

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MODENA E REGGIO EMILIA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIMICHE E GEOLOGICHE
CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN SCIENZE GEOLOGICHE

***ANALISI MINERALOGICHE E
GRANULOMETRICHE DEI FANGHI DELLE
SALSE DI NIRANO (MO)***

Relatore:

Prof.ssa M. Giovanna Vezzalini

Laureanda:

Francesca Talami

Correlatore:

Dott. Simone Pollastri

Dott.ssa Simona Marchetti Dori

Anno accademico 2014/2015

Indice

Premessa.....	9
Introduzione.....	11
Capitolo 1:	
Cenni storici.....	15
Capitolo 2:	
Il fenomeno dei vulcani di fango	17
2.1. Vulcani di fango.....	17
2.1.1. Origine.....	18
2.1.2. Struttura, dimensioni e morfologia.....	18
2.2.3. Le eruzioni.....	21
2.1.4. I fanghi estrusi	23
2.1.5. I gas	23
2.1.6. Il ciclo vitale	24
2.1.7. I diapiri	24
2.2. Inquadramento geologico	25
2.2.1. Nel Mondo.....	26
2.2.2. In Italia.....	27
Capitolo 3:	
I vulcani di fango in Emilia-Romagna.....	31
3.1 Inquadramento geologico	31
3.2 Eruzioni storiche in Emilia-Romagna	33
3.2.1. Salsa di Montegibbio.....	33
3.2.2. Salsa di Regnano	34

Capitolo 4:

Le Salse di Nirano	35
4.1. Inquadramento geografico.....	36
4.2. Inquadramento geologico	36
4.3. Inquadramento geomorfologico	40
4.4. Terremoti e vulcani di fango del margine Pedo-Appenninico	45

Capitolo 5:

Analisi mineralogiche qualitative e semi quantitative, calcimetrie e analisi granulometriche dei fanghi	47
5.1. Campionatura	47
5.2. Metodi analitici: Analisi mineralogica qualitativa e semi-quantitativa	53
5.2.1. Preparazione dei campioni	55
5.2.2. Analisi in Diffrazione dei Raggi X (XRPD)	56
5.2.3. Trattamenti con Glicole Etilenico ed in temperatura	56
5.3. Calcimetrie	58
5.3.1. Il metodo.....	58
5.3.2. Materiali	59
5.3.3. Preparazione dei campioni e analisi con il calcimetro	60
5.4. Metodi analitici: Analisi granulometriche.....	61
5.4.1. Il metodo.....	61
5.4.2. Materiali	62
5.4.3. Preparazione dei campioni e misure con il densimetro	64

Capitolo 6:

Risultati	69
6.1. Analisi qualitative (XRPD)	69
6.2. Calcimetrie	72
6.3. Analisi granulometriche	73

Capitolo 7:

Discussione risultati.....	77
-----------------------------------	-----------

Capitolo 8:

Conclusioni.....	83
Bibliografia	85
Sitografia	89
Ringraziamenti	91

Analisi mineralogiche e granulometriche dei fanghi delle Salse di Nirano (MO).

«Un grande sommovimento della terra: due montagne, infatti, si scontrarono con grandissimo fragore, balzando avanti e retrocedendo e tra loro si levarono al cielo in pieno giorno fiamme e fumo; allo spettacolo assisteva dalla via Emilia un gran numero di cavalieri romani con il loro seguito di viandanti. Per questo cozzo furono schiacciate tutte le case di quelle campagne e molti animali, che si trovavano nel mezzo, rimasero uccisi» (Plinio il Vecchio, “*Naturalis historia*”).

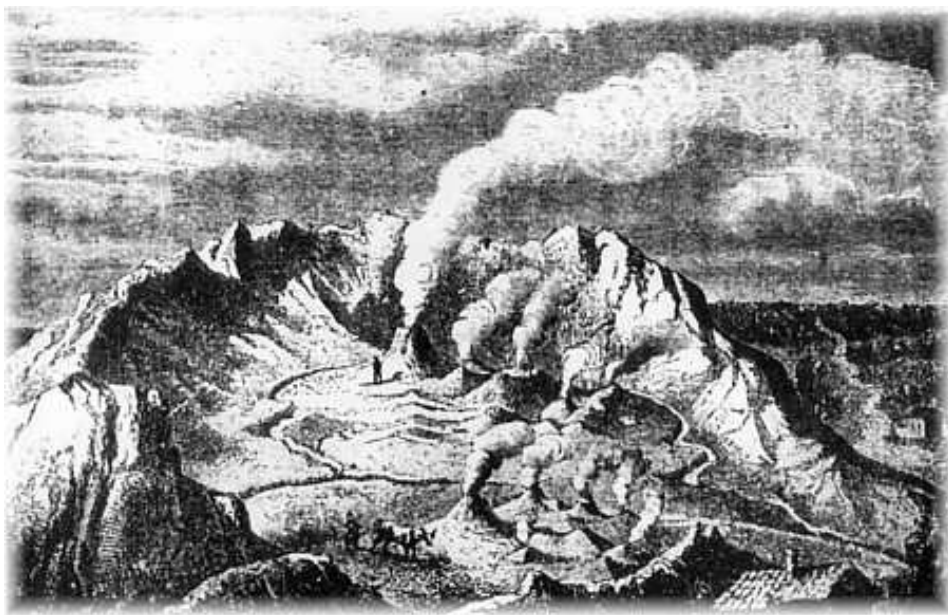


Fig.1: Antica incisione che rappresenta abbastanza fedelmente la zona delle Salse di Nirano.

Premessa

Lo studio condotto per questa tesi è stato svolto nell'ambito del progetto "Studio ed indagini finalizzate alla definizione di un quadro conoscitivo utile alla fruizione in sicurezza dell'area integrale delle Salse di Nirano". Tale progetto, finanziato dal Comune di Fiorano Modenese è iniziato nella primavera del 2015 e non è ancora concluso. Esso prevede indagini finalizzate alla definizione di un quadro conoscitivo utile alla fruizione in sicurezza dell'area integrale alle Salse di Nirano (Appennino Modenese) e di strategie di tutela, nell'ambito dell'accordo stipulato tra il Comune di Fiorano e il Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche dell'Università di Modena e Reggio Emilia. Il progetto prevede il coinvolgimento del Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche dell'Università di Modena e Reggio Emilia, dell'Università di Siena, dell'Università di Messina, INGV, Servizio geologico sismico e dei suoli della Regione Emilia-Romagna, ARPA Reggio Emilia e Gruppo Servizi Topografici (G.S.T.) di Reggio Emilia.

L'area di studio rientra nella Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano situata ai piedi dell'Appennino Modenese nel territorio del Comune di Fiorano Modenese (MO).

Introduzione

Nell'ambito del progetto "Studio ed indagini finalizzate alla definizione di un quadro conoscitivo utile alla fruizione in sicurezza dell'area integrale delle Salse di Nirano" sono state eseguite analisi mineralogiche e granulometriche sui fanghi estrusi dai vulcani di fango di un'area ai piedi dell'Appennino Modenese. Lo scopo di tali analisi è quello di definire la formazione d'origine del materiale estruso dai vulcani di fango presenti nell'area indagata.

L'area di studio rientra nella Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano situata alle pendici dell'Appennino Modenese nel territorio del Comune di Fiorano Modenese (MO). In Figura 2 è riportata l'ubicazione geografica e in Figura 3 è riportata una foto della Riserva fatta con un drone.

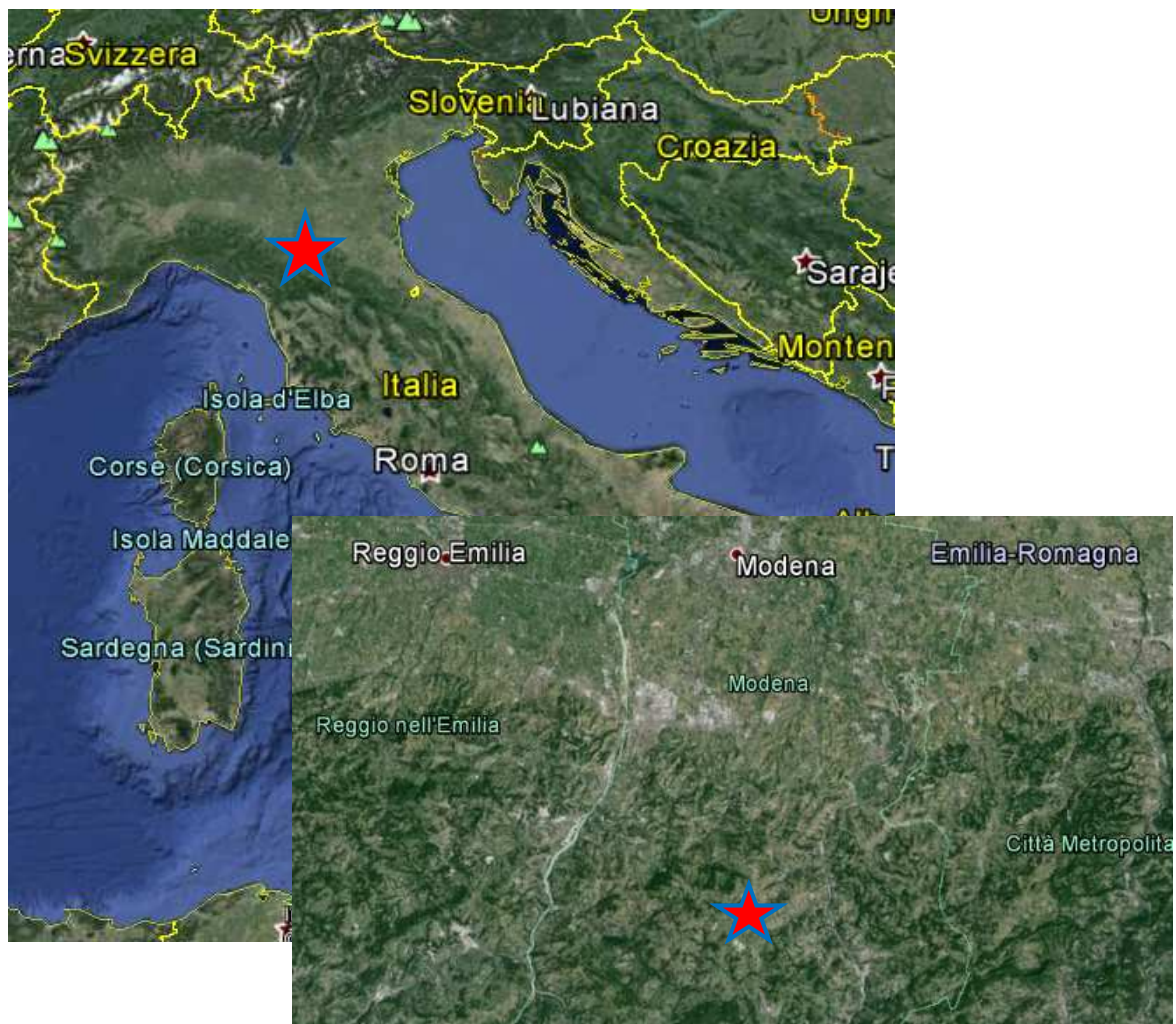


Fig. 2: Ubicazione geografica della Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano (Google Earth) (<http://earth.google.it/download-earth.htm>).



Fig. 3: Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano. (Foto di Tommaso Santagata).

Nell'area è possibile osservare l'estrusione spontanea di fluidi freddi dal sottosuolo da parte di numerosi apparati vulcanici. Tale fenomeno è tuttora attivo nell'area ma rimane indefinita l'età in cui sono iniziate le prime emissioni.

L'estensione della Riserva è di circa 20000 m² mentre la profondità interessata dal fenomeno rimane ancora indeterminata (Castaldini et al. 2007, p.121).

In particolare la mia tesi ha riguardato la caratterizzazione mineralogica e granulometrica dei fanghi e il confronto con dati di letteratura, con lo scopo di definire la formazione geologica d'origine del materiale estruso dai vulcani di fango presenti nell'area delle Salse di Nirano.

Infatti, nonostante il fenomeno dei vulcani di fango abbia da sempre attirato l'attenzione di numerosi studiosi, è importante sottolineare la quasi completa assenza di studi inerenti la composizione mineralogica qualitativa e quantitativa del fango estruso.

Gli unici dati bibliografici risalgono ad uno studio del 1985 ad opera di Ferrari e Vianello i quali hanno usato tecniche di diffrazione a Raggi X per studiare la composizione dei fanghi nel margine Pede-Appenninico compresa la zona delle Salse di Nirano (Ferrari and Vianello, 1985).

CAPITOLO 1

CENNI STORICI

I vulcani di fango erano già noti ai tempi di Plinio il Vecchio, il quale li descrisse nella sua opera "Naturalis historia" (50 d. C.). Spallanzani (1795) e Stoppani (1908) ipotizzarono che la risalita ed emissione dei fluidi freddi potesse essere connessa ad eventi metereologici locali (Martinelli and Judd 2004, p. 49), mentre Mercalli (1883) ipotizzò una possibile corrispondenza tra emissioni di fango e terremoti verificatisi in aree adiacenti agli apparati (Martinelli and Judd 2004, p. 49). Camerana (1926) ipotizzò che i vulcani di fango potessero essere utilizzati come indicatori di giacimenti d'idrocarburi (Bonini 2008, p. 12) e Caneva (1958), eseguendo sondaggi geofisici, confutò l'ipotesi di Spallanzani e Stoppani dimostrando l'assenza di correlazioni tra emissione di fluidi ed eventi metereologici (Martinelli and Judd 2004, p. 49).

Pellegrini (1982) e Capozzi (1994) notarono che la particolare disposizione geografica dei vulcani di fango lungo la catena Appenninica era legata alla presenza di margini compressivi (Martinelli and Judd 2004, p. 49).

Galli (2000) affermò che i vulcani di fango sono forme legate a liquefazione del terreno indotta da terremoti e che sono elementi temporanei e quindi non duravano a per lungo tempo (Martinelli and Judd 2004, p. 49).

Etiope e Klusman (2002) e Kopf (2003) affermarono che i gas emessi dai vulcani di fango contribuiscono al fenomeno dell'effetto serra e di conseguenza al riscaldamento globale (Bonini 2008, p. 12).

Martinelli e Judd (2004) dimostrarono di poter usare i vulcani di fango nel campo della prevenzione sismica basandosi sulle variazioni del tasso di emissioni di gas come ^{222}Rn (Bonini 2008, p. 12).

CAPITOLO 2

IL FENOMENO DEI VULCANI DI FANGO

2.1 Vulcani di fango:



Fig. 4: Vulcano di fango presente presso la Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano (MO).

Già note a Celti ed Etruschi, queste affascinanti strutture furono descritte dal Plinio il Vecchio nell'opera "Naturalis historia", a partire dall'epoca romana divennero luogo di culti di *sanatio* connessi a cure e trattamenti terapeutici e alle divinità femminili legate del mondo sotterraneo e alle forze sismiche o vulcaniche (http://www.archeobo.arti.beniculturali.it/mostre/sassuolo_2015_minerva.htm).

Nel corso dei secoli essi hanno continuato a ricoprire particolari ruoli sia in campo religioso, sia nel campo della medicina alternativa (<http://health.howstuffworks.com/skin->

care/problems/treating/mud-baths.htm) e poiché coinvolgono molti campi disciplinari da sempre attraggono l'interesse di molti studiosi.

Negli ultimi secoli il loro studio è aumentato particolarmente poiché essi si trovano spesso associati a giacimenti di idrocarburi e sembra che la loro attività possa essere sfruttata nel campo della prevenzione sismica (Martinelli and Judd, 2004, p. 58).

2.1.1. Origine

I vulcani di fango (Figura 4) sono strutture geologiche originate dall'emissione di materiale fangoso e rappresentano un perfetto esempio di "convergenza geomorfologica" ovvero forme simili ma di genesi diversa (Panizza, quarta edizione del 2014, p. 18); infatti, essi sono essenzialmente edifici tronco conici, che morfologicamente ricordano i vulcani magmatici e come essi danno origine a colate, ma a differenza dei parenti ignei, oltre a presentare dimensioni estremamente ridotte, mostrano caratteristiche diverse del materiale estruso.

Infatti, rispetto agli ignei il materiale estruso presenta una temperatura molto inferiore, proviene da serbatoi molto più superficiali (profondità di centinaia o poche migliaia di metri) e non è considerato magma ma una miscela di fluidi freddi quali: fango, acque salate fossili, miscele di gas, nelle quali domina il metano e a volte la CO₂, idrocarburi liquidi provenienti da grandi profondità ed elementi litici rappresentativi delle rocce incontrate durante la risalita (Bonini 2008, p. 12).

2.1.2. Struttura, dimensioni e morfologia

Ogni struttura, nella parte sommitale presenta un cratere all'interno del quale si trovano fanghi e gas che, da un serbatoio a una certa profondità risalgono in superficie attraverso un condotto spesso impostato su fratture. I crateri principali sono comunemente associati a crateri laterali o satelliti, spesso riuniti in gruppi detti grifoni.

L'estrusione del fango dalle bocche è dovuta all'espansione termica del metano durante la risalita, alla conseguente diminuzione di densità dei fluidi rispetto le rocce circostanti e all'aumento della loro pressione (Bonini 2008, p. 12).

I vulcani di fango presentano dimensioni molto variabili, esistono infatti esemplari che ricoprono un'area maggiore di 500 m² e un'altezza che raggiunge i 700 m, come per esempio in Azerbaijan o nel caso dei vulcani di fango sottomarini del Mar Caspio, ed esemplari di difficile individuazione poiché si presentano spianati sia da agenti naturali, come le piogge che generano l'erosione dei coni, sia dall'azione antropica, legata per esempio all'agricoltura. In definitiva le dimensioni delle strutture dipendono sia dallo smantellamento del cono dovuto alla prevalenza dell'erosione, sia dalla crescita del cono dovuta all'emissione di materiale.

Attualmente il più grande vulcano di fango è Lusi che si trova in Indonesia e ricopre un'area di 10 km di diametro.

Per quanto riguarda la forma, esistono due differenti morfologie che dipendono dalla viscosità dei fanghi; se la viscosità è elevata, si formano strutture rilevate le quali ricordano i vulcani magmatici. Esse sono tanto più alte e con fianchi tanto più ripidi quanto più sono viscosi i fanghi e sono chiamate "coni" (Figura 5a).

L'altra morfologia è quella delle "polle" (Figura 5b). Esse si formano se la viscosità è bassa e consistono in strutture tendenzialmente pianeggianti le cui dimensioni dipendono ancora dalla viscosità del fango.



Fig. 5: a) Morfolgia a cono. b) Morfolgia a polla. (Riserva Natura Regionale delle Salse di Nirano).

2.1.3. Le eruzioni

Le eruzioni rappresentano uno dei principali fattori d'attrazione legato ai vulcani di fango.

Le modalità con cui vengono estrusi i fluidi dagli apparati possono essere molto differenti; possono, infatti, verificarsi manifestazioni caratterizzate dall'emissione lenta e continua, la quale, la maggior parte delle volte passa inosservata poiché avviene senza un forte impatto dal punto di vista ambientale e senza importanti conseguenze dal punto di vista antropico.

Altre emissioni sono invece caratterizzate da attività esplosiva, durante la quale possono essere espulsi fino a milioni di metri cubi di materiale, inoltre tali eventi possono essere accompagnati da combustione di gas ed eventi sismici che, a seconda della magnitudo, possono influire su altri apparati vulcanici posti anche a notevole distanza dell'ipocentro (Bonini 2008, p. 13).

Durante le eruzioni violente oltre al fango vengono emessi clasti di varie dimensioni con forma generalmente spigolosa i quali sono costituiti da varie litologie che dipendono dalle rocce attraversate durante la risalita.

Questa seconda tipologia di attività raramente passa inosservata poiché la grande quantità di materiale emesso e le violente esplosioni oltre ad avere un forte impatto ambientale costituiscono un pericolo concreto per la popolazione.

Durante i periodi di attività meno intensa, le emissioni sono accompagnate dalla continua presenza di bolle di gas che interessano la superficie del fango presente nella bocca (Figura 6).

