

Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali - BiGeA
Scuola di Scienze

Corso di Laurea in

Analisi e gestione dell'ambiente

Classe LM-75 Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il territorio

**Redazione della Carta dei Suoli dell'area
Integrale della Riserva Naturale Regionale
delle Salse di Nirano**

Laurea in Pedologia e gestione del suolo

Laureanda:

Serena Barberis

Relatore:

Alessandro Buscaroli

Correlatore:

Denis Zannoni

Sessione unica

Anno Accademico 2022 / 2023



L'ideogramma del suolo, in cinese "TŪ", è rappresentato con due linee orizzontali che designano la superficie e il substrato del suolo; la linea verticale indica la pianta con il fusto e la radice.

Indice

1- Abstract	3
2- Introduzione	5
2.1 La Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano	5
2.2 Inquadramento geografico e geologico	9
2.3 Geomorfologia	11
2.4 Evoluzione degli apparati lutivomi	13
2.4.1 Situazione attuale.....	13
2.4.2 Storia evolutiva dei vulcani di fango.....	14
2.4.3 Caratterizzazione geochimica dei flussi e componenti gassose degli apparati lutivomi.....	18
2.4.4 Composizione mineralogica dei fanghi.....	18
2.5 Obiettivi dello studio	20
3 – Materiali e metodi	21
3.1 Indagine ambientale	21
3.1.1 Clima.....	21
3.1.2 Litologia.....	23
3.1.3 Morfologia e geologia.....	24
3.1.4 Vegetazione e uso del suolo.....	27
3.1.5 Individuazione delle Unità di Paesaggio.....	28
3.2 Indagine pedologica	29
3.2.1 Campionamento.....	29
3.3 Analisi di laboratorio	31
3.3.1 Determinazione della reazione del suolo: pH.....	32
3.3.2 Conducibilità elettrica CE.....	33
3.3.3 Calcare totale.....	34
3.3.4 Alcalinità.....	35

3.3.5 Determinazione granulometrica: tessitura.....	36
3.3.6 Determinazione del carbonio organico totale TOC.....	39
3.3.7 Contenuto di anioni solubili.....	40
3.3.8 Contenuto di cationi solubili.....	41
3.4 I sistemi di classificazione: Soil Taxonomy e World Reference Base for Soil Taxonomy.....	42
4 – Risultati e discussione.....	45
4.1 Le Unità di Paesaggio (UdiP).....	45
4.2 I suoli della Riserva: schede di campo e classificazione.....	48
4.2.1 I suoli dell’Unità di Paesaggio A.....	49
4.2.2 I suoli dell’Unità di Paesaggio B.....	52
4.2.3 I suoli dell’Unità di Paesaggio C.....	53
4.2.4 I suoli dell’Unità di Paesaggio D.....	56
4.2.5 I suoli dell’Unità di Paesaggio E.....	59
4.2.5.1 Transetto di <i>Puccinellia fasciculata</i>	61
4.2.6 I suoli dell’Unità di Paesaggio F.....	63
4.3 Classificazione dei suoli.....	65
4.4 La Carta dei Suoli.....	67
5 – Discussione.....	69
6 – Bibliografia.....	73
Allegato I.....	77

1 – Abstract

La Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano (Comune di Fiorano Modenese) è stata la prima riserva naturale istituita nel 1982 dalla Regione Emilia-Romagna e, dal 2004, è anche un Sito di Importanza Comunitaria (SIC IT4040007). Le salse di Nirano rappresentano l'esempio più antico di vulcani di fango tutelati in Italia e ad oggi sono tra i meglio conservati d'Europa.

Nel loro complesso le salse di Nirano presentano una morfologia in continua evoluzione, con coni e polle che si aprono e altre che terminano la loro attività anche nel corso di pochi mesi.

All'interno dell'area di Riserva Integrale, vi sono sei depositi attivi, ovvero aree dove è in atto la deposizione dei fanghi tramite colate, le quali modellano ed influenzano la crescita delle specie vegetali. La vegetazione colonizza le aree con un gradiente dettato principalmente dalla condizione salina del suolo: vicino ai vulcani troviamo specie altamente tolleranti agli ambienti salini, poi, man mano che ci si allontana da questi, si osserva una vegetazione erbacea, arbustiva e arborea.

L'obiettivo di questo studio è di realizzare una Carta dei Suoli della Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano, concentrandosi solo sull'area di Riserva Integrale.

Per questo studio è stata effettuata inizialmente un'indagine ambientale, eseguita mediante la creazione su un GIS dei livelli tematici quali pendenza ed esposizione, geomorfologia, vegetazione/uso del suolo.

In seguito alla sovrapposizione dei livelli tematici si è scelto di considerare come aspetti fondamentali la geomorfologia e la vegetazione/uso del suolo, in quanto rappresentano i due fattori principali che influenzano e modellano l'area di interesse.

Il risultato della sovrapposizione ha permesso di definire sei Unità di Paesaggio (UdiP), in cui è stato svolto il rilievo pedologico. I punti di campionamento sono stati scelti cercando di interessare al meglio ogni UdiP, quindi campionando in punti che suggerivano una possibile rappresentatività. In totale sono state descritte 21 stazioni e sono stati raccolti 106 campioni.

Per ogni campione è stata compilata una scheda di campo, in cui sono riportate le informazioni della stazione di campionamento e le descrizioni delle caratteristiche dei suoli determinabili in campo.

Successivamente in laboratorio sono state effettuate analisi fisiche e chimiche per la determinazione di pH, contenuto di carbonati, conducibilità elettrica, salinità, alcalinità, contenuto di carbonio, concentrazione di anioni e cationi solubili.

Sulla base delle osservazioni raccolte in campo e delle analisi svolte sono stati classificati i suoli, utilizzando due sistemi di classificazione: Soil Taxonomy e World Reference Base for Soil Resources.

In seguito si è realizzata la Carta dei Suoli con sei Unità Cartografiche, al cui interno vi sono i suoli rappresentativi dell'area di Riserva Integrale.

L'evoluzione dei suoli all'interno della Riserva Integrale risulta fortemente condizionata dal materiale di colata degli apparati lutivomi, infatti vicino a questi vi sono suoli salini colonizzati solo da specie vegetali alofile, come la *Puccinellia fasciculata*. Distanziandoci progressivamente dai coni troviamo suoli poco

sviluppati su cui la vegetazione è riuscita ad evolversi maggiormente, grazie alla perdita degli elementi salini mediante processi di lisciviazione e ad un maggiore contenuto di materiale organico. In questi suoli le colate sono meno recenti e non vi sono più apporti di materiale dagli apparati lutivomi, questo ha permesso lo sviluppo di una successione vegetale iniziata nel momento dell'istituzione della Riserva.

I suoli non interessati dal materiale di colata risultano poco evoluti, in quanto sono condizionati dalle pendenze e dai fenomeni di erosione e di apporto di materiale per fenomeni gravitativi. Queste zone sono le prime ad essere state abbandonate dall'attività antropica, di conseguenza la vegetazione risulta più evoluta e caratterizzata da specie arboree.

