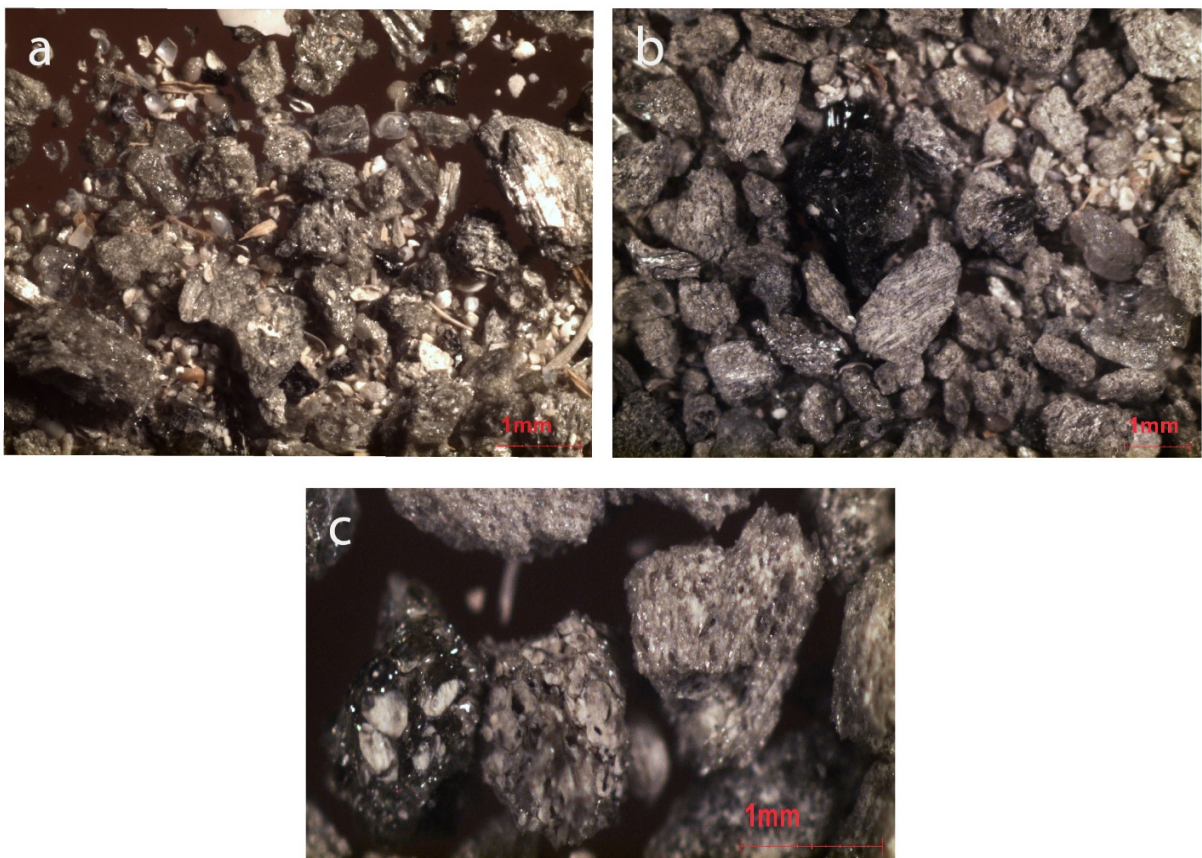


Figura 3.2.3 Campione PAN05 372-373 cm (N). In a) e b) frammenti di pomice misti (vescicolate e fibrose) e vetro scuro accompagnati da una notevole quantità di resti fossili di varie specie. c) In evidenza, un granulo di pomice vescicolato accanto ad un frammento di vetro grigio scuro con vacuoli sulla superficie.

PAN05 375-376 cm (P): nella sua totalità, il campione si presenta come un livello abbastanza omogeneo in granulometria ed è costituito da una buona percentuale di pomici millimetriche di forma irregolare (sia fibrose sia vescicolate; Fig. 3.2.4). Scarsa è, invece, la presenza di granuli di vetro nero e vetro verdastro vescicolato e c'è completa assenza di fossili.

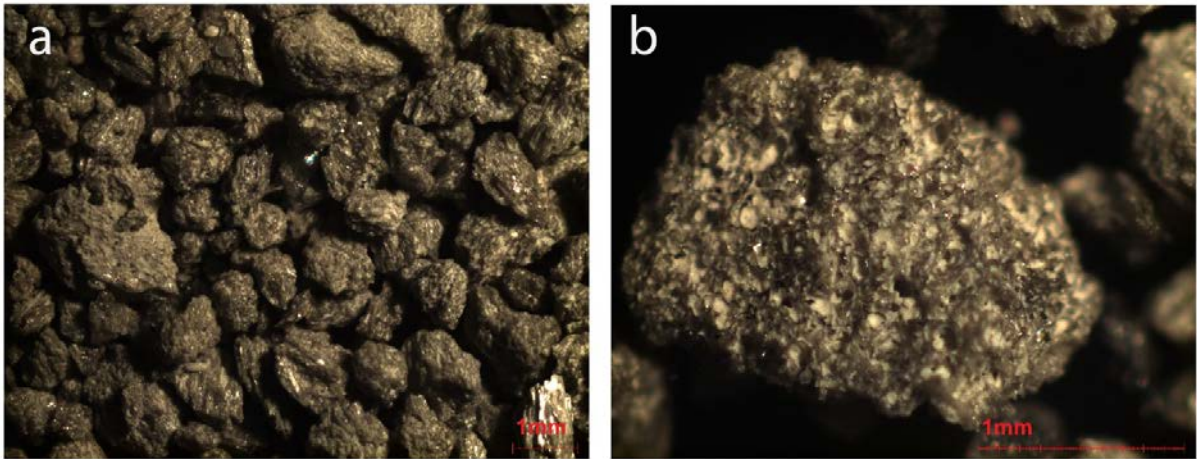
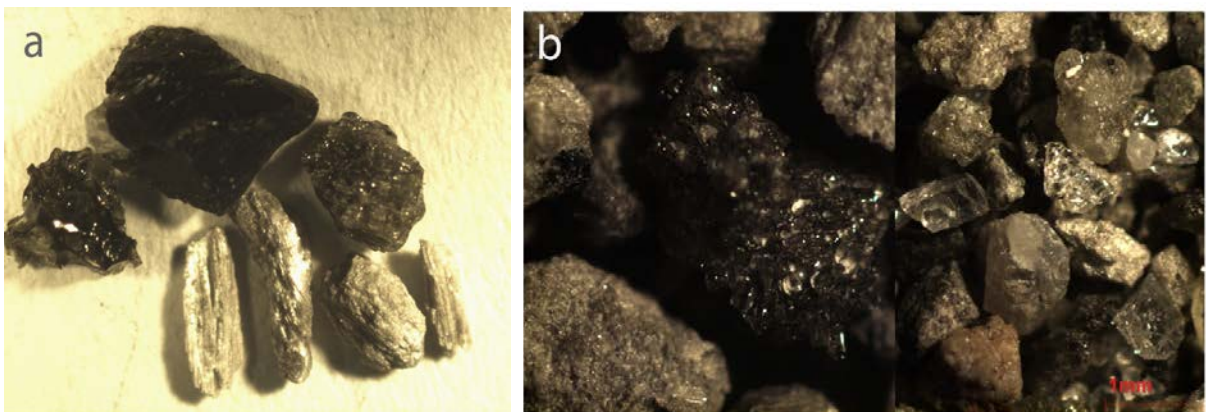


Figura 3.2.4 Campione PAN05 375-376 cm (P). a) immagine del campione nel suo insieme, caratterizzato dalla quasi totalità di granuli pomicei vescicolati e fibrosi. In b) un particolare di un frammento pomiceo con vacuoli semi-sferici che ricoprono l'intera superficie.

PAN05 379-381 cm (Q): questo livello è il più grossolano dei tre campionati nell'intervallo ed è caratterizzato dalla discreta presenza di pomici con forma irregolare, sub-triagonale (sia vescicolate sia fibrose), da millimetriche a sub-centimetriche. I granuli di dimensioni maggiori sono fibroso-allungati e la colorazione dell'insieme va dal grigio chiaro, grigio scuro al nero (tipo ossidiana; Fig. 3.2.5a e b). Nelle immagini ricavate al SEM (Fig. 3.2.5), è evidente la distinzione tra i frammenti di vetro vescicolato (d) con ampie cavità e quelli pomicei fibrosi (c) con struttura fluidale.

Ci sono poi frammenti di vetro ossidianaceo e vetro verdognolo; circa il 2% è di frammenti litici di vario colore, accompagnati da una simile percentuale di cristalli di piccole dimensioni, dall'abito tozzo, prismatico e traslucido (Fig. 3.2.5b). Non c'è alcuna presenza di fossili.



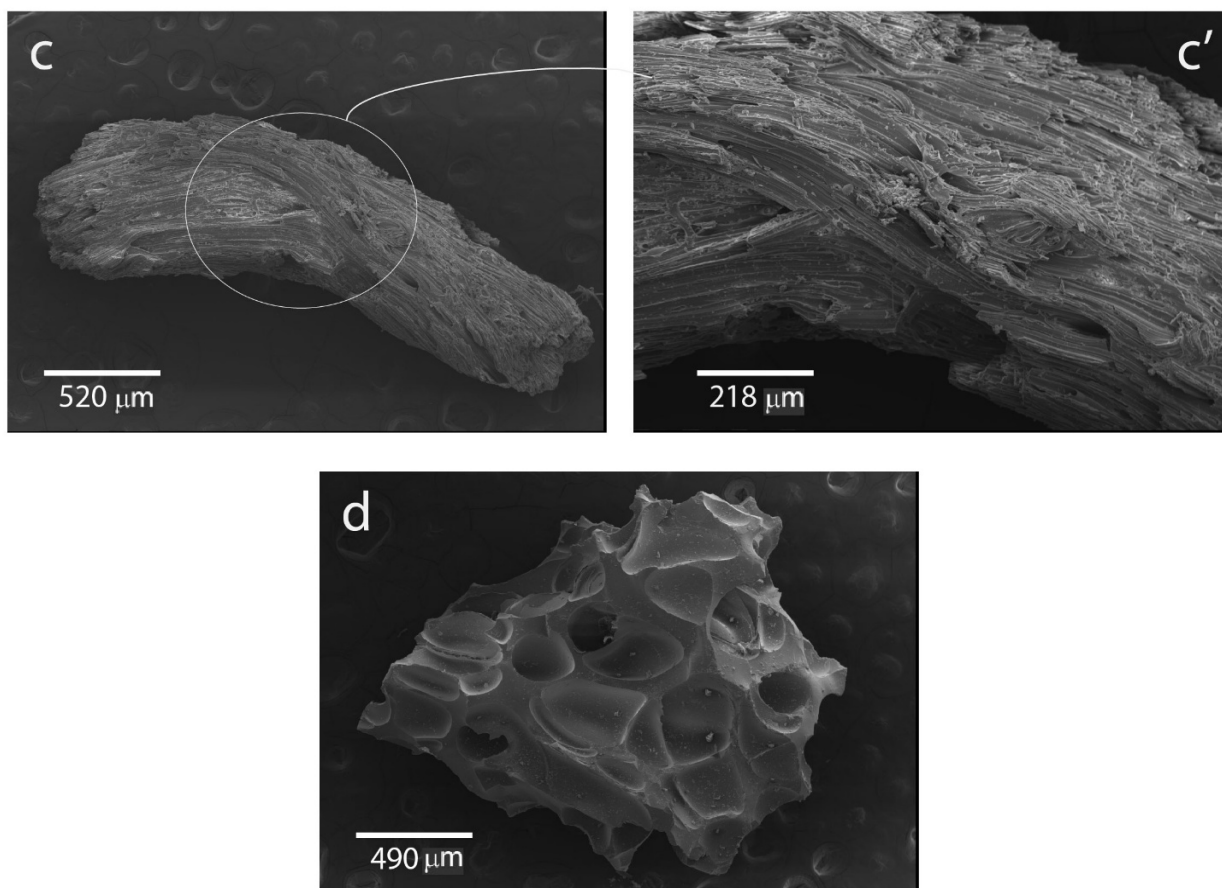


Figura 3.2.5 Campione PAN05 379-381 cm (O). a) e b) Eterogeneità granulometrica di pomice e vetro con vescicole (in a. dimensioni millimetriche e sub-millimetriche); b) frammenti di litici, vetro e cristalli. In: c) granulo di pomice fibrosa con struttura fluidale (un particolare mostrato in c', 120x) e camere tubulari-allungate (50.5x) in netto contrasto morfologico con d): un frammento di vetro con cavità semi-sferiche.

Dalla carota **PAN06** sono stati prelevati sette campioni di origine vulcanogenica che verranno elencati dall'alto verso il basso della carota.

I primi tre livelli di questa carota rappresentano un unico intervallo, a tendenza *fining upward*, che è stato identificato al tetto della carota ed è visibile sia nelle foto dei vari spezzoni sia all'interno del *log* (Figure 3.1.2a e 3.1.2b). In quest'ultimo, tramite la curva di suscettività magnetica, è possibile osservare come questa, in corrispondenza dei tre livelli vulcanogenici, non mostra picchi molto evidenti pur assumendo valori intorno a $4 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$.

PAN06 191-192 cm (C): il campione contiene granuli di pomice millimetriche di colore grigio chiaro dall'aspetto fibroso e vacuoli di forma irregolare (Fig. 3.2.6). C'è grande abbondanza di resti di conchiglie, foraminiferi e altre specie fossili (dimensioni da sub-millimetriche a millimetriche). Si osservano inoltre, probabili cristalli bianchi, traslucidi, millimetrici e rari frammenti di vetro nero opaco con superficie ricca di vacuoli e dimensioni da sub-millimetriche a millimetriche.

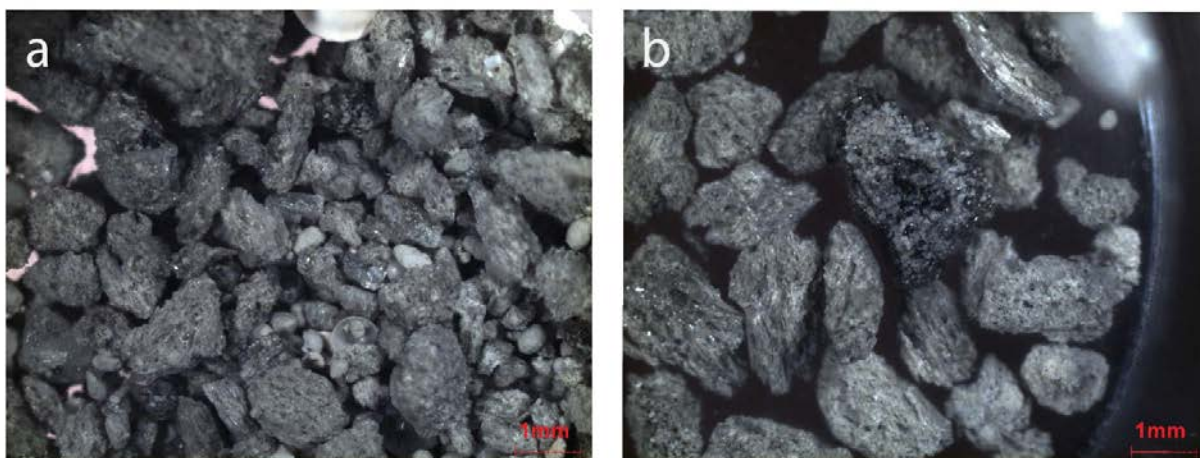


Figura 3.2.6 Campione PAN06 191-192 cm (C). a) vista d'insieme dei granuli di pomice, vetro nero vescicolato e resti fossili. b) zoom di alcuni granuli di pomice, perlopiù fibrose, con un frammento di vetro nero opaco.

PAN06 194-195 cm (E): l'aspetto generale del campione è meno fresco, più "sporco" e meno eterogeneo rispetto ai precedenti livelli campionati nella stessa carota. La predominanza delle tipologie di granuli (circa il 15%) è data da pomice vescicolate da sub-millimetriche a millimetriche (in media 3 mm). Vi sono poi rari frammenti di cristalli, vetro scuro ed esemplari di specie fossili (Fig. 3.2.7).

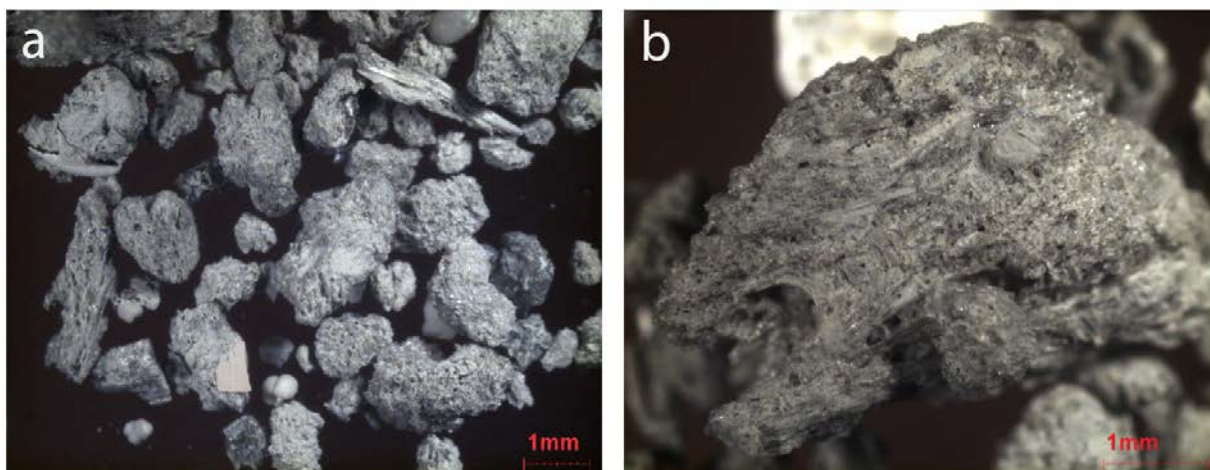


Figura 3.2.7 Campione PAN06 194-195 cm (F). a) campione visto d'insieme, con pomice vesciolate di varie forme e qualche frammento di vetro sparso. In b) un frammento di pomice vesciolata con superficie molto scabrosa.

PAN06 197-198 cm (A): è il campione più basso del livello supposto a tendenza *fining upward*. Nel complesso la granulometria è circa la stessa del livello precedente, tranne per la presenza di granuli sparsi, più grossolani, di dimensioni inferiori al centimetro che, invece, sono assenti nel campione descritto in precedenza. Per questo motivo, nel *log* (Fig. 3.1.2a), gli ultimi due campioni della sequenza granulometrica sono stati rappresentati entrambi come 'cenere media'. Nel suo insieme, il livello A è costituito in prevalenza da granuli di pomice di colore grigio (circa il 70% del totale, Fig. 3.2.8a), di forma fibroso-allungata o con vescicole semi-sferiche, da sub-millimetrici a millimetrici. Inoltre si riscontra la presenza di rari granuli di vetro nero e cristalli dall'abito prismatico, traslucidi e di dimensioni millimetriche. Infine, circa il 10% è costituito da frammenti organogeni.

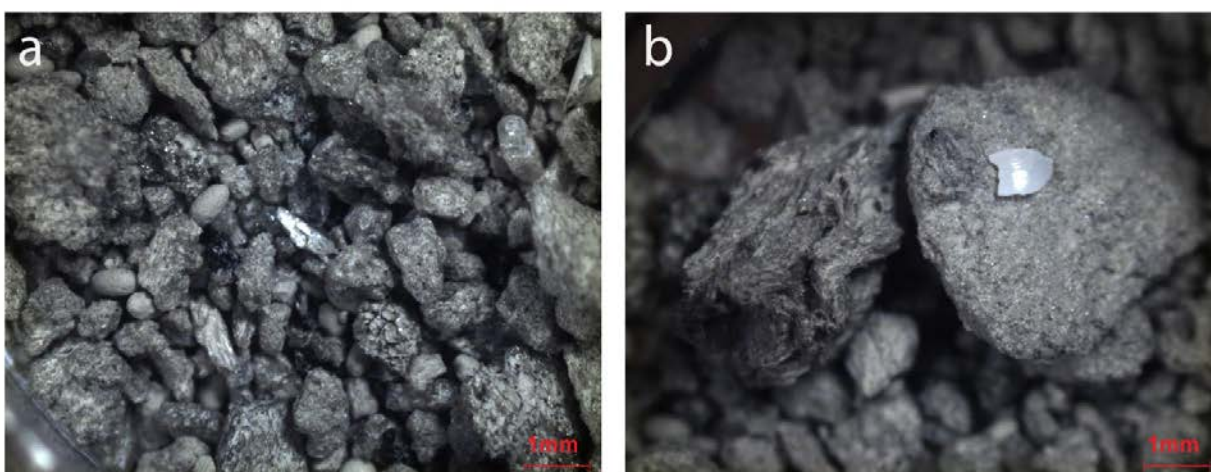


Figura 3.2.8 Campione PAN06 197-198 cm (A). L'immagine a) mostra le predominanti pomice contenute all'interno del campione e accompagnate da frammenti di vetro nero vesciolato e resti organogeni. In b): particolare di due granuli di pomice, una con vescicole sub-sferiche e l'altra fibrosa con camere tubulari.

PAN06 252-253 cm (G): questo livello singolo è molto ben evidente nella carota e, soprattutto, mostra un picco di anomalia magnetica di elevata intensità, il più alto rispetto a quelli dell'intera carota (Fig. 3.1.2a e 3.1.2b). Esso è costituito da frammenti sub-centimetrici e millimetrici di pomice grigie, la maggioranza con superficie vescicolata (aspetto compatto, tozzo; Fig. 3.2.9a) e scarse pomice fibrose (Fig. 3.2.9d). Minore è la presenza di fossili (2%) così come per i frammenti di vetro scuro, vescicolato e cristalli con aspetto traslucido (Fig. 3.2.9b, c, a).

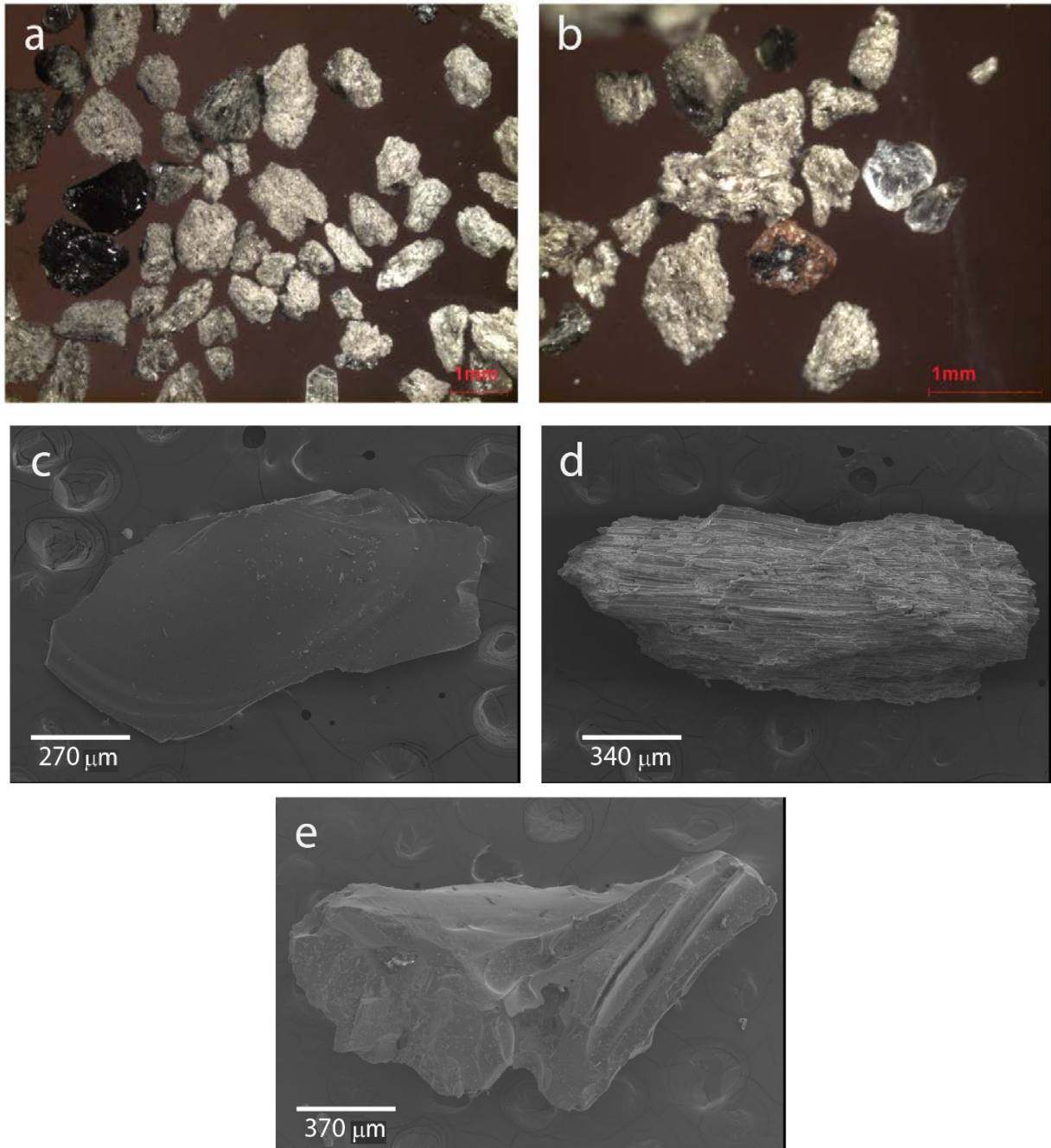


Figura 3.2.9 Campione PAN06 252-253 (G). a) granuli di pomice di colore e dimensioni variabili e (a sinistra) due schegge di vetro nero ossidiano con superficie fratturata di tipo concoide. b) Frammenti litici, frammenti di cristalli traslucidi e vetro nero-verdognolo. Immagini al SEM: c) scheggia di vetro con superficie liscia e una blanda fratturazione in superficie (97x); d) granulo di pomice fibroso-allungata (78x) ed e) un frammento di vetro con aspetto più compatto e tozzo (71x).

I successivi tre livelli fanno parte di una sequenza granulometrica che è stata ipotizzata a tendenza *fining-upward*, osservata verso la base della carota (Figure 3.1.2a e 3.1.2b). La curva di suscettività magnetica evidenzia la presenza di un'anomalia soprattutto verso la base della sequenza, corrispondente al livello E.

PAN06 321-323 cm (D): pur essendo costituito da una scarsa quantità di materiale (pochi grammi) immerso ed isolato in matrice siltoso-argillosa, la quasi totalità del campione è formata da granuli di pomice grigiastre sia fibrose sia con vacuoli più tondeggianti, molto "sporchi" poiché contenenti matrice fangosa negli interstizi interni (Fig. 3.2.10a e b). Entrambe le tipologie hanno dimensioni millimetriche. Meno dell'1% è costituito da frammenti vetrosi di colore nero. Il 3%, invece, è dato da cristalli traslucidi-biancastri e qualcuno di colore verdognolo; pochi o quasi assenti i frammenti fossili.

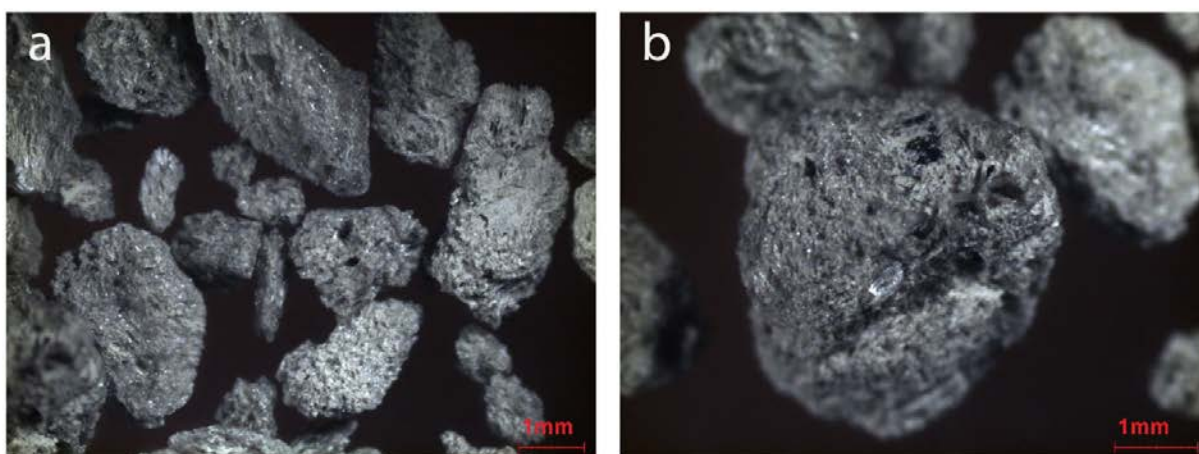


Figura 3.2.10 Campione PAN06 321-323 cm (D). Le immagini mostrano i granuli di pomice che costituiscono il campione in esame. Dalla foto b) si può osservare che all'interno dei vacuoli, quasi tutti gli interstizi sono occupati da matrice fangosa oppure minerali di alterazione, conferendo al granulo un aspetto "sporco" e meno fresco.

PAN06 327-329 cm (B): il livello è costituito da frammenti vulcanici con dimensioni millimetriche, la frazione prevalente è caratterizzata da cristalli traslucidi dall'abito prismatico (foto a) in Fig. 3.2.11) con colorazione variabile dal bianco-traslucido al grigio. Scarsa è la presenza di granuli di pomice fibrose con forma irregolare e rotondeggiante (immagine b) in Fig. 3.2.11). I frammenti litici millimetrici si aggirano intorno al 2%. C'è presenza di schegge di vetro nero-verdognolo e con frattura concoide evidente sulla superficie, tipo ossidiana. Inoltre, c'è una piccola percentuale di clasti di forma allungata, simili a piccoli bastoncini, che potrebbero essere piccoli cristalli di colore nero opaco, di dimensioni sub-millimetriche.

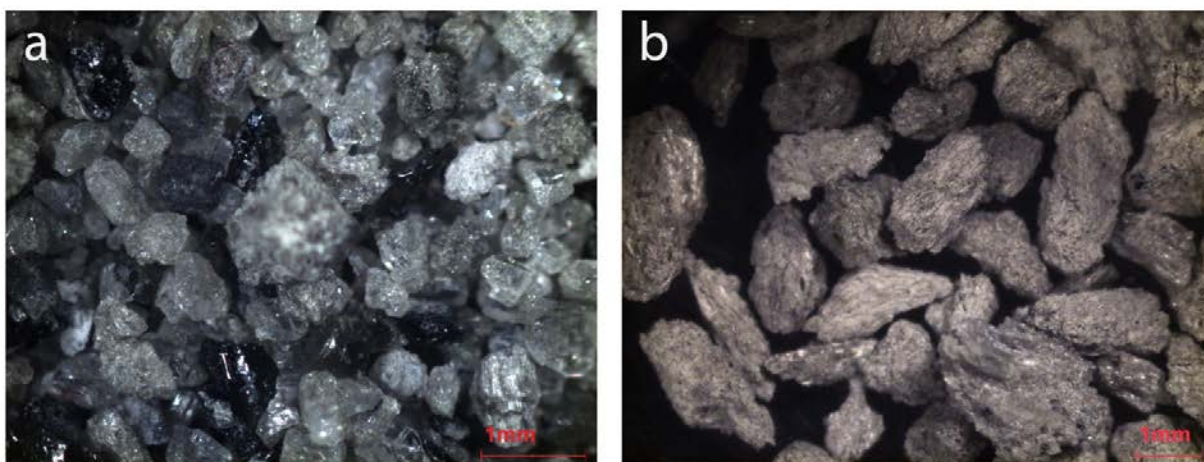


Figura 3.2.11 Campione PAN06 327-329 cm (B). La grande maggioranza degli elementi che compongono il campione è data da: a) frammenti di cristalli traslucidi dal grigio al biancastro e minuti frammenti di vetro fratturato, con poche cavità sulla superficie. In b) granuli (selezionati) di pomice di forma allungata e morfologia fibrosa.