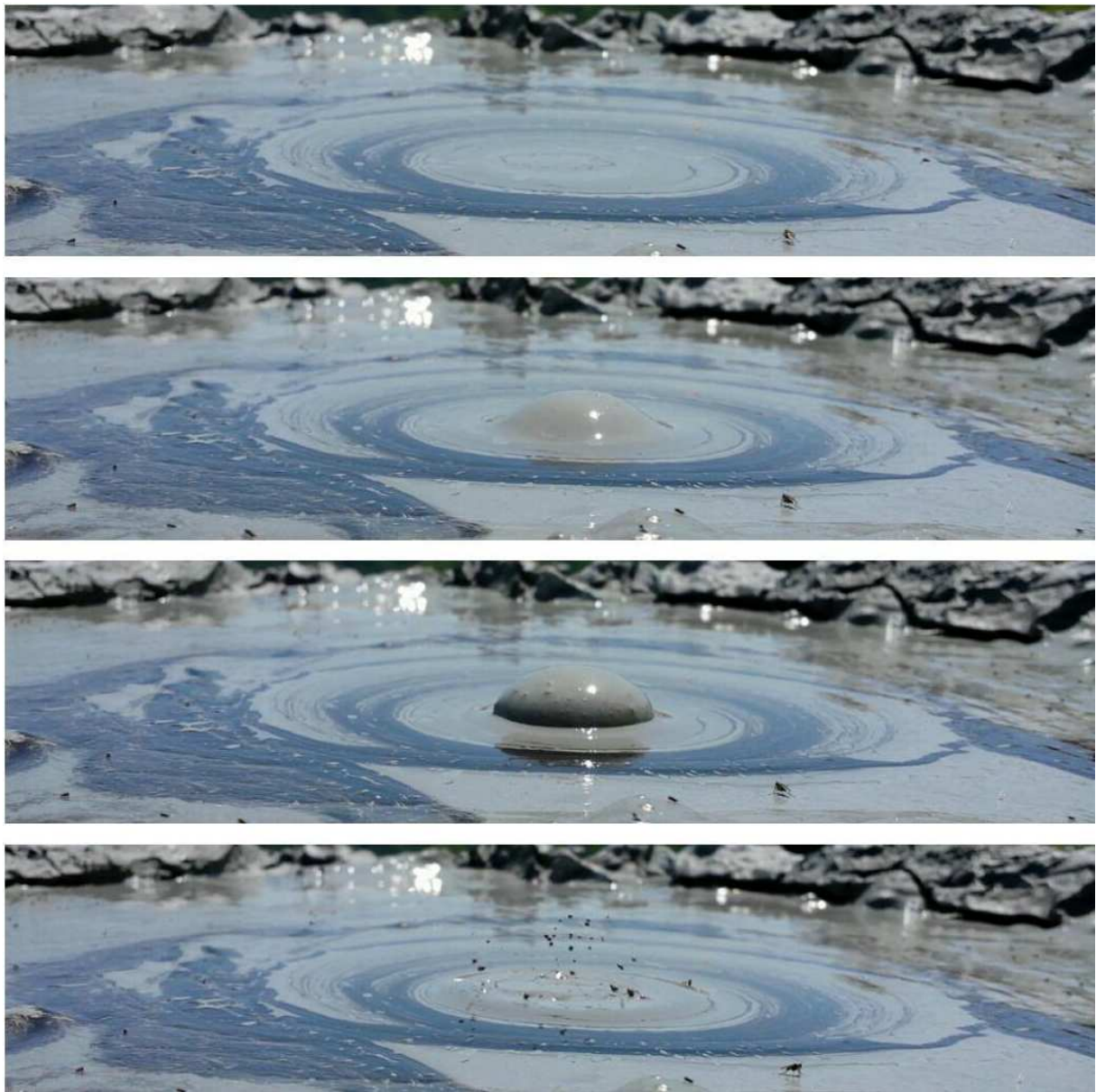


Fig. 6: Scatti fotografici che rappresentano in sequenza la formazione ed esplosione di una bolla di fango all'interno di un cono. Sulla superficie del fango è possibile apprezzare strutture concentriche più scure dovute alla presenza di idrocarburi.

2.1.4. I fanghi estrusi

Una delle caratteristiche principali che distingue i vulcani di fango da quelli magmatici è la temperatura del materiale estruso, infatti, esso tende ad essere generalmente freddo poiché risalendo molto lentamente in superficie riesce a riequilibrarsi con la temperatura esterna.

La temperatura dei fluidi generalmente rispecchia quella ambientale ma può variare dai 2°C ai 100°C (casi estremamente rari).

Ogni evento parossistico è accompagnato dalla formazione di colate che tendono a sovrapporsi creando delle successioni stratificate. Tra uno strato e l'altro è possibile trovare resti d'insetti rimasti intrappolati nel fango e icnofossili che possono essere utilizzati per ricostruzioni ambientali e datazioni.

Senza dover ricorrere ad elaborati metodi di datazione, per le colate più giovani è possibile stabilire la successione temporale semplicemente guardando il loro colore e stato. Le colate più recenti sono quelle più umide, presentano quindi una colorazione grigio più scuro e il loro aspetto superficiale può variare da liscio, a rugoso, a granulare in base a vari fattori quali la temperatura del fango, la sua viscosità, la quantità di sabbia o pietrisco, la presenza o meno d'idrocarburi etc.

Le colate più antiche hanno avuto più tempo per seccarsi, quindi presentano una colorazione grigio più chiara e in superficie sono interessate da concrezioni saline e mud cracks le cui dimensioni e incurvatura dipendono dallo spessore della colata.

2.1.5. I gas

I gas emessi, costituiti quasi esclusivamente da metano (e talvolta CO₂), derivano dalla migrazione da strati sottostanti. Assieme alle spinte tettoniche contribuiscono all'innalzamento della pressione dei fluidi creando uno stato di sovrappressione che favorisce la fluidificazione delle peliti e la loro migrazione verso la superficie attraverso linee di fratture o piani di faglia.

Oltre al metano, anche se in bassa percentuale, è emesso il Radon. Picchi anomali di emissioni di Radon sono stati registrati in corrispondenza di eventi sismici.

2.1.6. Il ciclo vitale

I vulcani di fango non rappresentano un fenomeno temporaneo ma hanno tempi di vita solitamente molto lunghi, fino a millenni.

Tali fenomeni presentano essenzialmente tre stadi che si ripetono ciclicamente:

1. Uno stadio iniziale durante il quale i vulcani si manifestano come chiazze umide da cui inizia lentamente a uscire fango;
2. Uno stadio intermedio durante il quale la struttura cresce e assume una diversa morfologia, cono o polla, secondo la viscosità del fango;
3. Uno stadio terminale caratterizzato dal rallentamento delle emissioni fino alla loro totale interruzione, con conseguente ostruzione del condotto di alimentazione. Si determina così uno stadio d'inattività della struttura. Raggiunto tale stadio, a causa dell'azione erosiva esercitata dai fenomeni atmosferici, la struttura è spianata assumendo una morfologia sempre più appiattita fino a scomparire.

Il ciclo vitale di un vulcano di fango è caratterizzato dal susseguirsi di fasi di attività e fasi d'inattività. La fine dell'inattività è caratterizzata da una forte esplosione, dovuta ad un aumento della pressione dei gas, con la quale avviene la rimozione del tappo d'ostruzione.

Verso la fine del ciclo vitale le fasi d'inattività iniziano a prevalere su quelle di attività le quali diventano sempre più deboli fino a cessare definitivamente. In seguito a ciò si assiste al prevalere dell'azione di smantellamento su quella di crescita.

2.1.7. I diapiri

Strutture morfologicamente simili ai vulcani di fango sono i diapiri di fango, tali strutture sono state rinvenute sui fondali marini, come per esempio nel Mar Adriatico, e come i vulcani di fango sono legate al movimento dei gas nel sottosuolo.

I diapiri presentano un diametro di oltre 50 metri con un'altezza di 2-3 metri e possono essere interessati anche da eruzioni esplosive. Grazie a sezioni sismiche si è verificato che tali

strutture sono presenti solo nei sedimenti superficiali e che il materiale emesso non ha origine a grandi profondità (Martinelli and Judd 2004, p. 52).

Sempre Martinelli e Judd (2004) hanno riportato che le fuoriuscite di metano e le estrusioni esplosive sono particolarmente intense durante l'attività sismica, indicando quindi una stretta relazione tra emissioni esplosive ed eventi tettonici. I periodi di quiescenza sono invece caratterizzati dall'emissione di acque salate ricche in gas, idrocarburi liquidi e fanghi con rari frammenti rocciosi di piccole dimensioni (Martinelli and Judd 2004, p. 52).

2.2. Inquadramento geologico

I vulcani di fango possono essere sia terrestri che sottomarini e si formano in prossimità di zone che soddisfano le seguenti caratteristiche (Sciarra, Cantucci, Castaldini, Procesi, Conventi 2013, p. 10):

- 1) Margini di placca convergenti (subduzione tettonica e catene orogeniche).
- 2) Sequenze sedimentarie argillose condensate.
- 3) Presenza di un elevato carico sedimentario dovuto alla rapida sedimentazione.
- 4) Formazione d'idrocarburi.

Si formano quindi in luoghi in cui sono presenti stabili condizioni di elevate sovrappressioni, rilascio di fluidi pressurizzati e presenza nel sottosuolo di livelli impermeabili che fungono da barriere idrauliche. Queste condizioni permettono ai fluidi di andare in sovrappressione contribuendo alla fluidificazione di peliti.

Un tipico esempio è costituito dai bacini a rapida subsidenza, dove la veloce sedimentazione non permette l'espulsione dei fluidi interstrato i quali, assieme al fango, verranno poi portati in superficie grazie all'attività tettonica e alla formazione di bolle di gas (Sciarra, Cantucci, Castaldini, Procesi, Conventi 2013, p. 10).

In Italia tali condizioni sono soddisfatte per esempio lungo il margine Emiliano-Padano, nelle Marche, in Abruzzo e in Sicilia.

Sul nostro pianeta è frequente riscontrare condizioni idonee alla formazione di vulcani di fango, per questo motivo se ne contano numerosi esemplari; sui continenti e in acque poco profonde sono stati individuati circa 1100 vulcani di fango ed è stato stimato che se ne possano trovare almeno altri 10000 sulle scarpate continentali e nelle piane abissali (Etioppe, 2003).

2.2.1. Nel Mondo:

Numerosi vulcani di fango terrestri si trovano in prossimità delle sequenze sedimentarie dei margini convergenti Alpino-Himalayano, Caraibico e Pacifico (Accaino, Bratus, Conti, Fontana, Tinivella, 2007, p. 90).

In ambiente sottomarino sono presenti oltre che nei margini attivi anche in quelli passivi. In Figura 7 è mostrata l'attuale distribuzione geografica dei vulcani di fango, sia continentali che sottomarini, presenti attualmente sul pianeta.

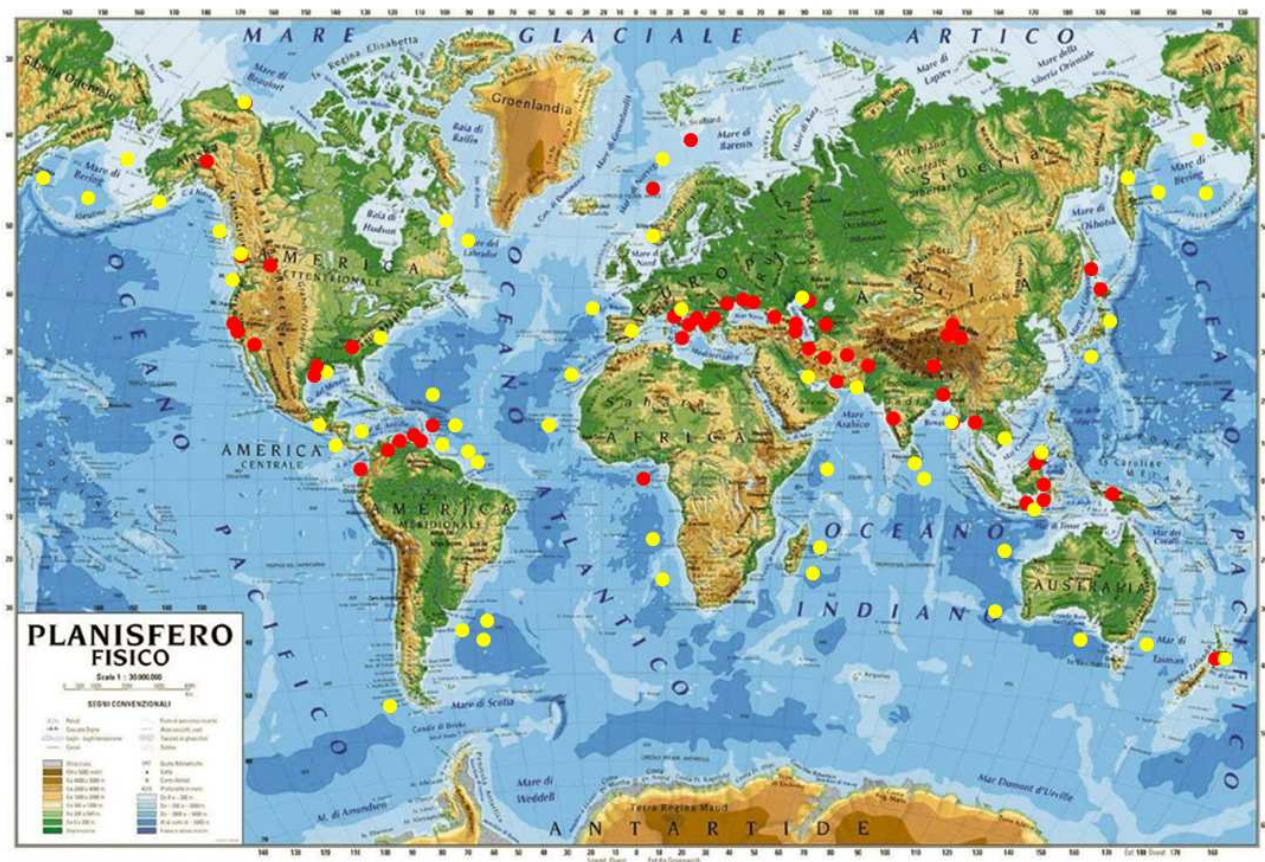


Fig. 7: I pallini indicano la distribuzione geografica nel mondo dei principali apparati: Rosso) vulcani che si trovano sulla terra emersa; Giallo) vulcani sottomarini.

2.2.2. In Italia

In Italia le maggiori concentrazioni si trovano in tre aree quali: Emilia-Romagna, Marche e Abruzzo, e Sicilia.

Esemplari isolati si possono trovare anche in Campania, Basilicata e Calabria (Figura 8).

Presenza di vulcani di fango sottomarini si riscontra nell'Avanfossa appenninica nel Mar Adriatico e all'altezza di San Benedetto di Tronto.

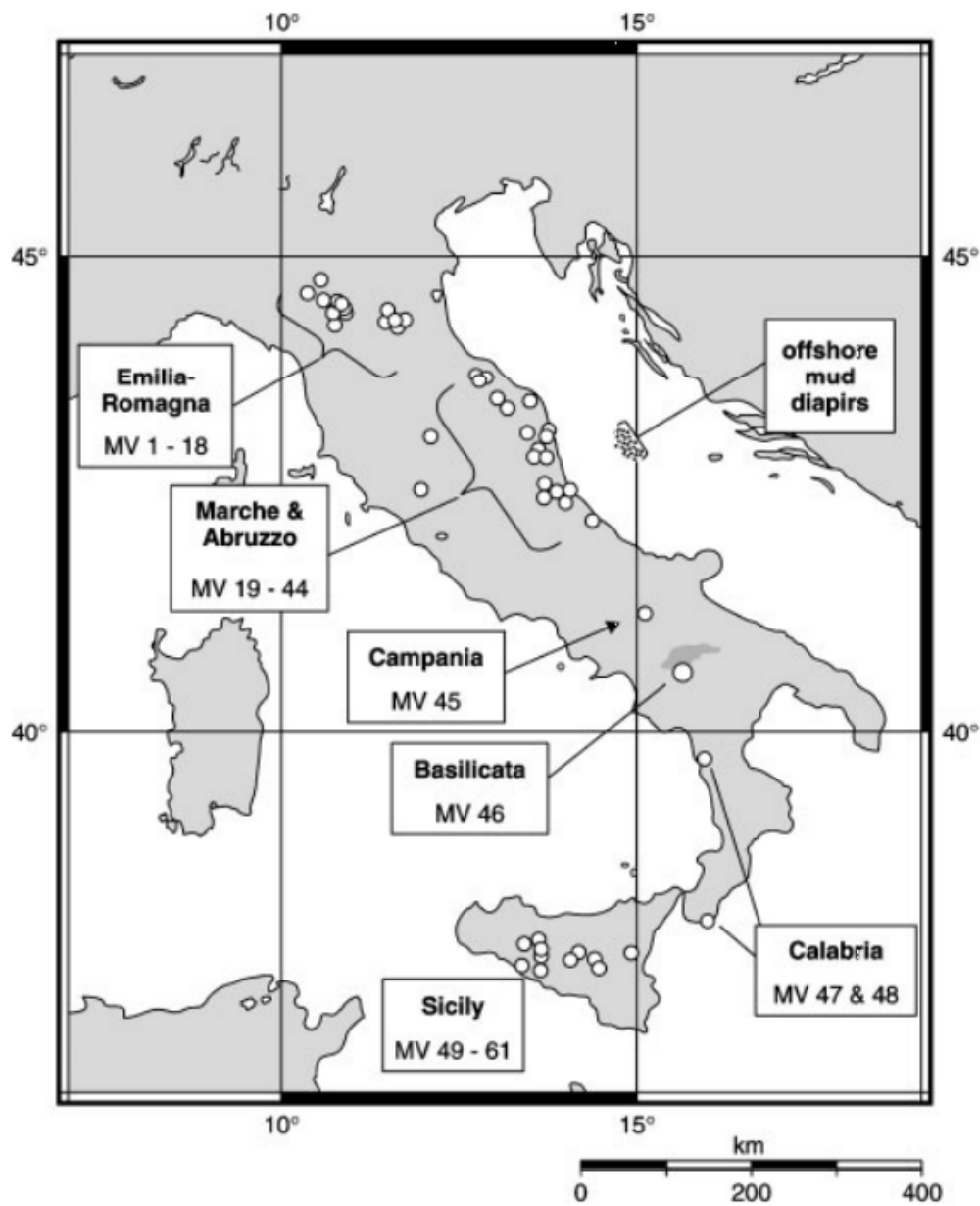


Fig.8: In Figura è mostrata la distribuzione geografica dei vulcani di fango sul territorio italiano (Martinelli and Judd 2004, Figura 1 p.50).

Nella Tabella 1 è riportato l'elenco di tutti vulcani di fango presenti in tutta la penisola italiana (Martinelli and Judd 2004, Tabella 1 p. 52).