2 – Introduzione

2.1 La Riserva Naturale delle Salse di Nirano

La Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano si trova in un territorio di bassa collina, al margine dell'Appennino modenese, a circa 5 km da Fiorano Modenese (Figura 1). La Riserva è stata istituita nel 1982 ed è la stata la prima Riserva dell'Emilia-Romagna, avente lo scopo di tutelare e conservare le caratteristiche vegetazionali e geologiche dell'area.

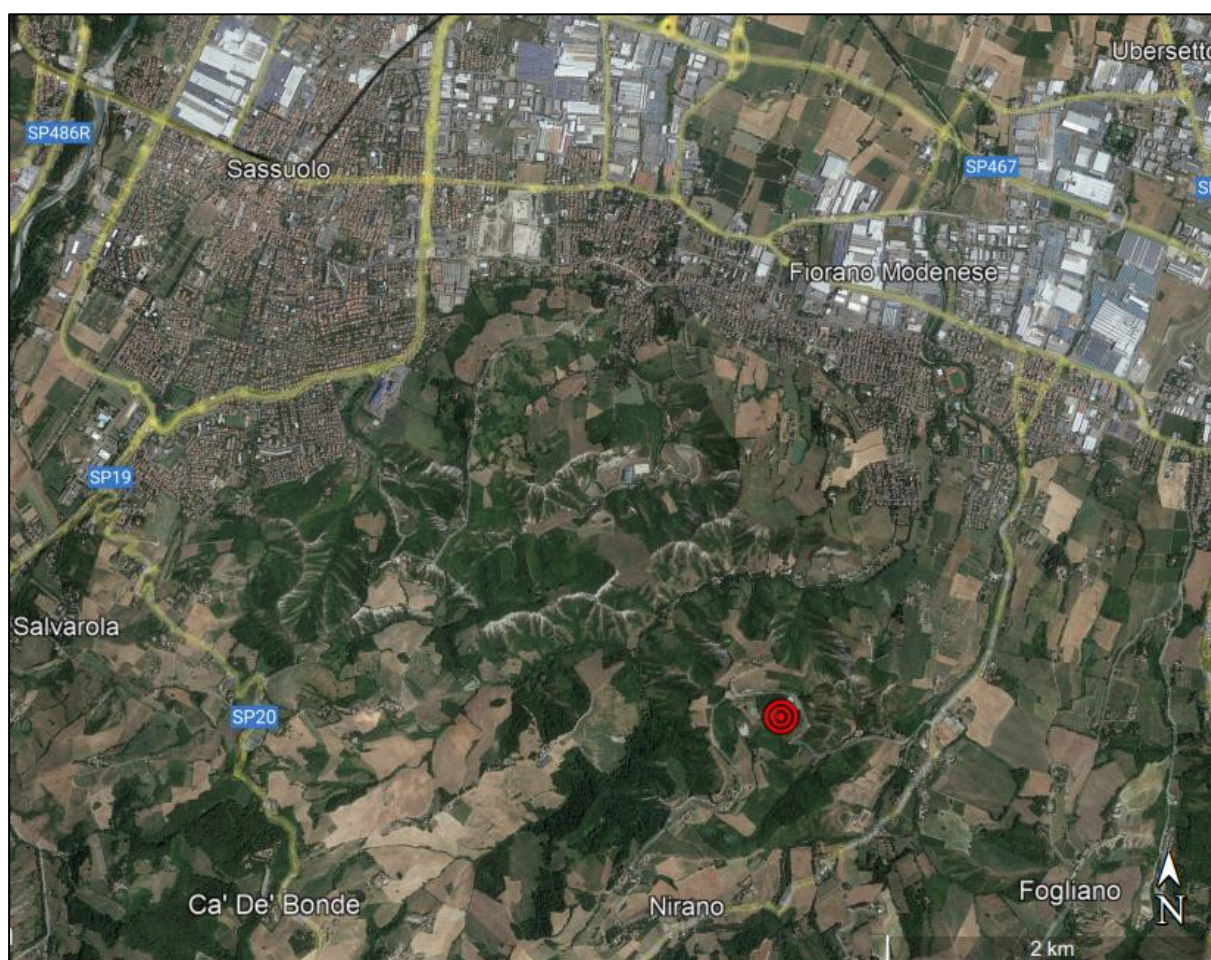


Figura 1. Localizzazione della Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano, segnata in rosso.

Le salse sono forme endogene, quindi correlate con processi che originano all'interno della Terra e connesse a fenomeni di risalita in superficie di acqua salina e fangosa e fasi gassose contenenti principalmente idrocarburi.

Queste forme, presenti lungo il margine appenninico lato padano-adriatico, spesso si presentano in gruppi detti campi, di varia estensione e importanza. Il campo delle salse di Nirano è tra i più importanti in Italia e tra i maggiori in Europa ed è stato descritto già nel 50 d.C. in "Naturalis Historia" da Plinio il Vecchio.

Grazie all'introduzione nel 2004 della Direttiva Habitat da parte della Commissione Europea (Direttiva 92/43/CEE) fu riconosciuto il valore ambientale della zona e fu istituito un sito SIC (Sito di Importanza Comunitaria – SIC IT4040007) con lo scopo di tutelare gli habitat e la biodiversità dall'area delle salse. Inoltre, la peculiarità del fenomeno delle salse unitamente al valore geologico-paesaggistico dei calanchi, che caratterizzano l'area, hanno valso al territorio della Riserva e del SIC il riconoscimento di "Geosito" per la tutela del Patrimonio Geologico del nostro Paese (Castaldini et al., 2011). In Figura 2 si può osservare il limite del sito SIC ed i limiti delle tre zone della Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano: in verde l'area di Riserva Integrale, in cui vi si può camminare esclusivamente mediante appositi sentieri; in azzurro la Buffer zone, o zona cuscino, che rappresenta un'area a protezione della Riserva Integrale, in cui l'attività antropica è regolamentata al fine di garantire una certa protezione degli habitat; in blu la zona di transizione, in cui le attività antropiche hanno meno restrizioni.