PAN06 332-334 cm (E): questo livello si trova sopra la base (erosiva) della sequenza granulometrica a cui corrisponde il valore massimo del picco di anomalia magnetica. È ricco di pomice di colore grigio chiaro a struttura vescicolare, con aspetto sia compatto che fibroso-allungato, di dimensioni millimetriche (massimo 6-7 mm; Fig. 3.2.12a). È presente una bassissima percentuale di cristalli frammentati e traslucidi. Si ritrovano frammenti litici millimetrici (circa l'1%) e rari granuli di vetro fratturato, vescicolato, di colore dal grigio scuro al nero e dimensioni sub-millimetriche (Fig. 3.2.12b). Scarsa è la presenza di fossili.

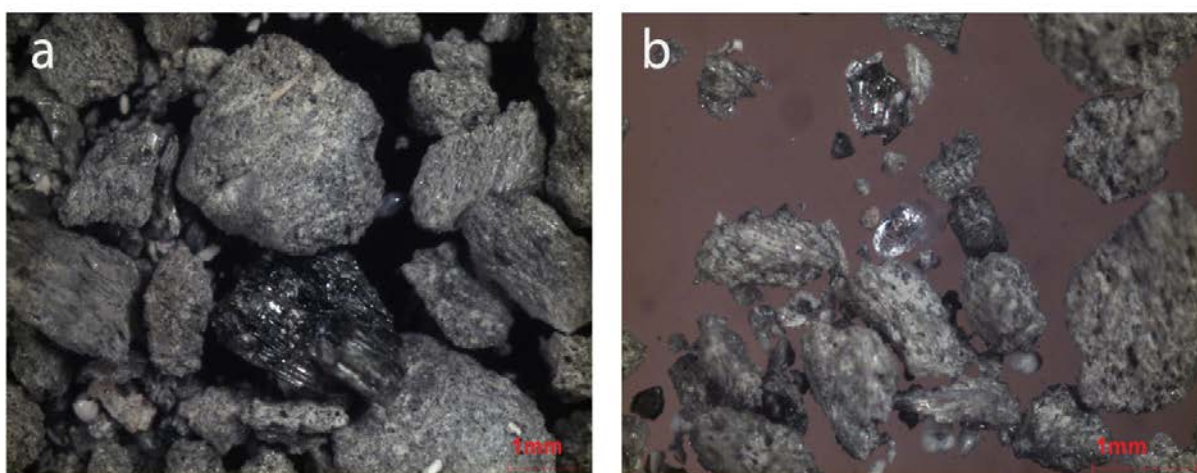


Figura 3.2.12 Campione PAN06 332-334 cm (E). a) In primo piano, un granulo di pomice vescicolata è messo in contrasto con un frammento di vetro nero, entrambi di dimensioni di qualche millimetro. b) frammenti di vetro di piccole dimensioni, frattura di tipo concoide e colore dal grigio al nero.

Dalla carota **PAN07** sono stati campionati quattro livelli vulcanici, uno dei quali mostra un picco positivo di anomalia magnetica (livello H; Fig. 3.1.3a).

Inoltre, la carota comprende il campione **PAN07-CC** recuperato dal 'naso' del carotiere al momento della sua estrazione. Da quest'ultimo campione sono stati selezionati alcuni cristalli e sottoposti ad un'analisi chimica al SEM-EDX per caratterizzare la loro composizione mineralogica.

PAN07 90-91 cm (H): questo campione rappresenta la porzione inferiore di un livello identificato in carota ed ipotizzato a gradazione inversa (*coarsening-upward*, Fig. 3.1.3a). Esso è costituito da cenere fine in cui, in particolare, si riconoscono frammenti di pomice con vacuoli sferici e tabulari, da dimensioni sub-millimetriche a millimetriche di colore da grigio chiaro a grigio scuro. Si osservano rari frammenti sia di vetro scuro che di cristalli e sono comuni granuli micritici (possibili *fecal pellets*) di forma ellissoidale (Fig. 3.2.13) e dimensioni sub-millimetriche.

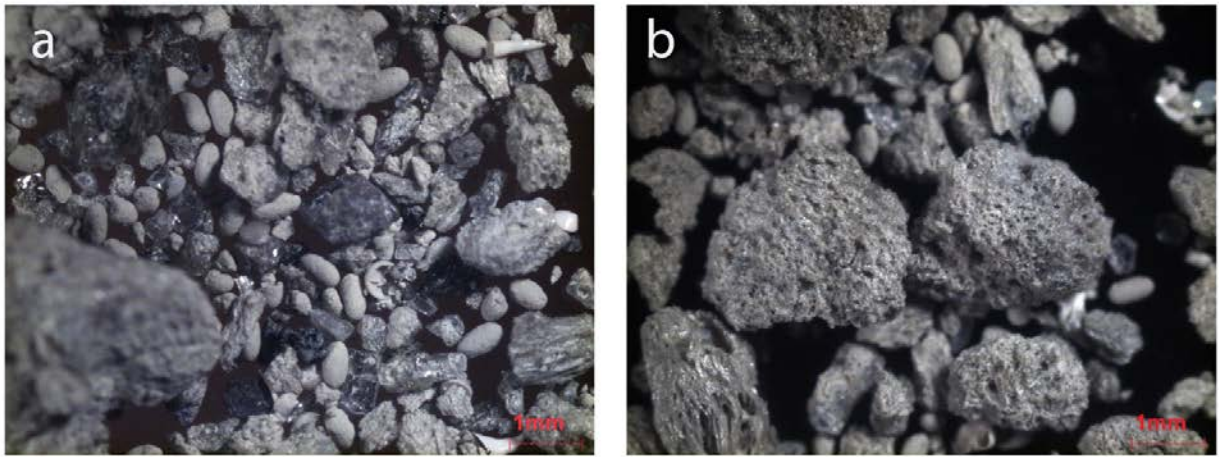


Figura 3.2.13 Campione PAN07 90-91 cm (H). a) campione eterogeneo con granuli di pomice vescicolate, rari frammenti di vetro, cristalli e litici; prevalenza di fecal pellets ellissoidali. Particolare di b) due granuli di pomice a struttura vescicolare.

PAN07 169 cm (J): la quantità di materiale di questo campione è molto scarsa, trattandosi di materiale disperso entro un centimetro di spessore della carota (Fig. 3.1.3a e b). Esso è interamente costituito da pomici estremamente vescicolate con forme irregolari, aghiformi e al tatto spugnose, di dimensioni da sub-millimetriche a sub-centimetriche. Hanno un aspetto poco fresco, sono traslucide di colore biancastro e con vacuoli minuti con all'interno inclusi di cristalli di colore nero a forma di bastoncini allungati (simili a quelli descritti per il campione della carota PAN06 327-329 cm B). Nelle immagini morfologiche al SEM (Fig. 3.2.14b e b'), le pomici hanno struttura semi-fluidale con porzioni molto vescicolate e presentano inclusi. I cristalli isolati sono rari e hanno aspetto traslucido, abito tozzo, prismatico e dimensioni sub-millimetriche.

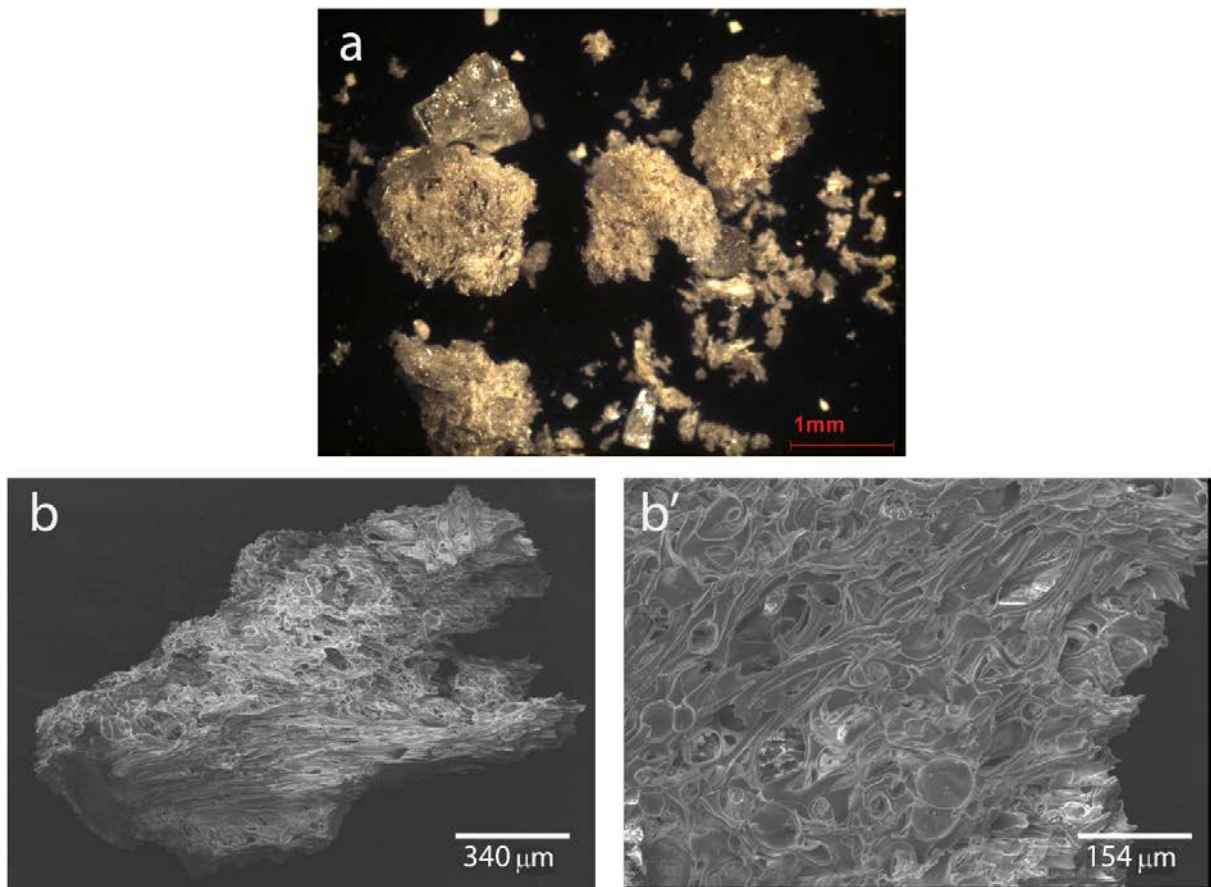


Figura 3.2.14 Campione PAN07 169 cm (J). a) Frammenti di pomici con forme irregolari e aspetto “spugnoso”, facilmente fratturabili. Rari i cristalli. b) Frammento di pomice con strutture vacuolari e semi-fluidali (78x) visibili in un suo particolare nell’immagine b’), (170x).

PAN07 180-181 (J): questo campione consiste di due singoli granuli di pomice con superficie ricca di vacuoli sferici ben definiti, riempiti da cristalli e incrostate da qualche frammento fossilifero (Fig. 3.2.15). Le forme sono spigolose per l'uno e rotondeggianti per l'altro; il colore è grigiastro tendente al bianco e le dimensioni sono centimetriche (2-3 cm).

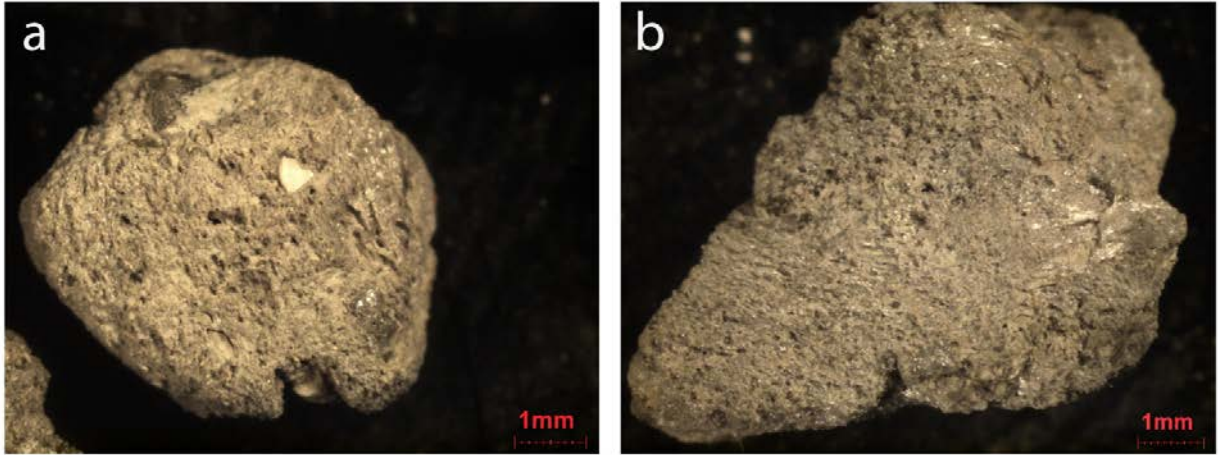


Figura 3.2.15 Campione PAN07 180-181 cm (J). a) e b) unici due granuli appartenenti al livello vulcanogenico J; hanno forme da rotondeggianti a spigolose, superfici con vacuoli e frammenti di fossili e cristalli.

PAN07 185-186 cm (K): questo livello è costituito una componente principale fossilifera (circa il 70%), oltre ad alcuni granuli di pomice con vacuoli fibrosi e tubulari (Fig. 3.2.16b). Le dimensioni delle pomici oscillano da sub-millimetriche a millimetriche, con un unico lapillo di forma rotondeggiante e dimensioni sub-centimetriche (Fig. 3.2.16a).

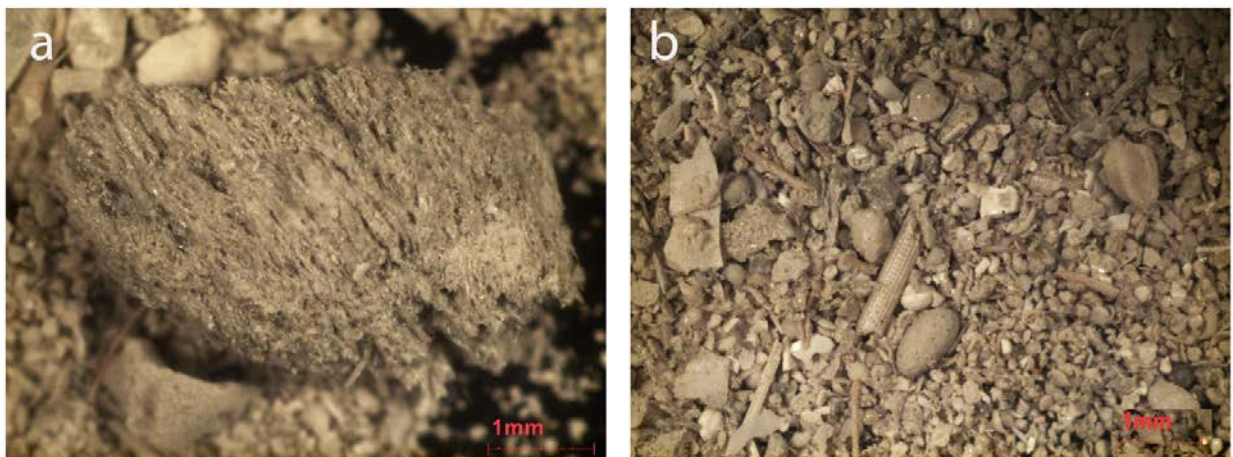


Figura 3.2.16 PAN07 185-186 cm (K). a) frammento di pomice fibrosa di dimensioni inferiori al centimetro immerso in una matrice prevalentemente fossilifera (b).

PAN07-CC (Core Catcher): In questo campione, proveniente dal naso della carota PAN07, non sono distinguibili strutture primarie in quanto sono state obliterate dal campionamento. Si tratta di un campione interamente vulcanogenico e piuttosto grossolano, che è stato parzialmente setacciato in laboratorio, poi selezionato manualmente in sub-campioni al fine di analizzare separatamente le diverse frazioni che lo compongono. È stata, inoltre, applicata una suddivisione interna basata sulla variazione di granulometria e sulla forma delle pomici; si passa, infatti, da granuli a struttura vescicolare con pori semi-sferici sino a fibroso-allungati con camere tubulari. Tale suddivisione comprende:

Granuli di dimensioni > 1 mm: il campione è interamente costituito da granuli di pomici a colorazione grigio chiaro e grigio scuro sia con vacuoli sferici, sia fibrose con camere tubulari (Fig. 3.2.17) e vetro vescicolato.

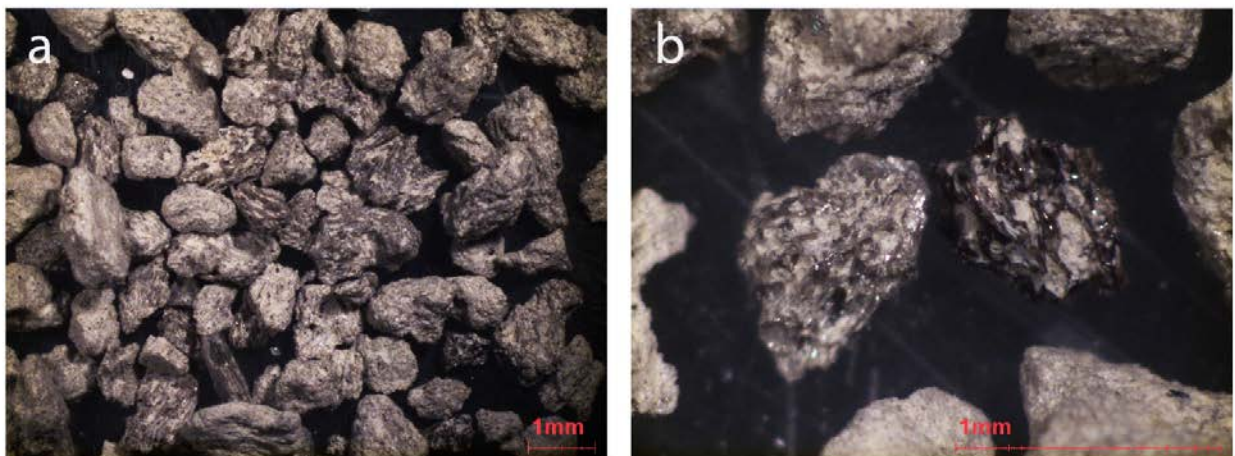


Figura 3.2.17 PAN07-CC, granuli > 1mm. a) visione generica del campione costituito da frammenti di pomici di vario tipo, da porosi a fibrosi con colorazione variabile dal grigio chiaro a grigio scuro; (b) un particolare di granuli di pomici e vetro ricco di cavità.

Granuli con dimensioni ≥ 2 mm e forme equigranulari: frammenti pomicei caratterizzati da struttura porosa, aspetto tozzo, compatto e con vacuoli sferici/ rotondeggianti (Fig. 3.2.18). Colorazione variabile dal grigio chiaro al grigio scuro.

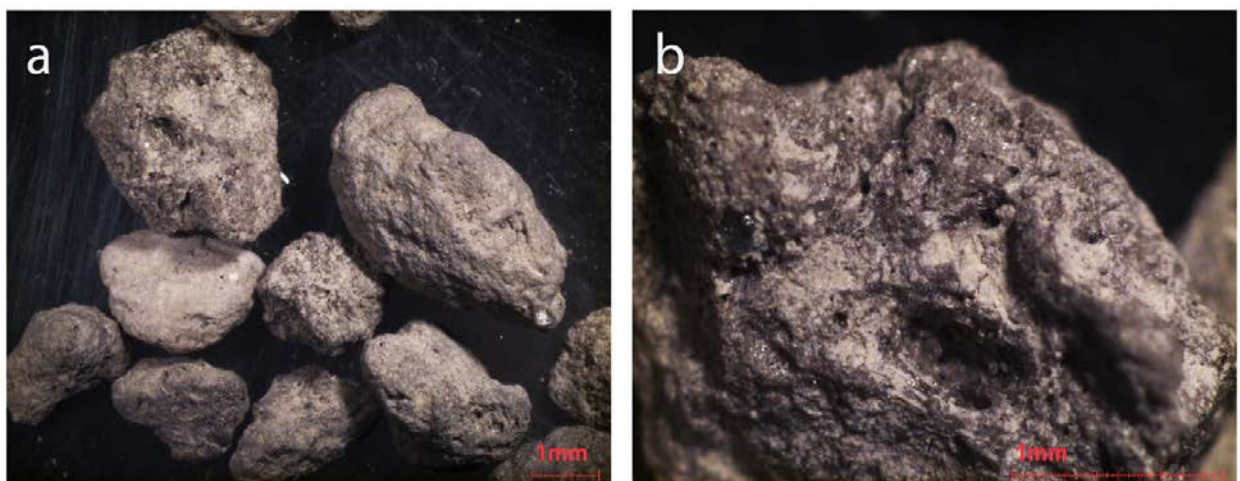


Figura 3.2.18 PAN07-CC, granuli di pomici con dimensioni ≥ 2 mm e forme equigranulari.

Granuli fibrosi di dimensioni ≥ 2 mm (2Fmm): frammenti di pomice fibrose con camere tubulari- allungate, aspetto vetroso-traslucido e colore grigio chiaro (*Fig. 3.2.19*).

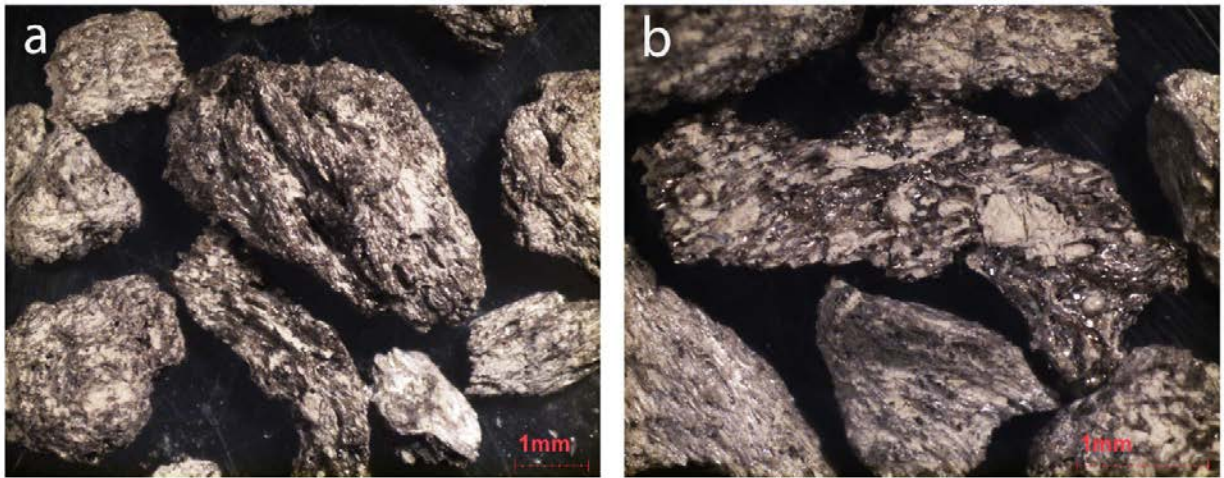


Figura 3.2.19 PAN07-CC, frammenti di pomice a struttura fibroso- allungata con dimensioni maggiori o uguali a 2 mm. La superficie dei granuli è molto vescicolata e alcuni interstizi sono riempiti da fango o minerali di alterazione.

All'interno del campione PAN07CC, è stata effettuata un'ulteriore cernita relativa al contenuto in cristalli. Questi sono spesso presenti all'interno di granuli di pomice (*Fig. 3.2.20*), molto più raramente isolati.

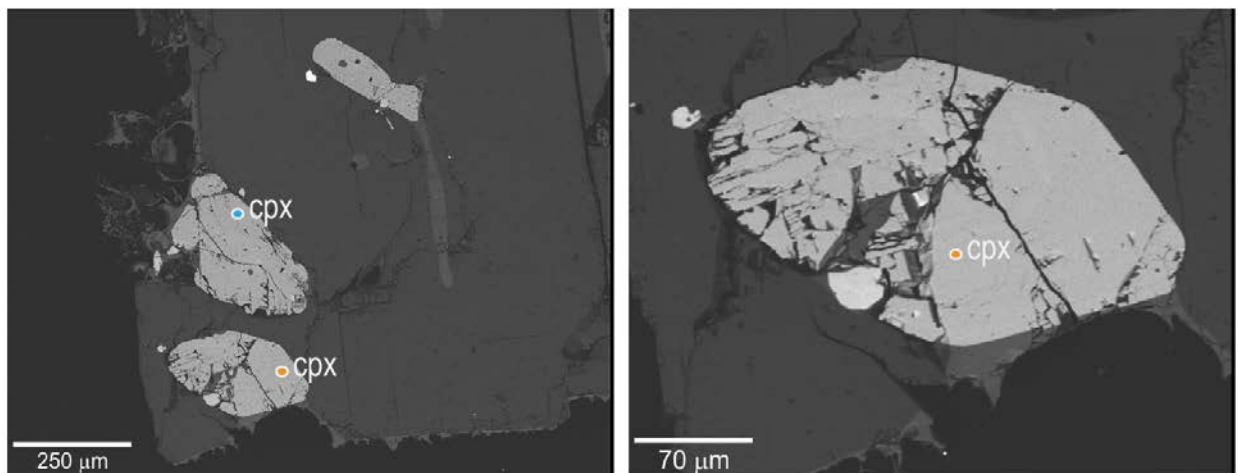


Figura 3.2.20 Le immagini scattate al SEM-EDAX mostrano che i cristalli si ritrovano, per la maggior parte, inclusi in granuli di pomice.

Alcuni sono stati analizzati tramite SEM-EDX (Fig. 3.3.21 e 3.3.22) e sono risultati comprendere:

- Feldspati alcalini quali sanidino ricco in sodio (Na) e anortoclasio (Fig. 3.3.21);
- Clinopirosseno augitico con varietà meno e più arricchite in ferro (ferroaugiti; Fig. 3.3.22);
- Aenigmatite come accessorio;
- un altro componente accessorio è la magnetite titanifera che è costituita da Fe, Ti e minor Mn.

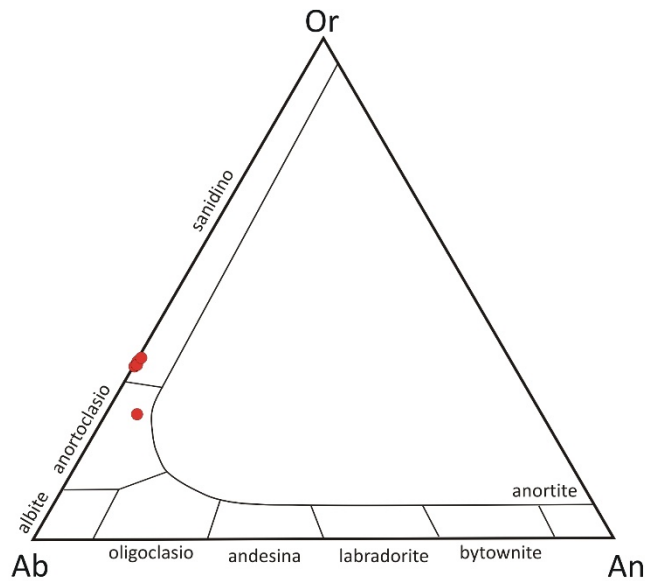


Figura 3.3.21 Diagramma classificativo dei feldspati.

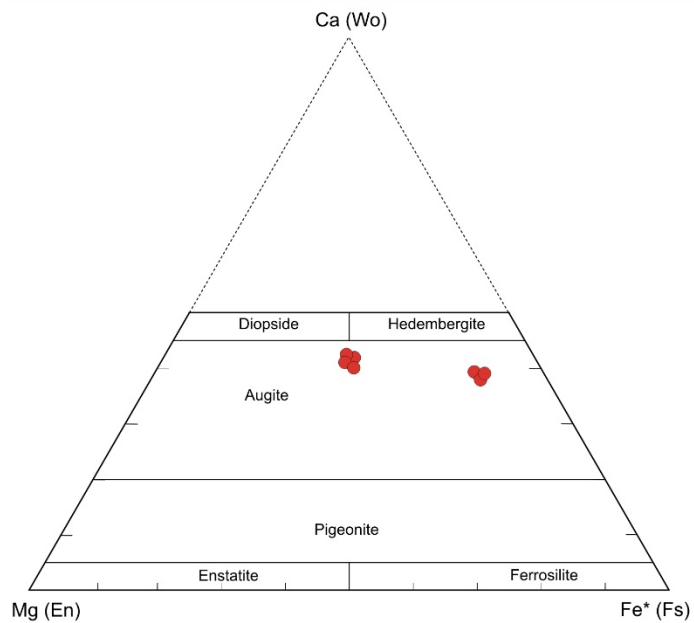


Figura 3.3.22 Diagramma classificativo dei pirosseni.

La tabella sottostante (*Tabella 3.1*) rappresenta un riassunto descrittivo di tutti i livelli vulcanogenici campionati e le varie caratteristiche in essi contenute.

Livello campionato (cm)	Descrizione livelli vulcanogenici
PAN05 214-215 cm (L)	Abbondanti frammenti di pomici (millimetriche e sub-millimetriche) vescicolate o fibroso-allungate e forma irregolare. Raro vetro e cristalli. Scarsissimi microfossili.
PAN05 235-236 cm (M)	Granulometria eterogenea con granuli di pomice (fino a 1 cm) di forma irregolare, vescicolate. Rari frammenti di vetro e litici.
PAN05 372-372 cm (N)	Granuli di pomici fibrose o con vescicole. Cristalli tozzi, bianco-traslucidi. Presenza di specie fossili.
PAN05 375-376 cm (P)	Livello granulometricamente omogeneo con pomici millimetriche, fibrose o vescicolate e forma irregolare. Scarso vetro. Assenza di fossili.
PAN05 379-381 cm (O)	Pomici (millimetriche e sub-centimetriche) di forma irregolare, vescicolate e fibrose. Frammenti di vetro ossidianoaceo e litici. Scarsi cristalli. Assenza di fossili.
PAN06 191-192 cm (C)	Pomici millimetriche, fibrose. Cristalli bianco-traslucidi. Rari frammenti di vetro nero. Abbondanza di resti fossili.
PAN06 194-195 cm (F)	Predominanza di pomici vescicolate (sub-millimetriche e millimetriche). Scarsi cristalli, vetro scuro e specie fossili.
PAN06 197-198 cm (A)	Granuli pomicei (sub-millimetrici a millimetrici), fibroso-allungati o vescicolati. Frammenti di vetro nero. Cristalli traslucidi. Resti fossili.
PAN06 252-253 cm (G)	Frammenti di pomici (millimetriche a sub-centimetriche) vescicolate e scarse fibrose. Rari fossili, frammenti di vetro scuro e cristalli isolati.
PAN06 321-323 cm (D)	Frammenti di pomici, millimetriche e fibrose con vucooli parzialmente riempiti. Rari frammenti vetroso. Scarsità di cristalli e frammenti fossili.
PAN06 327-329 cm (B)	Prevalenza di cristalli con abito semi-prismatico o a bastoncino. Scarsi frammenti di pomici fibrose e litici. Vetro nero con frattura tipo concoide.
PAN06 332-334 cm (E)	Granuli di pomici vescicolate o fibroso-allungate. Cristalli frammentati. Frammenti litici; raro vetro. Scarsa presenza di fossili.
PAN07 90-91 cm (H)	Frammenti millimetrici di pomici con vucooli sferici e tabulari. Rari frammenti di vetro scuro e cristalli. <i>Fecal pellets</i> micritici sub-millimetrici..
PAN07 169 cm (I)	Pomici (sub-millimetriche e sub-centimetriche) estremamente vescicolate con vucooli occupati da inclusi di cristalli e forme irregolari. Rari cristalli e scarsissimi microfossili.
PAN07 180-181 cm (J)	Due granuli di pomice vescicolate e vucooli incrostati da frammenti di gusci fossili. Forme spigolose e rotondeggianti, dimensioni sub-centimetriche.
PAN07 185-186 cm (K)	Scarsi granuli di pomici fibrose ed un lapillo sub-centimetrico, in matrice fossilifera.
PAN07- CC (< 1 mm)	Granuli di pomice di colore grigio chiaro, vescicolate o fibrose, aspetto vescicolato e superficie vetrosa.
PAN07- CC (> 2 mm)	Granuli di pomici da grigio chiaro a scuro con vucooli semi-sferici. Aspetto tozzo.
PAN07- CC (> 2 mm F)	Pomici fibrose con aspetto vetroso-traslucido, vescicolate o fibroso-allungate. Colore grigio chiaro.