Map number (locations shown on Figure 1)	Province*	Borough	Nearest toponym reachable by car	Latitude (deg:min:s)	Longitude (deg:min:s) East	Surface area [†]	Height (m)
Northern Italy							
1	RE	Viano	Casola–Querciola	44:45:44	10:31:38	D	<0.5
2	RE	Viano	Regnano	44:33:27	10:34:34	A	~2
3	PR	Lesignano di Bagni	Rivalta	44:37:45	10:19:34	A	<0.5
4	PR	Traversetolo	Torre	44:37:13	10:20:19	A	<0.5
5	MO	Sassuolo	Montegibbio	44:30:55	10:46:39	D	<0.5
6	MO	Fiorano Modenese	Nirano	44:30:48	10:49:25	A	~2
7	MO	Maranello	Puianello	44:28:36	10:52:00	B	<0.5
8	MO	Serra Mazzoni	Centora–Montardone	44:28:07	10:47:42	C	<0.5
9	MO	Marano sul Panaro	Ospitaletto	44:26:11	10:52:54	B	<0.5
10	MO	Polinago	Canalina	44:24:49	10:43:42	D	<0.5
11	BO	Ozzano Emilia	Montebugnolo	44:26:38	11:28:25	D	<0.5
12	BO	Castel San Pietro	San Martino in Pedriolo	44:21:13	11:34:22	D	<0.5
13	BO	Imola	Campo di Fondo	44:21:12	11:42:50	D	<0.5
14	BO	Monterenzio	San Clemente	44:20:09	11:27:18	A	<0.5
15	BO	Imola	Bergullo	44:18:32	10:44:14	C	<0.5
16	BO	Casalfiumanese	Casa Bubano	44:17:52	11:37:02	D	<0.5
17	BO	Casalfiumanese	Casa Campagnola	44:17:52	11:37:02	D	<0.5
18	BO	Casalfiumanese	Case Nuove di Rifiano	44:17:52	11:37:02	D	<0.5
Central Italy, Marche region							
19	PS	Petriano	Petriano	43:46:47	12:44:02	D	<0.5
20	PS	Saltara	Saltara	43:45:12	12:53:50	D	<0.5
21	PS	Isola del Piano	Isola del Piano	43:44:11	12:46:57	D	<0.5
22	AN	Ancona	Serra de' Conti	43:32:33	13:02:12	D	<0.5
23	AN		Aspio	43:32:00	13:30:04	D	<0.5
24	AN	Osimo	Santo Stefano	43:30:30	13:27:40	D	<0.5
25	AN	Maiolati Spontini	Moie	43:30:10	13:07:48	D	<0.5
26	AN	Maiolati Spontini	Contrada Calapigna	43:28:34	13:07:13	D	<0.5
27	AN	Monte Roberto	Monte Roberto	43:28:50	13:08:18	D	<0.5
28	AN	San Paolo di Jesi	Battinebbia	43:27:27	13:10:03	C	<0.5
29	AN	San Paolo di Jesi	Bagno	43:27:14	13:10:26	C	<0.5
30	MC	Macerata	Mogliano	43:11:07	13:28:45	D	<0.5
31	AP	Fermo	Capodarco	43:11:19	13:45:41	D	<0.5
32	AP	Senigallia	Vallone	43:08:18	13:43:22	D	<0.5
33	AP	Monte Rinaldo	Contrada Crocchia	43:01:39	13:34:47	D	<0.5
34	AP	Rotella	Madonna di Montemisio	42:57:14	13:33:38	D	<0.5
35	AP	Rotella	Contrada Osteria	42:56:47	13:32:33	D	<0.5
36	AP	Offida	Offida	42:56:06	13:41:26	C	<0.5
Central Italy, Abruzzo region							
37	TE	Torano Nuovo	Frola	42:39:31	13:42:14	D	<0.5
38	TE	Pineto	Pineto	42:36:29	14:04:02	D	~2
39	TE	Cellino Attanasio	Astelina	42:35:08	13:51:34	D	<0.5
40	TE	Cellino Attanasio	Pian Palazzo	42:35:08	13:51:34	D	<0.5
41	TE	Bisenti	Chiovano	42:32:07	13:40:16	D	<0.5
42	PE	Penne	Picciano	42:28:26	13:59:27	D	<0.5
43	CH	Frisa	Frisa	42:15:42	14:22:03	D	<0.5
44	CH	Poggiofiorito	Poggiofiorito	42:15:19	14:19:24	D	<0.5
Southern Italy, Campania region							
45	BV	Castelfranco in Miscano	Malvizza	41:17:49	15:05:06	A	<0.5
Southern Italy, Basilicata region							

Continuo Tabella 1.

46	PZ	Cancellara	Contrada Bòfete	40:43:51	15:55:23	D	<0.5
Southern Italy, Calabria region							
47	CS	San Vincenzo la Costa	San Sisti	39:21:50	16:09:04	D	<0.5
48	RC	Palizzi	Rocchette	37:55:09	15:59:11	D	<0.5
Sicily							
49	CT	Paternò	Simeto [†]	37:33:57	14:54:06	A	<0.5
50	CT	Paternò	Stadio [†]	37:33:50	14:54:11	A	<0.5
51	CT	Paternò	Vallone Salato [†]	37:33:47	14:54:15	A	<0.5
52	EN	Aidone	Aidone	37:24:54	14:26:47	D	<0.5
53	EN	Valguarnera Caropepe	Valguarnera Caropepe	37:29:42	14:23:20	D	<0.5
54	EN	Villarosa	Villarosa	37:35:08	14:10:24	D	<0.5
55	CL	Caltanissetta	Xirbi	37:29:25	14:03:24	D	<0.5
56	AG	Casteltermini	Casteltermini	37:32:24	13:38:42	D	<0.5
57	AG	Cammarata	Cammarata	37:37:57	13:38:13	D	<0.5
58	AG	Aragona	Zorba	37:23:32	13:37:26	A	<1
59	PA	Lercara Friddi	Lercara Friddi	37:44:51	13:36:12	D	<0.5
60	PA	Palazzo Adriano	Palazzo Adriano	37:40:52	13:22:44	D	<0.5
61	AG	Cattolica Eraclea	Bissana	37:26:20	13:23:42	B	<0.5

Tabella 1: Localizzazioni e caratteri principali di tutti i vulcani presenti in Italia (Martinelli and Judd 2004, Tabella 1 p. 52).

CAPITOLO 3

I VULCANI DI FANGO IN EMILIA-ROMAGNA.

3.1. Inquadramento geologico

La penisola italiana presenta le condizioni ideali per la formazione dei vulcani di fango poiché la sua genesi deriva dalla lenta collisione, iniziata nel Cenozoico, tra le placche Africa e Adria, e la placca Europea. A partire dal Neogene tale collisione ha creato la vasta cintura orogenica peri-tirrenica che oggi si sviluppa dall'appennino Settentrionale fino alla Sicilia.

Quindi lungo tutto il margine della catena appenninica è presente un regime di compressione attiva e per questo motivo i vulcani di fango italiani sono localizzati a ridosso di tale catena.

La maggior parte dei vulcani di fango dell'Emilia-Romagna si trovano allineati lungo il margine Emiliano-Padano, dove affiorano terreni a dominante argillosa quali, Unità Liguri, Epiliguri e Padano-Adriatiche, costituite in maggior parte da argilliti che fanno sì che la copertura sedimentaria sia impermeabile.

Gli esemplari del margine Emiliano-Padano li troviamo a: Rivalta-Torre, Regnano, Centora, Nirano, Montegibbio, Ospitaletto, Imola, Bergullo, Portico.

In particolare i vulcani di fango tra Rivalta-Torre e Ospitaletto sono connessi alle Unità Liguri che sono formate in prevalenza da argilliti che formano una coltre impermeabile.

I vulcani di fango situati al margine dell'Appennino Romagnolo (Imola e Bergullo) sono connessi alla presenza di argille Plio-Pleistoceniche.

Ancora diverso è il caso dei vulcani di fango di Portico (FC) dove il livello della formazione Marnoso Arenacea produce grandi quantità di gas (soprattutto metano) che giungono facilmente in superficie, poiché non sono presenti le argilliti delle Unità Liguri a sigillare il livello. In questa zona, infatti, sono prevalenti le manifestazioni metanifere (Bonini 2008. P.15).

I materiali emessi dalle salse del margine Emiliano-Padano sono costituiti da acque salmastre fossili, argilla e gas che provengono da uno o più serbatoi posti a diverse profondità, mentre la porzione liquida e argillosa proviene da serbatoi più superficiali dove si miscela con l'acqua meteorica (Capozzi and Picotti, 2002, p. 367).

In base al substrato geologico cambiano le caratteristiche del materiale estruso: se è presente un substrato argilloso (Complessi di base delle Liguridi, Argille Azzurre Plio-Pleistoceniche)

le emissioni sono caratterizzate da fango fluido con pochi clasti, se il substrato presenta una matrice argillosa con blocchi (Mélanges sedimentari delle formazioni Liguri ed Epiliguri) le emissioni sono caratterizzate da fanghi ricchi di clasti di varie dimensioni (Conti et al. 2003, p. 169). Per questo motivo le salse di Puianello e Nirano sono caratterizzate da emissioni prevalentemente di fango fluido, mentre quelle di Montegibbio, Regnano e Centora alternano attività esplosive con brecce fangose ad emissione tranquille di solo fango.

Grazie ad analisi chimiche si è verificato che le acque dei vulcani di fango in Emilia Romagna sono salmastre e hanno un'origine connata dominata dalla componente clorurato-sodica (NaCl 10-15 g/l) (Gorgoni et al., 1988, p. 268). Analisi eseguite sull'isotopo dell'ossigeno ($\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ SMOW) e del deuterio ($\delta^2\text{H}\text{‰}$ SMOW) indicano che le acque non hanno subito una contaminazione da parte delle acque meteoriche.

Il fango estruso dai vari apparati deriva dalla fluidificazione delle peliti che avviene grazie all'azione delle acque connate e del metano.

Il materiale espulso varia da breccia fangosa con inclusi clasti di dimensioni variabili tra sabbia fine e ciottoli, a breccia poligenica, con clasti di dimensioni centimetriche, con una matrice fangosa (Castaldini et al. 2007).

Il gas emesso dai vulcani di fango emiliani è composto principalmente da metano e quantità minori di anidride carbonica e acido solfidrico (Heller et al., 2011, p. 211). Esso proviene da trappole per idrocarburi poste a varie profondità e risale in superficie attraverso condotti impostati su fratture.

Grazie ad analisi basate sul rapporto δ^{13} , si è determinato che questi gas hanno origini miste tra quella biogenica (derivante da materiale organico in decomposizione) e quella termogenica (creato a grande profondità e ad alte temperature a partire da sostanze inorganiche), tipici dell'avanfossa Appenninica. Questi gas, infatti oltre a presentare il metano come componente principale, contengono etano che suggerisce la presenza di una componente termogenica (Martinelli and Judd 2004, p.54).

3.2. Eruzioni storiche in Emilia-Romagna

3.2.1. Salsa di Montegibbio

La Salsa di Montegibbio, conosciuta anche come “Salsa di Sassuolo”, si trova sui rilievi collinari appena sopra Sassuolo in provincia di Modena ed è contenuta nella tavoletta al 25.000 Sassuolo 86, I SO, 3^a Ed IGMI, rilevata nel 1884.

La prima testimonianza di una violenta eruzione di fango ci giunge grazie all’opera “Naturalis historia” di Plinio, l’autore descrive una gigantesca eruzione di fango verificatasi contemporaneamente al violento terremoto del 91 a.C. che interessò il margine Pede-Appenninico vicino a Modena. Tale eruzione è stata associata alla Salsa di Montegibbio, ma poiché il racconto non identifica una precisa area geografica non si esclude che Plinio si riferisse alle Salse di Nirano.

Oltre all’eccezionale eruzione del 91 a.C., ci è giunta testimonianza di altre secondarie eruzioni: 1592, 1594, 1599, 1601, 1608, 1628, 1684, 1689, 1711, 1781, 1784, 1786, 1787, 1789, 1790.

Viene invece ricordata come straordinaria l’eruzione del 4 o 14 giugno 1835, la quale avvenne in corrispondenza di un sisma che fu avvertito nelle zone limitrofe. Durante tale eruzione ci fu combustione di gas accompagnata dall’emissione di sassi e circa un milione e mezzo di metri cubi di fango. Dalla bocca si levò una colonna di fumo alta oltre 50 metri e la salsa che fino a quel momento non era ben evidente, raggiunse considerevoli dimensioni. La colata di fango, che dalla salsa si diresse a nordovest verso la valle del Secchia, è ben visibile nella carta geologica dello Stöhr del 1867 (Figura 9).

L’ultima eruzione di questa salsa avvenne nel 1873 e benché la salsa risulti inattiva da più di un secolo, fino a pochi anni fa era ancora ben visibile il suo cono alto 10 metri e una spaccatura dovuta alle energetiche emissioni (Bonini 2008, p. 15).

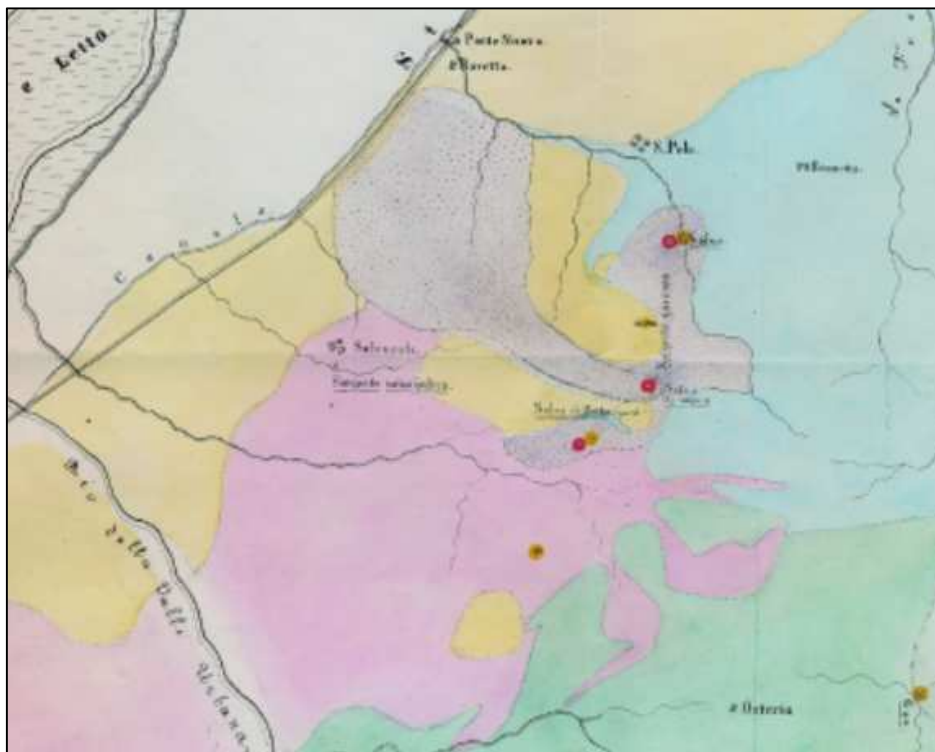


Fig. 9: Dettaglio della Salsa di Montegibbio (indicata come “Salsa di Sopra”) ripreso dalla carta geologica dello Stöhr (1867). La colata di fango è rappresentata in grigio.

3.2.2. Salsa di Regnano

La Salsa di Regnano, conosciuta anche come Salsa di Querzola, si trova tra le colline di Viano in provincia di Reggio Emilia ed è contenuta nella tavoletta al 25000 Viano 086, IV-SE, rilevata nel 1934.

La Salsa di Regnano è localizzata nella parte superiore di un pendio e le sue colate si dirigono verso est.

L'attività di questa salsa, che è notevolmente diminuita in quest'ultimo secolo, è stata notevole nel passato. Infatti, si contano almeno quattordici intense eruzioni avvenute nell'arco di un secolo e mezzo. L'eruzione più rilevante è stata descritta dal Tamarelli (1881) il quale ci testimonia che con getti che raggiunsero i 10 metri di altezza, furono emesse pietre, idrocarburi e argilla. A tali emissioni seguì una colata di fango che in un breve intervallo di tempo si estese fino a 400 metri di distanza dal cono.

Ad oggi la salsa presenta coni che non superano il mezzo metro di altezza, mentre nel passato sono stati descritti coni alti anche 7 metri

CAPITOLO 4

LE SALSE DI NIRANO

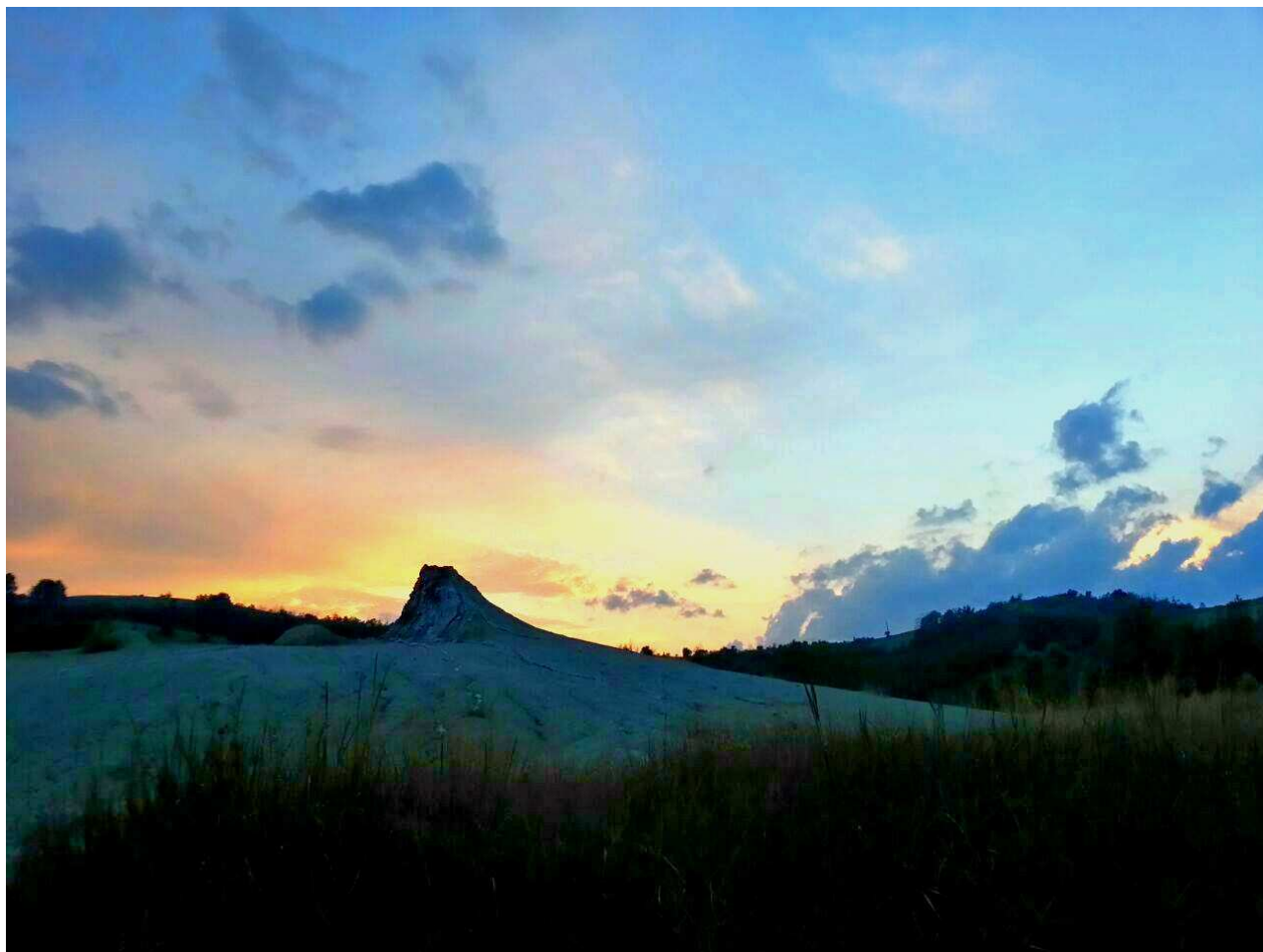


Fig. 10: Uno tra i più grandi vulcani di fango a forma conica presente nella Riserva Naturale delle Salse di Nirano.

4.1. Inquadramento geografico

Uno dei più grandi e importanti raggruppamenti di vulcani di fango italiani si trova nella Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano (istituita nel 1982) dove il fenomeno è conosciuto con il nome di salse o bombi, epiteto dovuto al boato che a volte si genera durante l'eruzione.

La Riserva si trova ai piedi dell'Appennino Modenese nel territorio del Comune di Fiorano Modenese ad una quota compresa tra i 208 m e i 221 m s.l.m., ha un'estensione di circa 20000 m² ed è situata all'interno di una depressione ovale circondata da piccole frane per colata e calanchi che rappresentano una delle tipiche forme erosive di questa zona appenninica. Nella riserva si contano più di venti apparati attivi, il più grande, è un cono soprannominato Nando che si trova vicino alla località Cà Rossa nella zona sud-ovest della conca.

4.2. Inquadramento geologico

Nell'area delle Salse di Nirano affiora la Formazione delle Argille Azzurre Plio Pleistoceniche, e come mostrato nella sezione geologica (Figura 11), in profondità troviamo la Formazione Colombacci, le Unità Epiliguri, le unità Liguri e la Marnoso Arenacea.

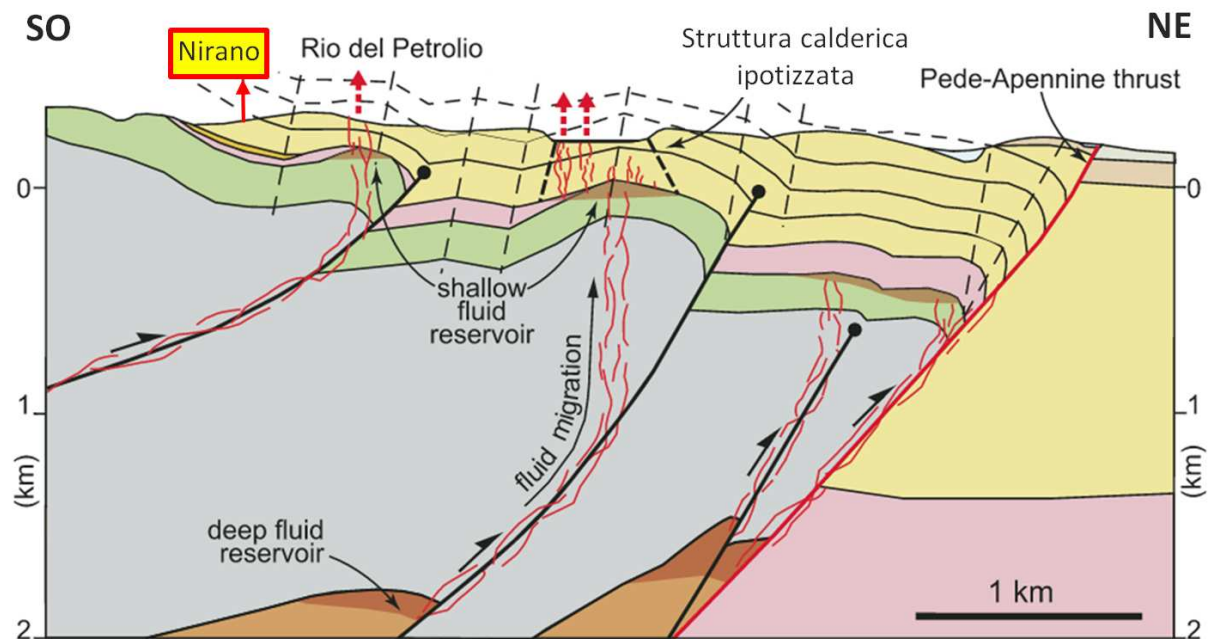


Fig 11: Sezione geologica dell'area di Nirano (Bonini, 2008, p. 132) e legenda (http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/219_SASSUOLO/Foglio.html).



FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE (FAA)

Argille debolmente marnose, localmente siltose, grigio-azzurre, a stratificazione mal distinguibile: locali intercalazioni di sabbie fini in strati sottili o medi. Contatto inferiore paraconcordante o marcato da una lieve discordanza angolare su FCO, discordante su unità più antiche. Potenza fino a 1000 metri circa.

PLIOCENE INF.-PLEISTOCENE INF.



FORMAZIONE A COLOMBACCI (FCO)

Argille verdognole in strati sottili, argille biancastre, arenarie a cementazione scarsa in strati da sottilissimi a medi e in banchi con lenti di ghiaie alternate a siltiti marnose, locale presenza di strati di calcare micritico (colombacci).

Contatto inferiore discordante sulla Successione epiligure o su Liguridi.

Potenza di poche decine di metri.

MESSINIANO



UNITÀ EPILIGURI

Arenarie, argilliti, marne conglomerati.

EOCENE-MIOCENE



UNITÀ LIGURI

Sabbie e calcari.

GIURASSICO-OLIGOCENE



MARNOSO ARENACEA

Arenarie e siltiti.

MIOCENE



Vie preferenziali di migrazione dei fluidi: faglie o fratture.

L'area delle salse di Nirano si colloca all'interno di una depressione di forma ellittica o "a guisa d'anfiteatro" situata in prossimità della zona di cerniera di una piccola anticlinale di argilliti appartenenti alle Unità Liguri (Figura 12).



Fig. 12: Veduta del sito delle Salse di Nirano (Bonini 2008, p. 18).

La sua origine in un primo momento fu attribuita all'azione di fenomeni erosivi, mentre ora l'ipotesi più accreditata è che la sua formazione sia legata al collasso della copertura di una struttura di tipo calderico. Tale collasso si sarebbe verificato a causa del degassamento e all'emissione di migliaia di metri cubi di fango e fluidi provenienti da un serbatoio superficiale.

Il fatto che la caldera presenti una geometria ellittica, e non circolare, può essere ricondotto sia alla deformazione e distorsione tettonica delle strutture che si trovano sui suoi bordi, sia alla forma del sottostante serbatoio che si sviluppa nella direzione dello stress orizzontale minimo (Bonini M. 2008).

Bonini (2008) ha verificato che i vulcani di fango e la forma allungata della caldera sono collegati e possono essere considerati indicatori dello stress nelle zone di compressione attiva. La caldera di Nirano presenta, infatti, l'asse maggiore (lungo circa 550 m) parallelo al Thrust Pede-Appenninico e l'asse minore (lungo circa 350 m) parallelo all'asse di massima compressione regionale, ovvero con orientazione pari a N10°E.

A causa del movimento di sollevamento e traslazione verso Nord che ha interessato tutta la catena appenninica negli ultimi 7 milioni di anni (Bonini 2008, p. 19) tali strutture sono molto fagliate.

Si presume che la depressione si sia formata durante il terremoto del 91 a.C. descritto da Plinio, l'autore, infatti, dice che il terremoto si è verificato in una zona collinare pede-Appenninica la quale potrebbe benissimo essere riferita alle Salse di Nirano, anche se spesso tale descrizione viene attribuita alla Salsa di Montegibbio (o Salsa di Sassuolo).

A causa della continua emissione di materiale e del persistente dilavamento dei fanghi ad opera delle piogge, si sta assistendo ad un approfondimento della depressione.

Le Salse di Nirano sono costituite da quattro principali centri d'emissione allineati lungo la direzione N55°E. Tale direzione coincide con l'andamento medio di un set di fratture posto perpendicolarmente all'asse dell'anticlinale passante per l'area di Nirano. Oltre a questo principale set di fratture, è presente un secondo set di fratture, poste parallelamente all'asse dell'anticlinale, che rappresentano superfici di clivaggio di piano assiale o fratture d'estradosso. L'intersezione dei due set dà luogo a condotti secondari favorevoli all'emissione di fluidi.

Da studi geofisici eseguiti dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Modena e Reggio Emilia e l'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica (OGS) di Trieste sono stati eseguiti i rilievi sismici 3D e i profili geo-elettrici dai quali si è potuto risalire alla struttura delle salse nel sottosuolo (Accaino, Tinivella, Baradello, Bratus, 2005). Le indagini sono state eseguite nell'area della Salsa Alta (detta Fernando) e mediante l'utilizzo di diverse tecniche geofisiche è stata ricostruita la geometria delle strutture sepolte fino ad una profondità di 50 metri. Grazie a tomografie inverse, ottenute da sezioni sismiche 3D, si è scoperta la presenza di un camino vulcanico principale, numerosi condotti superficiali di risalita del gas e, ad una profondità prossima ai 25 metri rispetto alla sommità del vulcano investigato, è stato trovato un serbatoio superficiale in cui ristagna il materiale prima di essere emesso (Accaino, Bratus, Conti, Fontana, Tinivella, 2007, p. 91).

Grazie ad indagini geo-elettriche si è scoperto che tale serbatoio è collegato ai molteplici condotti sub verticali di risalita (Accaino, Tinivella, Baradello e Bratus, 2005). Il confronto con altri esempi in letteratura, caratterizzati in genere da serbatoi più profondi, fa ritenere che la camera individuata alla profondità di 25 metri corrisponda solo all'ultima fase di accumulo prima della fuoriuscita del fango (Castaldini et al., 2007). Inoltre si è scoperto che tutti gli edifici che si trovano ad una distanza entro i 50 – 70 metri dal camino vulcanico principale sono alimentati dalla stessa camera di fango (Accaino et al., 2007, p. 99-100) (Figura 13).

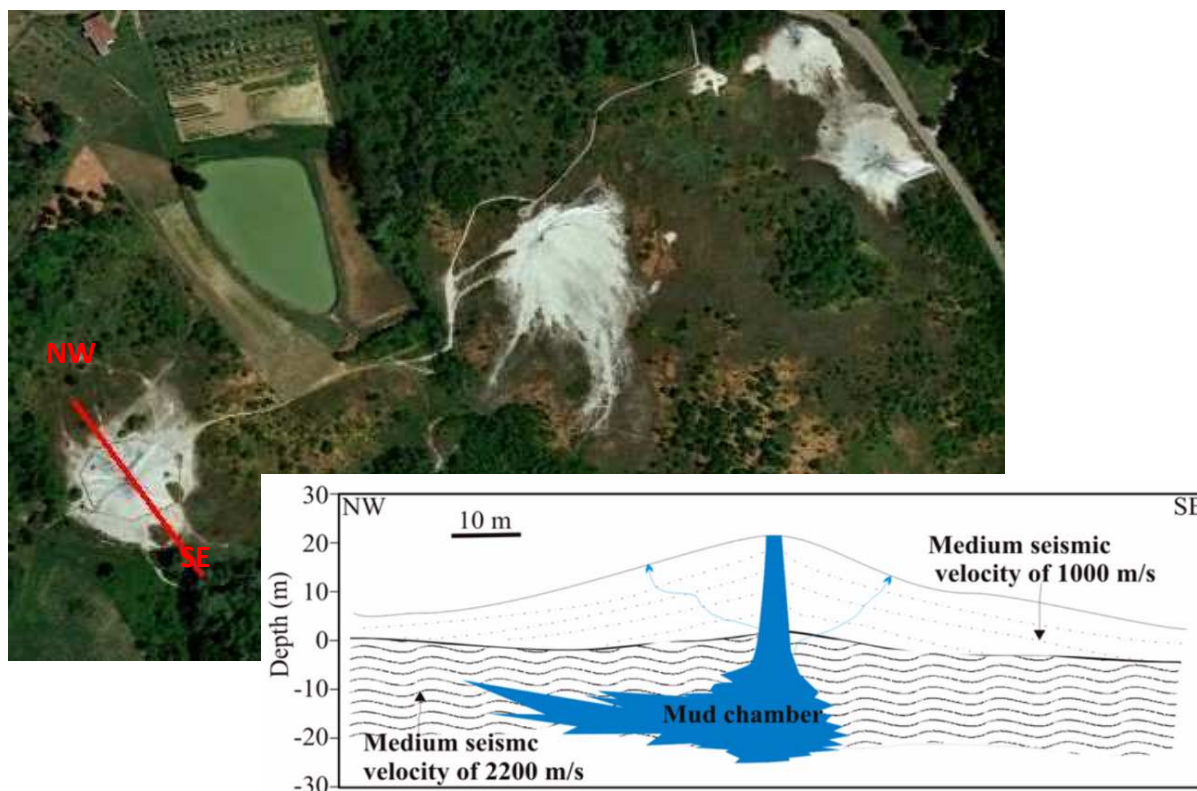


Fig. 13: Area in cui sono state eseguite le indagini geoelettriche e la tomografia inversa (<http://earth.google.it/download-earth.htm>) e sezione geologica schematica (Accaino et al., 2007, p. 99-100).

A causa della dinamicità del fenomeno non è possibile indicare l'esatta posizione geografica e l'esatto numero delle bocche, infatti, esso presenta una variabilità stagionale, inoltre, non è per niente raro che una struttura possa aprirsi, o disattivarsi, come testimonia sia la recente formazione di un gruppo di nuove bocche nella zona di "Cà Rossa", o il fatto che Stoppani nel 1883 contasse oltre quaranta bocche, che Camerana nel 1926 ne contasse una decina e che nel 2008 ne siano state contate una ventina.

4.3. Inquadramento geomorfologico

Nella zona affiorano solamente litologie limose argillose di origine marina del Pliocene-Pleistocene. Nella maggior parte della zona, compresa la conca, affiorano le Argille del Torrente Tiepido (argille siltose con intercalazioni di sabbie fini), mentre nel settore a nord si trovano le Argille del Rio del Petrolio (argille marnose).

L'area è delimitata a nord-ovest dal Rio Chianca, mentre nel settore meridionale dell'area scorrono il Rio Serra e il Rio delle Salse che sono a regime intermittente e convogliano le loro acque nel Torrente Fossa. Le acque del Rio delle Salse hanno spesso un colore lattiginoso

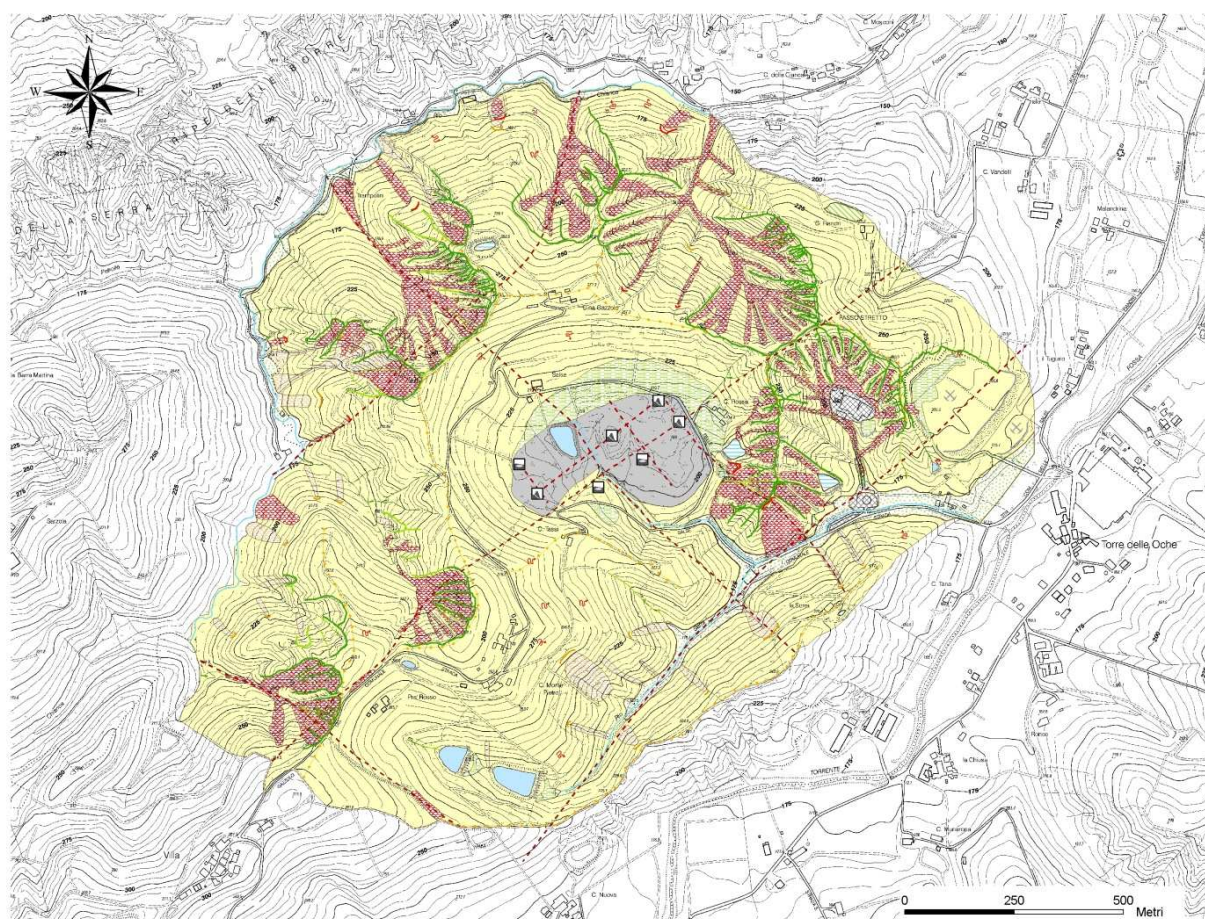
poiché drenano i fanghi dalla conca (Castaldini, Valdati, Ilies, 2005, p. 395). Il fondo della conca si presenta ricoperto da uno spessore di alcuni metri di fango trasportato dalle colate generate dalle ripetute eruzioni (Castaldini, Valdati, Ilies, 2005, p. 396).

In Figura 14 è rappresentata la carta geomorfologica della zona delle Salse di Nirano in cui vengono indicate le litologie e i vari elementi strutturali presenti.


CARTA GEOMORFOLOGICA DELLA RISERVA NATURALE REGIONALE DELLE SALSE DI NIRANO (APENNINO MODENESE) (DEL 2010)
GEOMORPHOLOGICAL MAP OF THE REGIONAL NATURAL RESERVE OF "SALSE DI NIRANO" (MODENA APENNINES) (YEAR 2010)

D. CASTALDINI* & P. CORATZA con la collaborazione di A. GHINOI*



* Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Largo S. Eufemia, 19, Modena (Italia)



LITOLOGIA DEL SUBSTRATO (BEDROCK LITHOLOGY)

-  Argille debolmente marnose, localmente siltose, grigio azzurre a stratificazione mal distinguibile, locali intercalazioni di sabbie fini in strati sottili o medi (Argille azzurre, Pliocene inferiore - Pleistocene inferiore)
Marly-clays, locally silty-clays, greyish blue with bad stratification; locally fine sandy layers interbedded. (Argille azzurre Lower Pliocene - Lower Pleistocene)

DATI STRUTTURALI (STRUCTURAL DATA)




-  Limite litologico
Lithologic boundary
-  Faglia/frattura presunta
Assumed fault/fracture

IDROGRAFIA (HYDROGRAPHY)


-  Corso d'acqua principale
Main stream
-  Laghetto
Pond
-  Palude
Marsh

FORME E DEPOSITI LEGATI AL FENOMENO DELLE SALSE





(LANDFORMS AND DEPOSITS RESULTING FROM THE "ENDOGENETIC" ACTIVITY OF THE MUD VOLCANOES)

-  Salsa o gruppo di salse a cono
Cone-shaped mud volcano or group of cone-shaped mud volcanoes
-  Salsa o gruppo di salse a polla
Level-pool mud volcano or group of level-pool mud volcanoes
-  Depositi di colata delle salse
Mud-flow deposits of mud volcanoes









FORME POLIGENETICHE (POLYGENETIC FORMS)

-  Crinale, cresta, spartiacque
Ridge, crest, watershed

FORME ANTROPICHE (ANTHROPOGENETIC LANDFORMS)

-  Area intensamente modellata
Heavily shaped area
-  Area di cava dismessa
Abandoned quarrying area
-  Orlo di scarpata artificiale
Edge of artificial scarp
-  Terrapieno
Landfill

FORME E DEPOSITI PER ACQUE CORRENTI SUPERFICIALI (LANDFORMS AND DEPOSITS DUE TO RUNNING WATERS)

- | Attivo (Active) | Quiescente (Dormant) | |
|---|---|---|
|  |  | Orlo di scarpata di calanco
<i>Edge of badlands' scarp</i> |
|  |  | Solco da ruscellamento concentrato
<i>Gully</i> |
| |  | Depositi dei corsi d'acqua principali (Tessitura dalle sabbie alle argille, spessore > 1 m)
<i>Deposits of the main streams (texture from silt to clay, more than 1 m thick)</i> |
|  |  | Depositi colluviali (Tessitura dai limi alle argille, spessore > 1 m)
<i>Colluvial deposits (Texture from silt to clay, more than 1 m thick)</i> |
| |  | Depositi palustri (Tessitura prevalentemente argillosa, spessore > 1 m)
<i>Palustrine deposits (Texture mainly clayey, more than 1 m thick)</i> |

FORME E DEPOSITI GRAVITATIVI DI VERSANTE (SLOPE LANDFORMS AND DEPOSITS DUE TO GRAVITY)

- | Attivo (Active) | Quiescente (Dormant) | |
|---|---|--|
|  |  | Orlo di scarpata di degradazione o di frana
<i>Edge of degradational and/or landslide scarp</i> |
|  |  | Frana (per colata e/o scivolamento)
<i>Landslide (flow type)</i> |
|  | | Area interessata da soliflusso
<i>Slope affected by solifluction</i> |

Fig. 14: Carta geomorfologica e legenda della Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano.

La zona delle Salse di Nirano presenta un clima Temperato Subcontinentale con temperature medie di 12 °C, moderate escursioni termiche giornaliere e forti escursioni termiche annue. Le precipitazioni non sono molto abbondanti (800 mm/anno) e sono distribuite in maniera omogenea durante il corso dell'anno, tuttavia tendono ad essere più scarse in estate e più abbondanti in autunno ed è proprio ciò che porta alla modellazione del paesaggio. Contribuiscono fortemente all'evoluzione morfologica della zona anche fenomeni brevi e di forte intensità che si manifestano sporadicamente nel periodo estivo, infatti, se il fango emesso non fosse dilavato, ma fosse accumulato, in un arco di tempo relativamente breve si formerebbero apparati enormi. Nel periodo invernale possono presentarsi scarse precipitazioni nevose che non permangono al suolo per più di 30 giorni (Castaldini et al., 2007) e non apportano significative modificazioni al paesaggio.

Le aree ricoperte di fango variano notevolmente il loro aspetto secondo le condizioni climatiche, infatti, quando piove a causa della loro natura, le argille assorbono acqua in interstrato e quindi oltre ad assumere una colorazione più scura e un aspetto viscido, aumentano di volume provocando un lieve aumento delle dimensioni dei coni. Inoltre le piogge a causa del loro effetto dilavante decorano la superficie esterna dei coni creando una fitta rete di fossi di scolo.

Durante i periodi di siccità, invece, i fanghi si disseccano e come risultato si ha una contrazione che crea particolari strutture sedimentarie conosciute con il nome di mud cracks.