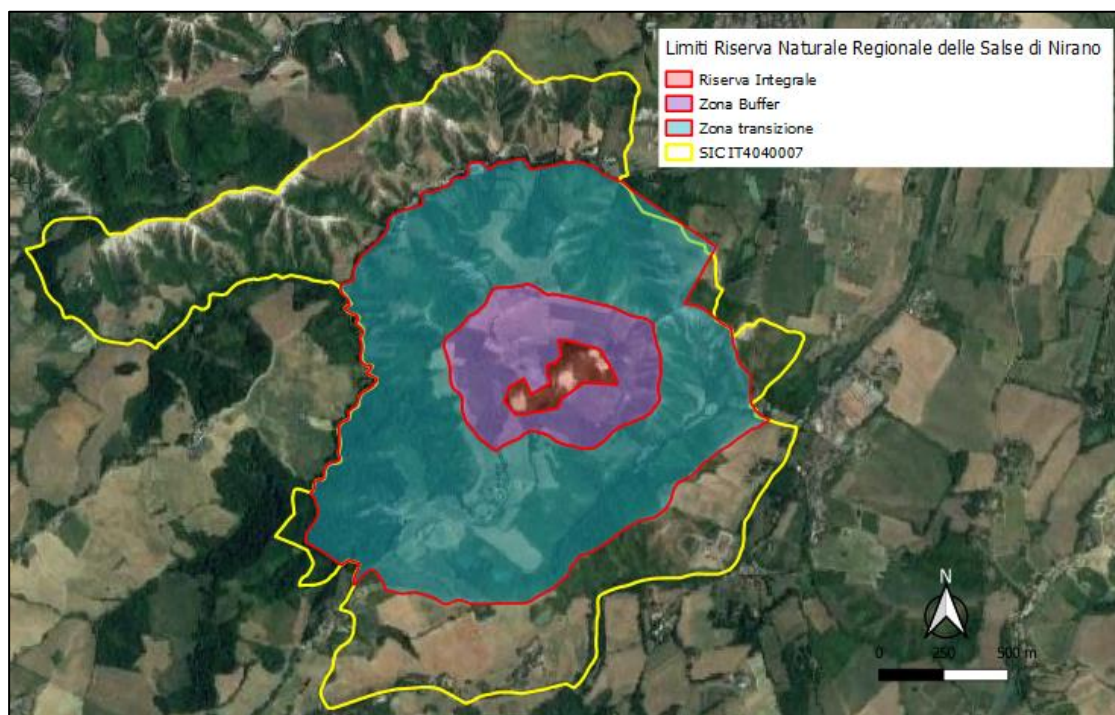


Figura 2. Limiti del sito SIC e i limiti della Riserva Regionale Naturale delle Salse di Nirano.

All'interno dei limiti del sito SIC sono stati rilevati 7 tipi di habitat (Figura 3), di cui tre prioritari (contrassegnati da “*”) e uno di interesse regionale (Rete Natura 2000 – SIC IT4040007 Salse di Nirano – Quadro Conoscitivo):

- 1340* Pascoli inondati continentali (*Puccinellietalia distantis*): nell'area di studio sono state incluse all'interno di questo habitat tutte le fitocenosi in cui è stata rinvenuta *Puccinellia fasciculata* rilevate in prossimità dei coni lutivomi delle salse. Le fitocenosi delle salse di Nirano

rappresentano quelle meglio conservate nell'area continentale dell'Emilia-Romagna e costituiscono la tipologia di riferimento per questo habitat in regione. La superficie complessiva occupata da queste fitocenosi è pari allo 0.53% della superficie complessiva del SIC.

- 3150 Laghi eutrofici naturali con vegetazione del tipo *Magnopotamion* o *Hydrocharition*: è stato rinvenuto solamente in corrispondenza di una pozza artificiale situata in corrispondenza del crinale che segna il confine meridionale del sito colonizzato da un *phytocoenon* a *Lemna minuta*.
- 6210* Formazioni erbose secche seminaturali e facies coperte da cespugli su substrato calcareo (*Festuco Brometalia*): Le fitocenosi attribuite a questo habitat sono praterie xerofile e mesoxerofile, di origine per lo più secondaria, ma anche primaria, appartenenti all'alleanza *Bromion erecti* ed alla suballeanza endemica dell'Appennino settentrionale *Polygalo mediterraneae-Bromenion erecti* recentemente descritta. Le fitocenosi rilevate sono caratterizzate dalla dominanza di *Brachypodium rupestre* e da specie come *Senecio erucifolius*, la cui presenza è costante in tutti i rilievi, *Trifolium echinatum*, specie mediterranea della classe *Helianthemetea guttati*, e *Inula salicina*. La superficie complessiva occupata da queste fitocenosi è pari al 6.54% della superficie complessiva del SIC.
- 6220* Percorsi substeppici di graminacee e piante annue (*Thero-Brachypodietea*): nell'area di studio sono state rinvenute alcune praterie xerofile aperte colonizzate da specie pioniere mediterranee che si sviluppano in primavera e disseccano durante la stagione estiva. Queste fitocenosi (associazione principale *Trifolio echinati-Scorzoneretum laciniatae*). La superficie ricoperta da questo habitat è pari al 4.82% del SIC.
- 6430 Praterie di megaforbie eutrofiche: nel settore orientale della Riserva sono stati rinvenute alcune cenosi con dominanza di *Rubus caesius* che forma popolamenti assai fitti che escludono la maggior parte delle specie erbacee e risultano, di conseguenza, floristicamente assai poveri. I popolamenti osservati sono stati riferiti all'associazione *Convolvulo-Rubetum caesii* appartenente all'ordine *Convolvuletalia sepium* che comprende comunità di alte erbe igro-nitrofile di margini di corsi d'acqua e di boschi planiziali, collinari e submontani. Questo habitat risulta distribuito in modo puntiforme all'interno del SIC.
- 6510 Praterie magre da fieno a bassa altitudine (*Alopecurus pratensis*, *Sanguisorba officinalis*): l'habitat è stato associato a due tipi vegetazionali: la prima fitocenosi è costituita da una prateria con dominanza di *Trisetum flavescens* e *Xeranthemum cylindraceum* localizzata su pendii relativamente acclivi con prevalente esposizione nei quadranti settentrionali della valle

del rio Chianca; la seconda corrisponde a praterie post-culturali derivanti da prati da sfalcio abbandonati, localizzati nelle aree marginali o sopraelevate della zona occupata dalle salse oppure a vegetazioni erbacee sviluppate in corrispondenza di ripiani di vecchie cave di argilla alla base dei pendii calanchivi. L'habitat nel suo complesso occupa una superficie pari al 5.47% del territorio del sito. La stabilità di questi habitat è strettamente legata all'attività antropica (sfalcio regolare), infatti, in assenza di tale pratica agricola, questi prati tendono ad evolvere in pochi anni verso fitocenosi dell'ordine *Prunetalia spinosae*, molto frequenti nell'area e meno ricche floristicamente.

- 92A0 Foreste a galleria di *Salix alba* e *Populus alba*: nell'area studiata le fitocenosi attribuibili a questo habitat sono rappresentate da saliceti a salice bianco (*Salicetum albae*), da consorzi boschivi a fisionomia variabile con dominanza di *Ulmus minor* o *Populus nigra* e presenza di *Acer campestre* e *Populus x canescens* e da due ulteriori popolamenti elementari caratterizzati da un fitto strato alto-arbustivo costituito in larga prevalenza da *Corylus avellana*, sopravanzato da individui isolati di *Acer campestre* e *Populus x canescens*. La loro relativa rarità in questi ambiti pedecollinari li pone come elementi di interesse soprattutto come habitat di rifugio per la fauna che frequenta ambienti più igrofili o riparali. La superficie occupata complessivamente all'interno del SIC è pari all'1.47% del totale.