Tabella 3.1 Schema riassuntivo delle caratteristiche litologiche dei campioni prelevati.

3.3 Dati composizionali

I livelli vulcanogenici appartenenti alle carote PAN05, PAN06 e PAN07 sono stati sottoposti ad analisi composizionali relative a granuli di pomici e vetro vulcanico. I dati composizionali, ricalcolati a 100, sono importati in *Tabella 3.2*.

Di seguito, verranno discusse le composizioni di ciascun livello vulcanogenico campionato (dall'alto verso il basso di ogni carota), in accordo con il diagramma *Total Alkali vs silica* (TAS, Le Bas et al., 1986) e, per alcuni livelli, il diagramma $\text{FeO}_{\text{tot}} - \text{Al}_2\text{O}_3$ (MacDonald, 1974) per una miglior distinzione tra le composizioni peralcaline riscontrate. Inoltre, è stato calcolato l'indice agpaítico (*Agpaític Index*) per tutti i punti-analisi: esso rappresenta il rapporto molare tra la somma degli alcali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) rispetto all'allumina (Al_2O_3) ed è stato unterpellato per confermare la distinzione, laddove presente, tra le composizioni trachitiche e quelle riolitiche. In generale, nelle analisi effettuate sui campioni vulcanogenici, i vetri riolitici e (in parte) quelli trachitici sono caratterizzati da $\text{A.I.} > 1$ e possono essere identificati, rispettivamente, come pantelleriti e trachiti comenditiche o pantelleritiche, in accordo con il diagramma $\text{FeO}_{\text{tot}} - \text{Al}_2\text{O}_3$ (MacDonald, 1974; Tamburrino et al., 2012). In particolare, tutte le rocce con $1 < \text{A.I.} < 1.5$ che si trovano a cavallo tra la linea che separa il campo trachitico da quello riolitico nel diagramma TAS, vengono chiamate trachiti pantelleritiche. Invece, tutte le rocce con $\text{A.I.} > 1.5$ che cadono all'interno del campo riolitico nel TAS vengono identificate come pantelleriti s.s. (Avanzinelli et al., 2004). Nel caso dei campioni in esame relativi alle tre carote, le trachiti presentano un A.I. inferiore o di poco superiore a 1; al contrario, le rioliti sono caratterizzate da A.I. maggiore o molto maggiore di 1 (*Tabelle 3.2 e 3.3*).

Di seguito, verranno mostrate e commentate le composizioni appartenenti ai livelli campionati, tramite opportuni grafici.

PAN05 214-215 cm (L): il materiale vulcanogenico mostra una composizione omogenea ricadendo nel campo delle rioliti (*Fig. 3.3.1*), con un contenuto medio in SiO_2 pari a 71.39 wt% (*range* 70.92- 72.20 wt%) e una media del contenuto in alcali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) di 10.17 wt%. Gli ossidi di alluminio (Al_2O_3) e di ferro (FeO_{tot}) mostrano una percentuale media, rispettivamente, pari a 7.73 wt% e 8.39 wt% (*Tabella 3.2*). Inoltre, il valore medio dell'indice agpaítico è pari a 1.85.

PAN05 235-236 cm (M): la composizione del livello in esame appare meno raggruppata del precedente (*Fig. 3.3.2*), pur ricadendo sempre nel campo delle rioliti. Nella sua totalità, il campione presenta una quantità in SiO_2 compresa tra 70.29 wt% e 72.97 wt%, una percentuale variabile in alcali (in media 10.18 wt%) mentre spiccano, tra gli elementi maggiori, Al_2O_3 e FeO_{tot} con 7.47 wt% e 8.36 wt% in media.

La media dell'indice agpaítico (A.I.) è pari a 2.21 (*Tabella 3.2*). Alcuni punti analisi mostrano che ad un basso contenuto in alcali corrisponde un incremento in SiO_2 .

I successivi tre livelli fanno parte di un unico intervallo che si trova verso la base della carota (v. *Figure 3.1.1a-3.1.1b*).

PAN05 372-373 cm (N): è un livello abbastanza omogeneo sia per composizione sia per contenuti di alcali e silice (*Fig. 3.3.3a*). È a composizione riolitica e contiene, in ordine di abbondanza: SiO_2 (71.59 wt%), FeO_{tot} (8.35 wt%) e Al_2O_3 (7.38 wt%), mentre $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ è

pari a ~ 10 wt%. L'indice agpaítico è costante in tutta la serie di punti e la media è di 1.92 (*Tabella 3.2*).

PAN05 375-376 cm (P): anche in questo campione, i punti analizzati ricadono nel campo delle rioliti anche se la loro distribuzione è meno compatta del livello analizzato in precedenza. Il range di concentrazione di alcuni degli elementi maggiori viene di seguito evidenziato: la silice si aggira tra 71.45 wt% e 72.80 wt%, Na₂O tra 5.20 wt% a 5.97 wt%, K₂O è compreso tra 4.42 wt% e 4.59 wt%, FeO_{tot} varia tra 7.78 wt% a 8.13 wt% e, infine, Al₂O₃ comprende 8.03 wt% e 8.37 wt% (*Tabella 3.2*). La media di A.I. è pari a 1.72, poco più basso del livello precedente.

Inoltre si osserva che, un incremento o diminuzione di SiO₂ porta rispettivamente ad una diminuzione o aumento del contenuto in alcali, Na₂O+K₂O (*Fig. 3.3.43b e Tabella 3.2*).

PAN05 379-381 cm (O): è l'ultimo campione appartenente all'intervallo e, anch'esso, è a composizione riolitica, caratterizzato dalla variazione in SiO₂ tra 70.55- 72.33 wt%, Na₂O tra 5.80 wt% e 6.66 wt%, K₂O tra 2.18 wt% e 4.46 wt%. Tra tutti gli elementi maggiori, gli ossidi di alluminio e di ferro presentano oscillazioni percentuali maggiori, rispettivamente 7.21-15.42 wt% (Al₂O₃) e 1.66-8.45wt% (FeO_{tot}). Nell'insieme della popolazione, ci sono due punti analisi esterni (*Fig. 3.3.3c e Tabella 3.2*): essi presentano SiO₂ medio pari a 71.16 wt% ed una percentuale media in alcali (Na₂O+ K₂O) di 9.14 wt%. In *Fig. 3.3.4* si osserva che i due punti in esame sono a composizione trachitico-comenditica e contengono un'elevata quantità di Al₂O₃ (in media 15.16 wt%) a cui segue un bassissimo contenuto di FeO_{tot} (in media è pari a 2. wt%): ciò è in opposizione ai restanti punti che, invece, ricadono nel campo delle pantelleriti. Questo elemento potrebbe essere distintivo per la composizione del livello O e, seppure caratteristico di soli due punti all'interno del campione, non si ritrova nei due livelli descritti in precedenza e facenti parte dello stesso intervallo nella carota. Inoltre, è interessante osservare un'ulteriore differenza data dall'indice agpaítico: per le pantelleriti in senso stretto, A.I. medio è pari a 1.98, in netto contrasto con quello dei due punti isolati che è uguale a 0.89.

Nella *Figura 3.3.5* viene mostrata la composizione complessiva di tutti i punti analizzati all'interno dei campioni della carota PAN05.

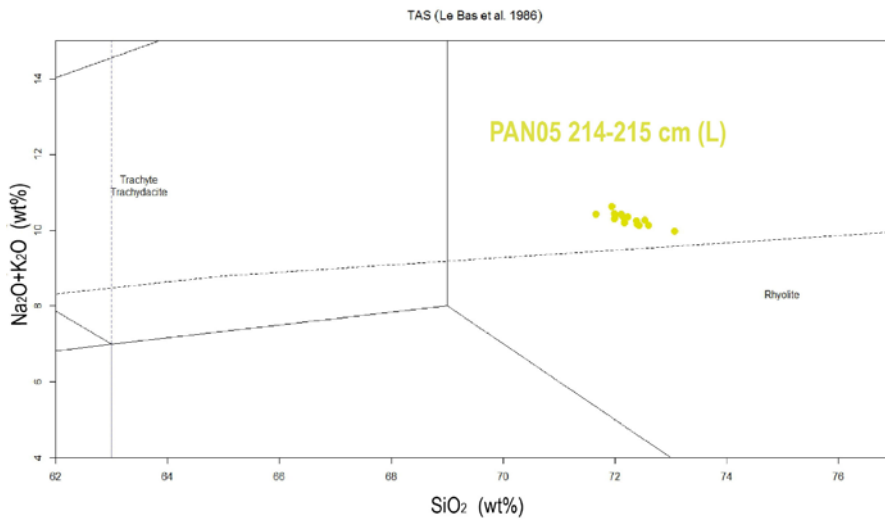


Figura 3.3.1 Diagramma TAS del campione PAN05 214-215 cm (L).

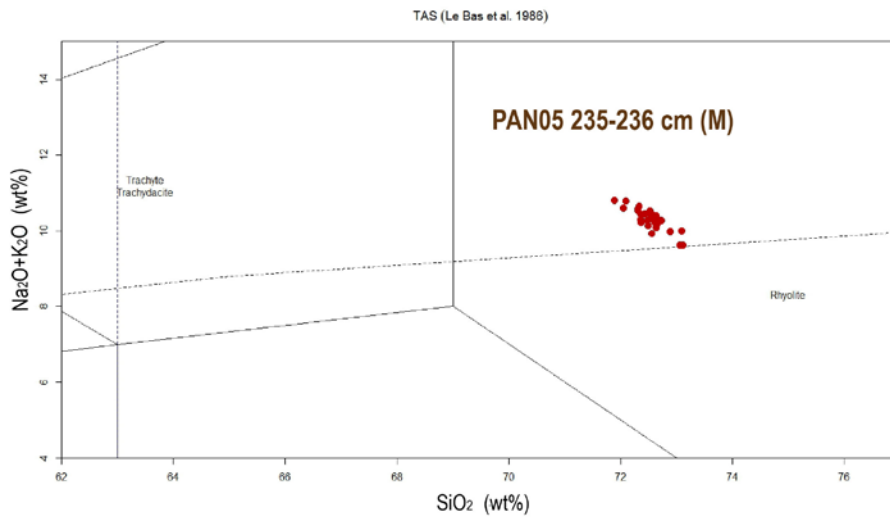


Figura 3.3.2 Diagramma TAS del campione PAN05 235-236 cm (M).

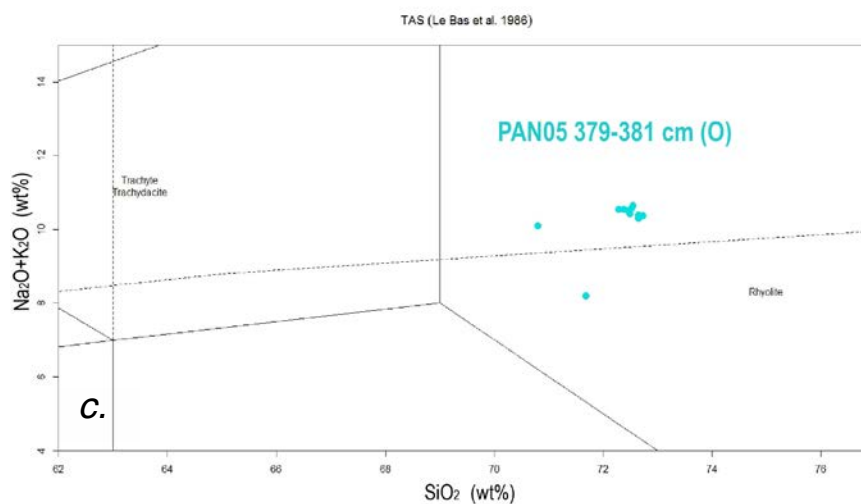
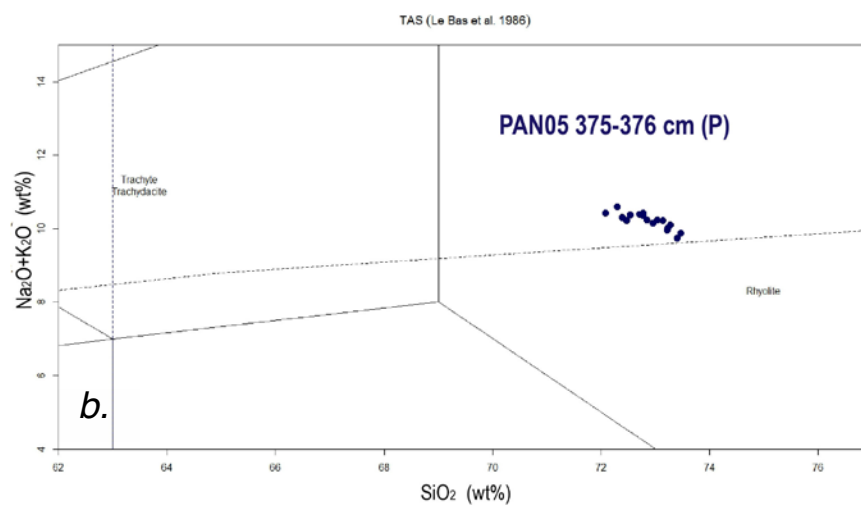
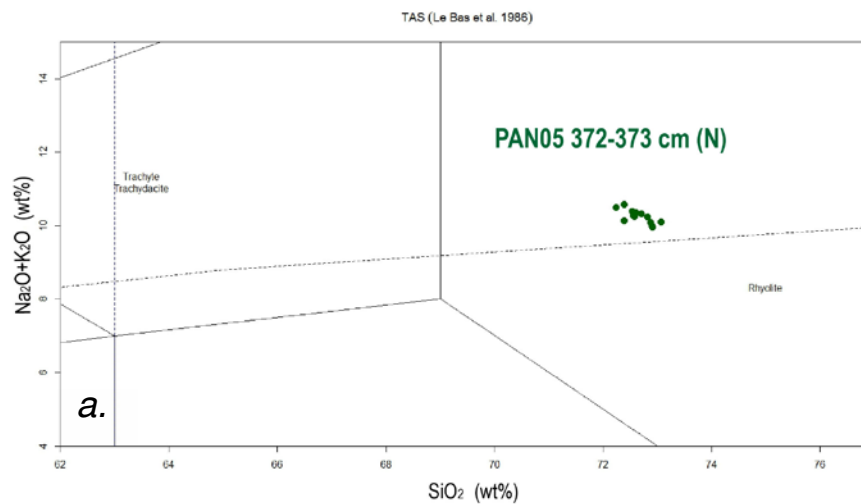


Figura 3.3.3 **a)** Diagramma TAS riferito al campione PAN05 372-373 cm (N). **b)** Diagramma TAS del campione PAN05 375-376 cm (P). **c)** Diagramma TAS riferito al campione PAN05 379-381 cm (O).

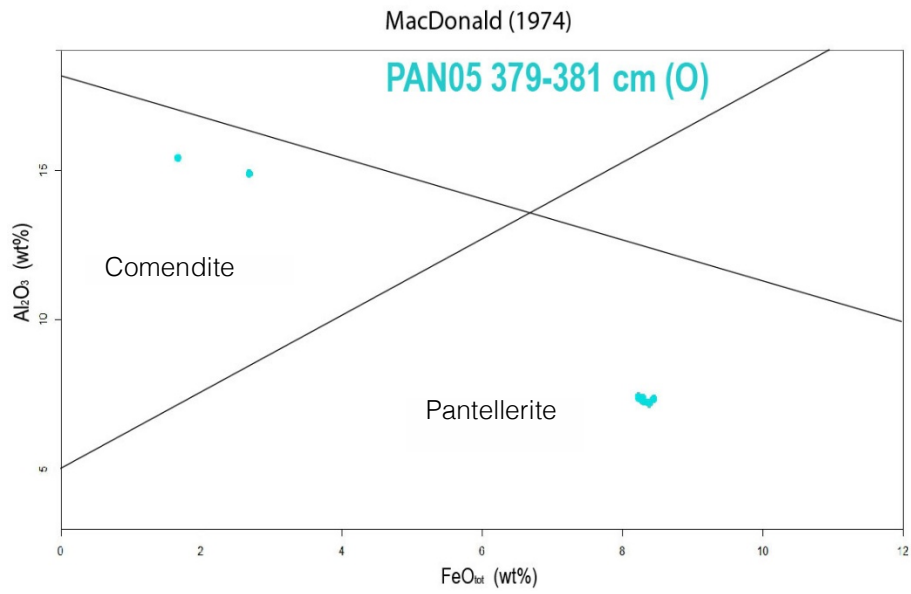


Figura 3.3.4 Diagramma FeO_{tot} - Al_2O_3 (MacDonald, 1974) del livello PAN05 379-381 cm (O).

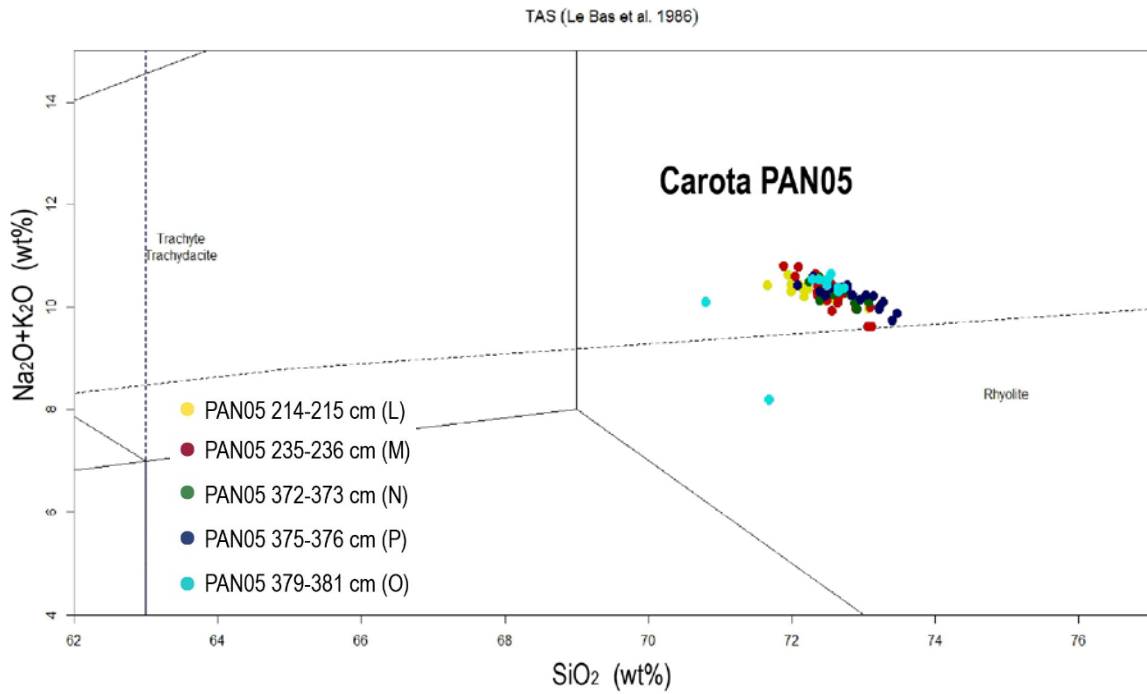


Figura 3.3.5 Diagramma TAS completo di tutti i punti analizzati nella carota PAN05.

Nella carota PAN06 si ritrovano alcuni campioni appartenenti a un livello pluricentimetrico a gradazione diretta. I primi tre campioni, che verranno elencati di seguito, appartengono all'intervallo posto a tetto della carota e sono mostrati nelle *Figure 3.1.2a- 3.1.2b* (paragrafo 3.1).

PAN06 191-192 cm (C): il primo livello della carota mostra un contenuto in silice piuttosto variabile, compreso tra 70.87 wt% e 72.07 wt% a differenza della percentuale in alcali che, invece, sembra essere costante (in media 10.11 wt%, *Fig. 3.3.6a*). Per quanto riguarda gli ossidi di ferro e alluminio, essi comprendono un range di valori rispettivamente pari a: 7.14 wt%- 8.06 wt% (FeO_{tot}) e 7.96 wt%- 8.57 wt% (Al_2O_3), (*Tabella 3.2*). L'insieme della popolazione di punti ricade nel campo a composizione riolitica, con una media di A.I. pari a 1.92.

PAN06 194-195 cm (F): i punti rappresentativi del campione appartengono al campo riolitico, assumendo valori in SiO_2 media al 71.84 wt%; mentre, gli alcali hanno un range compreso tra 10.11 wt%- 13.35 wt% (*Tabella 3.2*).

Quest'ultimo valore in alcali è il più elevato di tutta la serie e appartiene ad un punto isolato che ricade nel campo a composizione trachitica (*Fig. 3.3.6b*). con una percentuale in silice pari a 68.02 wt%. Peculiare è anche il contenuto in ossidi di alluminio e ferro con valori pari a 14.00 wt% (Al_2O_3) e 4.09 wt% (FeO_{tot}).

Nel diagramma $\text{FeO}_{\text{tot}}-\text{Al}_2\text{O}_3$ (*Fig. 3.3.7*) si osserva come il campione isolato, menzionato sopra, ricade nel campo delle comenditi e i restanti appartengono alla composizione pantelleritica. L'indice agpaítico è più o meno costante in tutta la serie (1.77) tranne per il punto comenditico per cui assume valori più bassi (1.31).

PAN06 197-198 cm (A): questo campione rappresenta la base dell'intervallo di cui fanno parte anche gli altri due livelli descritti precedentemente. L'insieme si presenta omogeneo (*Fig. 3.3.6c*) e il contenuto medio in elementi maggiori è rappresentato da: 71.69 wt% per SiO_2 , $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ al 10.44 wt%, Al_2O_3 pari a 8.35 wt% e FeO_{tot} a 8.07 wt%. Essendo una composizione principalmente riolitica- pantelleritica, gli ossidi di alluminio e ferro hanno valori di risalto, pur rimanendo costanti in tutta la sequenza di punti analizzati così come per A.I. con una media di 1.76 (*Tabella 3.2*).

PAN06 252-253 cm (G): pur essendo un livello singolo, è molto evidente all'interno della carota dalla quale è stato campionato (*Fig. 3.1.2a- 3.1.2b*). La sua composizione è riolitica e compare anche in maniera costante ed omogenea (*Fig. 3.3.8*) come si evince dai valori medi della silice (71.62 wt%) e degli alcali (10.23 wt%), (*Tabella 3.2*). Per quanto riguarda Al_2O_3 e FeO_{tot} il loro contenuto medio è variabile e si mostra più alto per l'ossido di ferro (8.31 wt%) e inferiore per l'allumina (7.34 wt%). Anche per questo campione, l'indice di agpaicità è costante in tutta la serie (in media 1.96).

Gli ultimi tre campioni si riferiscono ad un livello evidenziato nella carota PAN06 (*Figure 3.1.2a e 3.1.2b*) e potrebbero rappresentare un unico intervallo vulcanogenico posto verso la base della carota.

PAN06 321-323 cm (D): il livello vulcanogenico ricade nel campo delle rioliti raggruppandosi in maniera uniforme (*Fig. 3.3.9a*). In media, la silice è al 72.15 wt% mentre quella degli alcali è compresa tra 9.80 wt% e 10.62 wt%; l'indice A.I. è pari a 1.76 (valore medio). Tra gli altri

elementi maggiori si ritrovano Al_2O_3 e FeO_{tot} con una media rispettiva di 8.16 wt% e 7.93 wt% (Tabella 3.2).

PAN06 327-329 cm (B): come il livello precedente, anche questo campione ricade nel campo a composizione riolitica ed i punti sono raggruppati tra loro (Fig. 3.3.9b). Il contenuto in silice è relativamente variabile (71.55 wt% - 72.64 wt%), come si osserva dal diagramma TAS (Fig. 3.3.9b). Le percentuali di alcali (10.27 wt%) e gli ossidi di alluminio (in media 8.23 wt%) e ferro (in media 7.83 wt%) si presentano in quantità costanti in tutta la popolazione di punti. Lo stesso vale per A.I. che, in media, è pari a 1.75 (Tabella 3.2).

PAN06 332-334 (E): è l'ultimo livello appartenente alla sequenza granulometrica che si ritrova verso la base della carota e mostra una composizione riolitica uniforme (Fig. 3.3.9c). Un simile pattern è stato osservato nei due livelli descritti in precedenza. Il valore di SiO_2 medio è pari a 71.63 wt% e $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ sono al 10.24 wt%. Preponderanti sono anche gli ossidi di alluminio e ferro, rispettivamente, pari a 8.06 wt% (Al_2O_3) e 8.34 wt% (FeO_{tot}), mentre A.I. medio è pari a 1.94, presentando un piccolo incremento se confrontato a quello dei due livelli menzionati in precedenza, e facenti parte dello stesso intervallo (Fig. 3.1.2a 3.1.2b; Tabella 3.2).

Il diagramma TAS posto in Figura 3.3.10 mostra la composizione totale dei livelli analizzati nella carota PAN06.

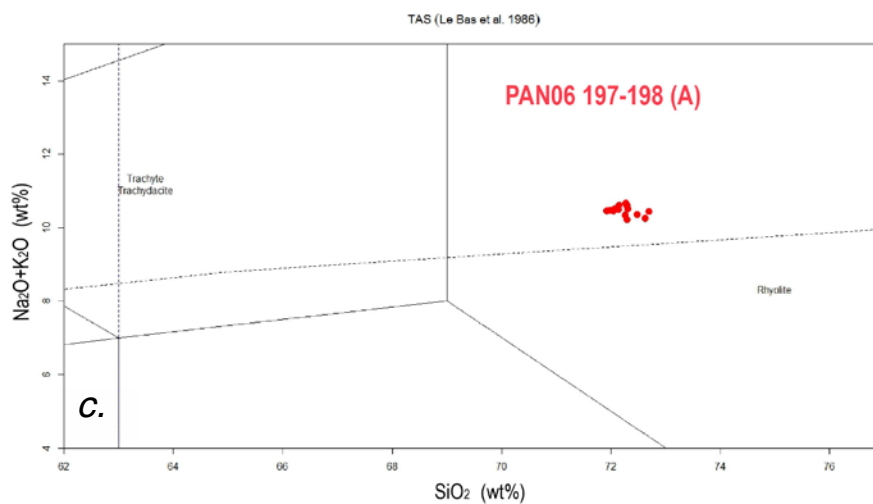
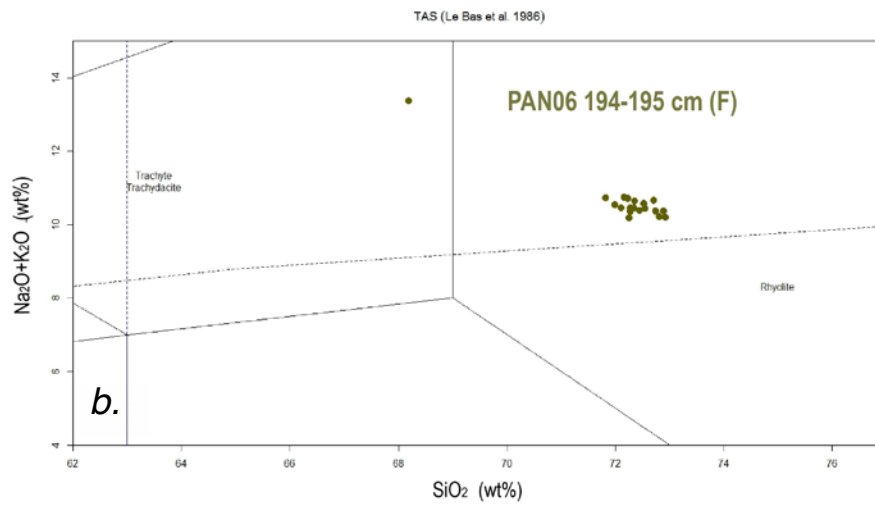
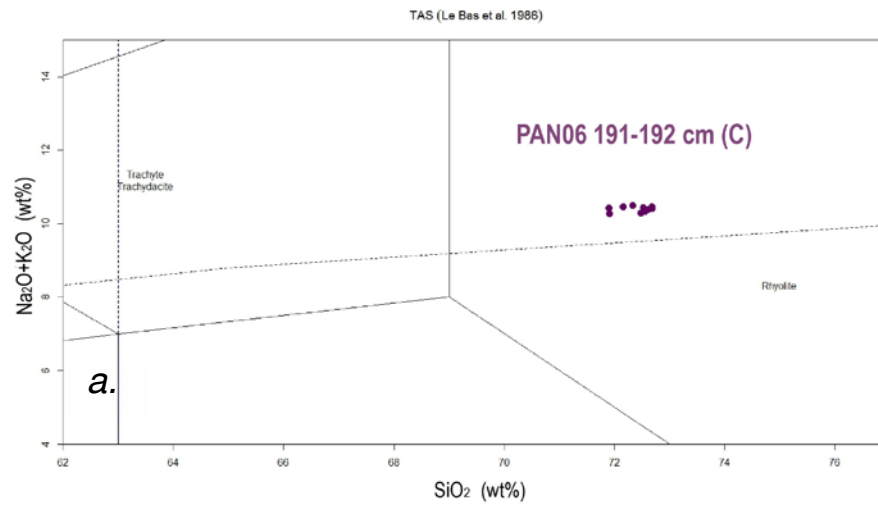


Figura 3.3.6 a) Diagramma TAS del campione PAN06 191-192 cm (C). **b)** Diagramma composizionale TAS riferito al campione PAN06 194-195 cm (F). **c)** Diagramma TAS del livello PAN06 197-198 cm (A).

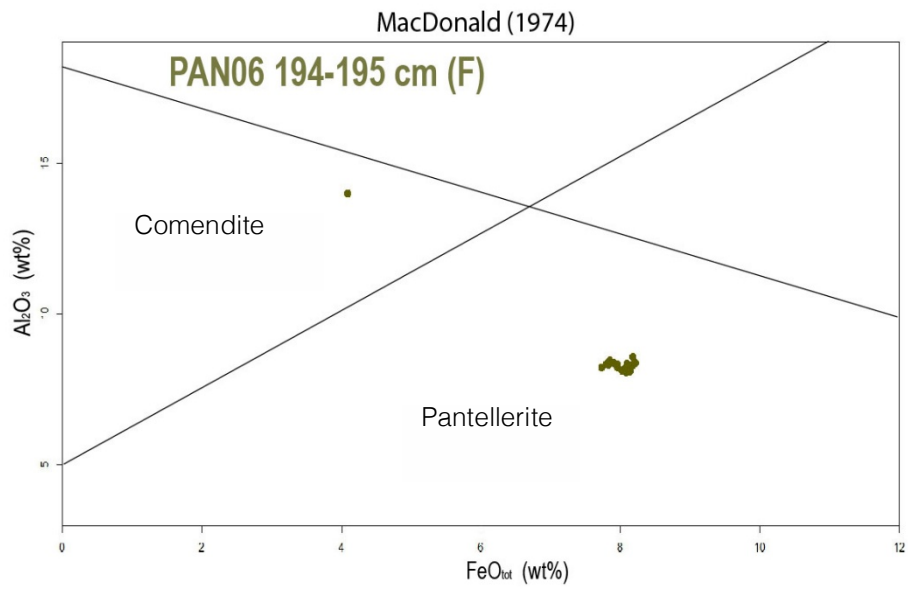


Figura 3.3.7 Diagramma $FeO_{tot} - Al_2O_3$ (Macdonald, 1974) del livello PAN06 194-195 (F). Il punto isolato è l'unico che appartiene alla composizione comenditica mentre il resto della popolazione ricade nelle pantelleriti.