Sia le precipitazioni sia la formazione dei mud cracks contribuiscono ad un generale fenomeno di erosione e quindi ad una lieve modificazione della morfologia dell'area.

Presso la riserva sono presenti due differenti morfologie dalle quali è emesso il materiale; i coni (o grifoni) e le polle.

I coni esternamente presentano la tipica morfologia di un vulcano magmatico ma con dimensioni nettamente inferiori, attualmente un cono occupa un'area circolare con diametro di circa 5 metri e un'altezza massima di 2 metri, mentre in passato sono stati raggiunti i 5 metri di altezza. All'apice della struttura si trovano le bocche, le quali presentano un'ampiezza molto variabile da qualche centimetro ad alcune decine di centimetri.

Le polle, invece, presentano una struttura differente in quanto non si elevano dal suolo, ma si presentano come strutture tendenzialmente piatte o leggermente convesse verso l'alto con apertura delle bocche che può presentare un diametro maggiore di un metro.

L'attività delle Salse di Nirano, che è aumentata notevolmente in seguito al terremoto del 1873, è caratterizzata generalmente da una quasi continua e lenta emissione di materiale da

ogni bocca con attività maggiore nei periodi umidi. Il materiale si accumula continuamente all'interno del cono fino a quando, ad intervalli irregolari, inizia a tracimare dalla bocca creando delle colate che possono estendersi fino a coprire grandi distanze.

Le emissioni sono accompagnate dalla continua presenza di bolle di gas che interessano la superficie del fango contenuto nella bocca (Figura 15).



Fig. 15: Bolla di fango all'interno di un cono.

L'attività delle bolle è costituita da piccoli esemplari che presentano un diametro medio di 1 cm, mentre ad intervalli di pochi minuti si manifestano esemplari più grandi che possono presentare un diametro di oltre 10 cm.

Spesso le colate arrivano a ricoprire la vegetazione e ne impediscono la crescita data l'elevata frequenza con cui è emesso il materiale. In questo modo il paesaggio presenta zone di varie tonalità di grigio nella parte adiacente alle bocche dei coni e a mano a mano che ci si allontana, sfumano in zone verdeggianti in cui è presente una vegetazione completamente alofila.

Il gas emesso dalle Salse di Nirano è composto per la maggior parte da metano facilmente infiammabile.

Nel più grande cono presente nell'area (Nando) è stata stimata un'emissione giornaliera di gas da 150 a 300 metri cubi (Martinelli and Judd 2004, p. 559).

Negli apparati lungo il Rio del Petrolio assieme ai fanghi sono emessi idrocarburi fluidi che sono stati sfruttati per scopi terapeutici sin dal XV secolo.

Le acque delle Salse di Nirano hanno un'origine connata (depositata insieme al sedimento che si è accumulato sul fondo di un bacino marino e non è stata espulsa nelle prime fasi diagenetiche a causa del seppellimento sotto strati impermeabili come le argille e a causa della rapida sedimentazione) e sono salmastre a causa del cloruro di sodio disciolto in esse (Accaino et al., 2007, p. 939). La concentrazione del sale si aggira intorno ai 10-20 g/l quindi presentano una salinità inferiore rispetto alle acque marine (concentrazione media del sale nell'acqua marina: 35g/l).

A causa della presenza del sale, nella stagione estiva quando c'è forte evaporazione, sul fango secco si formano patine e formazioni biancastre.

Le Salse sono molto interessanti anche dal punto di vista paleontologico poiché contengono numerose specie fossilizzate. Infatti, esse intrappolano e seppelliscono velocemente una grande varietà di elementi; intrappolati tra gli strati di fango sono stati ritrovati insetti, piccoli vertebrati, resti vegetali e impronte fossili, grazie ai quali è stato possibile ricavare informazioni inerenti all'attività biologica dell'area (Castaldini et al., 2007).

4.4. Terremoti e vulcani di fango del margine Pedo-Appenninico

Recentemente è stato provato che l'attività delle salse del margine Pedo-Appenninico (in particolare Nirano) è strettamente collegata all'attività sismica (Martinelli and Judd, 2004).

Dal monitoraggio delle emissioni di ^{222}Rn presente nelle acque e nei si gas sono riscontrate variazioni nella composizione geochimica dei fluidi collegate sia alla temperatura dell'aria che all'attività sismica locale.

Infatti, trascurato il fattore temperatura, sono state registrate anomalie costituite da elevati picchi di ^{222}Rn correlabili a terremoti locali di bassa magnitudine ($M < 4.5$). Tali anomalie potrebbero essere usate nel campo della predizione sismica locale: tale teoria è rafforzata dal fatto che i dati ottenuti dalle campagne di monitoraggio del 1999 e del 2000 mostrano che le emissioni di Radon nei giorni precedenti al sisma sono nettamente superiori rispetto ai periodi quiescenti (Martinelli and Judd, 2004, p. 55).

Oltre al monitoraggio del ^{222}Rn sono state riscontrate correlazioni tra eruzioni e terremoti. Può accadere che un terremoto inneschi un'eruzione. Tale teoria è supportata dal fatto che varie eruzioni siano avvenute in seguito ad attività sismica, come per esempio l'eruzione della Salsa di Montegibbio del 05/04/1781 (Manga, Brumm, Rudolph, 2009, Tabella 2 p. 1788), l'eruzione delle Salse di Nirano del 15/05/1873 (Bonini, 2008, p. 15). In contrasto con tale teoria troviamo la testimonianza di varie eruzioni avvenuti in assenza di attività sismica, come ad esempio la lunga l'eruzione della Salsa di Montegibbio del giugno 1835, oppure i 15 eventi parossistici della Salsa di Regnano avvenuti tra il 1754 e il 1906.

CAPITOLO 5

ANALISI MINERALOGICHE QUALITATIVE E SEMI- QUANTITATIVE E ANALISI GRANULOMETRICHE DEI FANGHI

5.1. Campionatura

In data 15/05/2015 e 22/06/2015 sono stati prelevati campioni di fango da 13 apparati presenti nella Riserva Naturale (Figura 16).



Fig. 16: Fase di raccolta dei campioni.

Per ognuno dei 13 vulcani di fango sono stati prelevati 3 tipologie diverse di campione:

- Campione di fango molto fluido raccolto dal centro della bocca. La campionatura è avvenuta immergendo, nella bocca del vulcano, un recipiente con capienza di 1 l.
- Campione di fango relativamente denso raccolto dalle pareti interne del cono. Per la campionatura è stato utilizzato un recipiente con capienza di 200 ml con il quale si è andati a raschiare il fango più denso dalle pareti interne del vulcano.
- Campione di fango secco (crosta) raccolto per ogni vulcano ad una distanza variabile dal cratere.

In Figura 17 è riportata una mappa raffigurante l'area di studio, mentre in Figura 18 sono riportate le caratteristiche dei campioni: nome del campione, ubicazione dei campionamenti, tipo di campione e data in cui è stato effettuato il campionamento.



Fig 17: Area di campionamento (<http://earth.google.it/download-earth.htm>).



Fig. 18: Ubicazione del campionamento di campionamento, il nome del campione, data in cui il campione è stato raccolto e tipologia del campione. Ogni mappa rappresenta un diverso raggruppamento di vulcani di fango: a) Nando; b) La Giunta; c) Cà Rossa/ Garfagnine; d) Salsa della Piazzola (Egidio); e) Salsa Alta (Fernando); f) Polle a nord della Salsa alta (Annalisa e Davide) (<http://earth.google.it/download-earth.htm>).



c) Cà Rossa (Garfagnine)



d) Salsa della Piazzola (Egidio)



e) Salsa Alta (Fernando)



f) Polle a nord della Salsa alta (Annalisa e Davide)



Tabella 2: Dati dei campioni prelevati: sigla, data di campionamento, tipologia di campione e apparato di provenienza.

Nome del Campione	Data di campionamento	Tipo di campione	Apparato di provenienza
C1	15-05-15	Cono	Nando
C2	15-05-15	Cono	Nando
C3	15-05-15	Polla	Nando
C4	15-05-15	Crosta	Nando
C5	15-05-15	Polla isolata	La Giunta
C6	15-05-15	Polla isolata	La Giunta
C7	15-05-15	Crosta	La Giunta
C8	15-05-15	Polla nuova isolata (ora, 9/11/2015, Piccolo cono)	Ca' Rossa/ Garfagnine
C9	15-05-15	Crosta	Ca' Rossa/ Garfagnine
C10	15-05-15	Cono	Salsa della Piazzola (Egidio)
C11	15-05-15	Crosta	Salsa della Piazzola (Egidio)
C12	15-06-22	Cono	Salsa Alta (Fernando)
C13	15-06-22	Cono	Salsa Alta (Fernando)
C14	15-06-22	Cono	Salsa Alta (Fernando)
C15	15-06-22	Cono chiuso	Salsa Alta (Fernando)
C16	15-06-22	Polla vecchia isolata	Polle a nord della Salsa alta (Annalisa e Davide)

5.2. Metodi analitici: Analisi mineralogica qualitativa e semi- quantitativa

L'analisi mineralogica è stata eseguita su 12 campioni di fango. Per l'esecuzione delle analisi è stato utilizzato un diffrattometro a Raggi X per polveri Bragg-Brentano θ - θ Panalytical modello X'Pert-Pro presente presso il C.I.G.S. (Centro Interdipartimentale Grandi Strumenti) dell'Università di Modena e Reggio Emilia.

I diffrattogrammi ottenuti sono poi stati elaborati tramite il programma X'Pert HighScore Plus.

La diffrazione a Raggi X è una tecnica analitica con la quale vengono studiati i materiali cristallini; essa si basa sulla legge di Bragg (Formula 1) ed è un fenomeno associato alla deviazione del fascio di Raggi X ad opera degli atomi di un cristallo. In Figura 19 è rappresentato schematicamente come avviene il fenomeno.

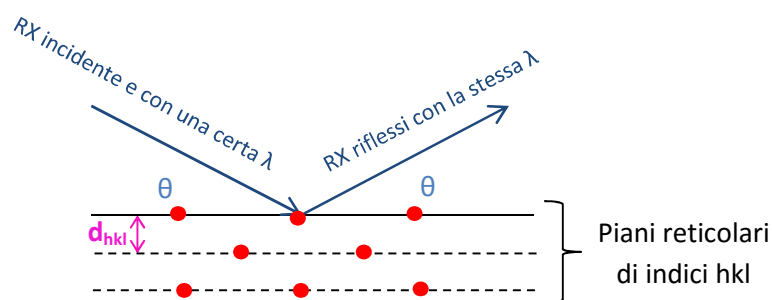


Fig. 19: Diffrazione dei raggi X (Legge di Bragg)

Formula 1:

$$n\lambda = 2d_{hkl} * \text{sen}\theta$$

λ = lunghezza d'onda

n = ordine della diffrazione, numero intero

d_{hkl} = distanza tra i piani reticolari di indici hkl

θ = angolo incidente e diffratto

L'interazione tra i Raggi X e gli atomi disposti in modo periodico e ordinato in un cristallo genera il fenomeno della diffrazione e si genera interferenza costruttiva tra i raggi diffratti

solo in particolari direzioni definite dalla legge di Bragg. La direzione di diffrazione è dipendente soltanto dalla dimensione della cella elementare diversa per ogni fase cristallina, quindi dalla misura degli angoli di diffrazione si può risalire alla determinazione della fase (analisi mineralogica qualitativa). L'intensità della diffrazione dipende dalla natura e posizione degli atomi quindi dalla struttura cristallina diversa per ogni fase cristallina. In presenza di miscele di più fasi cristalline l'intensità è anche funzione della percentuale in peso di ogni fase (analisi mineralogica quantitativa).

Le analisi diffrattometriche possono essere eseguite sia su singoli cristalli (SC-XRD) che su polveri (XRPD). Nel nostro caso è stata utilizzata la diffrazione da polveri.

L'analisi viene eseguita servendosi di uno strumento denominato diffrattometro da polveri (Figura 20), che come output restituisce un diffrattogramma.

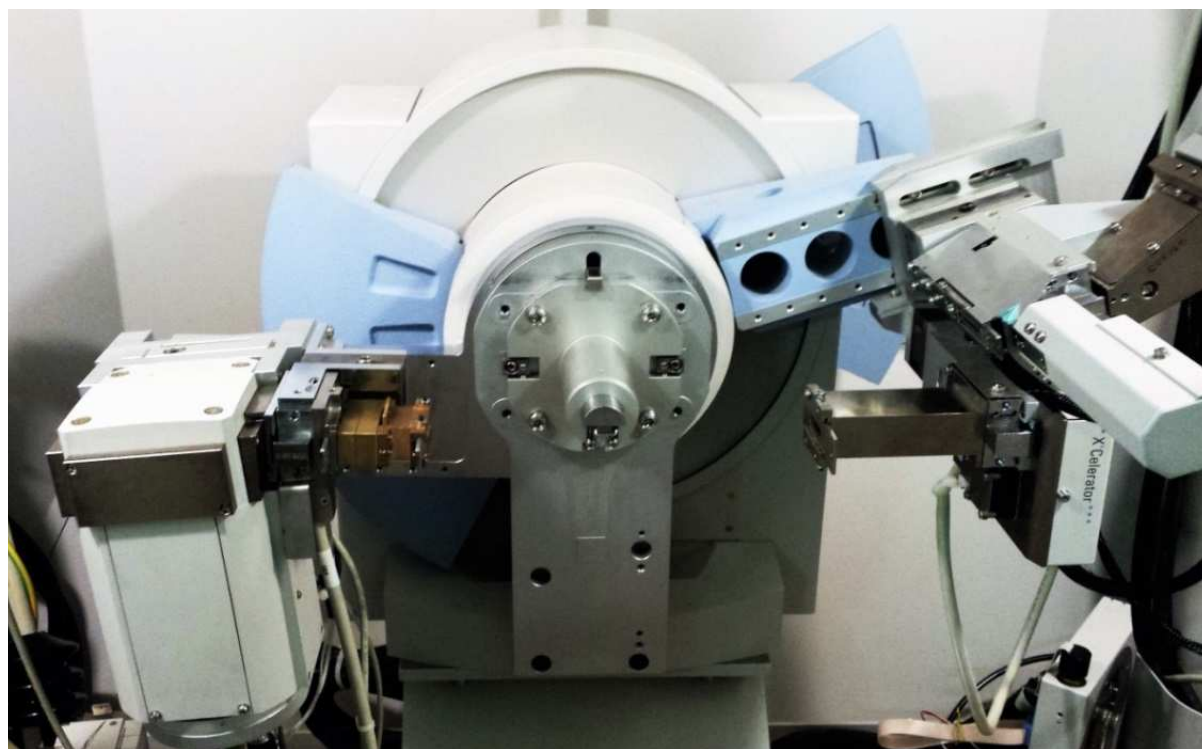


Fig. 20: diffrattometro per polveri tipo Bragg-Brentano (θ - θ) Panalytical modello X'Pert-Pro.

5.2.1. Preparazione dei campioni

Per le analisi in XRPD sono stati utilizzati i campioni relativamente più densi raccolti dalle pareti interne del cono.

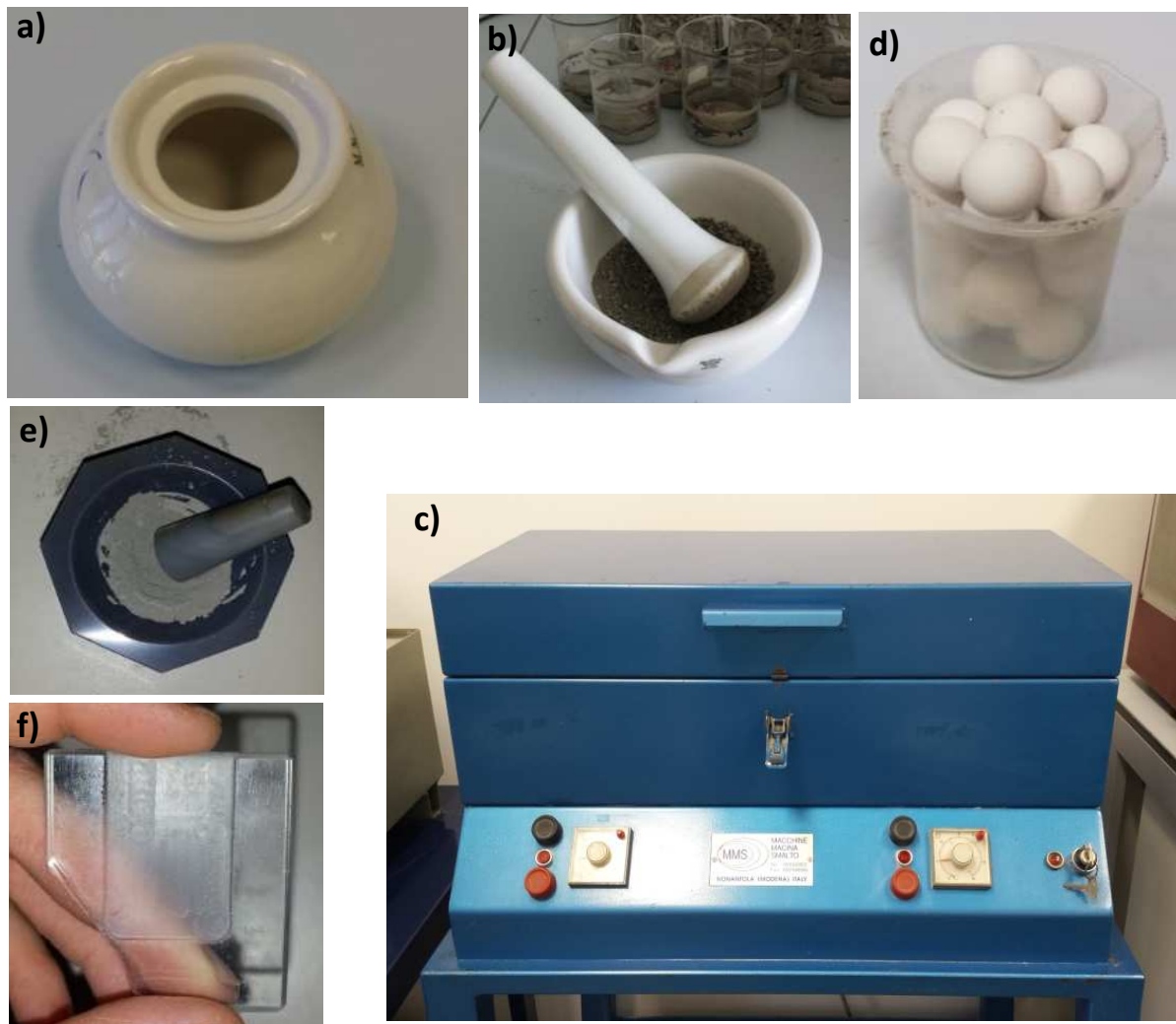


Fig. 21: a) Giara; b) Mortaio grande; c) Mulino a giare; d) Sfere di allumina; e) Mortaio piccolo; f) Vetrino per caricamento laterale.

Come prima cosa i campioni sono stati fatti seccare a temperatura e pressione ambiente, successivamente, circa 200 g di campione sono stati inseriti nella giara (Figura 21 a) con un'eguale quantità di sfere di allumina (Figura 21 d) e acqua; il tutto è stato poi inserito nel mulino a giare e macinato ad umido per 20 minuti (Figura 21c). In seguito il contenuto è stato raccolto in un recipiente ed essiccato in stufa ad una temperatura inferiore ai 60°.

Una volta essiccato il campione è stato macinato prima in un grande mortaio (Figura 21 b) e dopo con un mortaio in agata più piccolo (Figura 21 e) è stata eseguita un'ulteriore e più fine macinazione per ottenere una polvere impalpabile adatta alla diffrazione X.

La polvere è stata inserita in un portacampioni di vetro (Figura 21f) tramite caricamento laterale e successivamente posta all'interno del diffrattometro.

Si è usata la tecnica del caricamento laterale al fine di ridurre al minimo i fenomeni di orientazione preferenziale dei cristalliti, che tendono a verificarsi soprattutto in campioni argillosi (costituiti da fillosilicati).

5.2.2. Analisi in Diffrazione di Raggi X (XRPD)

Il diffrattometro è stato utilizzato nella seguente configurazione:

- Soller da 0,02 radianti
- Slitte da $\frac{1}{4}$ radianti
- Intervallo angolare 2θ investigato: $3^\circ < \theta < 45^\circ$
- Passo di scansione (step size): $0,0167^\circ$ in 2θ
- Tempo di misura per step: 85 s

Sui diffrattogrammi ottenuti è stata effettuata l'analisi qualitativa delle fasi minerali attraverso il programma X'Pert HighScore Plus.