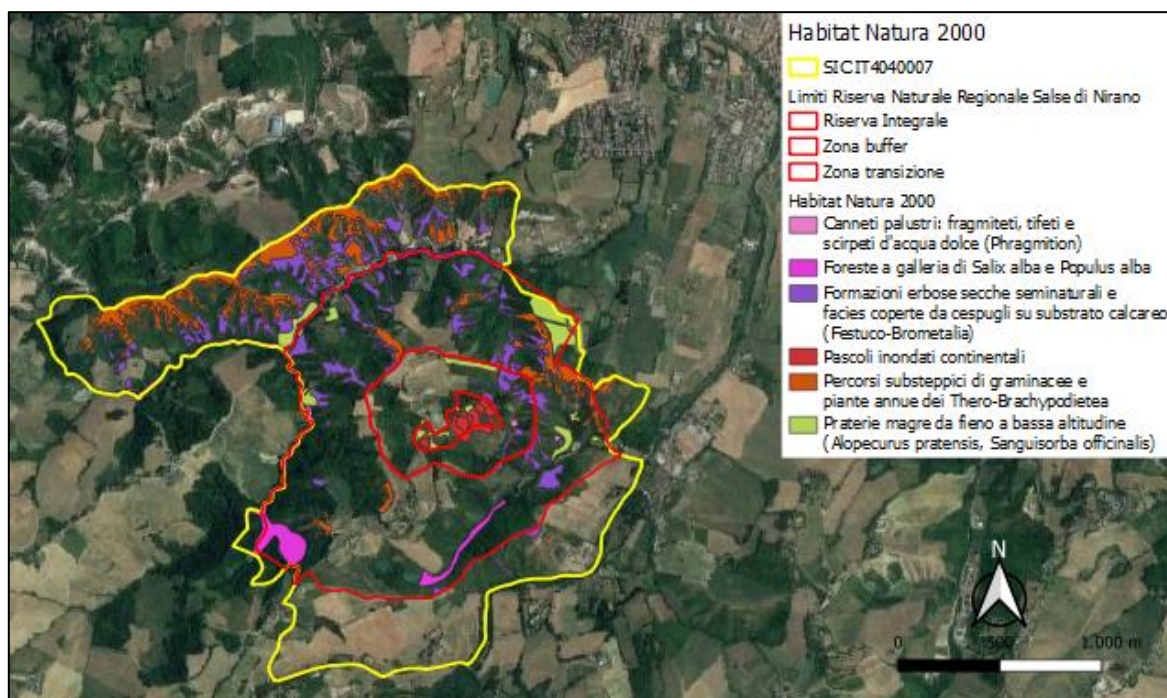


Figura 3. Carta degli habitat Natura 2000 all'interno del SIC e della Riserva.

Per quanto riguarda la fauna, particolarmente significativi nel paesaggio collinare caratterizzato dall'alternarsi di zone coltivate, incolti, macchie arbustive e piccoli boschi, sono i mammiferi comparsi nella Riserva da circa 20 anni: il capriolo (*Capreolus capreolus*), ritornato dopo secoli dalla sua estinzione, e l'istrice (*Hystrix cristata*), da sempre assente sulla collina emiliana dove è immigrato spontaneamente. Un recente studio ha riconfermato l'importante presenza della puzzola (*Mustela putorius*), mustelide diffuso in tutto il modenese, ma che sta registrando un generale declino anche in collina e montagna.

Gli uccelli che si possono avvistare sono i più comuni uccelli rapaci, quali la poiana (*Buteo buteo*) e il gheppio (*Falco tinnunculus*); ma anche molte altre specie come le pernici rosse (*Alectoris rufa*), le starne (*Perdix perdix*), l'averla piccola (*Lanius collurio*) ed altre più comuni osservabili in tutto il territorio.

Alcune delle specie animali della Riserva riconosciute meritevole di tutela a livello europeo sono il cervo volante (*Lucanus cervus*) e il cerambice (*Cerambix cerdo*), coleotteri la cui sopravvivenza è legata agli alberi più vetusti.

Gli ambienti umidi rappresentano interessanti habitat per svariate specie di invertebrati, fra cui molte libellule, e vertebrati, in particolare anfibi quali il tritone crestato (*Triturus cristatus*), la rana verde (*Rana esculenta*) e, più raramente, anche la raganella (*Hyla intermedia*), oltre alla biscia dal collare (*Natrix natrix*) loro predatore e il biacco (*Hierophis viridiflavus*).

I serpenti, insieme a tutti gli altri rettili, agli anfibi, ai chiroteri, ai piccoli mammiferi e ai tanti invertebrati un tempo considerati "fauna minore", sono oggi protetti su tutto il territorio regionale, in virtù di specifiche direttive.

2.2 Inquadramento geografico e geologico

La Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano è situata nelle prime colline modenesi nel territorio del comune di Fiorano Modenese, al margine NO dell'Appennino. L'area della Riserva si estende per 207 ettari ed è compresa tra i 140 e 308 m di quota (Castaldini et al., 2017).

Nella zona della Riserva affiorano i depositi argillosi del Pliocene-Pleistocene, denominati Argille Azzurre (FAA), che affiorano dal Piemonte alle Marche e in Toscana (Farloni et al., 2007).

Le Argille Azzurre sono costituite in prevalenza da peliti, quali argille, argille marnose e marne argillose, in cui vi sono molte bioturbazioni e risultano siltose, con stratificazione generalmente indistinta e di colore grigio o grigio-azzurro; all'interno di questi litotipi sono presenti accumuli di

Bivalvi e Gasteropodi. Nelle argille si alternano siltiti ed arenarie in strati spesso organizzati in banchi (Farloni et al., 2007).

Le Argille Azzurre sono interessate da pieghe e faglie N vergenti che continuano nella pianura antistante il margine collinare e sono coperte da depositi alluvionali del Pleistocene superiore ed Olocene del fiume Secchia e dei suoi affluenti (Gasperi et al., 1989 e 2005; Bonini, 2008a).

Per quanto riguarda la struttura di quest'area è caratterizzata da una depressione con forma ovale localizzata sulla cresta di un'anticlinale, la cui traccia assiale ha direzione NO-SE, che piega depositi del Pleistocene inferiore. L'assetto generale è comunque monoclinale con immersione a NE degli strati, i quali hanno un'inclinazione più pronunciata verso il margine, in corrispondenza di una piega a flessura (Gasperi et al., 2005; Bonini, 2012).

Come si può osservare in Figura 4 i vulcani di fango sono situati sopra il muro di faglia del fronte di spinta Pede-Appennino (PAT), il quale solleva e ripiega il sistema inferiore e superiore dell'Emilia-Romagna (0.65 – 0.45 Ma e 0.45 Ma al presente), che si sovrappongono in modo discordante ai sedimenti marini del Pliocene – Pleistocene inferiore (Argille Azzurre) (Regione Emilia-Romagna and ENI — AGIP, 1998; Boccaletti et al., 2004).

Il vulcanismo di fango è strettamente legato al PAT, e il movimento dei fluidi è essenzialmente connesso con la deformazione del fronte di faglia (Bonini, 2007 e 2009). Il complesso di vulcani di fango di Nirano, e i relativi condotti vulcanici, sono localizzati circa a 2 km a SO del fronte del PAT.

Il lungo asse della depressione in cui vi è la Riserva è leggermente obliquo (20°) rispetto all'andamento anticlinale. L'insieme di fratture disposte attorno alla depressione e lungo la traccia della piega si dividono in pieghe ortogonali e parallele (Bonini, 2007). Entrambi i sistemi di fratture seguono la rotazione dell'asse anticlinale orientato da ESE a SE, mentre l'anticlinale segue una direzione NE, andando a delimitare a Sud-Est l'area dei vulcani di fango.

Le faglie mesoscopiche raccolte intorno alla faglia anticlinale suggeriscono una faglia di taglio sinistra dominante, correlata sia con il fronte del PAT che con la deflessione dell'asse di faglia. Altre fuoriuscite di fluido sono localizzate sopra una faglia rovesciata vicino al fiume Rio del Petrolio (Bonini, 2007).