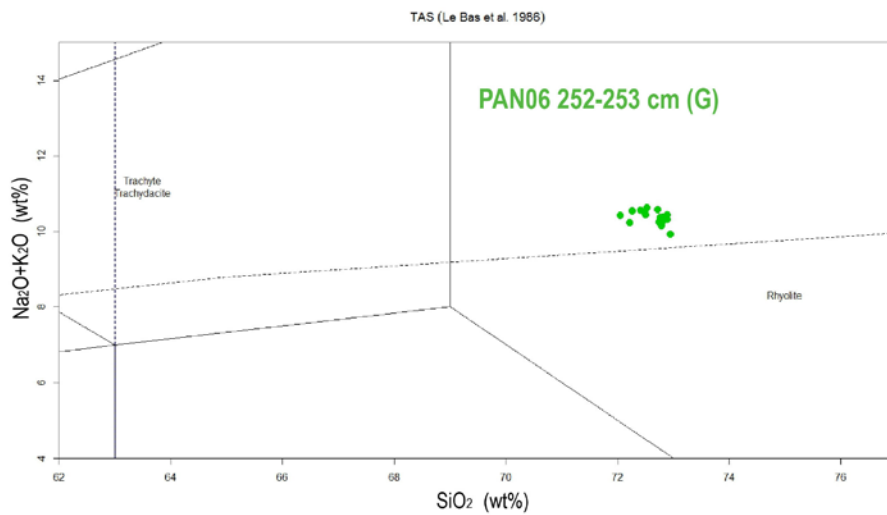


Figura 3.3.8 Diagramma TAS del campione PAN06 252-253 cm (G).

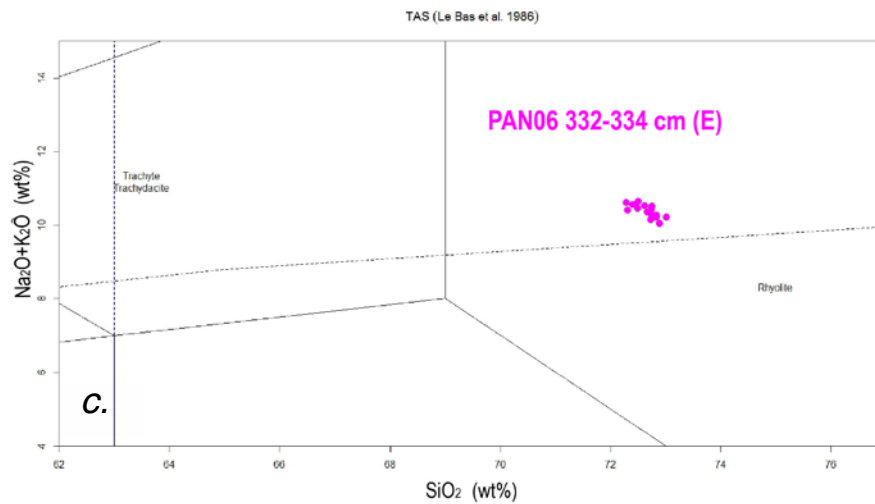
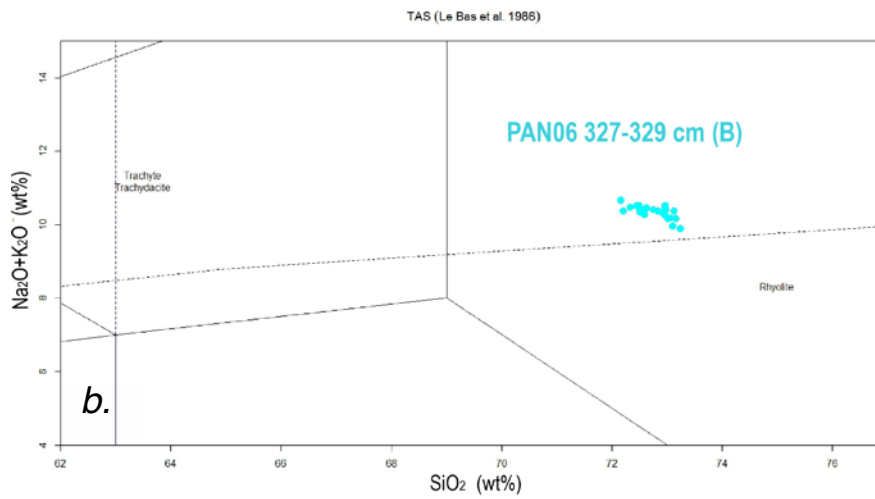
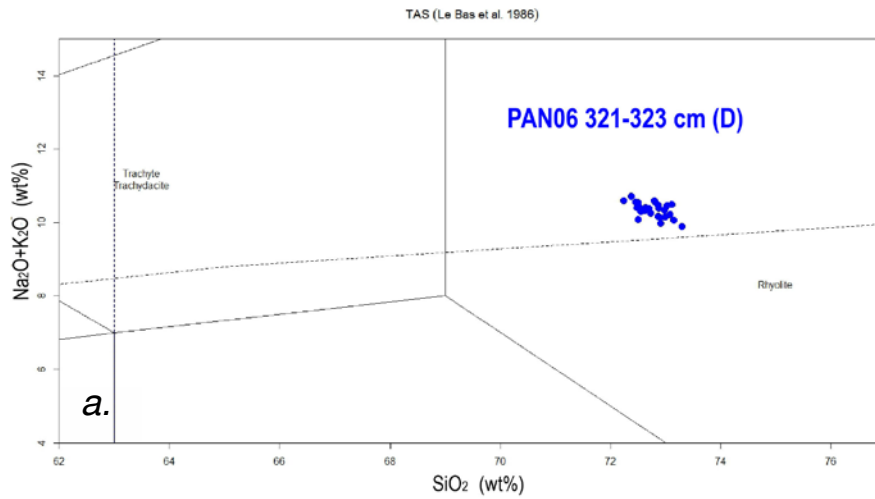


Figura 3.3.9 a) Diagramma TAS del campione PAN06 321-323 cm (D). **b)** Diagramma composizionale TAS riferito al campione PAN06 327-329 cm (B). **c)** Diagramma TAS del campione PAN06 332-334 cm (E).

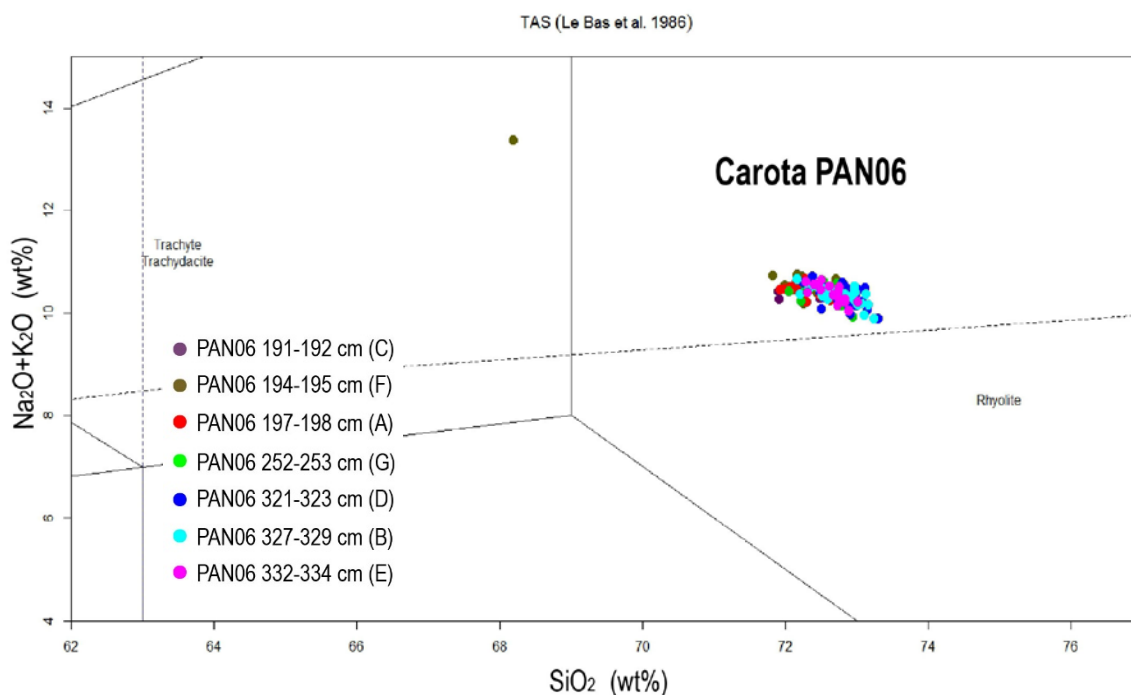


Figura 3.3.10 Il diagramma TAS, riferito alla carota PAN06, mostra una composizione riolitica molto omogenea tranne per un punto isolato.

La carota PAN07, a differenza delle altre due carote descritte in precedenza, contiene esclusivamente livelli singoli (*log* in Fig. 3.1.3a) e comprende anche il campione PAN07-CC proveniente dal 'naso' del carotiere (*Core Catcher*).

PAN07 90-91 cm (H): la composizione del livello *H* ricade nel campo riolitico; la popolazione di punti è uniforme con una media del contenuto in silice pari al 71.77 wt% (Tabella 3.2) e il valore di A.I. è in media 1.89. Inoltre, si osserva una variabilità nel contenuto in alcali (Na₂O+K₂O) compresi tra 9.86 wt% e 10.49 wt% (Fig. 3.3.11); mentre Al₂O₃ e FeO_{tot} hanno un contenuto medio, rispettivamente, pari a 7.48 wt% e 8.27 wt%.

PAN07 169 cm (I): il raggruppamento del livello *I* ricade, in maniera omogenea, nel campo riolitico (Fig. 3.3.12). Si identifica un cluster di punti analisi con un contenuto in silice medio pari a 71.79 wt% e la media di Na₂O+K₂O che equivale a 10.25 wt%. Un ulteriore elemento è l'indice di agpaiticità che risulta essere, per la maggioranza dei punti analizzati, pari o poco superiore a 2, confermando una pertinenza dei punti con composizioni di tipo pantelleritico (Al₂O₃ 7.26 wt%; FeO_{tot} 8.29 wt%).

PAN07 180-181 cm (J): il campione ha una composizione riolitica, conforme ai livelli analizzati fino ad ora, provenienti dalla stessa carota. In generale, il contenuto medio in silice equivale a 71.88 wt% (SiO₂) mentre la somma degli alcali è pari a 10.41 wt% (Na₂O+K₂O). In quasi tutta la popolazione di punti, Al₂O₃ e FeO_{tot} assumono valori medi rispettivamente di 8.22 wt% e 8 wt% (Tabella 3.2). I punti analisi ricadono nel campo riolitico e alcuni si distanziano dall'insieme a causa del contenuto in alcali e in silice

variabile, rispetto al resto della popolazione di punti (Fig. 3.3.13). L'indice agpaítico assume un valore medio pari a 1.75.

PAN07 185-186 cm (K): le analisi di questo livello mostrano che la sua composizione ricade nel campo riolitico (Fig. 3.3.14), anche se la distribuzione dei punti è più sparpagliata e meno omogenea, se si compara ai livelli descritti in precedenza e appartenenti alla stessa carota. La media totale di SiO_2 è 71.69 wt%, con un minimo di 71.15 wt% ed un massimo di 72.22 wt%; la somma media degli alcali è 10.18 wt% (Tabella 3.2). Per tutti i punti si nota un'affinità con gli ossidi di alluminio e ferro, con prevalenza di quest'ultimo presente al 8.20 wt% (in media) a discapito di Al_2O_3 con valore medio più basso dello 0.7 wt%. L'indice A.I. assume valori compresi tra 1.66 e 2.11.

Le analisi effettuate sui campioni contenenti i frammenti vulcanogenici della carota PAN07, vengono mostrate nel loro complesso all'interno della Figura 3.3.15, confermando una composizione riolitica uniforme per alcuni livelli e più spaziata per altri.

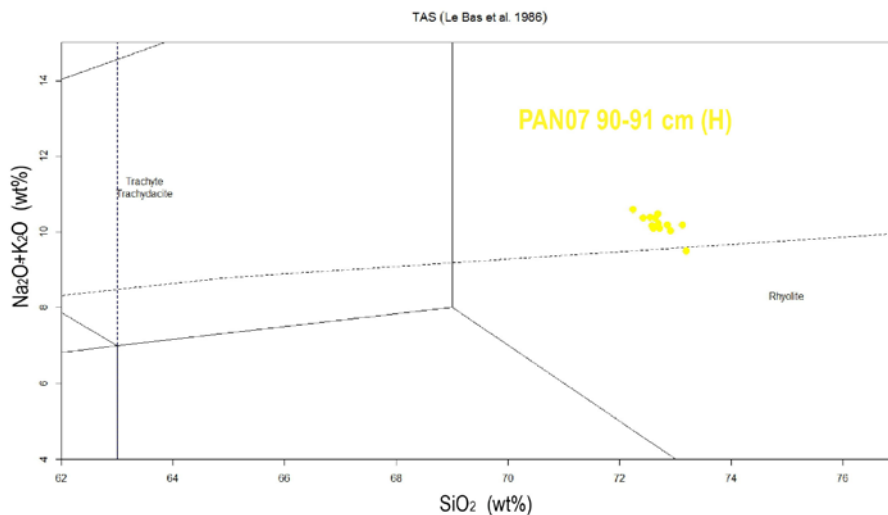


Figura 3.3.11 Diagramma TAS del campione PAN07 90-91 cm (H).

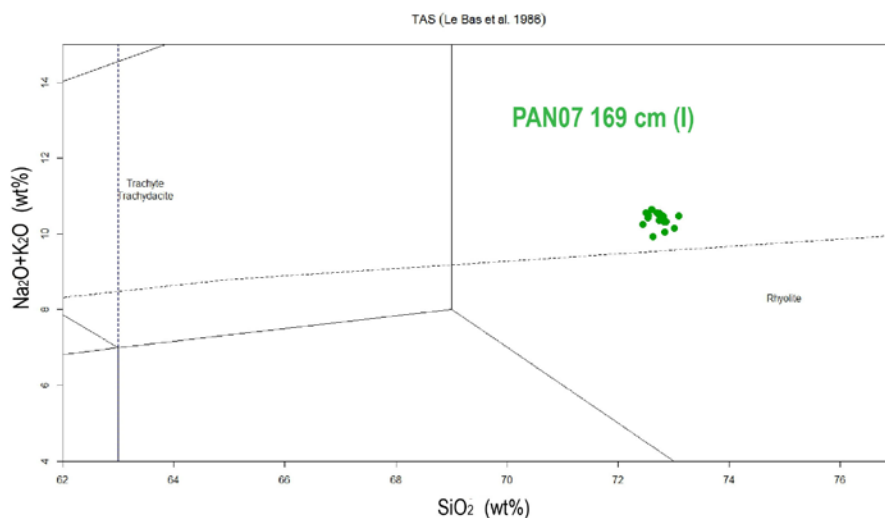


Figura 3.3.12 Diagramma TAS del campione PAN07 169 cm (I).

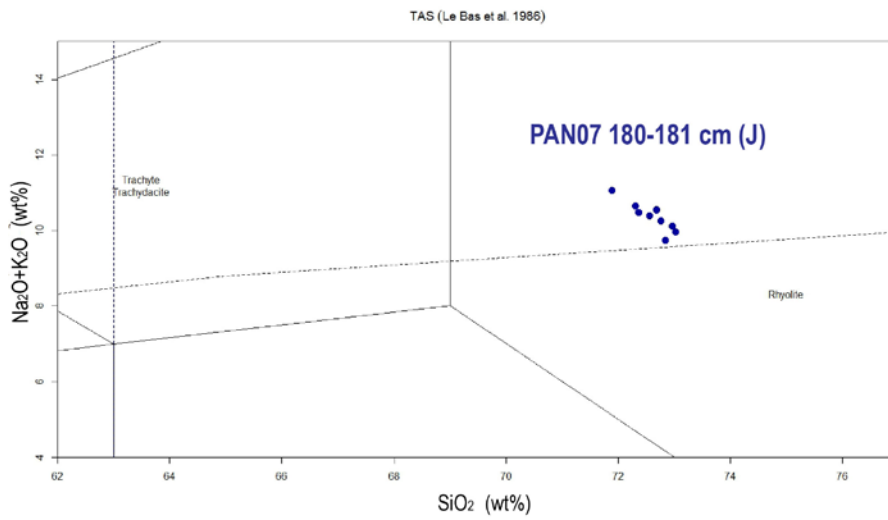


Figura 3.3.13 Diagramma TAS riferito al PAN07 180-181 cm (J).

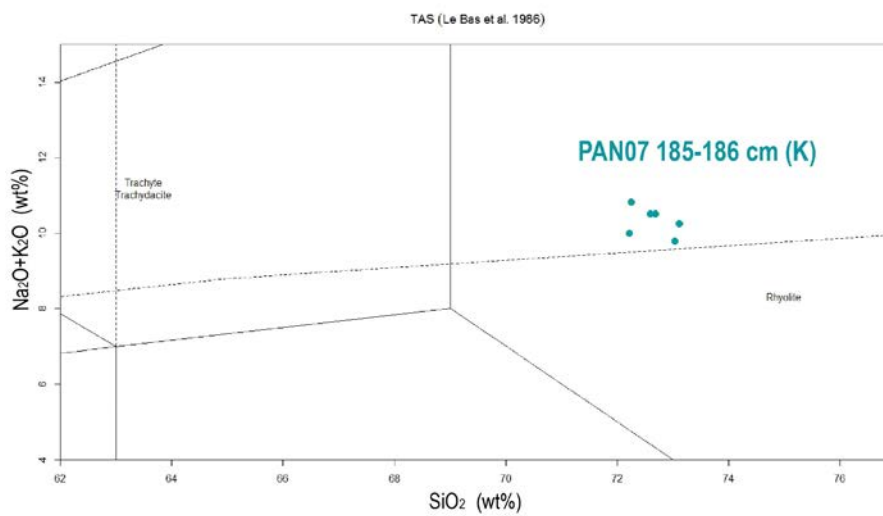


Figura 3.3.14 Diagramma TAS riferito al PAN07 185-186 cm (K).

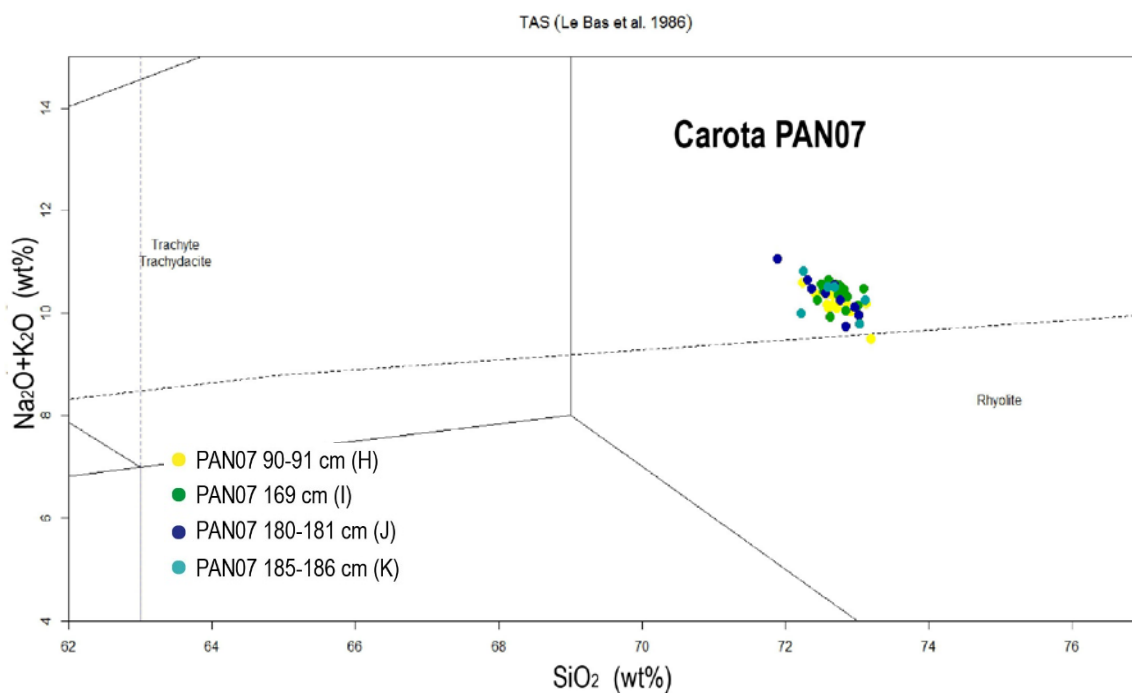


Figura 3.3.15 Diagramma TAS della carota PAN07.

Il campione PAN07-CC, come già detto in precedenza, è stato sottoposto ad analisi con due strumentazioni differenti, con SEM-EDX (BiGeA, Bologna) e Microsonda EMPA (IGAG-CNR, Roma).

Di seguito, verranno analizzate le composizioni dei frammenti appartenenti ad ogni frazione considerata (sottocampione) e saranno mostrati i diagrammi TAS che includono sia le analisi svolte a Bologna sia per quelle effettuate a Roma.

PAN07-CC frazione granulometrica > 1 mm: le analisi condotte sui granuli, appartenenti alla frazione maggiore di 1 mm, mostrano una marcata bimodalità composizionale (TAS in Fig. 3.3.16a). La popolazione di punti con concentrazione media di SiO_2 pari a 64.28 wt% appartiene al campo trachitico mentre quella con contenuto medio in SiO_2 di 70.97 wt% rientra a far parte delle rioliti. Un elemento interessante riguarda la quantità di FeO_{tot} che differenzia i due gruppi: per quello trachitico la percentuale media è di 6.87 wt% che rispetto a quello riolitico, pari a 7.96 wt%, è più basso. Tutto questo potrebbe essere compensato dalla presenza di Al_2O_3 , il quale aumenta fortemente nel campo trachitico (14.32 wt%) e tende a diminuire di un tasso medio pari a 6.05 wt% nel campo riolitico (Tabella 3.3).

L'indice agpaítico, essendo strettamente correlato alla quantità di alcali e soprattutto di allumina (Al_2O_3), appare minore di circa 1.09 per tutti i punti a composizione trachitica e aumenta drasticamente per le rioliti, sino ad un valore medio di 1.79 (Tabella 3.3).

All'interno del diagramma TAS (Fig. 3.3.16a), il quale include i punti analisi provenienti dalle diverse strumentazioni utilizzate, le serie dei punti analisi mostrano una scissione in due trend distinti, in evidenza soprattutto per il campo riolitico. Probabilmente, questo è dovuto al contenuto in silice stimato con le due diverse metodologie analitiche, per cui il tasso percentuale di differenza tra le rioliti è di circa 1.05 wt%; mentre quello per le trachiti

può essere considerato irrilevante in quanto minore dello 0.1 wt%. In ogni modo, la disparità tra i dati non è elevata e potrebbe essere associata ad una differenza nell'utilizzo di standard e nella successiva opera di normalizzazione dei dati.

Come si osserva dal diagramma $FeO_{tot}-Al_2O_3$ (Fig. 3.3.16b), i campi di composizione interessati sono tre: pantellerite, trachite comenditica e trachite pantelleritica. I primi due comprendono la maggioranza dei punti analisi mentre nell'ultimo campo intermedio rientra un solo punto analisi.

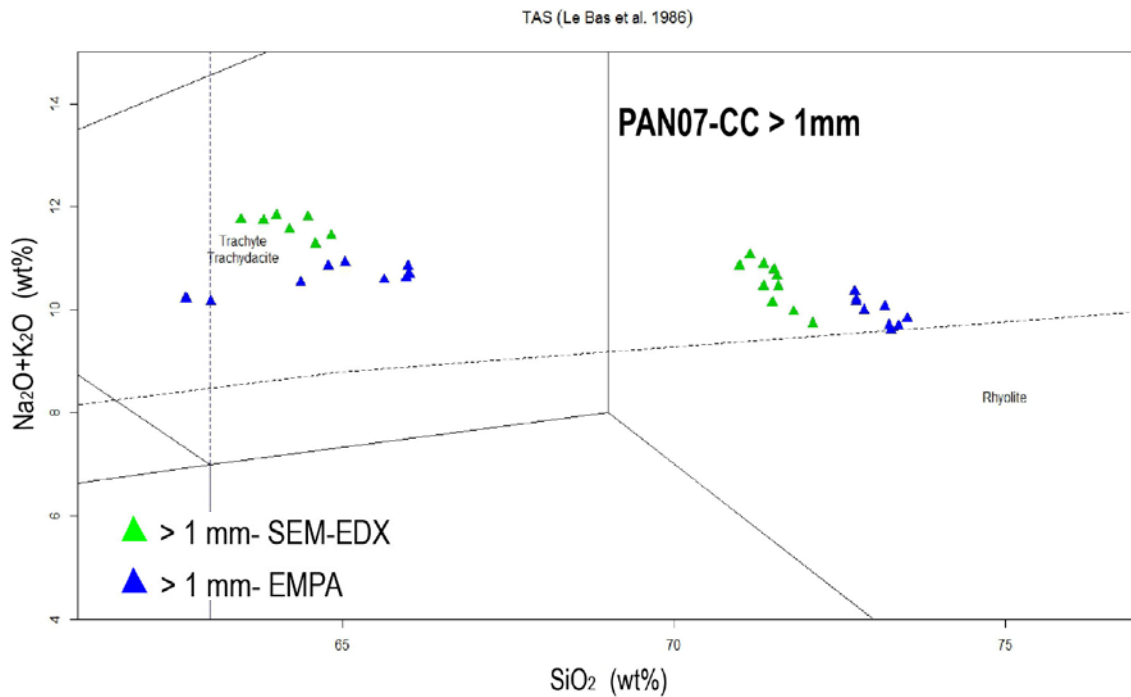


Figura 3.3.16a Diagramma TAS del campione PAN07-CC riferito alla frazione granulometrica > 1 mm analizzato con SEM-EDX ed EMPA.

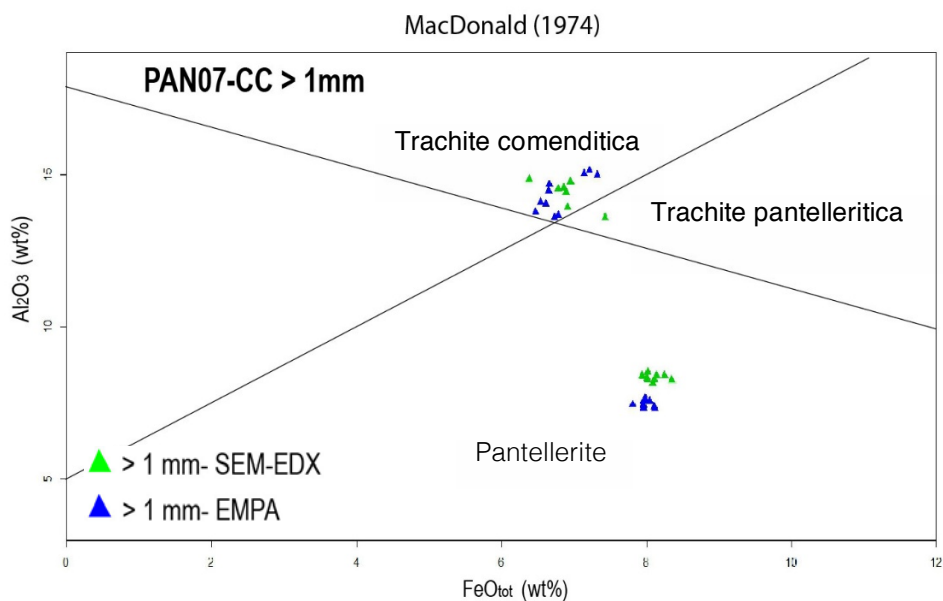


Figura 3.3.16b Diagramma $FeO_{tot}-Al_2O_3$ riferito alla frazione > 1 mm del campione PAN07-CC.

PAN07-CC frazione granulometrica ≥ 2 mm: questo campione è stato analizzato tramite SEM-EDX (Bologna). Anche per questa frazione, i punti appaiono a distribuzione bimodale tra il campo trachitico e quello riolitico (Fig. 3.3.17a). La composizione riolitica mostra una variazione sia in alcali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) sia in SiO_2 , rispettivamente 10.43 wt % e 70.90 wt%. Il contenuto di FeO_{tot} varia sensibilmente tra le due composizioni: 8.10 wt% per le rioliti e 6.57 wt% per le trachiti. Allo stesso modo, è evidente l'oscillazione percentuale di Al_2O_3 con una differenza media pari a 6.21 wt% tra pantelleriti e trachiti (Fig. 3.3.17b e Tabella 3.3). Inoltre, l'indice appaitico mostra un'ulteriore differenziazione tra le due composizioni acide: in media, per la serie delle trachiti assume un valore pari a 1.17, mentre per le rioliti assume valori più alti con una media di 1.72 (Tabella 3.3).

Il diagramma in Figura 3.3.17b mostra che alcuni punti si classificano come trachite comenditica mentre le rioliti hanno composizione prettamente pantelleritica.

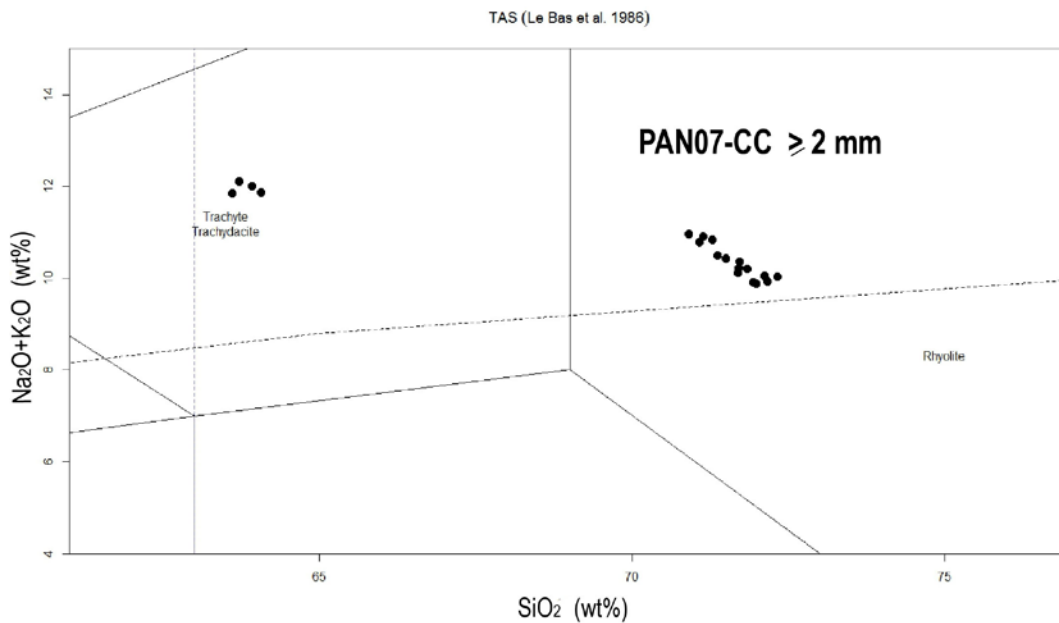


Figura 3.3.17a Diagramma TAS del campione PAN07-CC frazione ≥ 2 mm analizzato con SEM-EDX.