5.2.3. Trattamenti con Glicole Etilenico ed in temperatura

Al fine di identificare con certezza i minerali argillosi presenti nei fanghi si è resa necessaria un'indagine accurata dei picchi di diffrazione a 14 \AA e 7 \AA per valutare la presenza di caolinite, clorite e smectite (infatti i riflessi principali di tali fasi si sovrappongono, non consentendone l'immediata identificazione).

Sono quindi stati selezionati due campioni rappresentativi (C14 e C16) e per ognuno di essi sono stati preparati 3 vetrini copri oggetto su cui il campione è stato disperso ad umido in modo da ottenere una superficie il più omogenea possibile (Figura 22).



Fig. 22: 6 vetrini copri oggetto con i campioni C14 e C16 dispersi ad umido.

Il primo vetrino è stato mantenuto inalterato al fine di avere uno standard di riferimento. Sul secondo è stato eseguito il trattamento con Glicole Etilenico: seccato il campione sul vetrino, il tutto è stato inserito per 72 ore a temperatura ambiente in un essiccatore in vetro contenente Glicole Etilenico. Tale trattamento è stato condotto per distinguere la clorite dalle fasi smectitiche, poiché entrambe presentano un picco a 14 Å. Infatti, le fasi smectitiche tendono ad assorbire il

Glicole Etilenico in interstrato, aumentando le distanze dei piani reticolari (001) a 15-16Å, mentre la clorite non subisce variazioni. Quindi in seguito a tale trattamento nel diffrattogramma vedremo il picco a 14 Å inalterato se è presente solo clorite, totalmente spostato se è presente solo smectite, oppure due picchi con intensità ridotte (a circa 15-16Å e 14Å) se sono presenti entrambe le fasi.

Il terzo vetrino è stato trattato termicamente alla temperatura di 500 °C per 30 minuti per distinguere il contributo al picco a 7Å della clorite (picco relativo alla distanza interplanare dei piani reticolari (002)) da quello della caolinite (piani reticolari (001)). A tale temperatura la caolinite si decompone mentre la clorite resiste, e quindi dall'entità della diminuzione di intensità del picco (o dalla sua totale scomparsa) è possibile determinare la presenza o meno delle due fasi. In seguito a questo trattamento termico il picco a 7 Å rimane inalterato se è presente solo clorite, diminuisce di intensità se è presente sia clorite che caolinite e sparisce se è presente solo caolinite.

Su tutti i vetrini è stata eseguita XRPD nell'intervallo di 2θ 3 – 14°, utilizzando le stesse condizioni sopra riportate.

5.3. Metodi analitici: Calcimetrie

Per le calcimetrie sono stati utilizzati i campioni relativamente più densi raccolti dalle pareti interne del cono, ovvero gli stessi campioni su cui sono state eseguite le analisi XRPD.

5.3.1. Il metodo

L'analisi calcimetrica viene utilizzata per determinare il contenuto di carbonati presente in un sedimento e sfrutta

la reazione chimica tra carbonati e acido cloridrico (formula 2):



Il contenuto di carbonato si determina a partire dalla quantità di anidride carbonica che si sviluppa, considerando che per ogni mole di CaCO₃ si forma una mole di CO₂.

5.3.2 Materiali

Per l'esecuzione delle prove calcimetriche si utilizza:

- Calcimetro (Figura 23):

Il calcimetro è uno strumento costituito da: una beuta con tappo in cui avviene la reazione chimica, un cilindro graduato contenente il liquido colorato che viene spostato (abbassato) dall'anidride carbonica evoluta e grazie al quale verranno effettuate le misure, un tubo che collega la beuta al cilindro.

- Acido cloridrico (HCl) diluito al 16%

- Standard:

Si sono utilizzati due standards a composizione in CaCO_3 nota (50% e 75%) ottenuti miscelando quarzite e carbonato di Ca in percentuali note.

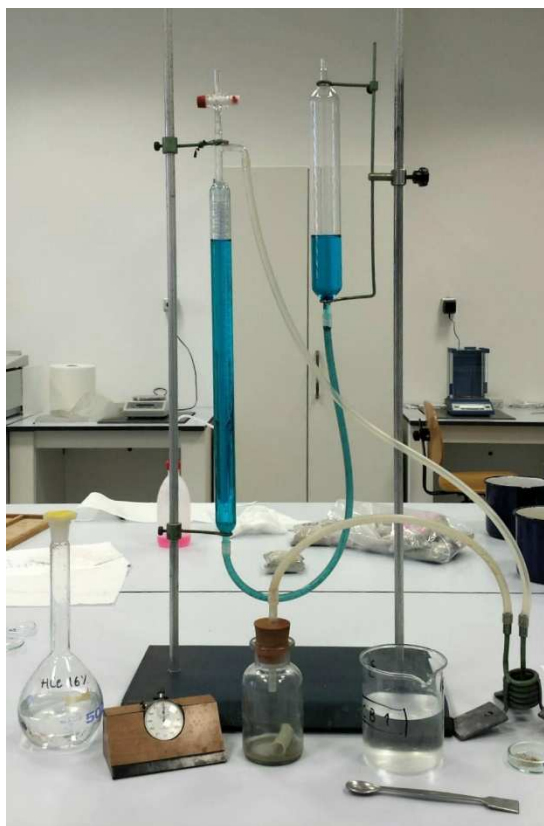


Fig. 23: Calcimetro modello Dietrich Frunling.

5.3.3. Preparazione dei campioni e analisi con il calcimetro

Tutti i campioni di fango sono stati analizzati utilizzando le stesse polveri utilizzate per le analisi XRPD.

Ogni campione, dopo essere stato pesato, è stato inserito nella beuta. Si è poi riempita una provetta di plastica con 5 cm³ di HCl e la si è inserita nella beuta facendo attenzione a non versarne il contenuto. Successivamente la beuta è stata chiusa con un tappo di gomma e attraverso un rubinetto si è azzerato il calcimetro eguagliando la sua pressione interna con la pressione esterna. A questo punto agitando la beuta si è innescata la reazione facendo entrare in contatto il campione con l'HCl. Si è quindi assistito ad un abbassamento del fluido contenuto nel cilindro causato dalla CO₂ sviluppata. Si è continuato ad agitare la beuta fino al termine dell'effervescenza (3 minuti) e in seguito, sul cilindro graduato, è stata effettuata la lettura dell'abbassamento prodotto.

Per calcolare il volume della CO₂ è stata usata la formula 3:

Formula 3:

$$V_0 = \frac{P - p}{760} * \frac{273}{273 + t} * V_i$$

V_0 = volume della CO₂ letto sul cilindro graduato

t = temperatura ambiente

P = pressione atmosferica

p = tensione di vapore dell'H₂O alle condizioni dell'esperimento

Per ottenere la % di CO₂ è stata applicata la Formula 4:

Formula 4:

$$CO_2\% = \frac{V_0 * 44}{22,414 * A} * 100$$

A = peso in grammi del campione analizzato.

La percentuale di CO₂ è stata poi convertita in percentuale in peso di CaCO₃.

Al termine delle calcimetrie si ottiene la percentuale in peso di CaCO₃ anche se la CO₂ misurata oltre che dalla calcite deriva anche da altri carbonati come la dolomite.

5.4. Metodi analitici: Analisi granulometriche

Per le analisi granulometriche sono stati utilizzati campioni di fango molto fluido raccolto dal centro della bocca

L'analisi granulometrica è stata eseguita su 4 campioni rappresentativi.

La percentuale di sabbia ($\varnothing > 0,0625$ mm) è stata determinata usando un setaccio a maglie 0,0625 mm, mentre per le frazioni più fini, quali limo ($0,0625\text{mm} < \varnothing < 0,0020\text{mm}$) e argilla ($\varnothing < 0,0020\text{mm}$) sono state eseguite analisi granulometriche per sedimentazione.

5.4.1. Il metodo

Le analisi granulometriche per sedimentazione si conducono utilizzando un densimetro e si basano essenzialmente sulla legge di Stokes e sul principio di Archimede:

Legge di Stokes:

Una sfera immersa in un fluido viscoso, fermo ed indefinito, e abbandonata a se stessa senza velocità iniziale, per effetto della gravità cade con moto inizialmente accelerato. Se il diametro della sfera è abbastanza piccolo così che nella sua caduta essa non provochi la formazione di scie vorticosi (regime lamellare), la sfera raggiunge una velocità di regime alla quale si equilibrano la resistenza del mezzo e la forza motrice, proseguendo la sua caduta con moto uniforme (formula 5) (http://www.unime.it/unigeolab/_pagine/-13535.html).

Formula 5:

$$D \equiv \sqrt{\frac{1800 * v * L}{(\phi s - \phi w) * t}}$$

D= diametro in mm delle particelle in sospensione.

v = viscosità del fluido e dipende dalla temperatura.

L = profondità effettiva, profondità a cui si trova il baricentro del densimetro rispetto al pelo dell'acqua.

Φ_s = peso specifico del solido, caratteristica intrinseca del solido che nel nostro caso dipende dalla composizione mineralogica. Per i suoli si assume che essa sia $2,65 \text{ N/m}^3$.

Φ_w = peso specifico dell'acqua che dipende dalla temperatura.

t = tempo espresso in minuti.

Principio di Archimede:

Un corpo immerso in un fluido riceve una spinta dal basso verso l'alto pari al peso di volume di fluido spostato.

5.4.2. Materiali

I materiali che servono per l'esecuzione delle granulometrie sono:

- Acqua ossigenata (130 vol.):

L'acqua ossigenata è utilizzata per eliminare la materia organica presente nei fanghi che andrebbe ad abbassare notevolmente il peso specifico del campione. Al contatto con l'acqua ossigenata la materia organica si ossida emettendo CO_2 e dando luogo ad una reazione esotermica (il campione si scalda notevolmente).

- Sodio esametafosfato diluito al 5%:

Il campione è stato trattato con sodio metafosfato che è un antiflocculante per impedire alle particelle di argilla di creare aggregati (grumi), processo dovuto al fatto che le particelle di argilla sono cariche elettrostaticamente.

- Cilindro graduato con capienza 1 litro
- Cronometro
- Densimetro a peso costante:

Il densimetro è uno strumento che permette di misurare la densità di un fluido, il suo funzionamento è basato sulla spinta di Archimede. Il densimetro a peso costante è costituito da due parti; un'inferiore nella quale troviamo un rigonfiamento con dentro delle sfere che fanno da peso e una parte superiore costituita da un'asta graduata sulla quale vengono letti i valori di densità. Questo strumento, che sfrutta la legge di Stokes, quando viene immerso in un fluido riceve una spinta dal basso verso l'alto pari al peso di fluido spostato e quindi maggiore è il peso del fluido maggiore è la spinta che riceve. In base alla densità del fluido andremo a leggere valori diversi sull'asta graduata dello strumento stesso. Come richiesto dalla norma ASTM D422 il densimetro usato è un idrometro 152H.

In Figura 24 viene mostrato come appare un densimetro immerso in un fluido (campione di fango).

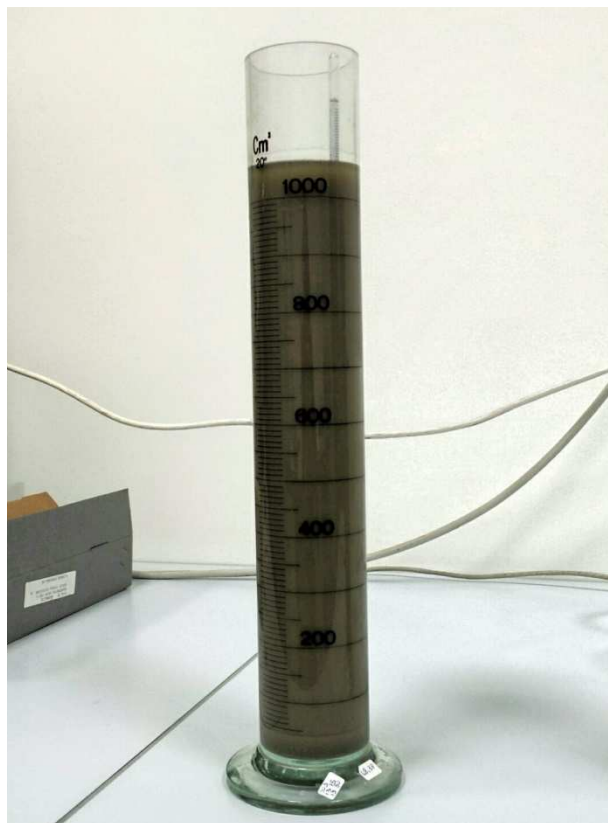


Fig. 24: Densimetro immerso nel fluido. Con il passare del tempo la densità del fluido diminuirà (per sedimentazione della frazione più fine) e il densimetro sprofonderà sempre di più. Sull'asta graduata del densimetro si leggono i valori di L (profondità a cui si trova il baricentro del densimetro).

5.4.3. Preparazione dei campioni e misure con densimetro

I quattro campioni selezionati sono stati lasciati a decantare per un lungo periodo durante il quale l'acqua si è separata dal solido che si è sedimentato.

In ogni campione è si è separata la parte acquosa (Figura 25 a sinistra) dalla parte solida sedimentata (Figura 25 a destra).

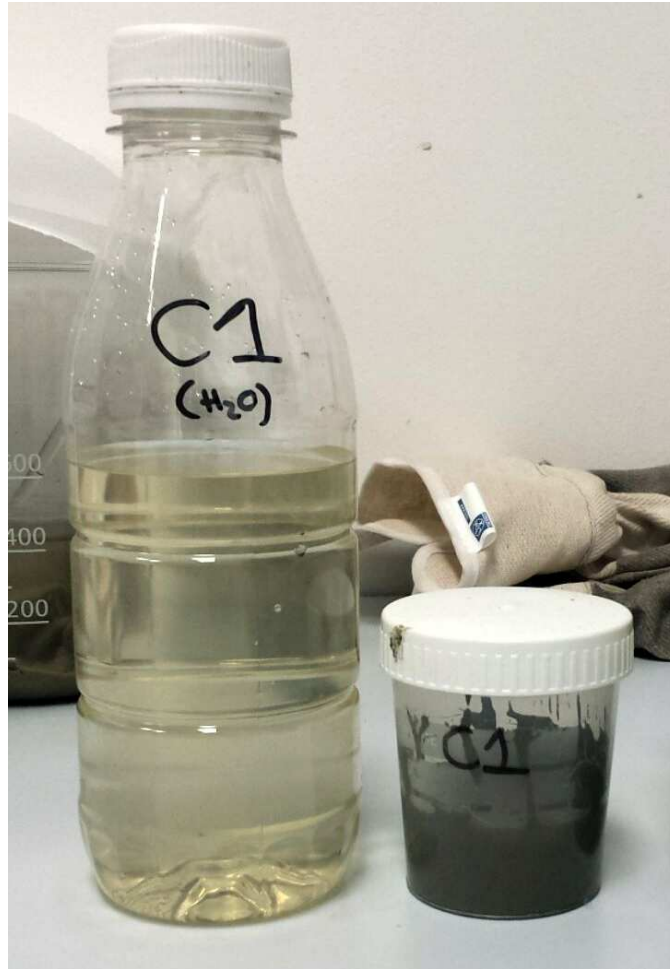


Fig. 25: Parte acquosa (recipiente di sinistra) e parte solida sedimentata (recipiente a destra) del campione C1.

La frazione acquosa è stata conservata per poter eseguire ulteriori analisi, e il restante materiale è stato preparato per l'analisi granulometrica.

Il fango è stato inserito in un recipiente con acqua ossigenata (concentrata a 130 vol.). Per ognuno dei 4 campioni sono serviti 3 trattamenti con acqua ossigenata affinché tutta la materia organica presente fosse ossidata.

Successivamente, al fine di eliminare l'acqua ossigenata il campione è stato lavato con acqua, fatto decantare per 24 h e dopo aver tolto l'acqua è stato messo in forno a seccare alla temperatura di 105 °C per 24h.

Seguendo la normativa ASTM D422 sono stati pesati circa 50g di campione (prelevato perpendicolarmente alla stratificazione formatasi in seguito alla decantazione in maniera tale da avere tutte le granulometrie) e messi a bagno per 24 h in un becker nel quale è stato aggiunto sodio esametafosfato diluito al 5% in modo da disgregarsi completamente.

Per effettuare la correzione del menisco, la correzione dello zero e della temperatura sul campione in analisi, è stato preparato il campione "bianco" in un cilindro, di capienza 1 l, identico a quello in cui sono poi state eseguite le misurazioni sui campioni in esame. Il campione bianco è stato preparato utilizzando 1 litro di sodio esametafosfato diluito al 5% e si è portato il tutto a livello nel cilindro con acqua distillata.

Sul campione bianco sono stati misurati i valori di densità per applicare le seguenti correzioni:

- Correzione del menisco:

Misura necessaria poiché le sospensioni dei campioni non saranno limpide e si leggerà solo il top del menisco e non il bottom come da regola.

- Correzione dello zero:

Tale correzione è necessaria per correggere le misure per la presenza dell'agente antiflocculante.

- Correzione della temperatura:

Tale correzione è necessaria poiché la densità di un fluido è influenzata dalla temperatura.

Successivamente ogni campione è stato trasferito in un cilindro, di capienza 1 l, portato a livello (1 l) con acqua distillata e l'apertura del cilindro è stata sigillata con un tappo in gomma. Poi in rapida successione il tutto è stato agitato per 60 secondi, è stato tolto il tappo, è stato fatto partire il cronometro, è stato inserito il densimetro nel cilindro, si sono eseguite le letture ai tempi predeterminati e si è eseguita una lettura della temperatura.

Ottenute tutte le letture si è proceduto con i calcoli.

Per ricavare il diametro (D) delle particelle in sospensione è stata usata la legge di Stokes semplificata (formula 6) (NORMA ASTM D422, <http://www.astm.org/Standards/D422.htm>):

Formula 6:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}}$$

D = diametro in mm delle particelle in sospensione.

K= costante di correzione della gravità specifica delle particelle solide.

Per queste analisi granulometriche è stato considerato che il peso specifico per il suoli sia 2,65 N/m³ e che la temperatura sia 22°C, tale costante vale 0,01332.

Durante l'ultima misurazione è stata registrata un temperatura di 21°C, in tal caso la costante K vale 0,01348.

L = profondità effettiva, è la profondità a cui si trova il baricentro del densimetro rispetto al pelo dell'acqua, L varia continuamente in funzione del tempo ed è un valore tabellato.

t = tempo espresso in minuti.

Per ricavare la percentuale (P) delle particelle in sospensione con un certo diametro dopo un certo tempo, è stata utilizzata la formula 7 (NORMA ASTM D422, <http://www.astm.org/Standards/D422.htm>):

Formula 7:

$$P = \frac{Rc * \alpha}{Ws} * 100$$

P= percentuale delle particelle in sospensione con un certo diametro dopo un certo tempo.

α = fattore di correzione di gravità specifica, dipende dal peso delle particelle ed è costante per i nostri terreni (con gravità specifica 2,65 N/m³). È un valore tabellato e vale 1,001.

Ws = peso iniziale del campione

Rc = lettura corretta, viene aggiunta la correzione del menisco (+1 mm) e tolta la lettura dello zero dovuta al sodio esametafosfato (-8 mm).

Rc è calcolato tramite la formula 6 (NORMA ASTM D422):

Formula 6:

$$Rc = Rm - \text{correzione dello zero} + Ct$$

Rm = peso del campione

Ct = fattore di correzione della temperatura

Dai calcoli di D e P sono stati ottenuti dimensioni e percentuali di limo e argilla.