Le strutture tettoniche del margine appenninico sono attive, come testimoniato dai terremoti storici con epicentro soprattutto nella zona di passaggio tra la collina e la montagna e che collocano il comune di Fiorano Modenese tra i sette comuni a media pericolosità sismica (classe 2) della provincia di Modena.

Nel caso specifico delle salse di Nirano la possibile correlazione tra eventi sismici e attività dei vulcani di fango è stata indagata installando una sonda in una bocca lutivoma, per il monitoraggio in continuo di temperatura e livello del fango; tale relazione non è stata accertata in quanto nel periodo di registrazione (circa 13 mesi) non si sono verificati terremoti con magnitudo > 3,5 nel raggio di 70 km (Martinelli et al., 2017).

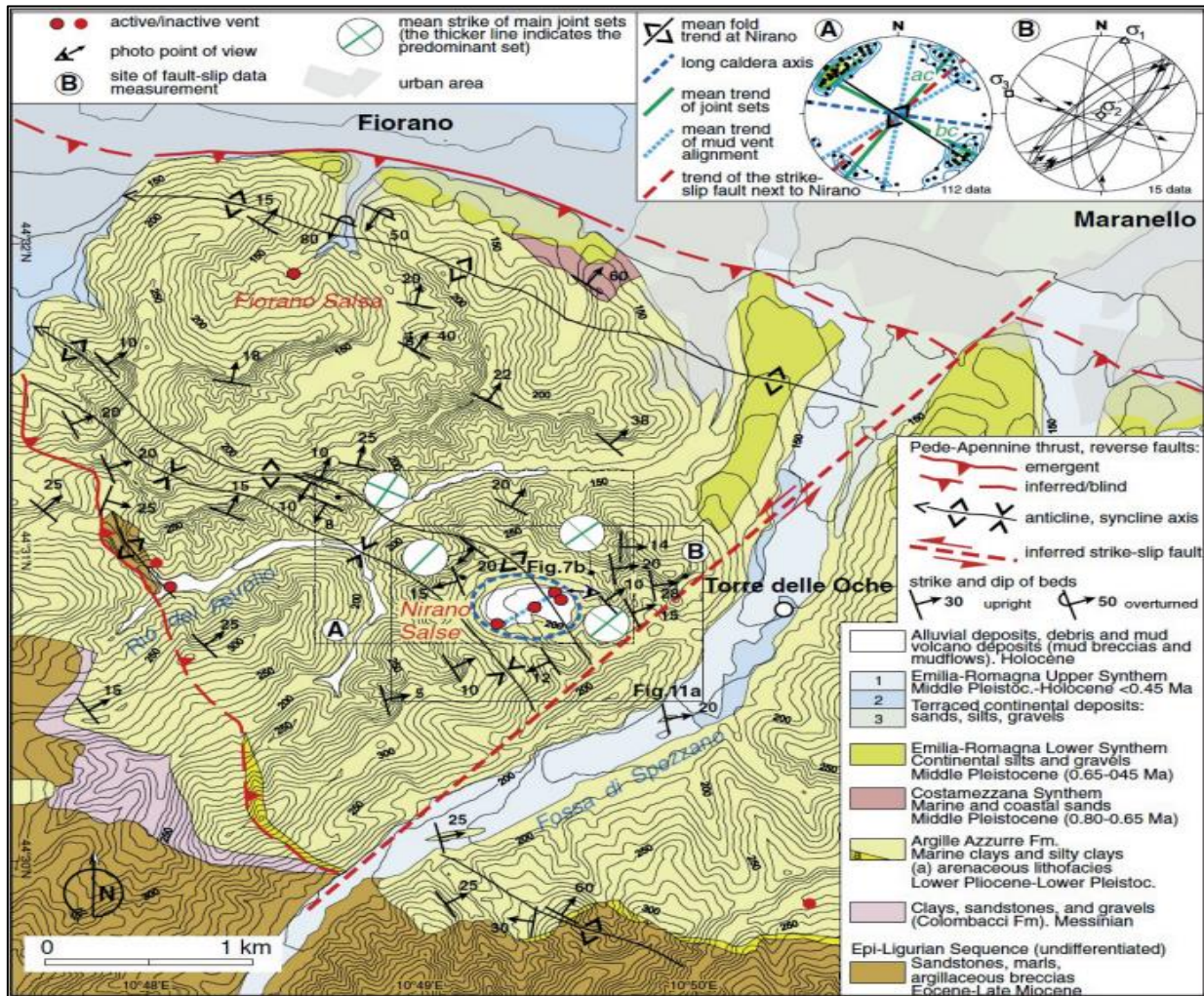


Figura 4. Carte geologico-strutturale del margine appenninico modenese circostante alla Riserva Naturale delle Salse di Nirano (Bonini, 2012).

2.3 Geomorfologia

Le salse di Nirano rappresentano una situazione di "convergenza geomorfologica", intendendo con questa definizione forme simili ma con genesi diversa (Panizza, 2007). Premesso che esistono vulcani a fluidi caldi, spesso considerati i soli vulcani secondo la percezione comune, ed altri a fluidi freddi, i vulcani delle salse di Nirano, che danno luogo a coni e colate ubicate sul fondo di una conca simile ad una caldera, non hanno nulla a che vedere con il vulcanismo "caldo".

Sono state formulate diverse ipotesi sulla particolare morfologia di quest'area: secondo Bonazzi et al. (1999) è il risultato di un progressivo collasso gravitativo dovuto al continuo svuotamento di fango dagli apparati lutivomi. A confermare, in parte, quest'ipotesi è la teoria di Bonini (Bonini, 2008° e 200b), che sostiene che la depressione di Nirano si sia formata per collasso della copertura causata dal degassamento e all'emissione di fango e fluidi. Un'altra ipotesi, sostenuta da Castaldini et al. (2005) è che tale depressione sia il risultato di un collasso per gravità in corrispondenza di un diapiro di fango al termine o in una fase di stasi della sua attività di sollevamento.

L'idrografia dell'area è caratterizzata da corsi d'acqua a regime intermittente. I principali della Riserva sono il Rio Chianca (che definisce il confine occidentale e settentrionale), il Rio delle Salse e il Rio Serra che scorrono nel settore meridionale e convogliano le loro acque nel Torrente Fossa. Sono presenti diversi specchi d'acqua, di origine antropica, costruiti negli anni '60 del XX secolo come serbatoi di irrigazione per l'agricoltura.

Nell'area della Riserva si possono identificare uno specchio d'acqua e due piccole paludi, mentre un altro specchio d'acqua è stato completamente colmato da depositi palustri e quindi scomparso dal paesaggio.

Circostanti alla Riserva si possono osservare i calanchi, specialmente nella parte NE, che con la loro erosione interessano i terreni argillosi del margine appenninico. Sono caratterizzati da un reticolo idrografico ad alta intensità in cui i singoli impluvi sono separati tra loro da creste molto sottili. Sia le acque di ruscellamento che gli eventi di frana superficiali tendono ad assottigliare le creste dei calanchi, le quali subiscono un rapido arretramento e il materiale derivante da questi fenomeni erosivi va a depositarsi e colmare gli impluvi.