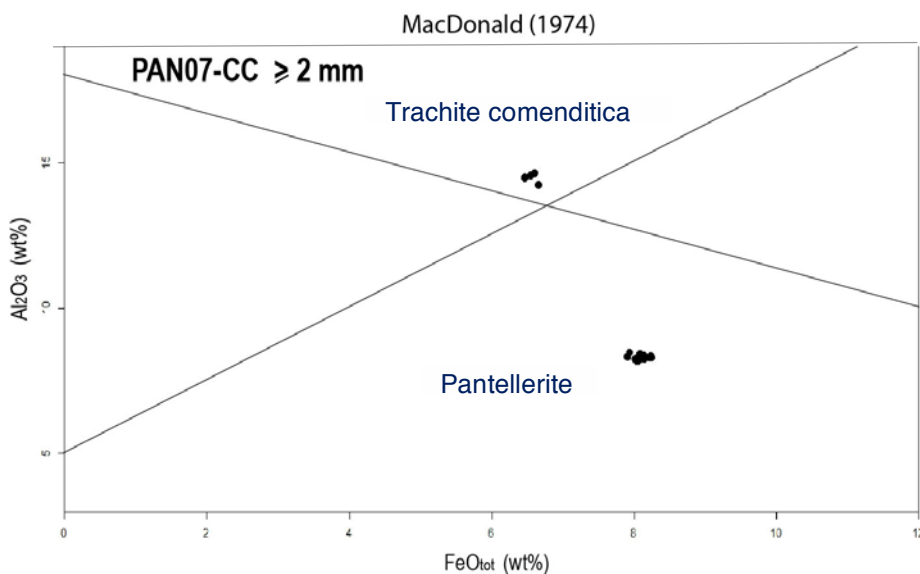


Figura 3.3.17b Diagramma $\text{FeO}_{\text{tot}}-\text{Al}_2\text{O}_3$ della frazione granulometrica ≥ 2 mm analizzata tramite strumentazione SEM-EDX.

PAN07-CC frazione granulometrica ≥ 2 mm e a tessitura fibrosa (F): il campione è rappresentabile tramite la stessa bimodalità osservata in precedenza con le altre due frazioni appartenenti allo stesso campione. In questo livello, il diagramma TAS (*Fig. 3.3.18a*) mostra una variabilità composizionale relativa sia alle strumentazioni utilizzate sia ai granuli sottoposti ad analisi. Infatti, la composizione trachitica, per le analisi effettuate al SEM-EDX, comprende un solo punto analisi su tutta la popolazione e viene caratterizzato composizionalmente come trachite pantelleritica (*Fig. 3.3.18b*). Le rioliti sono rappresentate dalla maggior parte dei punti (SiO_2 medio di 70.91 wt% e $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ pari a 10.41 wt%) classificati come pantelleriti, assumendo in media: $\text{FeO}_{\text{tot}} = 8.06$ wt% e $\text{Al}_2\text{O}_3 = 8.28$ wt% (*Tabella 3.3 e Fig. 3.3.18b*).

La bimodalità osservabile nelle analisi con EMPA (TAS in *Fig. 3.3.18a*) è più marcata e rispecchia l'andamento generale osservato fino ad ora nei campioni precedenti. Il contenuto medio in SiO_2 nelle rioliti equivale a 71.97 wt% mentre per le trachiti è 65.91 wt%. Gli alcali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) sono contenuti al 10.79 wt% nelle rioliti e 9.83 wt% nei punti a composizione trachitica (*Tabella 3.3*).

Il suo corrispettivo $\text{FeO}_{\text{tot}}-\text{Al}_2\text{O}_3$ (*Fig. 3.3.18b*) mostra che i punti, appartenenti al campo trachitico, subiscono un'ulteriore divisione: alcuni rientrano nel campo con chimismo della trachite pantelleritica e solo uno appartiene a quello della trachite comenditica; i restanti punti analisi, invece, sono rappresentati dalla composizione pantelleritica.

Tra gli elementi maggiori, FeO_{tot} e Al_2O_3 dimostrano di essere essenziali per la caratterizzazione di questi depositi: la percentuale media complessiva di tali ossidi riferiti alle analisi svolte sia a Bologna (B) che a Roma (R e RO, *Tabella 3.3*) è, rispettivamente:

- Campo trachitico (SEM-EDX): un unico punto analisi con 7.21 wt% (FeO_{tot}) e 13.22 wt% (Al_2O_3);
- Campo riolitico medio (SEM-EDX): 8.06 wt% (FeO_{tot}) e 8.28 wt% (Al_2O_3);
- Campo trachitico medio (EMPA): 6.70 wt% (FeO_{tot}) e 13.36 wt% (Al_2O_3);
- Campo riolitico medio (EMPA): 7.96 wt% (FeO_{tot}) e 7.59 wt% (Al_2O_3).

Per quanto concerne l'indice agpaítico (A.I.) esso assume valori di poco superiori a 1 per tutti i punti che ricadono nella composizione trachitica, mentre per le rioliti è pari a 1.78 (in media).

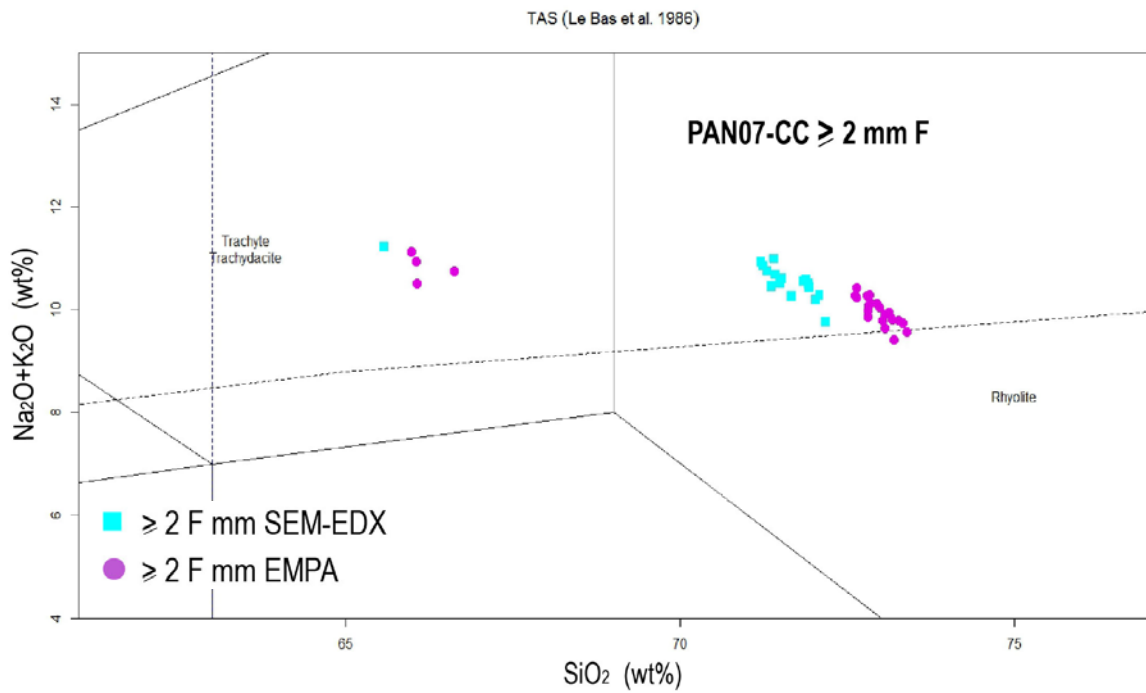


Figura 3.3.18a Diagramma TAS della frazione granulometrica ≥ 2 mm a tessitura fibrosa appartenente al campione PAN07-CC.

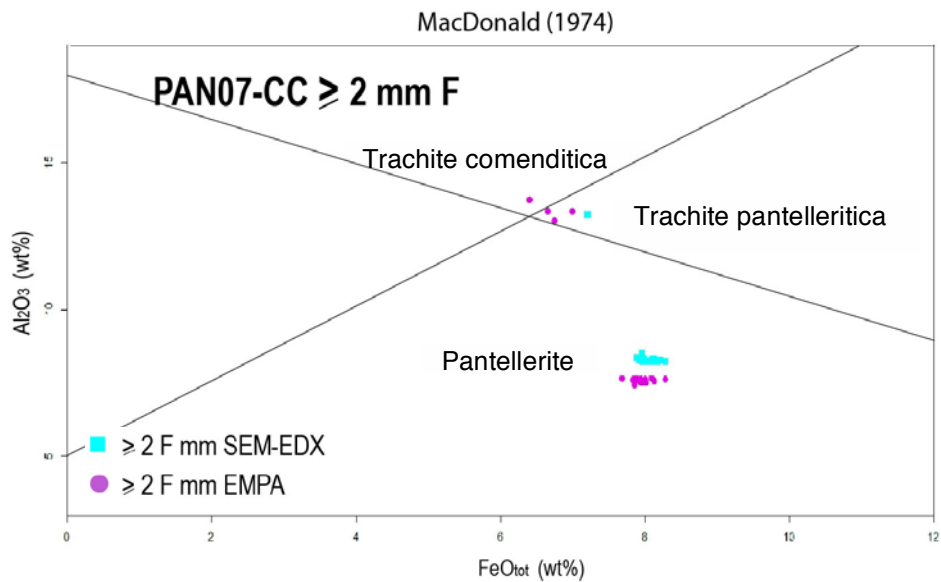


Figura 3.3.18b Diagramma $FeO_{tot}-Al_2O_3$ riferito alla frazione ≥ 2 mm a tessitura fibrosa (PAN07-CC).

Di seguito, verranno mostrati i diagrammi composizionali (*Total Alkali Vs silica* in Fig. 3.3.19 e FeO_{tot} Vs Al_2O_3 in Fig. 3.3.20) di tutte le analisi effettuate sul livello PAN07-CC, in modo da avere un quadro d'insieme sulle variazioni, se pur omogenee, dei campioni che lo compongono.

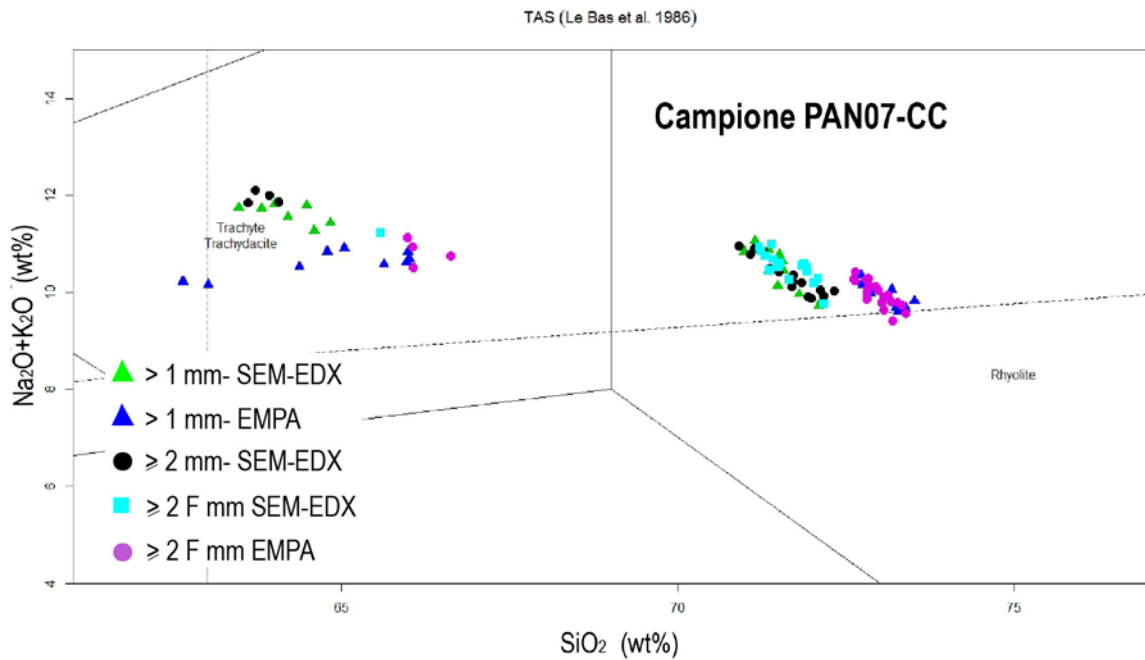


Figura 3.3.19 Diagramma TAS cumulativo delle frazioni granulometriche che compongono il campione PAN07-CC

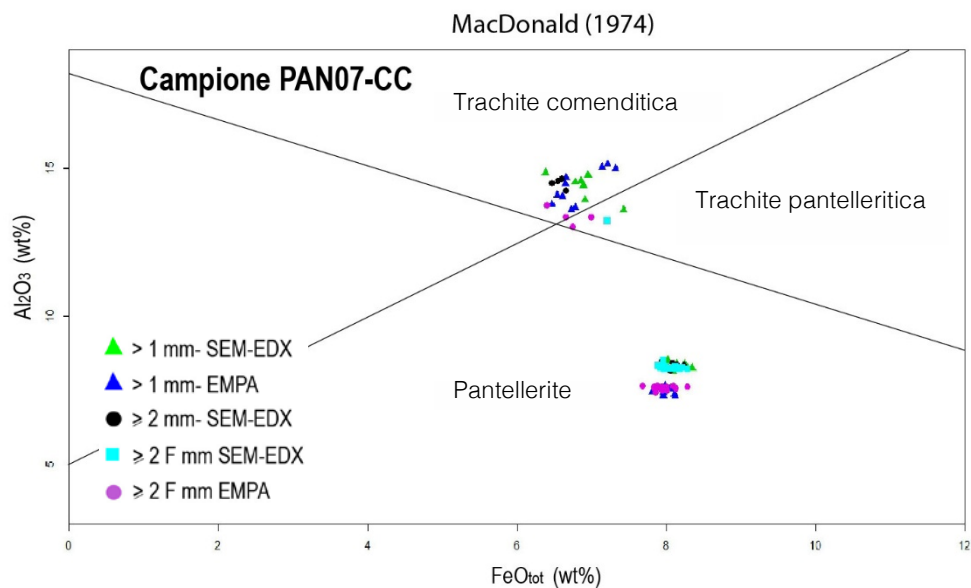


Figura 3.3.20 Diagramma FeO_{tot} - Al_2O_3 cumulativo del campione PAN07-CC

Dati composizionali Carota PAN05 (Tabella 3.2)

Campione	Profondità (cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{tot}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	F	Totale	Na ₂ O+K ₂ O	A.I.
PAN05-M9b		71.34	0.35	7.37	8.54	0.36	0.01	0.31	6.23	4.45	0.00	0.05	0.85	0.15	100.01	10.68	2.04
PAN05-M9c		71.40	0.31	7.23	8.67	0.30	0.02	0.39	6.04	4.35	0.03	0.00	0.88	0.39	100.01	10.39	2.03
PAN05-M9d		71.40	0.39	7.56	8.48	0.34	0.00	0.37	5.48	4.61	0.03	0.05	0.83	0.46	100	10.09	1.85
PAN05-M9e		71.48	0.32	7.46	8.25	0.34	0.07	0.44	6.08	4.38	0.03	0.03	0.87	0.24	99.99	10.46	1.98
PAN05-M9f		71.63	0.32	7.28	8.40	0.31	0.05	0.38	6.04	4.25	0.04	0.03	0.90	0.37	100	10.29	2.00
PAN05-M9g		71.63	0.29	7.37	8.28	0.36	0.05	0.38	6.12	4.27	0.02	0.08	0.88	0.28	100.01	10.39	1.99
PAN05-M9h		71.72	0.31	7.56	8.22	0.28	0.05	0.35	6.03	4.34	0.03	0.04	0.86	0.21	100	10.37	1.93
PAN05-M9i		71.76	0.37	7.62	8.17	0.34	0.06	0.30	5.86	4.28	0.04	0.02	0.85	0.33	100	10.14	1.87
PAN05-M9l		72.17	0.34	7.55	8.43	0.32	0.04	0.41	5.09	4.42	0.02	0.07	0.88	0.26	100	9.51	1.74
Media (30)	235-236	71.63	0.34	7.47	8.36	0.32	0.04	0.38	5.86	4.35	0.02	0.05	0.86	0.30	/	10.20	1.92
Dev. St. (2s)		0.90	0.08	0.24	0.44	0.09	0.04	0.07	0.65	0.24	0.04	0.05	0.07	0.23	/		
PAN05-N1a	372-373	71.17	0.32	7.45	8.46	0.31	0.05	0.43	6.04	4.29	0.00	0.10	0.97	0.42	100.01	10.33	1.96
PAN05-N1b		71.32	0.33	7.61	8.14	0.25	0.04	0.41	5.95	4.47	0.01	0.04	1.07	0.36	100	10.42	1.92
PAN05-N1c		71.61	0.32	7.22	8.41	0.31	0.06	0.39	5.82	4.35	0.00	0.07	1.03	0.40	99.99	10.17	1.98
PAN05-N2a		71.40	0.35	7.30	8.37	0.26	0.04	0.39	5.81	4.38	0.04	0.09	1.04	0.53	100	10.19	1.96
PAN05-N2b		71.60	0.38	7.47	8.19	0.32	0.04	0.46	5.86	4.39	0.00	0.05	0.98	0.25	99.99	10.25	1.93
PAN05-N3a		71.80	0.37	7.36	8.28	0.31	0.06	0.37	5.66	4.27	0.04	0.08	0.99	0.40	99.99	9.93	1.89
PAN05-N3b		72.07	0.34	7.28	8.26	0.31	0.02	0.39	5.78	4.18	0.00	0.06	0.96	0.35	100	9.96	1.93
PAN05-N4a		71.45	0.32	7.44	8.44	0.29	0.06	0.37	5.78	4.33	0.00	0.06	0.99	0.46	99.99	10.11	1.91
PAN05-N4b		71.46	0.33	7.38	8.74	0.28	0.08	0.42	5.71	4.30	0.02	0.07	1.02	0.20	100.01	10.01	1.90
PAN05-N5a		71.57	0.36	7.44	8.29	0.31	0.07	0.40	5.72	4.39	0.05	0.06	0.98	0.35	99.99	10.11	1.90
PAN05-N5b		71.67	0.36	7.30	8.45	0.26	0.03	0.39	5.48	4.32	0.04	0.20	1.00	0.51	100.01	9.80	1.88
PAN05-N5c		71.81	0.34	7.34	8.31	0.28	0.04	0.51	5.53	4.32	0.02	0.05	0.97	0.47	99.99	9.85	1.88
PAN05-N6		71.76	0.35	7.39	8.25	0.24	0.04	0.39	5.75	4.34	0.03	0.07	0.92	0.46	99.99	10.09	1.92
Media (13)	372-373	71.59	0.34	7.38	8.35	0.29	0.05	0.41	5.76	4.33	0.02	0.08	0.99	0.40	/	10.09	1.92
Dev. St. (2s)		0.48	0.04	0.20	0.31	0.05	0.03	0.08	0.30	0.14	0.04	0.08	0.08	0.19	/	/	/
PAN05-P-01	375-376	71.84	0.25	8.17	8.05	0.25	0.19	0.25	5.60	4.53	/	/	0.87	/	100	10.13	1.73
PAN05-P-02		72.55	0.04	8.24	7.90	0.14	0.14	0.15	5.41	4.52	/	/	0.87	/	100	9.93	1.76
PAN05-P-03		72.80	0.12	8.20	7.78	0.16	0.06	0.20	5.30	4.48	/	/	0.90	/	100	9.78	1.65
PAN05-P-04		72.11	0.15	8.03	8.06	0.18	0.15	0.19	5.72	4.59	/	/	0.81	/	99.99	10.31	1.79
PAN05-P-06		72.71	0.06	8.27	7.88	0.11	0.00	0.18	5.46	4.56	/	/	0.77	/	100	10.02	1.68
PAN05-P-07		71.93	0.18	8.32	8.13	0.07	0.08	0.17	5.77	4.52	/	/	0.83	/	100	10.29	1.73
PAN05-P-08		71.70	0.05	8.37	8.04	0.17	0.15	0.19	5.97	4.54	/	/	0.81	/	99.99	10.51	1.76
PAN05-P-09		72.22	0.15	8.12	7.96	0.24	0.16	0.14	5.69	4.46	/	/	0.88	/	100.02	10.15	1.75
PAN05-P-10		72.44	0.15	8.20	7.91	0.11	0.00	0.21	5.65	4.51	/	/	0.83	/	100.01	10.16	1.73
PAN05-P-11		72.77	0.14	8.12	8.10	0.23	0.00	0.13	5.20	4.46	/	/	0.83	/	99.98	9.66	1.65
PAN05-P-12		72.15	0.15	8.16	7.81	0.19	0.12	0.23	5.80	4.54	/	/	0.86	/	100.01	10.34	1.77

Dati composizionali Carota PAN05 (Tabella 3.2)

Campione	Profondità (cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{tot}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	F	Totale	Na ₂ O+K ₂ O	A.I.
PAN05-P-13		72.13	0.08	8.13	8.13	0.15	0.09	0.14	5.78	4.49	/	/	0.85	/	99.97	10.27	1.77
PAN05-P-14		72.56	0.10	8.20	7.93	0.11	0.00	0.18	5.71	4.42	/	/	0.80	/	100.01	10.13	1.73
PAN05-P-15		71.77	0.32	8.27	8.01	0.21	0.14	0.21	5.77	4.44	/	/	0.85	/	99.99	10.21	1.73
PAN05-P-16		72.34	0.10	8.12	8.07	0.14	0.12	0.20	5.57	4.50	/	/	0.82	/	99.98	10.07	1.73
PAN05-P-17		72.59	0.00	8.22	8.07	0.20	0.00	0.19	5.37	4.50	/	/	0.85	/	99.99	9.87	1.67
PAN05-P-18		71.45	0.21	8.37	8.09	0.26	0.19	0.21	5.88	4.46	/	/	0.88	/	100	10.34	1.73
Media (17)	375-376	72.24	0.13	8.21	8.00	0.17	0.09	0.19	5.63	4.50	/	/	0.84	/	/	10.13	1.72
Dev. St. (2s)		0.81	0.16	0.19	0.22	0.11	0.14	0.07	0.43	0.09	/	/	0.07	/	/	/	/
PAN05-O1a	379-381	71.54	0.40	7.27	8.31	0.39	0.07	0.37	5.92	4.45	0.02	0.05	0.96	0.26	100.01	10.37	2.00
PAN05-O1b		71.68	0.38	7.35	8.28	0.27	0.06	0.39	5.94	4.32	0.00	0.06	1.05	0.23	100.01	10.26	1.97
PAN05-O2a		71.41	0.33	7.24	8.37	0.27	0.06	0.35	6.02	4.39	0.03	0.08	0.96	0.48	99.99	10.41	2.02
PAN05-O2b		71.52	0.34	7.31	8.28	0.22	0.06	0.34	6.04	4.46	0.01	0.07	1.05	0.30	100	10.50	2.02
PAN05-O3		71.56	0.36	7.43	8.23	0.31	0.07	0.39	5.80	4.35	0.00	0.07	0.97	0.48	100.02	10.15	1.92
PAN05-O4a		70.75	0.65	15.42	1.66	0.08	0.12	1.12	6.66	3.43	0.05	0.00	0.02	0.04	100	10.09	0.95
PAN05-O4b		71.58	0.66	14.89	2.68	0.13	0.22	1.45	6.01	2.18	0.05	0.03	0.02	0.08	99.98	8.19	0.82
PAN05-O6a		71.45	0.33	7.36	8.45	0.35	0.05	0.41	5.99	4.44	0.02	0.10	0.98	0.07	100	10.43	1.99
PAN05-O6b		71.83	0.34	7.21	8.38	0.30	0.05	0.41	5.90	4.34	0.00	0.02	0.97	0.24	99.99	10.24	2.00
PAN05-O7a		71.38	0.38	7.38	8.29	0.10	0.05	0.43	6.02	4.38	0.02	0.11	1.00	0.24	99.98	10.40	1.98
PAN05-O7b		71.45	0.35	7.39	8.24	0.33	0.07	0.45	5.92	4.35	0.02	0.00	0.98	0.43	99.98	10.27	1.96
PAN05-O7c		72.33	0.33	7.45	7.90	0.27	0.04	0.33	5.84	4.21	0.01	0.06	0.90	0.33	100	10.05	1.90
Media 1 (10)	379-381	71.54	0.40	8.64	7.26	0.27	0.08	0.54	6.01	4.11	0.02	0.05	0.82	0.27	/	10.34	1.98
Dev. St. (2s)		0.72	0.24	0.24	4.78	0.18	0.10	0.72	0.44	1.34	0.03	0.07	0.75	0.30	/	/	/
Media 2 (2)		71.17	0.66	15.16	2.17	0.11	0.17	1.29	6.34	2.81	0.05	0.02	0.02	0.06	/	9.14	0.89
Dev. St. (2s)		1.17	0.01	0.75	1.44	0.07	0.14	0.47	0.92	1.77	0.00	0.04	0.00	0.06	/	/	/

Dati composizionali Carota PAN06 (Tabella 3.2)

Campione	Profondità (cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{tot}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	F	Totale	Na ₂ O+K ₂ O	A.I.
PAN06-F-19		71.74	0.16	8.57	8.17	0.20	0.14	0.20	5.69	4.42	/	/	0.71	/	100	10.11	1.65
PAN06-F-20		71.91	0.21	8.38	7.90	0.22	0.08	0.22	5.91	4.41	/	/	0.73	/	99.99	10.32	1.73
PAN06-F-21		72.18	0.12	8.22	7.73	0.13	0.05	0.13	6.10	4.49	/	/	0.74	/	100.01	10.59	1.81
PAN06-F-22		72.25	0.11	8.35	7.80	0.15	0.10	0.15	5.85	4.46	/	/	0.69	/	100.02	10.31	1.73
PAN06-F-23		71.74	0.09	8.32	7.96	0.17	0.27	0.17	5.84	4.53	/	/	0.82	/	99.99	10.37	1.74
Media (20)	191-192	71.84	0.15	8.28	8.01	0.19	0.11	0.23	5.97	4.46	/	/	0.76	/	/	10.43	1.77
Dev. St. (2s)		0.66	0.13	0.25	0.28	0.14	0.16	0.06	0.43	0.15	/	/	0.12	/	/	/	/
PAN06-A-01	197-198	71.61	0.10	8.31	8.19	0.20	0.07	0.24	6.15	4.39	/	/	0.75	/	100.01	10.54	1.79
PAN06-A-02		71.75	0.14	8.30	7.90	0.25	0.14	0.25	6.08	4.45	/	/	0.73	/	99.99	10.53	1.79
PAN06-A-03		72.11	0.08	8.19	8.24	0.24	0.09	0.16	5.70	4.48	/	/	0.71	/	100	10.18	1.74
PAN06-A-04		72.15	0.12	8.31	7.90	0.14	0.16	0.11	5.79	4.57	/	/	0.75	/	100	10.36	1.74
PAN06-A-05		71.45	0.24	8.33	8.19	0.26	0.16	0.23	5.83	4.56	/	/	0.77	/	100.02	10.39	1.74
PAN06-A-06		71.55	0.18	8.37	8.15	0.15	0.22	0.23	5.94	4.49	/	/	0.71	/	99.99	10.43	1.75
PAN06-A-07		71.38	0.23	8.58	8.12	0.20	0.14	0.21	5.97	4.41	/	/	0.76	/	100	10.38	1.70
PAN06-A-08		71.80	0.16	8.52	8.00	0.24	0.20	0.24	5.64	4.51	/	/	0.69	/	100	10.15	1.66
PAN06-A-09		71.76	0.20	8.64	7.94	0.18	0.13	0.20	5.85	4.41	/	/	0.69	/	100	10.26	1.67
PAN06-A-10		71.73	0.24	8.28	7.95	0.20	0.11	0.15	5.98	4.60	/	/	0.75	/	99.99	10.58	1.79
PAN06-A-11		71.17	0.12	8.29	7.88	0.22	0.21	0.20	6.80	4.39	/	/	0.72	/	100	11.19	1.92
PAN06-A-12		71.48	0.13	8.37	8.18	0.27	0.22	0.18	5.88	4.50	/	/	0.79	/	100	10.38	1.74
PAN06-A-13		71.58	0.19	8.33	8.08	0.23	0.17	0.24	6.00	4.41	/	/	0.76	/	99.99	10.41	1.76
PAN06-A-14		71.78	0.13	8.30	8.14	0.24	0.06	0.19	5.91	4.52	/	/	0.71	/	99.98	10.43	1.76
PAN06-A-15		71.98	0.24	8.35	8.09	0.21	0.00	0.15	5.83	4.46	/	/	0.69	/	100	10.29	1.73
PAN06-A-16		71.76	0.11	8.13	8.17	0.12	0.21	0.22	6.18	4.36	/	/	0.74	/	100	10.54	1.83
Media (16)	197-198	71.69	0.16	8.35	8.07	0.21	0.14	0.20	5.97	4.47	/	/	0.73	/	/	10.44	1.76
Dev. St. (2s)		0.52	0.11	0.26	0.24	0.09	0.13	0.08	0.53	0.14	/	/	0.06	/	/	/	/
PAN06-G1	252-253	71.46	0.39	7.37	8.18	0.29	0.05	0.46	5.88	4.47	0.03	0.05	0.34	1.01	99.98	10.35	1.97
PAN06-G1		71.92	0.34	7.49	8.30	0.29	0.07	0.37	5.52	4.27	0.02	0.06	0.34	1.02	100.01	9.79	1.83
PAN06-G2		71.25	0.39	7.31	8.44	0.33	0.08	0.40	5.92	4.48	0.00	0.04	0.36	1.03	100.03	10.40	2.00
PAN06-G2		71.74	0.30	7.30	8.07	0.34	0.05	0.39	5.96	4.28	0.03	0.07	0.38	0.89	100	10.44	2.01
PAN06-G3		71.71	0.35	7.16	8.37	0.31	0.05	0.37	5.96	4.26	0.01	0.09	0.35	1.00	99.99	10.22	2.01
PAN06-G3		71.78	0.30	7.31	8.15	0.31	0.04	0.40	5.87	4.38	0.04	0.09	0.33	1.00	100	10.25	1.97
PAN06-G4		71.00	0.37	7.47	8.34	0.31	0.12	0.64	5.88	4.39	0.03	0.06	0.41	0.98	100	10.27	1.93
PAN06-G4		71.23	0.35	7.63	8.53	0.34	0.05	0.39	5.75	4.35	0.01	0.08	0.27	1.02	100	10.10	1.86
PAN06-G5		71.77	0.34	7.23	8.45	0.29	0.02	0.37	5.76	4.40	0.00	0.05	0.41	0.91	100	10.16	1.97
PAN06-G5		71.80	0.36	7.20	8.33	0.21	0.05	0.40	5.90	4.29	0.03	0.05	0.36	1.01	99.99	10.19	1.99
PAN06-G6		71.47	0.29	7.35	8.37	0.34	0.05	0.38	5.97	4.32	0.04	0.03	0.41	0.98	100	10.29	1.97
PAN06-G6		71.77	0.34	7.39	8.34	0.28	0.07	0.37	5.78	4.33	0.00	0.03	0.29	1.01	100	10.11	1.92
PAN06-G6		71.85	0.36	7.37	8.06	0.29	0.07	0.38	5.89	4.29	0.00	0.06	0.38	0.99	100.01	10.18	1.95
PAN06-G7		71.80	0.32	7.26	8.39	0.28	0.04	0.40	5.77	4.38	0.00	0.00	0.37	1.04	100	10.15	1.96

Dati composizionali Carota PAN06 (Tabella 3.2)