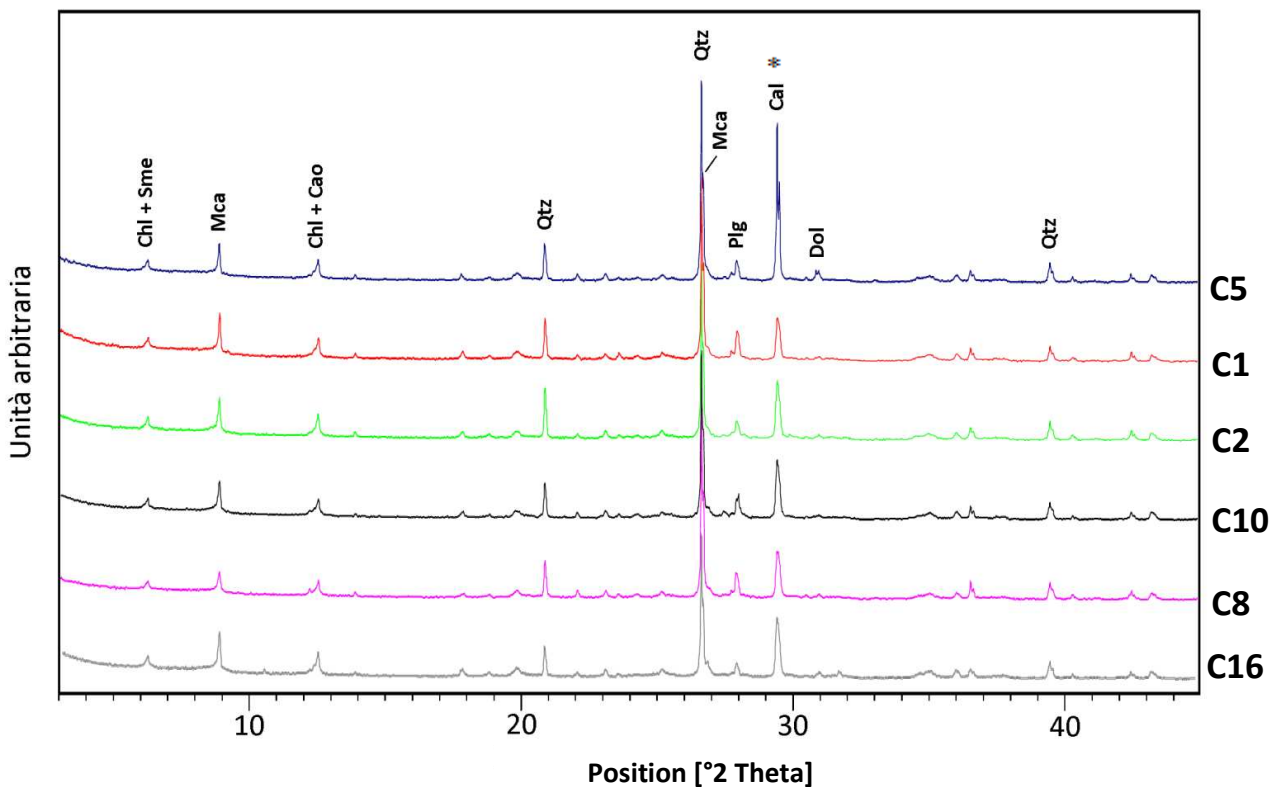
Per ottenere i dati inerenti le granulometrie maggiori, i campioni sono stati setacciati con il setaccio a 0,0625 mm, poi sono stati asciugati e pesati e sono state ottenute le quantità di sabbia presenti nel campione.

CAPITOLO 6

RISULTATI

6.1. Analisi qualitative (XRPD)

In Figura 26 sono riportati alcuni diffrattogrammi rappresentativi dei campioni indagati. Tutti i campioni presentano i medesimi picchi di diffrazione e quindi sono qualitativamente molto simili, ad eccezione di riflessi, quasi impercettibili, attribuiti a K-feldspato e rutilo/anatasio.



*Fig. 26: Diffrattogrammi dei campioni C5 (blu); C1 (rosso); C2 (verde); C10 (nero); C8 (viola) e C16 (grigio). Cao= Caolinite; Chl = Clorite; Dol= Dolomite; Mca= Mica/Illite; Plg= Plagioclasio; Qtz= Quarzo; Sme= Smectite; Cal=Calcite *Vista l'elevata intensità del picco della calcite nel campione C5 è probabile che ci sia un'orientazione preferenziale dovuto alla presenza di un cristallo grossolano mal macinato.*

In Figura 27 sono riportati i diffrattogrammi relativi ai trattamenti condotti sui campioni C14 e C16.

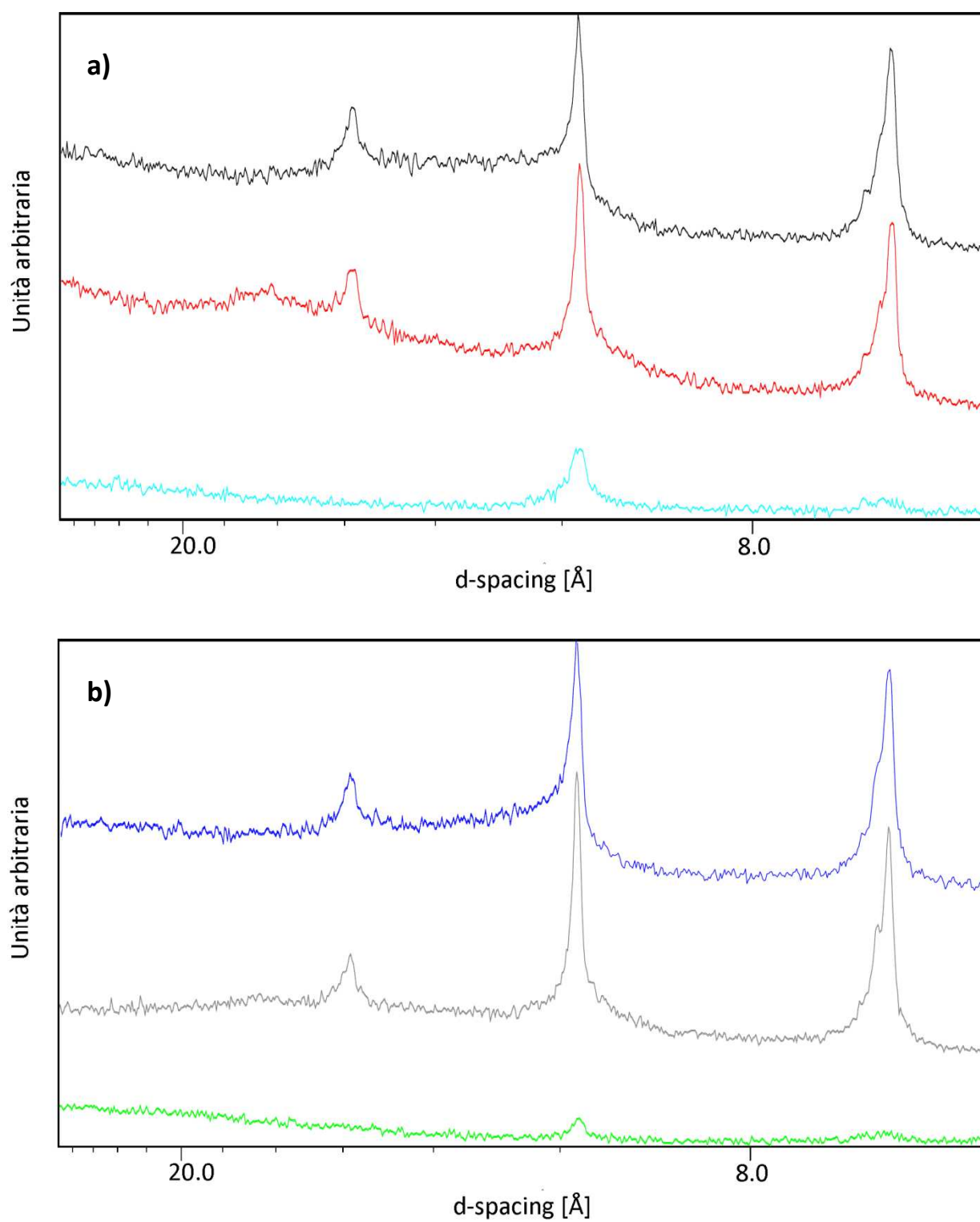


Fig. 27: a) Campione C14 tal quale (nero) trattato con Glicole Etilenico (rosso) e a 500°C (azzurro). b) Campione C16 tal quale (blu) trattato con Glicole Etilenico (grigio) e a 500°C (verde)

Come si può vedere in entrambi i campioni, il picco a 7Å risulta fortemente ridotto in intensità dopo il trattamento a 500 °C, ma non scompare del tutto, indicando la presenza prevalente di caolinite (visto che non rimane quasi nulla) e una piccola percentuale di clorite. Inoltre, nei diffrattogrammi relativi ai campioni trattati con glicole etilenico, si nota la formazione di una lieve gobba a circa 16Å confermando la presenza di clorite e di una piccola percentuale di smectite.

Si può quindi assumere per tutti i campioni la presenza delle tre fasi fillosilatiche prevalente caolinite, clorite e smectite.

I risultati ottenuti dalle analisi mineralogiche sono riportati in Tabella 3.

Campione	C1	C2	C3	C5	C6	C8	C10	C12	C13	C14	C16
Fasi identificate											
Calcite	XXX	XXX	XXX	9X *	XXX	XXX	XXX	XXX	XXXX	XXX	XXXX
Caolinite	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	XX
Clorite	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce
Dolomite	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce
K-feldspato	-	-	-	tracce	tracce	-	-	-	tracce	-	tracce
Mica/Illite	XXX	XXX	XX	XXX	XXX	X	XX	XXX	XXX	XX	XXX
Plagioclasio	XX	X	X	X	X	XX	XX	X	X	X	X
Quarzo	10X	10X	10X	10X	10X	10X	10X	10X	10X	10X	10X
Rutilo/Anatasio	-	-	tracce	-	-	-	tracce	-	tracce	-	-
Smectite	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce

*Tabella 3: Analisi mineralogiche qualitative e semi-quantitative, per ogni campione le intensità sono riferite al suo picco più intenso (SiO₂): il numero delle X è proporzionale all'intensità del picco principale della fase considerata; le fasi con picchi di bassa intensità sono state indicate come tracce. *Vista l'elevata intensità del picco della calcite nel campione C5 è probabile che ci sia un'orientazione preferenziale dovuto alla presenza di un cristallo grossolano mal macinato.*

6.2. Analisi Calcimetriche

I campioni di fango contengono percentuali di CaCO_3 variabili dal 17.8 al 22.3%, corrispondente a una variabilità del 4.5% (Tabella 4). Tale variabilità è compatibile con quella osservata in altre analisi di argille azzurre (vedi discussione).

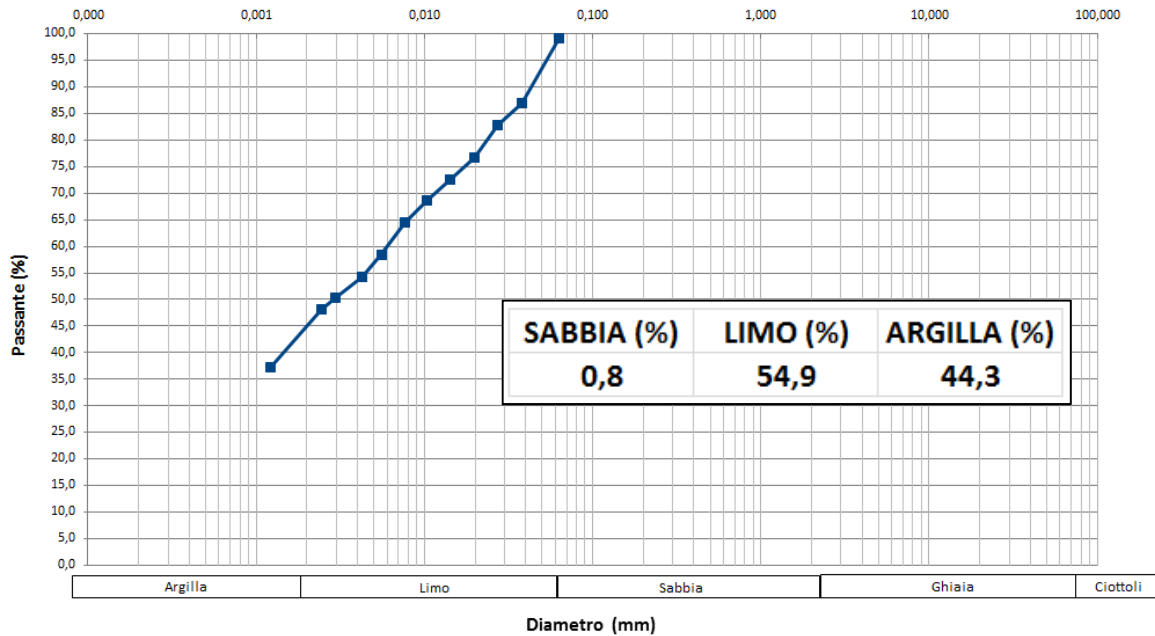
Campione	% CaCO_3
C1	17,8
C2	20,8
C3	20,8
C5	19,4
C6	20,2
C8	19,3
C10	21,6
C12	21,8
C13	22,1
C14	18,7
C16	22,3

Tabella 4: percentuali di CaCO_3 ottenute dalle analisi calcimetriche.

6.3. Analisi granulometriche

Di seguito sono riportate le curve granulometriche eseguite sui 4 campioni selezionati.

Curva granulometrica ottenuta dal campione C1 (Figura 28 e Tabella 5):

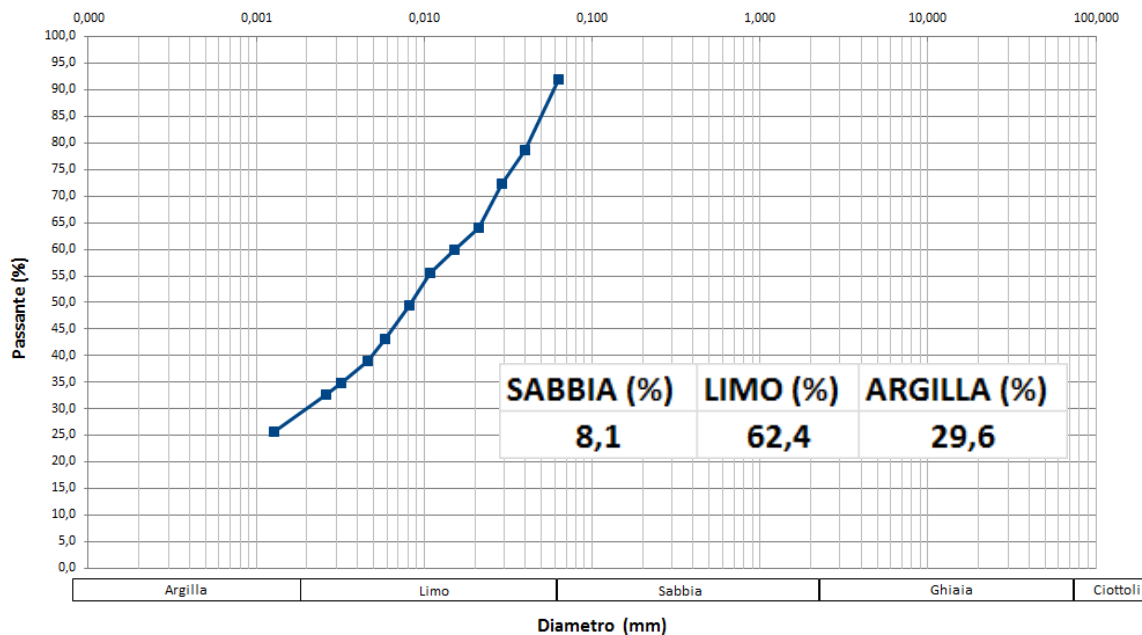


C1	
DIAMETRO	% PASSANTE
20,000	
10,000	
4,000	
2,000	
1,000	
0,500	
0,250	
0,125	
0,063	99,2
0,038	86,9
0,0272	82,8
0,0198	76,7
0,0143	72,6
0,0103	68,6
0,0076	64,5
0,0055	58,4
0,0042	54,3
0,0030	50,3
0,0024	48,2
0,0012	37,3

Fig. 28 (sopra): curva granulometrica dalla quale sono state ricavate le percentuali di sabbia, limo e argilla presenti nel campione C1.

Tabella 4 (a sinistra): percentuali di passante del campione C1 in funzione del loro diametro.

Curva granulometrica ottenuta dal campione C8 (figura 29 e Tabella 6):

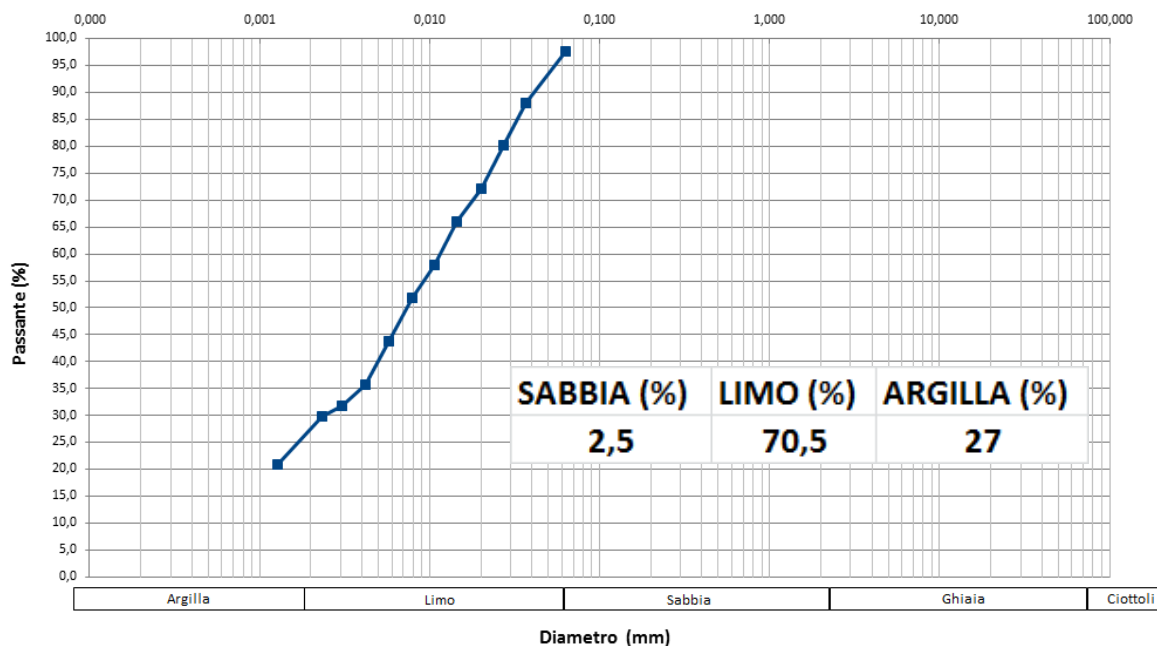


C8	
DIAMETRO	% PASSANTE
20,000	
10,000	
4,000	
2,000	
1,000	
0,500	
0,250	
0,125	
0,063	91,9
0,040	78,6
0,0288	72,3
0,0211	64,0
0,0151	59,8
0,0109	55,6
0,0081	49,4
0,0059	43,1
0,0046	38,9
0,0032	34,8
0,0026	32,7
0,0013	25,7

Fig. 29 (sopra): curva granulometrica dalla quale sono state ricavate le percentuali di sabbia, limo e argilla presenti nel campione C8.

Tabella 6 (a sinistra): percentuali di passante del campione C8 in funzione del loro diametro.

Curva granulometrica ottenuta dal campione C16 (Figura 30 e Tabella 7):



C16	
DIAMETRO	% PASSANTE
20,000	
10,000	
4,000	
2,000	
1,000	
0,500	
0,250	
0,125	
0,063	97,5
0,037	88,1
0,0272	80,1
0,0200	72,0
0,0145	66,0
0,0106	57,9
0,0079	51,9
0,0058	43,9
0,0042	35,8
0,0031	31,8
0,0023	29,8
0,0013	20,8

Fig. 30 (sopra): curva granulometrica dalla quale sono state ricavate le percentuali di sabbia, limo e argilla presenti nel campione C16.

Tabella 7 (a sinistra): percentuali di passante del campione C16 in funzione del loro diametro.

CAPITOLO 7

DISCUSSIONE

Dall'analisi della Tabella 3, in cui sono riportati le analisi mineralogiche semi-quantitative, si può verificare che le composizioni dei fanghi sono simili tra loro, ma differiscono nelle percentuali dei vari minerali. Per le analisi semi-quantitative ogni campione è normalizzato sul suo contenuto in quarzo che è la fase con il picco più intenso.

In particolare si può osservare che:

1. I campioni sono composti da: quarzo, calcite, mica/illite, plagioclasio, caolinite, clorite, dolomite, smectite, rutilo/anatasio e K-feldspato (Tabella 3).
2. In ogni campione il quarzo è il minerale più abbondante, seguito dalla calcite e mica/illite (più o meno in uguali percentuali) e plagioclasio, mentre clorite, dolomite, smectite, rutilo/anatasio e K-feldspato sono presenti in tracce o assenti. Nonostante dalla Tabella 3 non si possa fare un confronto quantitativo tra i vari campioni, si può notare la grande abbondanza di calcite nel campione C5 (probabilmente dovuta a orientazione preferenziale presenza di un cristallo mal macinato), il basso contenuto di mica/illite nel campione C8 e il tenore leggermente maggiore di caolinite nel campione C16 (Tabella 3).