Nell'area delle salse i calanchi con frane attive (in atto o verificatesi negli ultimi 30 anni) si possono osservare nel settore orientale (Figura 5), mentre alcune frane quiescenti (non hanno dato segni di attività negli ultimi 30 anni) sono identificate nella parte settentrionale, in cui la minore attività erosiva è anche testimoniata dalla maggior presenza della vegetazione.

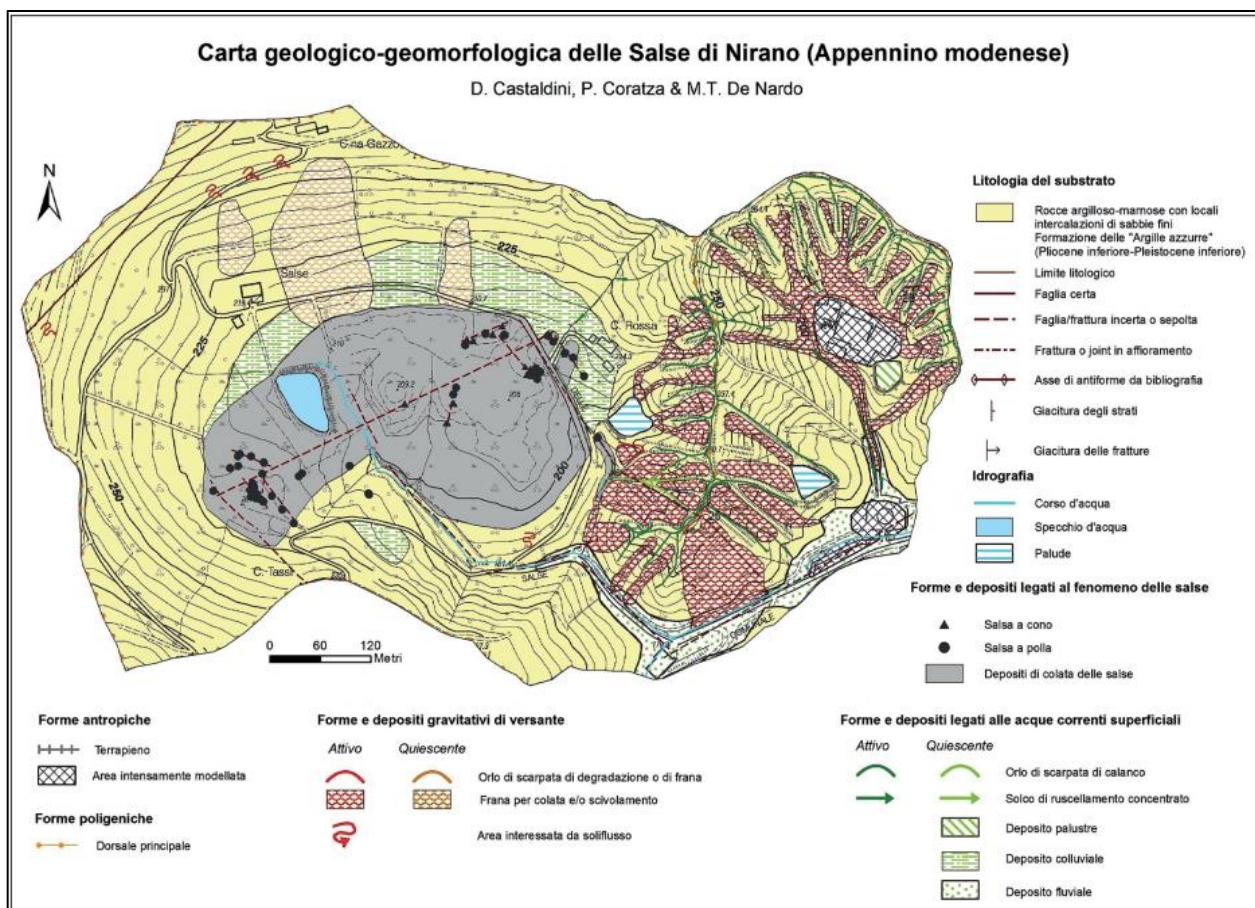


Figura 5. Carta geologico-geomorfologica dell'area delle salse di Nirano (Da Castaldini et al., 2016).

2.4 Evoluzione degli apparati lutivomi

2.4.1 Situazione attuale

Nel loro complesso le salse di Nirano presentano una morfologia in continua evoluzione, con coni e polle (zone concave rialzate di pochi centimetri rispetto al terreno, dove avviene la fuoriuscita di fango molto fluido) che si aprono e altre che terminano la loro attività anche nel corso di pochi mesi. Nonostante questo, vi sono raggruppamenti che hanno conservato una loro identità nel tempo.

All'interno dell'area di Riserva Integrale, vi sono sei depositi attivi, ovvero aree dove è in atto la deposizione dei fanghi tramite colate, le quali impediscono la formazione di una copertura vegetale uniforme caratterizzata principalmente da piante alofile. Gli apparati hanno la seguente denominazione, da sinistra verso destra: Fernando, Egidio, Achille, Pippo, Nando, La Giunta. Al di fuori della zona di Riserva Integrale troviamo altri due depositi attivi, uno situato nella parte ovest e vicino allo specchio d'acqua artificiale, che prende il nome di Polle Alte, e l'altro nei pressi di Ca' Rossa denominato Garfagnine (Figura 6).



Figura 6. Principali apparati lutivomi attivi, in rosso i limiti della Riserva Integrale e la Buffer zone.

2.4.2 Storia evolutiva dei vulcani di fango

Per comprendere la storia evolutiva dei vulcani di fango, Castaldini et al. (2017) hanno condotto una ricerca, promossa dal Comune di Fiorano Modenese, in cui è stata raccolta una serie di documentazioni che comprendono carte topografiche, una collezione di foto aeree acquisite durante voli realizzati in anni successivi, ortofoto digitali e riprese da satellite.

Attraverso queste fonti è stato possibile cartografare i punti di emissione e l'evoluzione dei depositi attivi per ciascun apparato principale, considerando un intervallo di tempo che va dal 1884 al 2016; in Figura 7 l'elenco delle fonti utilizzate per la cartografia.

Anno	Fonte	Tipo
1907	Biasutti	Pubblicazioni
1966	Mucchi	
1973	Foto aeree	Ortofoto e riprese satellitari
1976 (-78)		
1985		
1987 (-88)		
1994		
1997	Ortofoto AIMA	
2000	AGEA	
2001 (non più recente di)	Quickbird	
2003 (riprese 22 aprile)	Google Earth	
2006	Geo Portale Nazionale	
2008	AGEA	
2011	AGEA e Google Earth	
2012	Geo Portale Nazionale	
2014	Google Earth	

Figura 7. Documentazione raccolta per realizzare la cartografia dell'evoluzione degli apparati lutivomi (Castaldini et al., 2017).

La maggior parte delle segnalazioni è concentrata all'interno dei poligoni che rappresentano i depositi attivi dei vari apparati; le eccezioni che non rientrano nei poligoni sono dovute principalmente ad una difficoltà di georeferenziazione della carta o delle foto aeree.