Campione	Profondità (cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{tot}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	F	Totale	Na ₂ O+K ₂ O	A.I.
PAN06-G7		71.80	0.32	7.41	8.30	0.32	0.05	0.38	5.64	4.38	0.04	0.06	0.38	0.92	100	10.02	1.89
PAN06-G8		71.37	0.32	7.27	8.40	0.32	0.05	0.42	6.04	4.37	0.01	0.13	0.24	1.05	99.99	10.41	2.02
PAN06-G8		71.58	0.32	7.25	8.37	0.29	0.02	0.37	6.12	4.37	0.01	0.06	0.25	1.00	100.01	10.49	2.04
PAN06-G8		71.84	0.32	7.31	8.14	0.25	0.03	0.38	5.99	4.30	0.00	0.07	0.42	0.95	100	10.29	1.99
Media (18)	252-253	71.62	0.34	7.34	8.31	0.30	0.05	0.40	5.87	4.36	0.02	0.06	0.35	0.99	/	10.23	1.96
Dev. St. (2s)		0.52	0.06	0.23	0.27	0.07	0.05	0.13	0.29	0.14	0.03	0.06	0.11	0.09	/	/	/
PAN06-D-01	321-323	71.86	0.16	8.18	7.92	0.17	0.11	0.26	6.04	4.42	/	/	0.87	/	99.99	10.46	1.80
PAN06-D-03		71.98	0.13	8.05	8.05	0.21	0.14	0.21	5.82	4.50	/	/	0.93	/	100.02	10.32	1.79
PAN06-D-04		72.51	0.22	8.10	7.90	0.12	0.00	0.23	5.67	4.47	/	/	0.78	/	100	10.14	1.75
PAN06-D-05		72.10	0.13	8.10	7.90	0.25	0.12	0.29	5.92	4.38	/	/	0.83	/	100.02	10.30	1.79
PAN06-D-06		72.28	0.22	8.11	8.02	0.23	0.13	0.26	5.45	4.44	/	/	0.85	/	99.9	9.89	1.70
PAN06-D-07		72.11	0.18	8.13	7.93	0.33	0.00	0.31	5.63	4.53	/	/	0.85	/	100	10.16	1.74
PAN06-D-08		72.26	0.07	8.24	7.95	0.22	0.08	0.26	5.70	4.39	/	/	0.82	/	99.99	10.09	1.71
PAN06-D-09		71.95	0.23	8.19	7.91	0.27	0.17	0.23	5.73	4.49	/	/	0.85	/	100.02	10.22	1.74
PAN06-D-10		72.52	0.07	8.08	8.13	0.16	0.00	0.21	5.52	4.45	/	/	0.87	/	100.01	9.97	1.72
PAN06-D-11		71.89	0.33	8.21	8.01	0.20	0.21	0.30	5.62	4.38	/	/	0.84	/	99.99	10.00	1.70
PAN06-D-12		72.44	0.14	8.13	7.93	0.19	0.15	0.18	5.56	4.52	/	/	0.78	/	100.02	10.08	1.73
PAN06-D-13		72.00	0.17	8.24	7.69	0.31	0.24	0.26	5.77	4.47	/	/	0.83	/	99.98	10.24	1.74
PAN06-D-14		71.58	0.19	8.21	7.92	0.20	0.27	0.22	5.97	4.53	/	/	0.90	/	99.99	10.50	1.79
PAN06-D-15		72.24	0.11	8.02	8.07	0.17	0.06	0.16	5.85	4.45	/	/	0.86	/	99.99	10.30	1.80
PAN06-D-16		71.80	0.19	8.25	7.98	0.11	0.17	0.25	5.81	4.50	/	/	0.92	/	99.98	10.31	1.75
PAN06-D-17		71.72	0.13	8.19	7.93	0.21	0.05	0.25	6.28	4.34	/	/	0.90	/	100	10.62	1.84
PAN06-D-18		72.27	0.13	8.17	7.99	0.20	0.11	0.23	5.69	4.35	/	/	0.85	/	99.99	10.04	1.72
PAN06-D-19		72.23	0.09	8.13	7.91	0.14	0.00	0.22	6.02	4.46	/	/	0.81	/	100.01	10.48	1.81
PAN06-D-20		72.51	0.07	8.19	7.64	0.10	0.06	0.20	5.94	4.47	/	/	0.82	/	100	10.41	1.78
PAN06-D-21		71.90	0.13	8.14	8.21	0.22	0.00	0.21	5.92	4.43	/	/	0.84	/	100	10.35	1.79
PAN06-D-22		71.86	0.16	8.32	7.84	0.23	0.08	0.21	6.02	4.45	/	/	0.84	/	100.01	10.47	1.77
PAN06-D-23		72.25	0.13	8.14	7.69	0.24	0.08	0.24	5.90	4.49	/	/	0.84	/	100	10.39	1.79
PAN06-D-24		72.16	0.11	8.31	7.74	0.00	0.12	0.19	5.98	4.52	/	/	0.87	/	100	10.50	1.77
PAN06-D-25		72.33	0.08	7.95	8.11	0.13	0.00	0.26	5.77	4.48	/	/	0.87	/	99.98	10.25	1.80
PAN06-D-26		72.65	0.11	8.24	7.90	0.19	0.09	0.14	5.25	4.55	/	/	0.88	/	100	9.80	1.65
PAN06-D-27		72.38	0.00	8.10	8.00	0.11	0.00	0.17	5.87	4.49	/	/	0.88	/	100	10.36	1.79
Media (26)	321-323	72.15	0.14	8.16	7.93	0.19	0.09	0.23	5.80	4.46	/	/	0.85	/	/	10.26	1.76
Dev. St. (2s)		0.55	0.13	0.17	0.27	0.14	0.16	0.08	0.43	0.11	/	/	0.07	/	/	/	/
PAN06-B-01	327-329	71.98	0.13	8.19	7.94	0.17	0.22	0.23	5.84	4.48	/	/	0.82	/	100	10.32	1.77
PAN06-B-02		71.75	0.19	8.36	7.77	0.17	0.24	0.33	5.90	4.49	/	/	0.79	/	99.99	10.39	1.74
PAN06-B-03		71.92	0.18	8.12	7.99	0.26	0.17	0.29	5.81	4.45	/	/	0.81	/	100	10.26	1.77
PAN06-B-04		72.40	0.00	8.24	7.80	0.05	0.10	0.19	6.06	4.38	/	/	0.78	/	100	10.44	1.79
PAN06-B-05		71.55	0.19	8.27	7.89	0.24	0.22	0.22	6.17	4.41	/	/	0.84	/	100	10.58	1.80

Dati composizionali Carota PAN06 (Tabella 3.2)

Campione	Profondità (cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{tot}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	F	Totale	Na ₂ O+K ₂ O	A.l.
PAN06-B-06	327-329	72.28	0.15	8.15	8.00	0.13	0.05	0.19	5.79	4.50	/	/	0.75	/	99.99	10.29	1.77
PAN06-B-07		71.85	0.15	8.19	7.78	0.21	0.20	0.31	5.98	4.45	/	/	0.88	/	100	10.43	1.79
PAN06-B-08		72.43	0.07	8.04	7.91	0.11	0.10	0.22	5.93	4.45	/	/	0.74	/	100	10.38	1.81
PAN06-B-09		71.86	0.15	8.21	8.03	0.17	0.12	0.24	5.95	4.47	/	/	0.80	/	100	10.42	1.78
PAN06-B-10		71.63	0.26	8.66	7.78	0.19	0.11	0.28	5.95	4.34	/	/	0.80	/	100	10.29	1.67
PAN06-B-11		72.57	0.17	8.05	7.73	0.23	0.00	0.20	5.92	4.37	/	/	0.77	/	100.01	10.29	1.80
PAN06-B-13		72.58	0.07	8.15	7.83	0.26	0.08	0.16	5.72	4.36	/	/	0.80	/	100.01	10.08	1.73
PAN06-B-14		72.48	0.09	8.51	7.35	0.12	0.23	0.31	5.58	4.52	/	/	0.80	/	99.99	10.10	1.65
PAN06-B-15		72.64	0.20	8.38	7.36	0.20	0.31	0.27	5.28	4.54	/	/	0.81	/	99.99	9.82	1.62
PAN06-B-16		72.02	0.11	8.24	7.91	0.21	0.08	0.25	5.90	4.45	/	/	0.82	/	99.99	10.35	1.76
PAN06-B-17		72.41	0.10	8.00	7.96	0.15	0.07	0.20	5.85	4.48	/	/	0.77	/	99.99	10.33	1.81
PAN06-B-18		72.04	0.19	8.17	7.88	0.21	0.15	0.19	5.99	4.38	/	/	0.79	/	99.99	10.37	1.79
PAN06-B-19		72.50	0.20	8.21	7.79	0.15	0.20	0.25	5.50	4.38	/	/	0.82	/	100	9.88	1.68
PAN06-B-20		71.98	0.23	8.27	7.82	0.19	0.21	0.27	5.76	4.43	/	/	0.84	/	100	10.19	1.73
PAN06-B-21		72.41	0.15	8.19	7.95	0.11	0.10	0.19	5.60	4.48	/	/	0.80	/	99.98	10.08	1.72
PAN06-B-22		72.13	0.13	8.39	7.57	0.21	0.17	0.23	5.75	4.57	/	/	0.86	/	100.01	10.32	1.72
PAN06-B-23		71.93	0.20	8.24	7.93	0.15	0.17	0.23	5.80	4.54	/	/	0.81	/	100	10.34	1.75
PAN06-B-24		72.40	0.10	8.09	8.08	0.17	0.00	0.21	5.80	4.38	/	/	0.78	/	100.01	10.18	1.77
PAN06-B-25		72.32	0.11	8.16	7.78	0.25	0.12	0.20	5.77	4.47	/	/	0.81	/	99.99	10.24	1.76
Media (24)	327-329	72.17	0.15	8.23	7.83	0.18	0.14	0.24	5.82	4.45	/	/	0.80	/	/	10.27	1.75
Dev. St. (2s)		0.64	0.12	0.30	0.37	0.11	0.16	0.09	0.38	0.13	/	/	0.06	/	/	/	/
PAN06-E1	332-334	71.74	0.34	7.30	8.23	0.33	0.01	0.37	5.92	4.36	0.02	0.09	0.31	0.99	100.01	10.28	1.98
PAN06-E1		71.81	0.36	7.44	8.22	0.28	0.04	0.35	5.75	4.32	0.03	0.09	0.36	0.95	100	10.07	1.90
PAN06-E1		71.85	0.37	7.31	8.58	0.24	0.06	0.34	5.76	4.26	0.02	0.01	0.23	0.97	100	10.02	1.93
PAN06-E2		71.54	0.39	7.30	8.20	0.31	0.05	0.38	5.94	4.56	0.00	0.04	0.27	1.02	100	10.50	2.02
PAN06-E2		71.76	0.35	7.60	8.10	0.28	0.04	0.36	5.75	4.35	0.04	0.06	0.30	1.00	99.99	10.10	1.86
PAN06-E2		72.03	0.35	7.30	8.11	0.29	0.06	0.38	5.73	4.36	0.05	0.04	0.35	0.94	99.99	10.09	1.94
PAN06-E3		71.43	0.36	7.34	8.34	0.37	0.04	0.42	6.05	4.43	0.03	0.07	0.22	0.91	100.01	10.48	2.01
PAN06-E3		71.73	0.34	7.34	8.10	0.27	0.06	0.36	6.02	4.35	0.03	0.09	0.32	0.98	99.99	10.37	1.99
PAN06-E3		71.83	0.39	7.32	8.23	0.29	0.06	0.35	5.90	4.23	0.02	0.06	0.31	0.99	99.98	10.13	1.95
PAN06-E4		70.85	0.34	8.06	8.34	0.24	0.11	0.42	5.82	4.28	0.00	0.17	0.30	1.07	100	10.10	1.76
PAN06-E4		71.51	0.35	7.46	8.23	0.33	0.07	0.36	5.87	4.45	0.02	0.00	0.36	0.98	99.99	10.32	1.94
PAN06-E4		71.76	0.35	7.33	8.31	0.30	0.04	0.39	5.84	4.35	0.00	0.04	0.27	1.02	100	10.19	1.95
PAN06-E5		71.42	0.36	7.67	8.22	0.30	0.06	0.40	5.89	4.39	0.06	0.02	0.26	0.95	100	10.28	1.88
PAN06-E5		71.73	0.38	7.43	8.16	0.32	0.07	0.37	6.02	4.20	0.03	0.06	0.23	1.00	100	10.22	1.95
PAN06-E6		71.34	0.38	7.38	8.30	0.28	0.04	0.38	5.90	4.50	0.04	0.04	0.42	0.98	99.98	10.40	1.98

Dati composizionali Carota PAN06 (Tabella 3.2)

Campione	Profondità (cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{tot}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	F	Totale	Na ₂ O+K ₂ O	A.I.
PAN06-E6		71.50	0.34	7.41	8.30	0.25	0.04	0.40	5.94	4.48	0.03	0.02	0.33	0.95	99.99	10.42	1.97
PAN06-E6		71.61	0.28	7.40	8.19	0.29	0.02	0.42	5.92	4.47	0.02	0.03	0.43	0.92	100	10.39	1.97
PAN06-E6		71.85	0.34	7.41	8.37	0.23	0.03	0.43	5.62	4.28	0.02	0.05	0.38	0.99	100	9.90	1.87
Media (18)	332-334	71.63	0.35	7.43	8.25	0.29	0.05	0.38	5.87	4.37	0.03	0.05	0.31	0.98	/	10.24	1.94
Dev. St. (2s)		0.53	0.05	0.37	0.23	0.07	0.04	0.06	0.23	0.20	0.03	0.08	0.12	0.08	/	/	/

Dati composizionali Carota PAN07 (Tabella 3.2)

Campione	Profondità (cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{tot}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	F	Totale	Na ₂ O+K ₂ O	A.I.
PAN07-J-03	180-181	72.24	0.07	8.71	7.90	0.10	0.11	0.39	5.26	4.39	/	/	0.84	/	100.01	9.65	1.54
PAN07-J-04		72.06	0.00	8.28	7.94	0.00	0.16	0.24	6.15	4.31	/	/	0.85	/	99.99	10.46	1.79
PAN07-J-05		71.71	0.05	8.30	8.12	0.08	0.14	0.22	6.12	4.44	/	/	0.82	/	100	10.56	1.79
PAN07-J-07		72.42	0.11	8.28	7.94	0.18	0.09	0.28	5.41	4.47	/	/	0.83	/	100.01	9.88	1.66
PAN07-J-08		71.22	0.19	8.04	7.99	0.19	0.25	0.24	6.60	4.35	/	/	0.93	/	100	10.95	1.94
PAN07-J-09		71.90	0.15	8.04	8.16	0.21	0.12	0.21	5.88	4.42	/	/	0.88	/	99.97	10.30	1.80
PAN07-J-10		72.11	0.16	8.19	7.99	0.21	0.06	0.23	5.65	4.51	/	/	0.89	/	100	10.16	1.73
PAN07-J-11		71.73	0.14	8.28	7.96	0.27	0.14	0.22	5.98	4.40	/	/	0.88	/	100	10.38	1.76
PAN07-J-12		72.32	0.11	8.08	8.13	0.18	0.06	0.21	5.69	4.34	/	/	0.88	/	100	10.03	1.74
Media (9)	180-181	71.97	0.11	8.24	8.01	0.16	0.13	0.25	5.86	4.40	/	/	0.87	/	/	10.26	1.75
Dev. St. (2s)		0.75	0.12	0.41	0.19	0.16	0.12	0.11	0.82	0.13	/	/	0.07	/	/	/	/
PAN07-K1a	185-186	71.15	0.37	7.13	8.49	0.26	0.03	0.38	6.23	4.43	0.00	0.08	0.46	0.98	99.99	10.66	2.11
PAN07-K1b		71.65	0.36	7.38	8.15	0.29	0.05	0.44	5.94	4.44	0.00	0.08	0.20	1.01	99.99	10.38	1.98
PAN07-K1c		71.83	0.38	7.29	8.14	0.31	0.06	0.39	5.93	4.46	0.04	0.03	0.16	0.97	99.99	10.39	2.00
PAN07-K2a		71.17	0.35	8.35	8.04	0.23	0.06	0.48	5.71	4.14	0.02	0.10	0.24	1.11	100	9.85	1.66
PAN07-K2b		72.12	0.35	7.65	8.24	0.31	0.05	0.37	5.35	4.31	0.00	0.04	0.21	0.98	99.98	9.66	1.76
PAN07-K2c		72.22	0.38	7.22	8.13	0.27	0.04	0.34	5.88	4.25	0.04	0.09	0.17	0.97	100	10.13	1.98
Media (6)	185-186	71.69	0.37	7.50	8.20	0.28	0.05	0.40	5.84	4.34	0.02	0.07	0.24	1.00	/	10.18	1.91
Dev. St. (2s)		0.92	0.03	0.90	0.31	0.06	0.02	0.10	0.59	0.26	0.04	0.06	0.22	0.11	/	/	/

Tabella 3.2 Tabelle composizionali riferite ai livelli vulcanogenici campionati nelle carote PAN05, PAN06 e PAN07.

Dati composizionali Campione PAN07-CC (*Tabella 3.3*)

Campione	Granulometria	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{tot}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	F	Totale	Na ₂ O+K ₂ O	A.I.	
pant1x01B	1 mm (SEM-EDX)	70.63	0.35	8.38	7.95	0.26	0.41	0.24	6.27	4.50	/	/	1.03	/	100.02	10.77	1.81	
pant1x02B		70.74	0.33	8.27	8.02	0.24	0.40	0.27	6.18	4.48	/	/	1.06	/	99.99	10.66	1.82	
pant1x03B		70.71	0.41	8.25	8.35	0.35	0.51	0.32	5.65	4.37	4.37	/	1.08	/	100	10.02	1.70	
pant1x04B		70.78	0.32	8.26	8.11	0.22	0.45	0.25	6.02	4.51	4.51	/	1.07	/	99.99	10.53	1.79	
pant1x05B		71.33	0.45	8.40	8.14	0.31	0.38	0.30	5.23	4.40	4.40	/	1.06	/	100	9.63	1.59	
pant1x06B		63.94	0.73	14.52	6.78	0.18	0.79	1.16	7.06	4.75	4.75	/	1.11	/	99.99	11.81	1.15	
pant1x07B		63.40	0.76	14.76	6.95	0.23	0.78	1.29	6.97	4.76	4.76	/	1.08	/	99.98	11.73	1.13	
pant1x08B		64.51	0.67	14.41	6.89	0.12	0.69	1.33	6.64	4.62	4.62	/	1.11	/	99.99	11.26	1.11	
pant1x12B		64.35	0.73	13.92	6.91	0.24	0.75	1.14	7.01	4.76	4.76	/	1.09	/	100	11.77	1.20	
pant1x13B		70.58	0.39	8.40	8.25	0.29	0.38	0.29	6.01	4.33	4.33	/	1.06	/	99.98	10.34	1.74	
pant1x14B		70.22	0.40	8.39	7.94	0.37	0.52	0.35	6.34	4.39	4.39	/	1.08	/	100	10.73	1.81	
pant1x15B		70.79	0.36	8.32	8.01	0.35	0.44	0.31	5.93	4.40	4.40	/	1.10	/	100.01	10.33	1.75	
pant1x16B		71.10	0.43	8.51	8.02	0.31	0.46	0.33	5.37	4.49	4.49	/	0.98	/	100	9.86	1.61	
pant1x17B		64.73	0.68	13.58	7.43	0.21	0.60	1.20	6.76	4.66	4.66	/	1.16	/	100.01	11.42	1.19	
pant1x19B		64.13	0.67	14.84	6.38	0.21	0.88	1.25	6.84	4.70	4.70	/	1.01	/	100	11.54	1.10	
pant1x20B		63.72	0.72	14.56	6.86	0.24	0.85	1.21	6.82	4.89	4.89	/	1.12	/	99.99	11.71	1.13	
pant1x21B		70.39	0.30	8.14	8.09	0.27	0.46	0.35	6.48	4.46	4.46	/	1.07	/	100.01	10.94	1.90	
Media Riol. (10)			70.73	0.37	8.33	8.09	0.30	0.44	0.30	5.95	4.43	/	/	1.06	/	/	10.38	1.75
Dev. St. (2s, Riol.)			0.64	0.10	0.10	0.26	0.08	0.10	0.08	0.83	0.13	/	/	0.07	/	/	/	/
Media Trac. (7)			64.11	0.71	14.37	6.89	0.20	0.76	1.23	6.87	4.73	/	/	0.12	/	/	11.61	1.14
Dev. St. (2s, Trac.)		1.01	0.07	0.90	0.46	0.09	0.18	0.15	0.33	0.19	/	/	0.09	/	/	/	/	
pant1x01R	1 mm (EMPA)	72.32	0.46	7.41	7.96	0.34	0.08	0.36	5.39	4.15	0.08	0.12	1.10	0.22	100	9.54	1.80	
pant1x02R		71.92	0.39	7.31	7.96	0.38	0.07	0.34	5.58	4.30	0.03	0.11	1.15	0.48	100	9.88	1.89	
pant1x03R		71.65	0.41	7.32	8.12	0.34	0.12	0.35	5.92	4.28	0.01	0.12	1.15	0.21	100	10.20	1.96	
pant1x04R		71.77	0.44	7.37	8.11	0.36	0.11	0.44	5.81	4.25	0.00	0.08	1.07	0.19	100	10.06	1.92	
pant1x05R		65.74	0.87	13.76	6.47	0.26	0.43	1.20	6.13	4.67	0.10	0.08	1.16	0.14	100	10.80	1.10	
Pant1x01RO		64.65	0.93	14.46	6.65	0.23	0.43	1.41	6.16	4.66	0.22	0.10	1.09	0.00	100	10.82	1.05	
Pant1x02RO		65.34	0.85	14.09	6.54	0.25	0.46	1.38	5.95	4.58	0.13	0.13	1.15	0.19	100	10.53	1.08	
Pant1x03RO		65.74	0.81	13.66	6.78	0.28	0.36	1.35	5.97	4.61	0.11	0.15	1.15	0.00	100	10.58	1.10	
Pant1x04RO		65.74	0.81	13.58	6.73	0.23	0.42	1.28	5.97	4.68	0.16	0.13	1.18	0.07	100	10.66	1.09	
Pant1x05RO		64.71	0.84	14.04	6.61	0.23	0.47	1.54	6.25	4.61	0.20	0.18	1.17	0.16	100	10.85	0.97	
Pant1x06RO		62.41	1.01	14.98	7.32	0.32	0.72	2.38	6.12	4.05	0.35	0.12	1.08	0.12	100	10.18	0.96	
Pant1x07RO		62.51	1.01	15.12	7.21	0.33	0.74	2.33	6.20	3.99	0.35	0.10	1.09	0.02	100	10.19	0.96	
Pant1x08RO	62.85	0.96	15.02	7.14	0.32	0.68	2.33	6.09	4.05	0.32	0.14	1.12	0.00	100	10.13	1.01		
Pant1x09RO	64.08	0.97	14.67	6.66	0.25	0.57	1.62	6.12	4.36	0.26	0.15	1.09	0.18	100	10.48	1.75		
Pant1x10RO	72.13	0.47	7.54	8.05	0.29	0.11	0.38	5.24	4.21	0.02	0.12	1.09	0.35	100	9.45	1.81		
Pant1x11RO	71.90	0.50	7.61	7.98	0.35	0.07	0.36	5.51	4.34	0.05	0.08	1.06	0.18	100	9.85	1.84		
Pant1x12RO	71.67	0.49	7.65	7.98	0.27	0.09	0.36	5.75	4.25	0.01	0.13	1.11	0.24	100	10.00	1.77		

Dati composizionali Campione PAN07-CC (Tabella 3.3)

Campione	Granulometria	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{tot}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	F	Totale	Na ₂ O+K ₂ O	A.I.
Pant1x13RO		72.10	0.50	7.54	7.96	0.32	0.10	0.32	5.38	4.16	0.06	0.15	1.09	0.32	100	9.54	1.77
Pant1x14RO		72.45	0.35	7.45	7.81	0.34	0.09	0.36	5.41	4.27	0.02	0.10	1.14	0.21	100	9.68	1.82
Media Riol. (9)		71.99	0.44	7.47	7.99	0.33	0.09	0.36	5.55	4.25	0.03	0.11	1.11	0.11	/	9.80	1.84
Dev. St. (2s, Riol.)		0.58	0.13	0.16	0.18	0.06	0.02	0.04	0.38	0.13	0.05	0.05	0.06	0.05	/	/	/
Media Trac. (10)		64.38	0.91	14.34	6.81	0.27	0.53	1.68	6.09	4.43	0.22	0.13	0.09	0.13	/	10.52	1.04
Dev. St. (2s, Trac.)		2.71	0.16	1.17	0.60	0.28	0.28	0.95	0.20	0.58	0.19	0.06	0.16	0.06	/	/	/
pant2x01B	2 mm	63.52	0.85	14.64	6.60	0.26	0.86	1.32	6.93	4.90	/	/	0.11	/	99.99	11.83	1.14
pant2x02B	(SEM-EDX)	70.33	0.42	8.30	8.22	0.26	0.46	0.29	6.41	4.27	/	/	1.05	/	100.01	10.68	1.83
pant2x03B		63.99	0.82	14.24	6.66	0.31	0.78	1.24	7.11	4.74	/	/	0.11	/	100	11.85	1.18
pant2x05B		70.68	0.41	8.25	8.02	0.42	0.42	0.35	5.87	4.43	/	/	1.14	/	99.99	10.30	1.75
pant2x06B		70.13	0.45	8.26	8.15	0.27	0.47	0.34	6.44	4.39	/	/	1.10	/	100	10.83	1.86
pant2x07B		70.97	0.37	8.37	8.14	0.24	0.50	0.27	5.67	4.44	/	/	1.01	/	99.98	10.11	1.69
pant2x09B		71.44	0.32	8.31	8.23	0.33	0.26	0.29	5.46	4.36	/	/	1.00	/	100	9.82	1.65
pant2x10B		70.51	0.39	8.20	8.03	0.36	0.41	0.30	6.32	4.40	/	/	1.08	/	100	10.72	1.85
pant2x11B		70.61	0.39	8.30	8.25	0.30	0.44	0.27	5.90	4.48	/	/	1.06	/	100	10.38	1.75
pant2x12B		71.21	0.42	8.36	8.12	0.34	0.38	0.32	5.39	4.38	/	/	1.08	/	100	9.77	1.63
pant2x13B		70.96	0.36	8.28	8.09	0.29	0.42	0.30	5.73	4.52	/	/	1.06	/	100.01	10.25	1.73
pant2x14B		71.58	0.24	8.49	7.94	0.14	0.38	0.28	5.51	4.41	/	/	1.01	/	99.98	9.92	1.63
pant2x15B		70.96	0.48	8.40	8.09	0.33	0.39	0.32	5.38	4.63	/	/	1.02	/	100	10.01	1.65
pant2x16B		63.85	0.85	14.49	6.47	0.19	0.79	1.27	7.24	4.75	/	/	0.09	/	99.99	11.99	1.18
pant2x17B		63.66	0.83	14.57	6.55	0.20	0.73	1.29	7.32	4.77	/	/	0.08	/	100	12.09	1.18
pant2x18B		70.33	0.37	8.19	8.06	0.39	0.39	0.35	6.37	4.41	/	/	1.13	/	99.99	10.78	1.86
pant2x19B		71.20	0.39	8.35	8.24	0.31	0.38	0.30	5.28	4.53	/	/	1.01	/	99.99	9.81	1.63
pant2x20B		71.15	0.32	8.43	8.08	0.28	0.43	0.25	5.64	4.47	/	/	0.96	/	100.01	10.11	1.67
pant2x21B		71.40	0.41	8.34	7.91	0.37	0.36	0.28	5.46	4.48	/	/	1.00	/	100.01	9.94	1.66
Media Riol. (15)		70.90	0.38	8.32	8.10	0.31	0.41	0.30	5.79	4.44	/	/	1.05	/	/	10.25	1.72
Dev. St. (2s, Riol.)		0.89	0.12	0.16	0.21	0.14	0.11	0.06	0.82	0.17	/	/	0.10	/	/	/	/
Media Trac. (4)		63.76	0.84	14.49	6.57	0.24	0.79	1.28	7.15	4.79	/	/	0.10	/	/	11.94	1.17
Dev. St. (2s, Trac.)		0.41	0.03	0.35	0.16	0.11	0.11	0.07	0.34	0.15	/	/	0.03	/	/	/	/
pant2fx01R	2 mm F	71.68	0.44	7.59	8.13	0.31	0.09	0.33	5.91	4.19	0.02	0.07	1.06	0.18	100	10.10	1.88
pant2fx02R	(EMPA)	71.78	0.45	7.43	7.86	0.38	0.15	0.33	5.84	4.29	0.04	0.14	1.14	0.19	100	10.13	1.92
pant2fx03R		71.73	0.43	7.51	7.95	0.32	0.11	0.32	5.84	4.28	0.05	0.15	1.12	0.19	100	10.13	1.90
pant2fx04R		71.68	0.48	7.56	7.98	0.29	0.09	0.30	6.00	4.28	0.03	0.11	1.06	0.14	100	10.28	1.92
pant2fx05R		71.70	0.49	7.51	8.01	0.32	0.10	0.39	5.63	4.30	0.01	0.16	1.09	0.30	100	9.93	1.85
pant2fx06R		72.13	0.47	7.64	8.28	0.25	0.14	0.35	5.06	4.22	0.00	0.12	1.10	0.23	100	9.29	1.69
pant2fx07R		66.31	0.84	13.03	6.75	0.25	0.41	1.10	6.03	4.67	0.14	0.09	0.27	0.12	100	10.70	1.15
pant2fx08R		65.81	0.81	13.35	6.99	0.28	0.39	1.28	5.91	4.56	0.24	0.10	0.20	0.07	100	10.48	1.10

Dati composizionali Campione PAN07-CC (Tabella 3.3)

Campione	Granulometria	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{tot}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	F	Totale	Na ₂ O+K ₂ O	A.I.
pant2fx09R		65.79	0.81	13.35	6.66	0.32	0.39	1.22	6.28	4.61	0.18	0.14	0.20	0.06	100	10.89	1.15
pant2fx10R		65.73	0.77	13.73	6.40	0.20	0.33	1.23	6.47	4.61	0.15	0.16	0.18	0.04	100	11.08	1.14
Pant2fx01RO		72.23	0.39	7.62	7.95	0.28	0.11	0.34	5.53	4.15	0.12	0.00	1.11	0.17	100	9.67	1.78
Pant2fx02RO		71.89	0.45	7.66	8.09	0.34	0.10	0.37	5.34	4.39	0.11	0.01	1.09	0.14	100	9.74	1.77
Pant2fx03RO		71.64	0.48	7.62	8.00	0.30	0.08	0.36	5.79	4.35	0.04	0.01	1.07	0.26	100	10.14	1.87
Pant2fx04RO		71.74	0.45	7.55	8.13	0.26	0.11	0.36	5.50	4.33	0.11	0.01	1.05	0.41	100	9.83	1.82
Pant2fx05RO		72.40	0.45	7.65	7.88	0.33	0.09	0.34	5.23	4.21	0.08	0.00	1.08	0.26	100	9.44	1.72
Pant2fx06RO		72.41	0.43	7.62	7.84	0.31	0.07	0.32	5.34	4.27	0.14	0.01	1.05	0.19	100	9.61	1.76
Pant2fx07RO		71.93	0.42	7.54	7.93	0.23	0.11	0.37	5.64	4.33	0.11	0.00	1.09	0.29	100	9.97	1.85
Pant2fx08RO		71.96	0.44	7.61	7.90	0.33	0.09	0.34	5.62	4.39	0.10	0.03	1.07	0.12	100	10.01	1.84
Pant2fx09RO		72.00	0.40	7.66	7.87	0.31	0.08	0.33	5.51	4.40	0.11	0.01	1.05	0.25	100	9.91	1.81
Pant2fx10RO		72.07	0.45	7.56	7.96	0.28	0.06	0.39	5.51	4.26	0.11	0.00	1.02	0.33	100	9.78	1.81
Pant2fx11RO		72.15	0.49	7.56	7.99	0.34	0.12	0.47	5.23	4.28	0.13	0.02	1.08	0.15	100	9.52	1.75
Pant2fx12RO		72.26	0.45	7.57	7.84	0.29	0.10	0.37	5.41	4.24	0.09	0.04	1.05	0.27	100	9.65	1.78
Pant2fx13RO		72.17	0.52	7.65	7.68	0.29	0.10	0.36	5.44	4.37	0.12	0.08	1.03	0.17	100	9.81	1.79
Pant2fx14RO		71.92	0.49	7.62	7.94	0.29	0.09	0.35	5.41	4.24	0.14	0.07	1.11	0.32	100	9.65	1.77
Media Riol. (20)		71.97	0.45	7.59	7.96	0.30	0.10	0.35	5.54	4.29	0.08	0.05	1.08	0.05	/	9.83	1.81
Dev. St. (2s, Riol.)		0.25	0.03	0.06	0.13	0.03	0.02	0.04	0.25	0.07	0.05	0.06	0.03	0.06	/	/	/
Media Trac. (4)		65.91	0.81	13.36	6.70	0.26	0.38	1.21	6.17	4.61	0.18	0.12	0.21	0.12	/	10.79	1.13
Dev. St. (2s, Trac.)		0.27	0.03	0.28	0.24	0.05	0.03	0.07	0.25	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	/	/	/
pant2fx01B	2 mm F	70.66	0.31	8.22	8.29	0.24	0.36	0.29	6.08	4.49	/	/	1.06	/	100	10.57	1.81
pant2fx03B	(SEM-EDX)	70.75	0.41	8.34	7.89	0.32	0.55	0.29	5.88	4.53	/	/	1.02	/	99.98	10.41	1.75
pant2fx04B		70.92	0.45	8.50	7.96	0.29	0.39	0.30	5.73	4.42	/	/	1.05	/	100.01	10.15	1.67
pant2fx05B		70.49	0.45	8.26	7.93	0.28	0.42	0.38	6.29	4.45	/	/	1.05	/	100	10.74	1.84
pant2fx06B		71.10	0.30	8.31	8.12	0.12	0.37	0.20	6.02	4.42	/	/	1.04	/	100	10.44	1.77
pant2fx07B		70.75	0.32	8.23	8.13	0.29	0.41	0.31	6.06	4.43	/	/	1.07	/	100	10.49	1.79
pant2fx08B		71.18	0.33	8.23	8.19	0.29	0.15	0.21	5.91	4.48	/	/	1.03	/	100	10.39	1.77
pant2fx09B		71.15	0.33	8.23	8.05	0.22	0.24	0.29	5.94	4.54	/	/	1.00	/	99.99	10.48	1.78
pant2fx10B		65.36	0.68	13.22	7.21	0.31	0.64	1.07	6.56	4.63	/	/	0.32	/	100	11.19	1.20
pant2fx13B		70.56	0.38	8.31	8.13	0.31	0.32	0.32	6.10	4.54	/	/	1.03	/	100	10.64	1.80
pant2fx14B		71.30	0.30	8.32	7.98	0.24	0.45	0.31	5.78	4.31	/	/	1.02	/	100.01	10.09	1.70
pant2fx15B		71.36	0.31	8.31	7.95	0.23	0.40	0.27	5.68	4.49	/	/	1.01	/	100.01	10.17	1.71
pant2fx16B		70.53	0.40	8.32	7.99	0.47	0.45	0.35	5.71	4.62	/	/	1.16	/	100	10.33	1.73
pant2fx17B		71.19	0.31	8.27	8.11	0.21	0.28	0.28	5.83	4.49	/	/	1.03	/	100	10.32	1.75
pant2fx18B		70.41	0.39	8.21	8.03	0.29	0.43	0.31	6.21	4.60	/	/	1.11	/	99.99	10.81	1.85
pant2fx19B		70.67	0.34	8.22	7.97	0.24	0.35	0.32	6.45	4.43	/	/	1.00	/	99.99	10.88	1.87
pant2fx20B		71.46	0.36	8.27	8.22	0.32	0.44	0.28	5.11	4.56	/	/	0.98	/	100	9.67	1.61
Media (16)		70.91	0.36	8.28	8.06	0.27	0.38	0.29	5.92	4.49	/	/	1.04	/	/	10.41	1.76
Dev. St. (2s)		0.69	0.10	0.14	0.23	0.15	0.19	0.09	0.61	0.61	/	/	0.09	/	/	/	/

Tabella 3.3 Tabelle composizionali riferite alle frazioni granulometriche appartenenti al campione PAN07-CC.