Per quanto riguarda i minerali argillosi si può assumere per tutti i campioni il seguente ordine di abbondanza: illite, caolinite, clorite e smectite.

3. Al fine di poter effettuare un confronto semi-quantitativo tra i vari campioni, i risultati delle XRPD dei 3 campioni selezionati per le analisi granulometriche sono stati normalizzati rispetto al quarzo e alla mica/illite (Tabella 8).

Dai risultati normalizzati sul quarzo si osserva che C8 contiene meno fasi argillose.

Se invece si osservano i risultati delle XRPD normalizzate sulla mica/illite si nota che C8 contiene molto quarzo (il doppio di C1) e più calcite degli altri. I campioni C1 e C16 inoltre sono quelli che contengono meno quarzo e calcite.

4. A causa delle differenze che emergono dai risultati delle XRPD, i campioni C8 e C16, assieme al C1 (scelto come campione rappresentativo della composizione più frequente) sono stati selezionati per le analisi granulometriche (Tabella 9 e Figura 33). Dai risultati delle analisi granulometriche (Tabella 9, 11) è emerso che C1 e C16 si possono classificare come “Limo con argilla”, mentre C8 come “Limo con argilla debolmente sabbioso”. L’analisi granulometrica del campione C1, a prevalente frazione argillosa, ben si accorda con la composizione mineralogica con una percentuale elevata di mica/illite, caolinite e clorite. Il campione C8 risulta quello con il maggiore contenuto di sabbia e ciò è in accordo con i dati ottenuti dalle analisi semi-quantitative normalizzate alla mica/illite dove si nota che questo campione contiene più quarzo, plagioclasio e calcite degli altri. Il C16, con il massimo contenuto di limo e il minimo di argilla, si presenta granulometricamente come campione intermedio tra C8 e C1 (Tabella 11).

Inoltre il campione a più alta percentuale di frazione argillosa (C1) appartiene al cono del sistema Nando, mentre quello più povero in frazione argillosa e più ricco in limo è stato raccolto nella polla C16 stabile almeno dagli anni 70. Il campione C8 a più alto contenuto sabbioso corrisponde alla polla C8 di recente formazione e già in fase di evoluzione verso il cono.

5. Dal confronto tra le granulometrie e le XRPD si nota che alcuni risultati non sono del tutto concordanti, in particolare per il campione C16. Dalle XRPD normalizzate al quarzo risulta essere il campione con più minerali argillosi, mentre dalle granulometrie risulta essere il campione con meno minerali argillosi.

6. Dal confronto tra le granulometrie e le XRPD si nota che alcuni risultati non sono del tutto concordanti, in particolare per il campione C16. Dalle XRPD normalizzate al quarzo risulta essere il campione con più minerali argillosi, mentre dalle granulometrie risulta essere il campione con meno minerali argillosi.

È probabile che parte di queste incongruenze siano dovute al fatto che le analisi in XRPD e le analisi granulometriche sono state eseguite su fanghi campionati in punti differenti del cono. I fanghi usati per le analisi in XRPD si presentano più densi e sono stati prelevati dalle pareti interne del cono. Poiché tali campioni sono stati macinati e resi quindi inutilizzabili per le analisi granulometriche, esse sono state eseguite sui

campioni sono stati raccolti al centro della bocca del vulcano dove il fango è più fluido e quindi le granulometrie potrebbero essere diverse.

Campione	Calcite	Caolinite	Clorite/ smectite	Dolomite	K-feldspato	Mica/ Illite	Plagioclasio	Quarzo	Rutilo / Anatasio
Quarzo norm									
C1	2X	1,5X	1,5X	tracce	-	3X	2X	10X	-
C8	2X	X	X	tracce	-	1,5X	1,5X	10X	-
C16	4X	2X	1,5X	X	tracce	3X	1,5X	10X	-
Mic/Illite norm									
C1	3X	1,5X	1,5X	tracce	-	3X	2X	10X	-
C8	5X	2X	2X	tracce	-	3X	3X	20X	-
C16	4X	1,5X	1,5X	tracce	tracce	3X	X	8X	-

Tabella 8: Analisi mineralogiche semi-quantitative dei 4 campioni selezionati ottenute dagli spettri di diffrazione normalizzati secondo il quarzo e secondo la mica/illite.

CAMPIONE	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)
C1	0,8	54,9	44,4
C8	8,1	62,4	29,6
C16	2,5	70,5	27

Tabella 9: Analisi granulometriche sui 4 campioni selezionati.

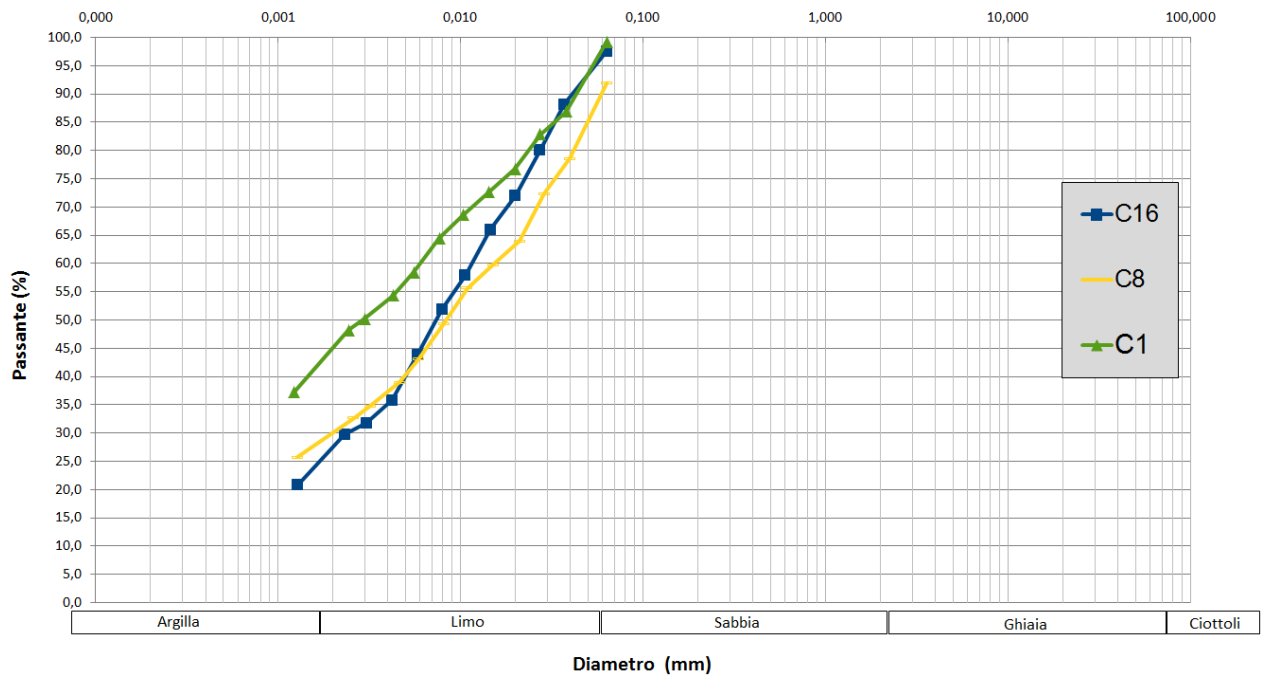


Fig. 31: confronto tra le curve granulometriche dei 4 campioni selezionati.

- Al fine di stabilire la formazione da cui provengono i fanghi estrusi dagli apparati di Nirano, i risultati ottenuti dalle analisi in XRPD sono stati confrontati sia con i dati quantitativi ottenuti da Carpenito G. (2007) su un campione di Argille Azzurre Plio Pleistoceniche raccolto sul Torrente Tiepido a Gorzano (MO), sia con quelli di Gualtieri A. (comunicazione personale) eseguite su un campione di Argille Azzurre Plio Pleistoceniche raccolte nell'area di Nirano (MO).

Dal confronto con le Argille Azzurre di Carpenito (Tabella 10) si nota che i fanghi di Nirano presentano una stessa composizione mineralogica, valori di calcite confrontabili, mentre illite e clorite sono inferiori e il quarzo è più abbondante.

Dal confronto con le Argille Azzurre di Gualtieri (Tabella 11) si nota che i fanghi presentano una simile composizione mineralogica anche se la clorite, K-feldspato e calcite sono meno abbondanti e il quarzo è più abbondante.

In particolare la variabilità nel contenuto di carbonati è più bassa nei nostri fanghi, dove varia da 17.8 a 22.3% mentre nelle analisi di Gualtieri varia da 23.2 a 31.9%.

	Quarzo	Albite	K-felds	Mu-illite	Clorite	Caolinite	Smectite	Calcite/Dolomite	Fase amorfa
Fasi (peso%)									
TOPAS-A	25.2 (2)	5.7 (2)	2.1 (1)	24.7 (3)	12.7 (3)	6.2 (2)	-	17.6 (1) / 2.8 (1)	3.0 (1.4)
GSAS	25.3 (1)	5.8 (2)	1.9 (2)	25.1 (3)	12.6 (3)	6.0 (3)	-	17.7 (1) / 2.7 (1)	2.9 (1.5)

Tabella 10: Analisi mineralogica quantitativa eseguita sul campione 10 appartenente alla Formazione delle Argille Azzurre Plio-Pleistoceniche raccolto a Gorzano (MO) sul torrente Tiepido (Carpineto G, 2007).

Campioni	1	2	3	4	5	6
Fasi (peso %)						
Calcite	20.3	21.0	23.1	30.1	24.7	28.3
Caolinite	9.5	4.2	4.9	5.6	1.1	8.4
Clorite	7.8	11.2	12.4	11.4	6.9	5.5
Dolomite	2.9	2.9	2.9	1.8	2.5	1.1
K-Feldspato	8.5	7.7	10.4	10.8	2.0	8.5
Muscovite/Illite	16.1	15.8	3.3	2.4	19.5	16.8
Plagioclasio	5.9	6.5	5.9	3.9	8.1	3.1
Quarzo	26.5	30.3	35.5	31.0	24.2	26.5
Smectite	2.4	0.4	1.6	2.9	1.1	1.7

Tabella 11: Analisi mineralogiche quantitative eseguite su 6 campioni campionati dalla Formazione delle Argille Azzurre Plio-Pleistoceniche nella zona delle Salse di Nirano (Gualtieri A. comunicazione personale).

CAPITOLO 8

CONCLUSIONI

Questo lavoro di tesi si è concentrato sullo studio della composizione mineralogica, chimica e granulometrica dei fanghi estrusi dagli apparati presenti presso la Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano presente in Emilia Romagna ai margini del margine Pede-Appenninico. In questa zona, infatti, è presente un regime compressivo associato a grandi spessori sedimentari di Unità Liguri le quali, a causa della velocità con cui si sono messe in posto, non hanno espulso le acque connate in interstrato fondamentali per la formazione dei vulcani di fango.

In seguito ad analisi mineralogiche qualitative e semi-quantitative, analisi granulometriche e chimiche (calcimetrie) e dal confronto dei dati ottenuti con dati bibliografici, si è giunti alla conclusione che le bocche degli apparati di Nirano estrudono fanghi leggermente diversi tra loro dal punto di vista quantitativo (in particolare le differenze maggiori si riscontrano nel contenuto di quarzo, calcite e minerali argillosi). I dati mineralogici sono compatibili con quelli della Formazione delle Argille Azzurre Plio-Pleistoceniche appartenente alla Successione neogenica del margine padano, tale formazione è piuttosto eterogenea per quanto riguarda i rapporti quantitativi delle fasi mineralogiche per la presenza di intercalazioni sabbiose e marnose.

Bibliografia:

Accaino F., Bratus A., Conti S., Fontana D., Tinivella U. 2007. Fluid seepage in mud volcanoes of the northern Apennines: An integrated geophysical and geological study, *Journal of Applied Geophysics*, 63, 90-101.

Accaino F., Tinivella U., Baradello L., Bratus A. 2005. Risultati dei rilievi geofisici in località Sasso Streghe e Nirano. Rapporto: 79/2005 e 44/2005 GDL.

Bonini M., 2008. I vulcani di fango Emiliani: retrospettiva e prospettive, *Geoitalia*, 22.

Bonini M., 2008. Elliptical mud volcano caldera as stress indicator in an active compressional setting (Nirano, Pede-Apennine margin, northern Italy), *GEOLOGY*, February 2008.

Capozzi R. and V Picotti, 2002. Fluid migration and origin of a mud volcano in the Northern Apennines (Italy): the role of deeply rooted normal faults, *Terra Nova*, Vol 14, No. 5, 363-370.

Castaldini D., Valdati J., Ilies D. C., con la collaborazione di Bertogna I., Barozzini E., Chiriac C., Gorgoni C., Dallai D., Del Prete C. e Sala L. 2003-2004. La Carta Turistico-Ambientale della Riserva Naturale delle Salse di Nirano (Appennino Modenese), *PROBLEMI E POLITICHE DEL TURISMO*.

Castaldini D., Conti S., Conventi M., Dallai D., Del Prete C., Fazzini M., Fontana D., Gorgoni C., Ghinoi A., Russo A., Sala L., Serventi P., Verri D., Barbieri M. (2007) - *Le Salse di Nirano*. CD ROM. Enciclopedia Multimediale. Comune di Fiorano Modenese.

Carpenito G., 2007. Tesi di dottorato di ricerca, Indagini archeometriche di ceramiche "d'impasto" provenienti dalla terramara di Gorzano (MODENA).

Conti S., Fontana D., Gubertini A., Bussi P., 2003. The Modena-Reggio mud volcanoes (northern Italy): an actualistic model for the interpretation of Miocene authigenic carbonates related to fluid expulsion. *GeoActa*, vol 2, pp.167-180, Bologna.

Etiope G., 2003. A new estimate of global methane flux to the atmosphere from onshore and shallow submarine mud volcanoes. XVI INQUA Congress, Reno 25 luglio 2003, Geological Society of America,

Ferrari C. and Vianello G., 1985. Le salse dell'Emilia-Romagna. Collana d'assessorato ambientale a difesa del suolo curata da Pina Testoni del Servizio tutela e risanamento ambientale.

Gorgoni C., La previsione dei terremoti, in «Rotary International 207° Distretto», N. 11 ~ Maggio 1988.

Gorgoni C., O. Bonori, S. Lombardi, G. Martinelle and G. P. Sighinolfi. Radon and helium anomalies in mud volcanoes from northern Apennines (Italy) – a tool for earthquake prediction, in «Geochemical Journal», Vol. 22, pp.265 to 273, 1988.

Gualtire A., dati analisi Argille Azzurre Plio Pleistoceniche. Comunicazione personale.

Heller C., Blumenberg M., Kokoschka S., Wrede C., Hoppert M., Taviani M., Reitner J. 2011. Geomicrobiology of Fluid Venting Structures at the Salsa di Nirano Mud Volcano Area in the Northern Apennines (Italy), *Earth Sciences 131*, DOI 10.1007/978-3-642-10415-2_14, © Springer- Verlag Berlin Heidelberg.

Manga M. and Bonini M., 2012. Large historical eruptions at subaerial mud volcanoes, Italy. *Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12,3377-3386

Manga M., Brumm M., Maxwell L. Rudolph. 2009. Earthquake triggering of mud volcanoes, *Marine and Petroleum Geology*, 26 (2009) 1785–1798.

Martinelli G., A. Judd. Mud volcanoes of Italy, *Geological journal*, 39: 49-61 (2004).

Oppo D. 2011. Studio dei vulcani di fango per la definizione della migrazione dei fluidi profondi. Dottorato di ricerca in scienze della terra XXIV ciclo.

Panizza M., 2014. *GEOMORFOLOGIA* quarta edizione riveduta e integrata.

Sciarra A., B. Cantucci¹, D. Castaldini, M. Procesi, M. Conventi, Between, 2012. History, work and passion: medieval castle, mud volcanoes and Ferrari, *Geol.F.Trips*, Vol. 7 No.1.1.

Sitografia

http://www.archeobo.arti.beniculturali.it/mostre/sassuolo_2015_minerva.htm

<http://www.atkinglobal.com/en-gb/media-centre/features/lusi-mud-volcano>

http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/219_SASSUOLO/Foglio.html

http://www.fiorano.it/turismo/salse%20nirano/a_t/come_raggiungerci.htm

<http://health.howstuffworks.com/skin-care/problems/treating/mud-baths.htm>

http://www.unime.it/unigeolab/_page/-13535.html

<http://www.astm.org/Standards/D422.htm>

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio prima di tutti il mio relatore, Prof.ssa M. Giovanna Vezzalini che mi ha proposto questo progetto di tesi e che con grande disponibilità, simpatia e cortesia mi ha accompagnato e seguito durante questi intensi mesi di lavoro. Ringrazio anche la Prof.ssa Simona Quartieri la quale insieme alla Prof.ssa Vezzalini mi ha proposto il progetto di tesi e fin dall'inizio ne ha seguito l'evoluzione proponendo nuove ipotesi e rispondendo a molti quesiti senza mai mancare di gentilezza.

Ringrazio inoltre i miei correlatori, il Dott. Simone Pollastri e la Dott.ssa Simona Marchetti Dori che mi hanno reso possibile l'accesso ai laboratori assistendomi nell'esecuzione delle varie analisi e si sono sempre mostrati molto disponibili per ogni chiarimento.

Ringrazio anche il Prof. Doriano Castaldini che ha contribuito alla riuscita della tesi concedendomi sempre la massima disponibilità a fornire ogni tipo di informazione.

Il ringraziamento più sentito va sicuramente ai miei genitori i quali, nonostante i miei "incidenti di percorso", non hanno mai smesso di credere in me e nelle mie potenzialità spronandomi sempre a dare il meglio in ogni cosa. Grazie perché avete sempre sostenuto le mie scelte e grazie perché senza di voi non avrei mai raggiunto nessun traguardo.

Un particolare ringraziamento va anche a mia sorella Cecilia la quale mi è sempre stata accanto nei momenti più difficili e fin da bambina ha sempre sostenuto il "peso" della mia passione durante ogni gita. In particolare ci tengo a ringraziare per un'infinità di cose, il gruppo dei "Perché si" e l'appa di Via Vignolese.

Non posso non ringraziare la nonna Carla che mi ha sostenuto non solo lasciando che trasformassi la sua cucina in studio durante ogni sessione di esame, ma anche preparandomi ogni tipo di nutrimento necessario alla mia sopravvivenza.

Un grazie anche allo Zio Sergio il cui aiuto è stato determinante per lo svolgimento della mia attività di tirocinio.

Passiamo ora agli amici, tanti ma mai troppi! Ringrazio in primis i miei amici di Modena grazie ai quali ho capito cosa significasse veramente la parola amicizia, con loro sono cresciuta molto e ho capito molte cose. Grazie alla Lalla, alla Tere, alla Benni, alla Cate, alla Sofi e alla Marta che in questi anni mi sono state molto vicine e alle quali non smetterò mai di voler bene. Grazie inoltre a Trento, Bellu, Sena, Dani, Raffa, Lollo, Beppe, Andre, Matte, Giulio, BasAlle e Gabri, grazie per il sostegno, le chiacchiere, la compagnia, i consigli, i

pranzi, le pause in biblioteca, i passaggi, le gite in montagna, le vacanze insieme, grazie per ogni momento passato con voi. Un pensiero va anche agli amici del trentino che con la loro naturalezza mi hanno fatto riscoprire ed apprezzare tante piccole cose della quotidianità.

Ringrazio anche la mia mitica amica (e mancata geologa) Chiari con la quale ho condiviso tutte le mie più bizzarre avventure e che è sempre stata presente nei momenti più importanti della mia carriera universitaria. Come posso non ringraziare la Michi che nonostante il poco tempo a disposizione e la lontananza riesce sempre a trovare un momento per le nostre chiacchiere, in particolare la voglio ringraziare perché è stata la persona che mi ha sostenuto più concretamente durante l'inizio della mia avventura a Firenze. Non può mancare dai miei ringraziamenti il mitico Edo il quale nonostante gli alti e i bassi mi è sempre stato vicino in questi anni e mi ha insegnato più cose lui che un'intera raccolta della Zanichelli.

Voglio inoltre ringraziare anche i miei compagni di università di Modena con i quali ho passato tre anni indimenticabili e i miei nuovi compagni di università di Firenze, in particolare Chiara, Giorgio ed Emanuele senza i quali la mia vita a Firenze sarebbe sicuramente diversa.

Nonostante tutto il mio ringraziamento più sincero va senza alcun dubbio a Lollo C. Grazie di tutto.

Sicuramente mi sarò scordata di qualcuno, ma non rimaneteci male perché per me siete importanti anche se il vostro nome non compare scritto su un foglio di carta. Grazie.