Successivamente nello studio sono stati cartografati i depositi attivi riferiti alle varie fonti, dalle pubblicazioni alle immagini telerilevate. La cartografia più vecchia utilizzata è quella di Biasutti (1907) in quanto la carta IGM topografica d'Italia del 1884 (Tav. 86 I SO Sassuolo), la più antica disponibile, riporta solo le bocche lutivome ma non i depositi. Dal confronto è osservabile un'evidente evoluzione della forma dei depositi attivi dovuta, in una prima fase, ai cambiamenti nell'uso del suolo dovuti all'abbandono dell'uso agricolo e all'istituzione della Riserva Naturale nel 1982. Prima dell'istituzione della Riserva, la forma dei depositi era condizionata dall'uso agricolo, in quanto le lavorazioni del suolo tendevano a distribuire i fanghi arealmente secondo la geometria dei solchi. Le riprese successive al 1982 dimostrano la graduale evoluzione della forma dei depositi per tutti gli apparati, verso lo stato di naturalità attuale. Gli apparati B (Nando) e, soprattutto, D (La giunta) sono stati condizionati nella loro espansione dall'incisione del corso d'acqua adiacente alla strada di accesso, attraverso il quale una parte delle colate di fango viene allontanata dal settore a SO di Ca' Rossa a salvaguardia della viabilità locale. Successivamente nello studio sono stati elaborati i dati numerici sulla superficie dei depositi attivi, per ciascuno degli apparati individuati, in relazione all'anno della documentazione.

Le variazioni di superficie dei depositi attivi risultano più marcate ed ampie fino al 1985, anno della prima ripresa effettuata dopo l'istituzione della Riserva agli inizi degli anni '80. Per tutti gli apparati, le foto aeree del 1994 sovrastimano le superfici, per effetto della qualità delle immagini, anche motivata dalla ridotta scala originale. Nonostante, dunque, non possano essere considerate un dato affidabile, sono state utilizzate per completezza. La carta relativa ai punti censiti attraverso la cartografia e le documentazioni è mostrata in Figura 8.

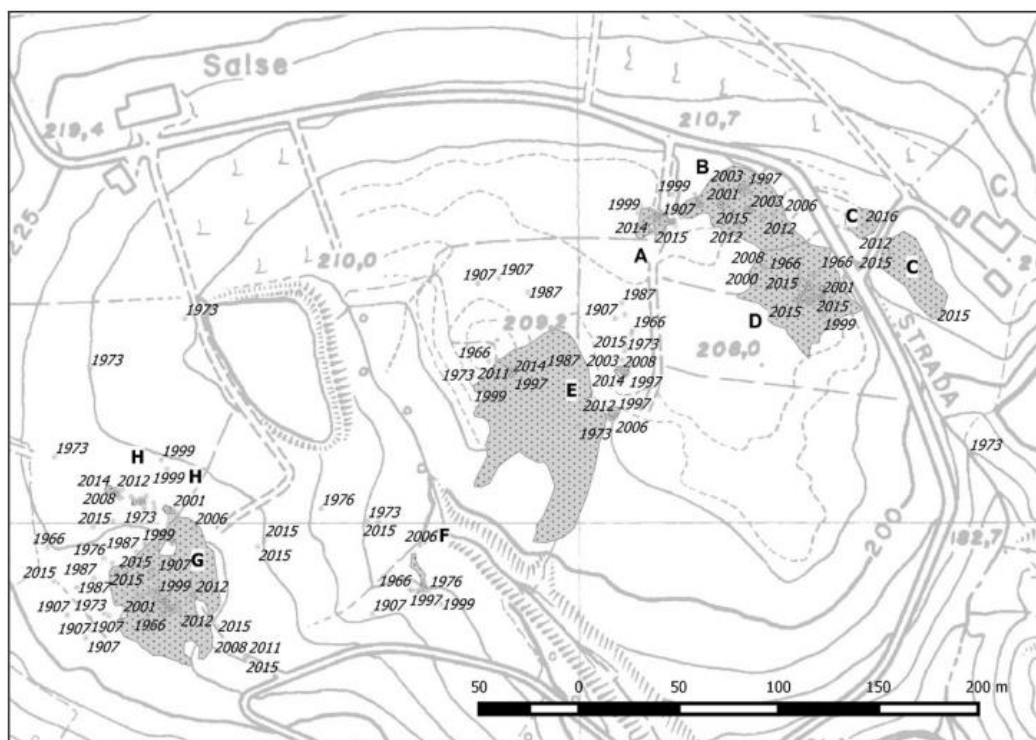


Figura 8. Punti di emissione censiti attraverso la documentazione, dal 1884 al 2016, gli apparati lutivomi sono stati identificati in lettere, che corrispondono: A – Pippo, B – Nando, C – Garfagnine, D – La Giunta, E – Egidio, G – Fernando, H – Polle Alte (Castaldini et al., 2017).

Il grafico in Figura 9 rappresenta le variazioni tra minimo, massimo e media dei valori delle superfici dei depositi attivi degli apparati principali, riferiti agli ultimi trent'anni, in quanto dopo l'istituzione della Riserva nel 1982 è stato possibile lasciare l'area degli apparati al suo sviluppo naturale.

Dal confronto emerge che negli ultimi trent'anni:

- 1) Le superfici degli apparati Pippo, Nando, La Giunta sono state soggette a variazioni più contenute rispetto a quelle di Egidio e Fernando (escludendo il dato del 1994 per via della sua imprecisione).
- 2) Gli apparati Egidio e Fernando sono corredati da gruppi di punti di emissione isolati, i cui depositi attivi si sono ridotti nel tempo. Negli ultimi trent'anni, nei settori occidentale e centrale dell'area delle salse, la risalita di fluidi si è piuttosto manifestata attraverso gli apparati Egidio e Fernando, i cui depositi attivi hanno le superfici più estese, per i quali è ipotizzabile una connessione diretta e più efficiente con il reservoir di fluidi in profondità, rispetto ai punti isolati limitrofi.
- 3) A differenza da quanto accade per gli altri apparati, caratterizzati da una molteplicità di punti di fuoriuscita (anche effimeri), i depositi dell'apparato Egidio sono alimentati da una singola

bocca lutivoma, la cui posizione ha subito solo poche variazioni nel tempo (Castaldini et al., 2017).

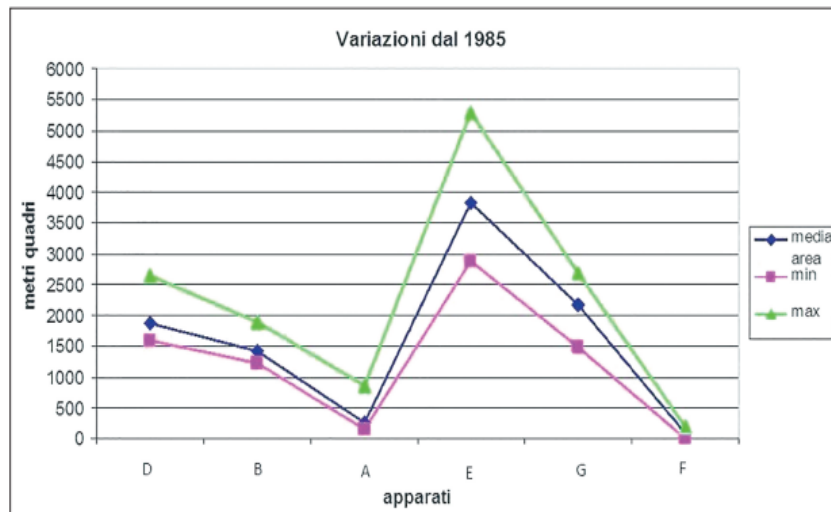


Figura 9. Variazioni della superficie dei depositi attivi negli ultimi trent'anni: confronto tra i valori di minimo, massimo e medio per i principali apparati (Castaldini et al., 2017).