Cap. 4 Discussione dei dati

L'isola di Pantelleria è conosciuta per aver avuto un'intensa attività vulcanica nelle ultime decine di migliaia di anni, come suggerito dallo studio dei prodotti sull'isola (Civetta et al., 1984; Mahood e Hildreth, 1986; Rotolo et al., 2013; vedi par. 1.2) e da corrispettivi depositi riconosciuti nelle aree marine (Keller et al., 1978; Mahood e Hildreth, 1986; Narcisi e Vezzoli, 1999; Margari et al., 2007; Paterne et al., 1988, 2008; Vogel et al., 2010 e altri). Tuttavia, la mancanza di un *dataset* completo nei prodotti esposti in affioramento (molte unità vulcaniche sono state coperte da eruzioni più recenti o erose) rende la ricostruzione dell'attività eruttiva solo parziale. Il record marino di eventi eruttivi può potenzialmente integrare tale ricostruzione, in quanto in certe condizioni la preservazione dei livelli vulcanogenici può essere efficace e molto estesa arealmente. D'altra parte le differenti tecniche analitiche adottate per caratterizzare i depositi di tefra marini (microsonda su singoli frammenti di vetro rispetto ad analisi "whole rock" condotte sui depositi a terra) rende meno diretta la loro correlazione con eruzioni esplosive studiate su prodotti in affioramento (vedi par. 1.3; Tamburrino et al., 2012).

In questo capitolo vengono discusse le caratteristiche dei livelli vulcanogenici campionati in ciascuna carota, a partire dalle caratteristiche deposizionali osservate durante il campionamento, sino a quelle composizionali dei livelli analizzati. Queste verranno confrontate, laddove è possibile, con i dati di letteratura disponibili per i prodotti di Pantelleria. Verrà anche proposto un quadro cronologico basato su alcune considerazioni originali, in attesa che la bio-stratigrafia delle carote venga effettuata, fornendo indicazioni più precise sull'età relativa dei livelli campionati.

Lo scopo principale di questo lavoro è, sulla base dei dati disponibili sinora, quello di correlare i livelli vulcanogenici, riconosciuti e campionati, a prodotti dell'attività di Pantelleria studiati sia a terra che nelle aree marine e di contribuire, in questo modo, alla conoscenza della sua storia eruttiva.

4.1 Caratteristiche deposizionali dei livelli analizzati

Nelle tre carote analizzate sono stati rinvenuti in totale 17 livelli vulcanogenici, costituiti da materiale vetroso e pomiceo, intercalati a sedimenti marini, oltre ad un campione vulcanogenico di lapilli e cenere grossolana (PAN07-CC) proveniente dal 'naso' della carota PAN07. Nelle carote da cui provengono i livelli campionati, non sono state osservate strutture riferibili a processi di tipo secondario (ad es. rimaneggiamento in ambiente marino) ma la sedimentazione appare indisturbata e a carattere emi-pelagico. Questo tipo di sedimentazione presuppone un'ambiente a bassa energia; in questo caso, i siti di campionamento si trovano a profondità comprese tra i 700 e i 1000 m circa, su alti morfologici (spalla settentrionale dell'isola di Pantelleria; Fig. 2.7) e questo porta ad escludere un'interazione con i processi che avvengono nel bacino.

Le stesse caratteristiche sismostratigrafiche delle aree di campionamento (sostanzialmente simili nei 3 siti contigui) riconoscibili dai profili sismici CHIRP (Fig. 2.8, 2.9 e 2.10), dove i riflettori sono caratterizzati da buona continuità laterale e bassa ampiezza (a parte alcuni riflettori con maggior impedenza sismica), suggeriscono un'area a sedimentazione marina relativamente indisturbata. I riflettori a maggior impedenza sismica (il più superficiale dei quali corrisponde al fondo mare) potrebbero corrispondere a livelli vulcanogenici particolarmente spessi all'interno della sequenza sedimentaria, mostrando una marcata

continuità laterale, ma saranno necessari ulteriori indagini per poterli associare in modo univoco.

Sulla base di questi elementi e dei risultati esposti nel Cap.3, si può ipotizzare che i livelli studiati rappresentino depositi vulcanici da caduta che, comunemente, si riferiscono a livelli di *tefra* (Kennett, 1981).

Tra le evidenze utilizzate per considerare i nostri campioni come depositi primari, possiamo includere: a) l'estrema omogeneità litologica e composizionale dei livelli tra le carote campionate, costituiti al 90-100% da materiale vulcanico pomiceo (v. anche paragrafo 3.2); b) l'assenza di evidenze sedimentologiche testimonianti processi ad alta energia (ad es. correnti torbiditiche) nelle carote in prossimità dei livelli campionati. Un'ulteriore testimonianza dell'elevata concentrazione di materiali ferro-magnetici nei livelli campionati è dato dall'individuazione di picchi di anomalie magnetiche positive, con maggiore o minore intensità, in corrispondenza di alcuni dei livelli vulcanogenici.

Di seguito, sono discusse, per ciascuna carota, le caratteristiche riferite ad aspetti sedimentologici osservati.

Carota PAN05

Nella carota PAN05 sono stati osservati e prelevati cinque livelli di *tefra* (Fig. 3.1.1a), di cui due singoli da intervalli più sottili (pochi cm) e tre facenti parte di un intervallo vulcanogenico a tendenza complessivamente *fining-upward*.

Tutti i livelli sono intercalati a sedimento di tipo pelagico (silt-argilloso) con colorazione dal marrone-grigio al grigio verdognolo o olivastro. I primi due livelli campionati (L e M) appaiono netti e contenenti lapilli e ceneri da medie a fini, il loro spessore (circa 1 cm) è minimo se confrontato con l'intervallo di circa 20 cm di spessore che comprende i livelli N, P e O. Questo aspetto potrebbe essere in relazione alle caratteristiche di durata ed energia dell'impulso eruttivo che lo ha generato. La base, oltre ad essere di tipo erosivo, contiene frammenti di lapilli millimetrici che, spostandosi verso il top, passano a ceneri da medie a fini con la presenza di specie fossili (livello N). La presenza di fossili nella parte alta del livello suggerirebbe il ritorno ad una sedimentazione di tipo pelagico dopo la fase eruttiva. I due livelli più sottili osservati tra 200 e 250 cm (L e M), potrebbero invece rappresentare eventi eruttivi puntuali di minore intensità e durata, ai quali segue la normale sedimentazione di mare profondo.

Carota PAN06

I livelli di *tefra* campionati nella carota PAN06 sono in totale sette, di cui un livello singolo (G), mentre i rimanenti (C, F, A; D, B, E) sono stati interpretati come appartenenti a due diversi intervalli pluricentimetrici a tendenza *fining-upward*. Come per la PAN05, anche la carota PAN06 è costituita prevalentemente da silt-argilloso con colorazione da verde oliva a grigio verdastro-olivastro o nero-verdognolo, e non si notano evidenze di processi di risedimentazione o rimaneggiamento (Fig. 3.1.2 a-b).

La descrizione di ogni singolo campione (paragrafo 3.2) mostra la variabilità di alcuni elementi quali l'abbondanza o assenza di specie fossili, di frammenti litici e la variazione granulometrica dei granuli pomicei. Questo è evidente soprattutto nelle due sequenze FU (*fining-upward*), in cui i livelli alla base sono eterogenei (pomici, cristalli) mentre passando al top la granulometria diminuisce e aumenta, relativamente, il contenuto in fossili. Questi aspetti potrebbero essere significativi nell'interpretazione di questi depositi in relazione ad eventi eruttivi.

L'unico livello campionato singolarmente (G) ha uno spessore minore ma è interamente costituito da materiale vulcanogenico, il che probabilmente rispecchia il relativo picco di anomalia magnetica positiva, con valore più elevato di tutta la carota. La suscettività magnetica è stata considerata, in generale, come un elemento di corredo per evidenziare la presenza dei livelli vulcanogenici e si osserva anche laddove, ad occhio nudo, non sono state riconosciute evidenze (possibili criptotefra?), (Fig. 3.1.2 a-b).

Carota PAN07

I quattro campioni prelevati in questa carota si presentano come provenienti da livelli relativamente più sottili o addirittura costituiti da frammenti singoli, come nel caso del campione K. I livelli di tefra si intercalano a sedimento siltoso-argilloso di colore prevalentemente grigio che, come per le due carote precedenti, non presenta disturbi dovuti a rimaneggiamento. Tali livelli possono essere ipotizzati come dovuti ad 'impulsi eruttivi' puntuali, ed alcuni di essi (es. livello H) potrebbero rappresentare la modalità di eruzione di una colonna eruttiva variabile. Nel caso del livello a cm 89-91, alla cui base è stato campionato il livello H, si osserva una tendenza granulometrica di tipo *coarsening-upward*: su basi ipotetiche, esso potrebbe rappresentare una variazione dell'impulso eruttivo a minor energia all'inizio (base del deposito), e maggiore andando verso il tetto. Inoltre la carota PAN07 comprende il campione PAN07-CC che viene considerato a parte poiché, essendo rimasto nel naso del carotiere (*Core Catcher*), non presenta strutture sedimentarie primarie, le quali sono state obliterate dal campionamento. Non vi sono dati di suscettività magnetica per questo deposito, in quanto non facente parte degli spezzoni della carota sottoposti ad indagine col MSCL ma campionato a parte già a bordo (Fig. 2.11a). Il campione, oltre ad essere costituito da varie frazioni granulometriche, è caratterizzato da frammenti di dimensioni anche di più millimetri e morfologie diverse (vedi paragrafo 3.2) e potrebbe avere impedito l'ulteriore penetrazione del carotiere. Per le sue caratteristiche granulometriche, esso potrebbe essere correlato con un riflettore ad alta impedenza che si trova alla base della carota (Fig. 2.10), la cui elevata continuità laterale potrebbe suggerire un'estensione areale del deposito. Non ne è noto lo spessore, in quanto la penetrazione del carotiere si è fermata contro di esso, ma si potrebbe presumere che si tratti di un livello abbastanza significativo, come future indagini potranno verificare.

4.2 Caratteristiche composizionali

L'analisi chimica su singoli frammenti o grani può essere considerata la modalità più accurata per caratterizzare i depositi distali che, quasi sempre, sono costituiti da materiale medio-fine (Tamburrino et al., 2012). I livelli vulcanogenici in esame sono stati sottoposti ad analisi con due strumentazioni differenti: SEM-EDX (Università di Bologna) e microsonda elettronica EMP (CNR-IGAG di Roma). Nel caso del campione PAN07-CC lo stesso materiale è stato analizzato con entrambi gli strumenti, mettendo in evidenza differenze minori nei risultati analitici, quali piccoli *shift* nel contenuto in silice e in alcali (es. Fig. 3.3.16a e 3.3.18a). Probabilmente, ciò è dovuto all'uso di standardizzazioni differenti e alla quantificazione relativa alla perdita di sodio. Infatti, nella strumentazione SEM-EDX si potrebbe verificare la sovrapposizione di picchi adiacenti durante le analisi, alcuni dei quali possono essere rimodellati ricavando informazioni utili, mentre per altri rimane difficile la manipolazione. In ogni caso, questi aspetti non comportano sostanziali differenze nelle analisi e possono essere trascurati a livello delle nostre determinazioni composizionali.

I livelli di tefra reperiti ed analizzati nelle carote PAN 05,06 e 07 (tranne per qualche raro punto analisi al di fuori dell'insieme) sono tutti costituiti da rioliti a composizioni piuttosto omogenee (area cerchiata in rosso in Fig. 4.1). Si tratta di una composizione tipica dei prodotti "recenti" (post-Tufo Verde, ~ 50-9 ka) di Pantelleria, caratterizzati da elevata peralcalinit  (Indice agpaítico >1.5 per le rioliti), e classificati come "pantelleriti" sulla base del diagramma di MacDonald (1974).

Utilizzando la ricostruzione degli eventi eruttivi proposta da Civetta et al. (1988) sulla base di analisi petrochimiche in rocce campionate a terra (*bulk-rock*),   stato fatto un confronto con i prodotti dei cicli silicei recenti (v. paragrafo 1.3) da dati di letteratura, pur tenendo presente le difficolt  nella correlazione tra prodotti a terra/prossimali e marini/distali.

La maggior parte delle composizioni riscontrate nei livelli di tefra analizzati mostra parziali sovrapposizioni con prodotti attribuiti ai cicli silicei dal II al VI di Civetta et al. (1988) e, in minor misura, con alcune composizioni riportate da Avanzinelli et al. (2004). I cicli appartenenti a questi campi composizionali sono di et  compresa da circa 35 ka (II ciclo) a circa 9 ka (VI ciclo; Civetta et al., 1988; v. paragrafo 1.3).

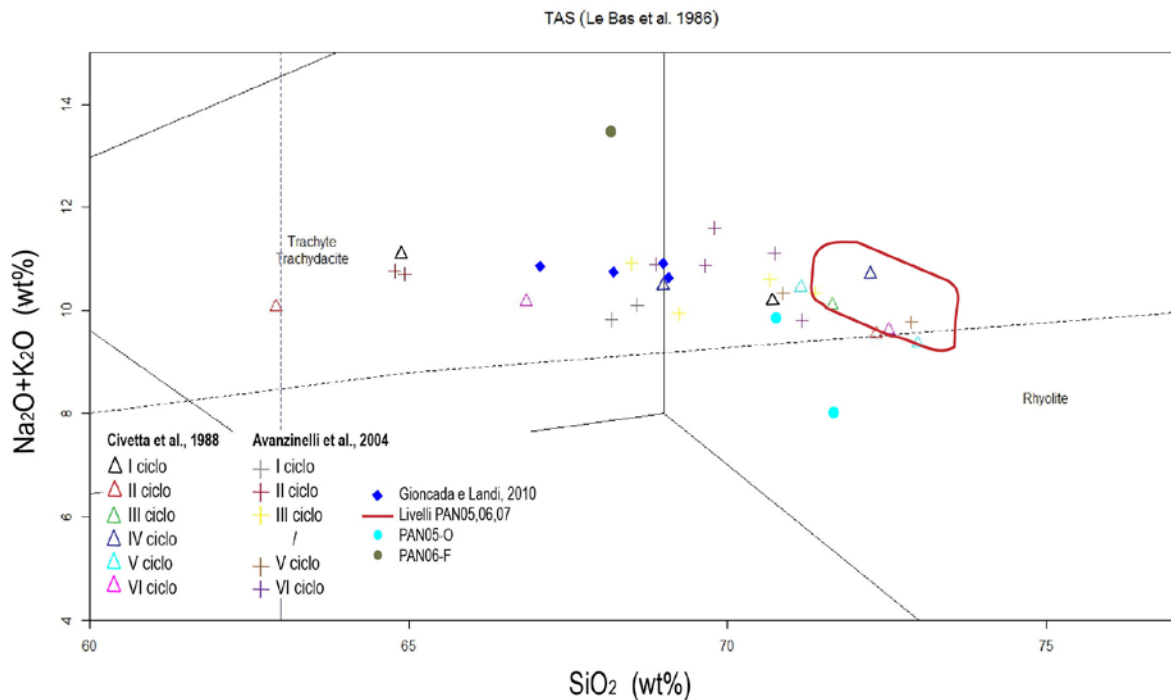


Figura 4.1 Diagramma TAS di correlazione che mostra (entro la linea rossa) il campo di composizioni ottenute dai campioni delle carote PAN05, PAN06 e PAN07 (ad eccezione del PAN07-CC; alcune composizioni isolate sono indicate con singoli punti). Per confronto, sono riportati i dati di letteratura, ove possibile, riferiti ai cicli silicei post-Tufo Verde (Civetta et al., 1988; Avanzinelli et al., 2004; Gioncada e Landi, 2010).

Il campione PAN07-CC presenta alcune caratteristiche di tipo compositivo e granulometrico che lo rendono differente rispetto ai livelli fino ad ora menzionati. Esso, a differenza delle composizioni riolitiche molto omogenee ottenute dagli altri livelli campionati, ha una composizione prettamente bimodale che oscilla tra il campo trachitico e quello riolitico, caratteristica che viene riportata in letteratura come tipica di Pantelleria (Keller et al., 1978; Civetta et al., 1984, 1988, 1998; Avanzinelli et al., 2004; Margari et al., 2007; White et al., 2009; Tamburrino et al., 2012).

Anche il contenuto in elementi maggiori è caratteristico, soprattutto se si considerano gli ossidi Al_2O_3 e FeO_{tot} (Tabella 3.3). La marcata bimodalità compositiva, insieme alla quantità e alla granulometria del materiale campionato dal naso del carotiere, induce ad ipotizzare che tale deposito sia legato all'eruzione di maggior energia avvenuta nelle ultime decine di ka a Pantelleria, che ha portato alla messa in posto del Tufo Verde o *Green Tuff* (GT).

Denominazione e n° punti analisi	Tipologia campione	Provenienza campione	Rif. bibliografico
LC08 (n°61)	Tefra marino	Bacino di Pantelleria	Anastasakis e Pe-Piper, 2006
MD27 Bottom (n°1)	Tefra marino	Bacino del Marsili	Tamburrino et al., 2016
ML-5 (n°1)	Tefra lacustre	Isola di Lesbo (Grecia)	Margari et al., 2007
Y-6 (2)	Tefra marino	Mediterraneo centrale	Keller et al., 1978
OTO0702-7 (11)	Tefra lacustre	Lago Ohrid (Albania-Macedonia)	Vogel et al., 2010
ODP1 (2)	Tefra marino	Offshore Pantelleria	Tamburrino et al., 2012
GT (4)	<i>Whole rock</i>	Isola di Pantelleria	Civetta et al., 1988
GT (2)	<i>Whole rock</i>	Isola di Pantelleria	Avanzinelli et al., 2004
GT (2)	<i>Whole rock</i>	Isola di Pantelleria	White et al., 2009

Tabella 4.1 Dati di letteratura su prodotti associati all'eruzione del *Green Tuff* utilizzati per il confronto.

Per verificare questa ipotesi, si sono effettuati confronti con altri livelli di tefra ritrovati nell'area mediterranea centro-orientale e ricondotti all'eruzione avvenuta a Pantelleria ~ 50 ka, oltre che con gli stessi prodotti del *Green Tuff* campionati sull'isola (Tabella 4.1). In particolare, il noto livello Y-6 (Keller et al., 1978), importante marker marino per l'area Mediterranea, è stato riconosciuto in aree anche molto lontane dalla sorgente, tra cui il Mar Ionio e alcuni bacini lacustri della Grecia e dell'Albania (rispettivamente da Margari et al., 2007 e Vogel et al., 2009). Questo suggerisce che la dispersione areale in facies distale di questo marker sia preponderante nel settore a nord-est di Pantelleria (Tamburrino et al., 2012).

Nel diagramma TAS (Fig. 4.2) sono stati inseriti tutti i punti analisi (distinti per sottocampioni e per tecnica analitica, v. paragrafo 3.3) del campione PAN07-CC e le composizioni confrontate con i dati provenienti dalla letteratura, sia riferibili a depositi in affioramento del GT, che ai corrispondenti livelli di tefra distali. Come già accennato, il campione PAN07-CC ha una composizione bimodale, interessando il campo trachitico e quello riolitico in tutte le frazioni analizzate e mostrando una buona corrispondenza compositiva con altri tefra marini (esempio: Y-6, v. anche Tabella 4.1). Non si osserva, invece, il trend continuo dalle trachiti-trachiti comenditiche sino a pantelleriti che

caratterizza i depositi del GT a terra (Civetta et al., 1988; White et al., 2009) ed il deposito prossimale marino osservato nel Bacino di Pantelleria ed associato ad un flusso piroclastico direttamente entrato in mare dall'isola (LC08, Anastasakis e Pe-Piper, 2006; v. paragrafo 1.3). Plottando le composizioni del campione PAN07-CC nel diagramma $\text{FeO}_{\text{tot}}\text{-Al}_2\text{O}_3$ (MacDonald, 1974; *Fig. 4.3*), il deposito campionato mostra una variabilità dal campo della trachite comenditica o trachite pantelleritica sino a quello della pantellerite, di nuovo mostrando un'ottima corrispondenza con altri tefra marini. La sovrapposizione con i campi più ampi relativi alle controparti terrestri e con il deposito marino da flusso piroclastico (LC08) anche in questo caso è parziale, e probabilmente rispecchia il diverso tipo di meccanismi di deposito (nel nostro caso si tratta di depositi vulcanici da caduta depositatisi in mare a qualche decina di km di distanza dall'isola).

Complessivamente, la composizione chimica del campione PAN07-CC suggerisce, quindi, la sua correlazione con l'evento eruttivo del GT, di cui il deposito in esame potrebbe essere considerato una facies relativamente prossimale in ambiente marino, allargando in questo modo il quadro delle conoscenze su questo importante marker stratigrafico.

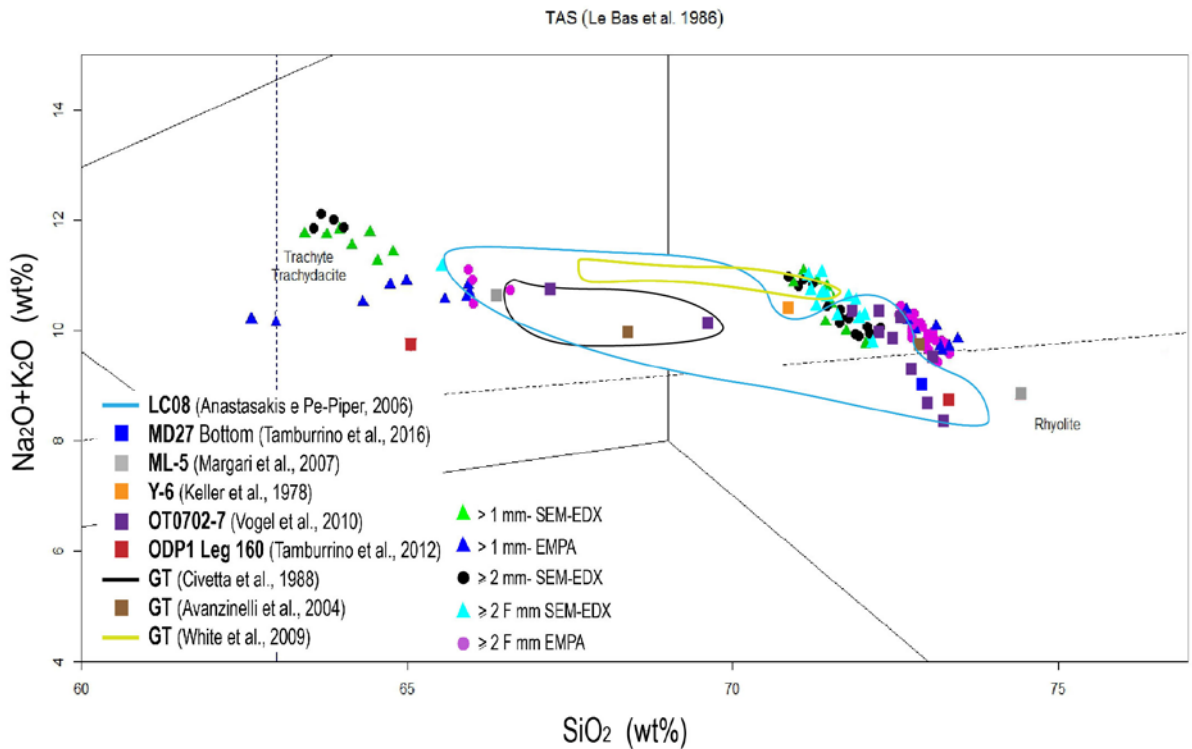


Figura 4.2 Il diagramma TAS del campione PAN07-CC mostra la composizione chimica del livello in esame (evidenziato da triangoli e pallini colorati) comparato con alcuni depositi studiati in letteratura, sia sull'isola, sia di livelli di tefra distali riconosciuti nell'area mediterranea centro-orientale (identificati da linee continue e quadrati di vario colore).

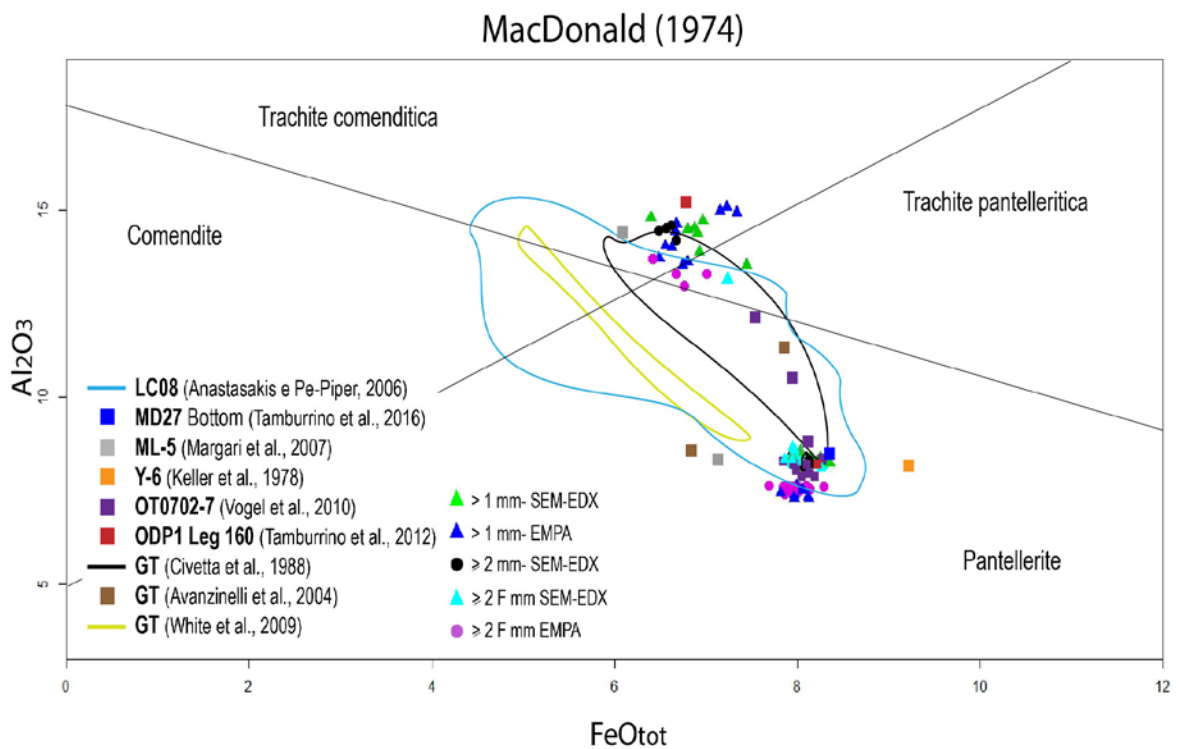


Figura 4.3 Nel diagramma FeO_{tot}-Al₂O₃ la composizione del campione PAN07-CC (triangoli e pallini colorati) è paragonata ai depositi sia a terra che a mare riportati in letteratura come riconducibili all'eruzione del Green Tuff (linee continue e quadrati di vario colore).

4.3 Considerazioni cronologiche ed implicazioni per la storia eruttiva di Pantelleria

In mancanza di dati derivati dalla bio-stratigrafia, in corso di analisi presso l'*University of Limerick* (Irlanda), sono proposte alcune considerazioni cronologiche preliminari sull'età dei prodotti campionati nelle carote PAN05, PAN06 e PAN07. In particolare, possono essere avanzate alcune ipotesi sulla base degli elementi disponibili:

- ✚ la possibile correlazione del campione PAN07-CC con l'evento eruttivo che ha prodotto il GT (l'età stimata da vari autori è di ~47-50 ka; Civetta et al., 1988; Avanzinelli et al., 2004; White et al., 2009) fornirebbe una possibile età per la base di questa carota, corrispondente a oltre 5.29 m di lunghezza della stessa (il campione è rimasto nel naso del carotiere quindi non si hanno altre informazioni sui rapporti stratigrafici/contatto col resto della sequenza campionata);
- ✚ questa assunzione porterebbe alla stima di un tasso medio di sedimentazione di circa 10.8 cm/ka per la carota PAN07. Tale valore è compatibile con quello stimato per altre aree di fondale caratterizzate da alti morfologici a sedimentazione relativamente indisturbata e lontano da margini continentali (ad esempio: Paterno et al., 2008 riportano tassi medi di 6-7 cm/ka per i siti di carotaggio nel Mar Tirreno in condizioni fisiografiche analoghe, mentre tassi molto maggiori si osservano in altre del Canale di Sicilia, es. nel sito ODP 963A del Leg 160, Sprovieri et al., 2003; Tamburrino et al., 2016);
- ✚ applicando questo tasso medio di sedimentazione al resto della carota PAN07 e cercando di ricavare, per confronto, un tasso medio plausibile anche per le carote PAN05 e PAN06, caratterizzate da una situazione deposizionale e sismo-stratigrafica analoga (v. paragrafo 2.1), si è ottenuta indirettamente una possibile età per tutti i livelli analizzati (*Tabella 4.2*), considerati tefra relativi ad eventi post-GT (paragrafo 4.2).

Per la carota PAN07 si è partiti dall'alto, dividendo la profondità di base dei vari livelli campionati per il tasso di sedimentazione medio ottenuto precedentemente.

Per le carote PAN05 e PAN06, di lunghezza leggermente maggiore (544 e 559 cm) ma che non hanno incontrato (o campionato) un livello analogo al PAN07-CC alla loro base, si assume un'età genericamente < 47-50 ka per le sequenze campionate, nell'ipotesi che un deposito analogo a quello attribuito al GT possa trovarsi al di sotto della profondità raggiunta da tali carote (ma non sappiamo quanto al di sotto).

Si sono ipotizzati così tassi medi (assolutamente minimi) di sedimentazione di 11.2 cm/ka per la PAN05 e 11.5 cm/ka per la PAN06. In *Tabella 4.2* vengono riportate le possibili età stimate dei vari livelli e il possibile ciclo eruttivo associabile, tra quelli riconosciuti a terra per la fase post-GT (o "neo-pantelleritica", di età compresa tra 8-35 ka; Civetta et al., 1988, v. paragrafo 1.2). Naturalmente vanno tenuti in conto alti margini di approssimazione in queste stime; si potrà procedere con un'attribuzione cronologica più precisa solo quando saranno disponibili le datazioni biostratigrafiche complete sulle tre carote.

Carota	Livello (cm)	Sigla	Tassi sed. (cm/ka)	Età ipotizzata (ka)	Ciclo eruttivo (ipotizzato)
PAN05	214-215	L	11.2	19.1	IV
	235-236	M		21.1	III
	372-373	N		33.3	II
	375-376	P		33.5	II
	379-381	O		34	II
PAN06	191-192	C	11.5	16.7	IV
	194-195	F		16.9	IV
	197-198	A		17.2	IV
	252-253	G		22	III
	321-323	D		28	II
	327-329	B		28.6	II
	332-334	E		29	II
PAN07	90-91	H	10.8	8.4	VI
	169	I		15.6	IV
	180-181	J		16.7	IV
	185-186	K		17.2	IV

Tabella 4.2 Stima delle età relative dei vari livelli campionati sulla base dei tassi di sedimentazione ipotizzati e possibile corrispondenza con i cicli eruttivi (da Civetta et al., 1988). I livelli provenienti da uno stesso intervallo sono contornati da quadrati dello stesso colore.

Sulla base delle nostre assunzioni cronologiche, del confronto tra le composizioni analizzate ed i dati di letteratura (Fig. 4.1), i livelli di tefra campionati (escludendo il PAN07-CC) dovrebbero essere rappresentativi dell'attività post-GT ed associabili ai cicli silicei II, III, IV e VI di Civetta et al. (1988). In particolare:

- ricadono cronologicamente entro il II ciclo eruttivo (35-29 ka, Civetta et al., 1988) i livelli "multipli" (cioè, facenti parte di due più ampi intervalli osservati nelle rispettive carote) N-P-O nella PAN05 e D-B-E nella PAN06 (Fig. 4.5a). Questo aspetto potrebbe suggerire fasi di attività più intense/prolungate, rispettivamente avvenute attorno a 34 e 29 ka fa (considerando come valore di età dell'evento quello del livello alla base dell'intervallo);
- risultano compatibili col III ciclo (~ 22 ka) i livelli singoli M nella PAN05 e G nella PAN06, che testimonierebbero attività esplosiva intorno a 21-22 ka fa (Fig. 4.5a e 4.5b). Inoltre, sulla base delle età ipotizzate, delle caratteristiche litologiche e composizionali (v. paragrafo 3.2 e 3.3) e della marcata anomalia magnetica che li caratterizza, si può ipotizzare la correlazione tra tali livelli (Fig. 4.4);
- si collocano entro il IV ciclo eruttivo (15-20 ka) il livello L della PAN05, i livelli C-F-A (facenti parte di un più ampio intervallo osservato nella carota PAN06) e i livelli I, J e K nella PAN07 (Fig. 4.5a e 4.5b). La numerosità di questi livelli suggerisce la corrispondenza con una fase di attività più intensa, che sarebbe avvenuta attorno a 16-17 ka fa;

- infine, un solo livello (H) si associa al VI ciclo, il più recente (8-10 ka per Civetta et al., 1988; 12-7 ka secondo Scaillet et al., 2011; *Fig. 4.5a e 4.5b*) e potrebbe rappresentare uno degli ultimi eventi eruttivi a composizione silicica nella storia recente del vulcano. Se confermate o migliorate dalle informazioni biostratigrafiche, queste attribuzioni cronologiche potranno indurre alcune considerazioni importanti sull'attività dell'isola di Pantelleria.

Ad esempio, le fasi di attività più intense/prolungate, proposte in base alla nostra ricostruzione come avvenute attorno a 16-17 ka fa entro il IV ciclo eruttivo, potrebbero ricollocarsi cronologicamente in corrispondenza del picco di attività collocato da Scaillet et al. (2011) tra 14-16 ka fa sulla base delle datazioni $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ (*Fig. 4.5b*). Questo elemento però, andrà verificato con datazioni più precise come supporto per confermare l'appartenenza di alcuni livelli vulcanici alla fase eruttiva più acuta dell'attività recente di Pantelleria.

Inoltre, la possibile fase di stasi ipotizzata dagli stessi autori tra circa 14.7 e 11.9 ka fa (centrata a 13.3 ka) in corrispondenza di un esteso paleosuolo sull'isola, trova riscontro nell'assenza di livelli di tefra nelle nostre carote (dove però potrebbero non essersi conservati). Infine, il ritrovamento nei tre siti campionati di un solo livello di tefra ascrivibile al ciclo più recente, è in buon accordo con la generalizzata diminuzione della frequenza degli eventi eruttivi tra 12 e 7 ka fa proposta da Scaillet et al. (2011; *Fig. 1.8 e 4.5b*).

Attribuzione livelli vulcanogenici → cicli silicei

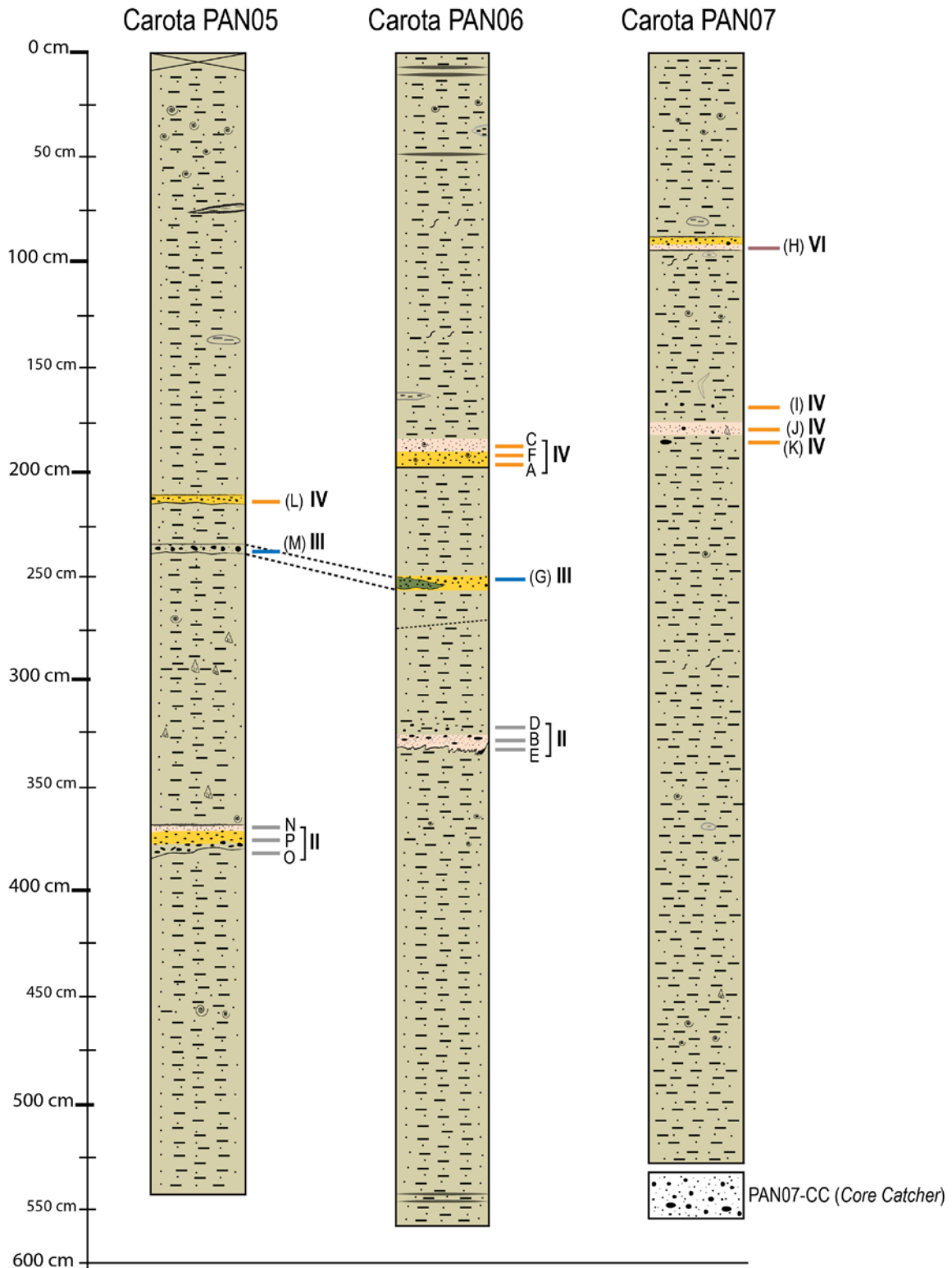
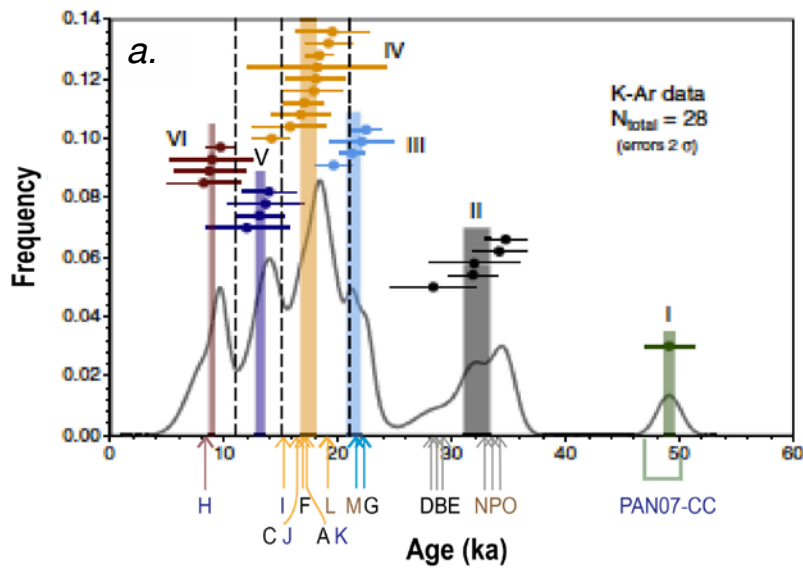
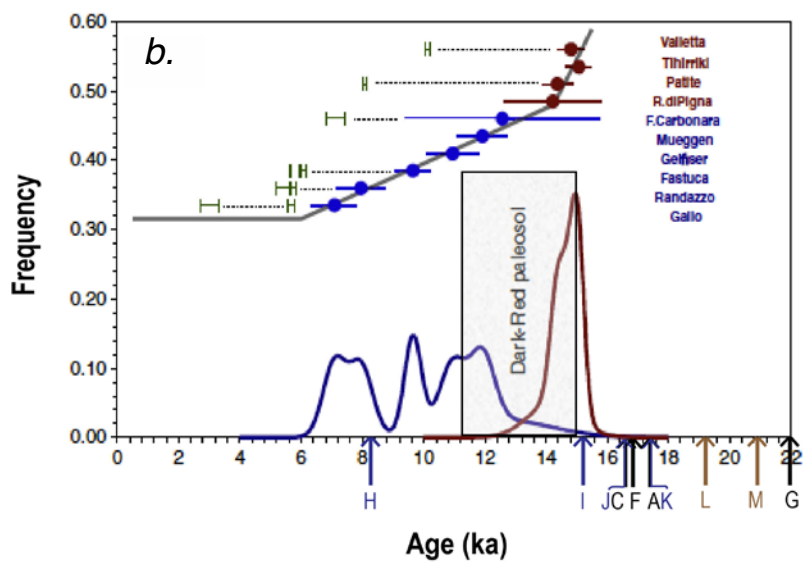


Figura 4.4 I log delle tre carote mostrano la possibile corrispondenza dei livelli campionati con i cicli silicei proposti da Civetta et al. (1988). Per due dei livelli vulcanogenici (M e G) è stata ipotizzata una correlazione su base litologica e composizionale. La legenda dei log è mostrata in Fig. 3.1.1a, 3.1.2a, 3.1.3a (v. paragrafo 3.1).



Livelli PAN05
 Livelli PAN06
 Livelli PAN07 + PAN07-CC



Livelli PAN05
 Livelli PAN06
 Livelli PAN07

Figura 4.5 In a) schema proposto da Scaillet et al. (2011) basato sui sei cicli silicei interpretati da Civetta et al. (1988) in cui sono stati inseriti i livelli vulcanogenici secondo le età ipotizzate. Le frecce colorate mostrano la possibile appartenenza dei livelli ai rispettivi cicli silicei. b) Schema proposto da Scaillet et al. (2011) per gli ultimi 22 ka. Le frecce di vario colore rappresentano la possibile collocazione temporale dei livelli vulcanogenici analizzati.

Conclusioni

In questa tesi si sono studiate tre carote (PAN05, PAN06 e PAN07) campionate nei fondali circostanti l'isola di Pantelleria nell'ambito del progetto PANTHER. Sulla base di osservazioni sedimentologiche, litologiche e chimiche (relative al contenuto in elementi maggiori di singoli frammenti analizzati), si sono caratterizzati 17 livelli di tefra selezionati all'interno delle carote. La composizione di tali livelli appare omogenea ed è costituita essenzialmente da pantelleriti, associabili all'attività esplosiva di Pantelleria, che rappresenta l'unica sorgente di magma con queste composizioni nel Mediterraneo nel tardo Quaternario (Vogel et al., 2010). Inoltre, si è analizzato un campione proveniente dal 'naso' della carota PAN07 (PAN07-CC), con caratteristiche diverse dagli altri livelli: esso mostra, infatti, una composizione bimodale, con pantelleriti (preponderanti) e trachiti (comenditiche/pantelleritiche). Per il tipo di materiale che lo costituisce (ceneri grossolane e lapilli), tale campione è associabile ad un evento a più alta energia rispetto agli altri livelli campionati, in particolare all'eruzione del Tufo Verde (o *Green Tuff*), datata a ~ 45-50 ka. Allo scopo di includere i livelli di tefra in una finestra temporale plausibile, in attesa di precise datazioni delle carote derivanti dalla bio-stratigrafia, si sono ipotizzate alcune considerazioni cronologiche, basate su una stima dei tassi di sedimentazione minimi per i tre siti di carotaggio. Sulla base anche del confronto con i dati di letteratura, i risultati inducono a formulare alcune ipotesi:

- i livelli di tefra riconosciuti nelle sequenze campionate appartengono alla fase neo-pantelleritica (post- Tufo Verde, 35-8 ka). In particolare, li livelli studiati sono stati associati ai cicli dal II al VI tra quelli riconosciuti da Civetta et al. (1988);
- la possibile attribuzione al IV ciclo (15-20 ka) di diversi dei tefra campionati, tra cui intervalli particolarmente spessi (pluricentrici) di materiale vulcanico osservati nelle carote, potrebbe supportare la corrispondenza con una fase di attività più intensa ipotizzata da studi precedenti;
- il campione PAN07-CC, per la sua spiccata bimodalità compositiva, e da confronto con i dati di letteratura, viene associato all'eruzione del Tufo Verde. Se confermato da analisi bio-stratigrafiche, questo ritrovamento testimonierà la presenza in ambiente marino relativamente prossimale (alcune decine di km dall'isola) del record di questo importante evento eruttivo.

Per concludere, il ritrovamento di tefra marini sui fondali circostanti l'isola di Pantelleria è un elemento importante per la ricostruzione dei principali eventi eruttivi avvenuti negli ultimi 50 ka (fase "neo-pantelleritica") e potrà permettere un ampliamento delle conoscenze, sinora basate principalmente sulle evidenze di terreno o ricavate da tefra marini distali (per gli eventi a maggiore energia come il GT).

Bibliografia

Articoli scientifici

Anastasakis, G. e Pe-Piper, G., 2006. An 18 m thick volcanoclastic interval in Pantelleria Through, Sicily Channel, deposited from a large gravitative flow during the Green Tuff eruption. *Marine Geology* 231, 201-219.

Argnani, A., 1990. The Strait of Sicily rift zone: foreland deformation related to the evolution of back-arc basin. *J. Geodyn.* 12, 311-331.

Avanzinelli, R., Bindi, L., Menchetti, S., Conticelli, S., 2004. Crystallisation and genesis of peralkaline magmas from Pantelleria Volcano, Italy: an integrated petrological and crystal-chemical study. *Lithos* 73, 41-69.

Bosman, A., Calarco, M., Casalbore, D., Conte, A.M., Martorelli, E., Sposato, A., Falese, L., Macelloni, L., Romagnoli, C., Chiocci, F.L., 2011. Volcanic Island: the Tips of Large Submerged Volcanoes that only Marine Geology May Reveal (Example from W-Pontine Arcipelago, Ischia, Stromboli and Pantelleria). In: *Marine Research at CNR* (Eds: Brugnoli, E., Cavaretta, S., Mazzola, S., Trincardi, F., Ravaioli, M., Santoleri, R.), Volume DTA/06-2011, ISSN 2239-5172, pp. 433-444.

Bull, J.M., Quinn, R., Dix, J.K., 1998. Reflection Coefficient Calculation from Marine High Resolution Seismic Reflection (Chirp) Data and Application to an Archaeological Case Study. *Marine Geophysical Researches* 20 (1), 1-11.

Butler, G.W., Perry, G.H., 1892. On the matter thrown up during the submarine eruption north-west of Pantelleria, October 1891. *Nature* 45 (1159), 251-252.

Caron, B., Sulpizio, R., Zanchetta, G., Siani, G., Santacroce, G., 2010. The Late Holocene to Pleistocene tephrostratigraphic record of Lake Ohrid (Albania). *Comptes Rendus Geoscience* 342: 453-466.

Caron, B., Siani, G., Sulpizio, R., Zanchetta, G., Paterne, M., Santacroce, R., Tema, E., Zanella, E., 2012. Late Pleistocene to Holocene tephrostratigraphic record from the Northern Ionian Sea. *Marine Geology* 311-314, 41-51.

Cassins, R., 1981. The structure of the Earth's crust in the Italian Region. In: Wezel, F.C. (ed.) *Sedimentary Basins of the Mediterranean Margins. Proceeding of the Conference on Sedimentary Basins*, Urbino, Italy, pp. 19-31.

Civetta, L., Cornette, Y., Crisci, G., Gillot, P.Y., Orsi, G., Resquios, C.S., 1984. Geology, geochronology and chemical evolution of the island of Pantelleria. *Geological Magazine* 121 (6), 541-668.

Civetta, L., Cornette, Y., Gillot, P.Y., Orsi, G., 1988. The eruptive history of Pantelleria (Sicily Channel) in the last 50 ka. *Bull Vulcanol* 50, 47-57.

Civetta, L., D'Antonio, M., Orsi, G., Tilton, G.R., 1998. The Geochemistry of Volcanic Rocks from Pantelleria Island, Sicily Channel: Petrogenesis and Characteristic of the Mantle Source Region. *Journal of Petrology* 39 (8), 1453-1491.

Civile, D., Lodolo, E., Accettella, D., Geletti, R., Ben-Avraham, Z., Deponte, M., Facchin, L., Ramella, R., Romeo, R., 2010. The Pantelleria gran (Sicily Channel, Central Mediterranean): An example of intraplate 'passive' rift. *Tectonophysics* 490, 173-183.

Colombi, B., Giese, P., Luongo, G., Morelli, C., Riuscetti, M., Scarascia, S., Schute, K., Strowald, J., de Visintini, G., 1973. Preliminary report on the seismic refraction profile Gargano-Salerno-Palermo-Pantelleria. *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata* 15, 225-254.

Conte, A.M., Martorelli, E., Calarco, M., Sposato, A., Perinelli, C., Coltelli, M., Chiocci, F.L., 2014. The 1891 submarine eruption offshore Pantelleria Island (Sicily Channel, Italy): Identification of the vent and characterization of products and eruptive style. *Geochemistry, Geophysics, Geosystem* 15 (6), 2555-2574.

Cornette, Y., Crisci, G.M., Gillot, P.Y., Orsi, G., 1983. Recent volcanic history of Pantelleria: A new interpretation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 17, 361-373.

Damaschke, M., Sulpizio, R., Zanchetta, G., Wagner, B., Böhm, A., Nowaczyk, N., Rethemeyer, J., Hilgers, A., 2013. Tephrostratigraphic studies on a sediment core from Lake Prespa in the Balkans. *Climate of the Past* 9, 267-287.

Foerstner, H., 1891. Das Gestein der 1891 bei Pantelleria entstandenen Vulcanisel und seine Beziehungen zu den Jüngsten Eruptivoeisteinen der Nachbarschaft. *Tsch. Petr. Mitth.* 12, 510-521.

Gioncada, A. e Landi, P., 2010. The pre-eruptive volatile contents of recent basaltic and pantelleritic magmas at Pantelleria (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 189, 191-201.

Imbò, G., 1965. Catalogue of the Active Volcanoes and Solfatara Fields of Italy. In: *International Association of Volcanology (ed.) Part XVIII of Catalogue of the Active Volcanoes of the World*, Napoli, pp.72.

Keller, J., Ryan, W.B.F., Ninkovich, D., Altherr, R., 1978. Explosive volcanic activity in the Mediterranean over the past 200,000 ys. As recorded in deep-sea sediments. *Geological Society of America Bulletin*, 89, 591-604.

Kennet, J.P. 1981. Marine Tephrochronology. In: Emiliani, C. (ed.), *The Sea. The Oceanic Lithosphere*, Vol. 7, 1373-1436, John Wiley & Sons, New York.

Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the Total Alkali-Silica diagram. *Journal of Petrology* 27 (3), 745-750.

MacDonald, R., 1974. Nomenclature and petrochemistry of the peralkaline oversaturated extrusive rocks. *Bullettin of Vulcanology* 38, 498-516.

Mahood, G.A., Hildreth, W., 1983. Nested calderas and trapdoor uplift at Pantelleria, Strait of Sicily. *Geology* 11, 103-106.

Mahood, G.A., Hildreth, W., 1986. Geology of the peralkaline volcano at Pantelleria, Strait of Sicily. *Bull Volcanol* 48, 143-172.

Manville, V., Németh, K., Kano, K., 2009. Source to sink: A review of three decades of progress in the understanding volcaniclastic processes, deposits, and hazards. *Sedimentary Geology* 220, 136-161.

Margari, V., Pyle, D.M., Bryant, C., Gibbard, P.L., 2007. Mediterranean tephra stratigraphy revisited: Results from a long terrestrial sequence on Lesbos Island, Greece. *Journal of Vulcanology and Geothermal Research* 163, 34-54.

Narcisi, B., Vezzoli, L., 1999. Quaternary stratigraphy of distal tephra layers in the Mediterranean- an overview. *Global and Planetary Change* 21, 31-50.

Orsi, G., Sheridan, M.F., 1984. The Green Tuff of Pantelleria: distribution coefficients in alkali series. Rheoignimbrite or rheomorphic fall?. *Bullettin Vulcanologique* 47, 611-626.

Orsi, G., Gallo, G., Zanchi, A., 1991a. Simple-shearing block resurgence in caldera depressions. A model from Pantelleria and Ischia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 47, 1-11.

Orsi, G., Ruvo, L., Scarpati, C., 1989. The Serra della Fastuca tephra at Pantelleria: physical parameters for an explosive eruption of peralkaline magma. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 38, 55-60.

Orsi, G., Ruvo, L., Scarpati, C., 1991b. The recent explosive volcanism at Pantelleria. *Geologische Rundschau* 80, 187-200.

Orsi, G., Civetta, L., D'Antonio, M., 2008. L'isola di Pantelleria- Guida all'escursione. XXII giornata di studi e di laboratorio "Valorizzazione e tutela del paesaggio geologico di Pantelleria per una politica geoturistica in Sicilia", 27-29 giugno 2008, Pantelleria, Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia, 1-23.

Paterne, M., Guichard, F., Labeyrie, J., Gillot, P.Y., Duplessy, J.C., 1986. Tyrrhenian Sea tephrochronology of the oxygen isotope record for the past 60,000 years. *Marine Geology* 72, 259-285.

Paterne, M., Guichard, F., Labeyrie, J., 1988. Explosive activity of the South Italian Volcanoes during the past 80,000 years as determined by marine tephrochronology. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 34, 153-172.

Paterne, M., Guichard, F., Duplessy, J.C., Siani, G., Sulpizio, R., Labeyrie, J., 2008. A 90,000-200,000 yrs marine tephra record of Italian volcanic activity in the Central Mediterranean Sea.

Pouchou, J.L. e Pichoir, F., 1991. Quantitative Analyses of Homogeneous and Stratified Microvolumes Applying the Model "PAP". In: K.F.J. Heinrich e D.E. (Eds.) Newbury Electron Probe Quantitation. Plenum Press, pp-31-75, New York.

Riccò, A., 1892. Terremoti, sollevamento ed eruzione sottomarina a Pantelleria nella seconda metà dell'ottobre 1891. Annali dell'Ufficio Centr. Meteorol. e Geodinamico Ital. Ser. Ila, Pt. 3, vol. XI, 7-27, Roma.

Reuther, C.D., Ben-Avraham, Z., Grasso, M., 1993. Origin and role of major strike-slip transfers during plate collision in the central Mediterranean. *Terra Nova* 5 (3), 249-257.

Rotolo, S.G., Castorina, F., Cellulosa, D., Pompilio, M., 2006. Petrology and geochemistry of submarine volcanism in the Sicily Channel. *Journal of Geology* 114, 355-365.

Rotolo, S.G., La Felice, S., Mangalaviti, A., Landi, P., 2007. Geology and petrochemistry of the recent (< 25 ka) silicic volcanism at Pantelleria Island. *Bollettino Società Geologica Italiana* 126 (2), 191-208.

Rotolo, S.G., Scaillet, S., La Felice, S., Vita-Scaillet, G., 2013. A revision of the structure and stratigraphy of pre-Green Tuff ignimbrites at Pantelleria (Strait of Sicily). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 250, 61-74.

Scaillet, S., Rotolo, S.G., La Felice, S., Vita-Scaillet, G., 2011. High-resolution $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronostratigraphy of the post-caldera (< 20 ka) volcanic activity at Pantelleria, Sicily Strait. *Earth and Planetary Science Letters* 309, 280-290.

Speranza, F. e Landi, P., 2010. Paleomagnetic dating of the most recent silicic eruptive activity at Pantelleria (Strait of Sicily). *Bull Vulcanol* 72, 847-858.

Sprovieri, R., Di Stefano, R., Incarbona, A., Gargano, M.E., 2003. A high-resolution record of the last deglaciation in the Sicily Channel based on foraminifera and calcareous nannofossil quantitative distribution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 202, 119-142.

Sulpizio, R., Bonasia, L., Dellino, P., La Volpe, P., Mele, Zanchetta, G., Di Vito, M.A., Sadori, L., 2008. Discriminating the long distance dispersal of fine ash from sustained columns or near ground ash clouds: the example of the Avellino eruption (Somma-Vesuvius, Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 177, 263-276.

Tamburrino, S., Insigna, D.D., Sprovieri, M., Petrosino, P., Tiepolo, M., 2012. Major and trace element characterization of tephra layers offshore Pantelleria Island: insights into the last 200 ka of volcanic activity and contribution to the Mediterranean tephrochronology. *Journal of Quaternary Science* 27 (2), 129-140.

Tamburrino, S., Insigna, D.D., Pelosi, N., Kissel, C., Laj, C., Capotondi, L., Sprovieri, M., 2016. Tephrocronology of a ~ 70 ka-long marine record in the Marsili Basin (southern Tyrrhenian Sea). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 327, 23-39.

Vogel, H., Zanchetta, G., Sulpizio, R., Wagner, B., Nowaczyk, N., 2010. A tepthrostratigraphic record for the last glacial-interglacial cycle from Lake Ohrid, Albania and Macedonia. *Journal of Quaternary Science* 25 (3), 320-338.

Washington, H.S., 1909. The submarine eruption of 1831 and 1891 near Pantelleria. *Am. J. Sci.* 27, 131-150.

White, J.C., Parker, D.F., Ren, M., 2009. The origin of trachyte and pantellerite from Pantelleria, Italy: Insights from major element, trace element, and thermodynamic modelling. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 179, 33-55.

Williams, R., Branney, M.J., Barry, T.L., 2014. Temporal and spatial evolution of a waxing then waning catastrophic density current revealed by chemical mapping. *Geology* 42, 107-110.

Wolff, J.A. e Wright, J.V., 1981. Formation of the Green Tuff, Pantelleria. *Bulletin Volcanologique* 44, 681-690.

Wright, J.V., 1980. Stratigraphy and geology of the welded air-fall tuffs of Pantelleria, Italy. *Geologische Rundschau* 69, 7-30.

Zarudzki, E.F.K., 1972. The Strait of Sicily- a geophysical study. *Reviste de Géographie Physique Géologie et Dynamique* 14, 11-28.

Zhou, X. e Chen, Y., 2004. Seafloor sediment Classification based on Multibeam sonar data. *Geo-Spatial Information Science* 7 (4), 290-296.

Siti Web

<http://mineralsciences.si.edu/facilities/standards.htm>