Per quanto riguarda la distribuzione dei punti di emissione, lo studio ha tenuto conto dei raggruppamenti con caratteristiche ed emissioni persistenti nel tempo, con lo scopo di studiare l'allineamento degli apparati. Attraverso la curva di tendenza della distribuzione e adottando successivamente un approccio più geologico, con la rappresentazione mediante diagramma a rosa (misura la frequenza degli allineamenti in una data orientazione, con un dato azimut), è stato osservato che vi è un allineamento preferenziale dei punti di emissione con orientazione compresa tra SO-NE e OSO-ENE.

Lo stesso metodo di studio è stato utilizzato per studiare gli allineamenti delle bocche lutivome, considerando sia gli apparati singoli che i raggruppamenti, e si è osservato che i vulcani Pippo, Nando e La Giunta presentano allineamenti con direzioni comprese tra ESE-ONO e SSE-NNO; Egidio ha un orientamento NNE-SSO; Fernando ha orientamento NO-SE e N-S; Polle Alte ONO-ESE.

I punti di emissione si distribuiscono prevalentemente in allineamenti con direzione SO-NE e OSO-ENE, che possono essere correlati all'orientamento dei sistemi di faglie e fratture, le quali costituiscono le vie preferenziali per la risalita dei fluidi in superficie.

2.4.3 Caratterizzazione geochimica dei flussi e componenti gassose dei apparati

lutivomi

Con gli studi affrontati da Sciarra et al. (2017), in cui sono stati campionati ed analizzati tre coni, rispettivamente La Giunta, Garfagnine e Fernando, è stato possibile determinare l'origine dei fluidi e le caratteristiche chimiche e isotopiche della fase gassosa. Il campionamento è stato fatto sia nel periodo maggio-ottobre 2015 che nel marzo 2016.

Le analisi chimiche evidenziano che i fluidi fuoriuscenti dai vulcani di fango sono composti prevalentemente da metano (CH₄), con valori superiori al 90%, e in minima parte aliquote di anidride carbonica (CO₂) (circa 1%) e idrocarburi leggeri, che si dividono in 20 differenti composti ciclici (Tassi et al., 2012).

L'origine del metano è termogenica, ovvero formatosi per maturazione termica delle rocce madri petrolifere triassiche, contenute in depositi pre-pliocenici; questa specie gassosa è dunque il risultato della decomposizione della materia organica sepolta nei sedimenti a temperature superiori a 100 °C (cfr. Whiticar & Suess, 1990). Queste emissioni ricche di CH₄ presenti in Appennino romagnolo sono alimentate da fonti organiche situate a profondità ≥ 3000 m, in un ambiente geneticamente caratterizzato da alte pressioni e temperature tra 100-120 °C (Tassi et al., 2012).

Da un punto di vista isotopico i campioni analizzati mostrano valori per l'argon molto simili a quelli atmosferici ($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} = 295,5$) e un rapporto isotopico per l'elio di chiara origine crostale. L'elio, infatti, è un elemento che viene prodotto in seguito a decadimento radioattivo nella crosta e nel mantello. La velocità di migrazione dell'elio dalla crosta è inferiore alla sua velocità di produzione, così che la crosta stessa costituisce una zona di accumulo per questo elemento. Le acque in movimento nel sottosuolo possono costituire un veicolo per l'accumulo locale di elio dove esistano trappole adeguate. Nei confronti invece di un gas che risale dal basso, un acquifero freddo agisce in senso opposto, assorbendo i gas più solubili o reattivi e lasciando invece filtrare i più inerti e meno solubili, come l'elio (Bertrami et al., 1984).

2.4.4 Composizione mineralogica dei fanghi

I vulcani di fango di Nirano (Martinelli & Judd, 2004; Castaldini et al., 2007; Bonini, 2008a, b) emettono una miscela di fluidi freddi quali: fango, acque salate fossili, miscele di gas, in cui domina il metano e, a volte la CO₂, idrocarburi liquidi provenienti da grandi profondità ed elementi litici rappresentativi delle rocce incontrate durante la risalita. L'estrusione del fango dalle bocche è

dovuta all'espansione termica del metano durante la risalita, alla conseguente diminuzione di densità dei fluidi rispetto alle rocce circostanti e all'aumento della loro pressione.

Gli studi di Vezzalini et al. (2017), attraverso l'analisi mineralogica semi-quantitativa con il metodo di diffrazione a raggi X su polveri (XRPD), hanno rilevato che la composizione mineralogica, complessivamente, è molto simile all'interno dell'area di Riserva Integrale e sono presenti le seguenti fasi: calcite, caolinite, clorite, dolomite, K-feldspato, mica/illite, plagioclasio, quarzo. Ai picchi di queste fasi, si aggiungono in alcuni casi dei riflessi molto deboli, attribuiti a K-feldspato e a rutilo/anatasio.

Per quanto riguarda le analisi granulometriche, i coni contengono una percentuale maggiore di limo rispetto all'argilla e scarso contenuto di sabbia, mentre le polle sono caratterizzate da una percentuale maggiore di sabbia, ma la granulometria dominante è sempre il limo (Tabella 1).

Tabella 1. Risultati delle analisi granulometriche in polle e coni. Per ogni sito sono stati realizzati due campionamenti effettuati rispettivamente in maggio 2015 e febbraio 2016 (Vezzalini et al., 2017).

Campione	Tipo di apparato	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)
C1 – Achille	Cono	0,8	56,9	42,4
C2 – Nando	Cono	9,2	66,4	24,5
C2 – Nando	Cono	8,1	64,3	27,6
C10 – Egidio	Cono	7,0	64,9	28,1
C10 – Egidio	Cono	6,2	63,4	30,4
C12 – Fernando	Cono	6,3	63,9	29,8
C12 – Fernando	Cono	0,8	64,1	35,2
C5 – La Giunta	Polla	6,1	65,3	28,6
C5 – La Giunta	Polla	8,1	65,7	26,2
C6 – La Giunta	Polla	2,3	69,6	30,4
C6 – La Giunta	Polla	0,8	68,5	31,5

2.5 Obiettivi dello studio

Nella Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano sono stati effettuati molti studi sull'evoluzione dei vulcanelli di fango, sulle loro caratteristiche e sui loro potenziali punti di emissione; lo scopo di questo studio invece è quello di migliorare la conoscenza sui suoli presenti nell'area di Riserva Integrale, determinandone le caratteristiche salienti e distintive in relazione al contesto pedo ambientale in cui vengono a svilupparsi. Le modalità di realizzazione dello studio, unitamente all'impiego di un idoneo sistema informativo geografico (GIS) consentono la regionalizzazione delle osservazioni puntuali e la redazione di una carta dei suoli di prima approssimazione.

La carta dei suoli, o anche definita carta pedologica, è una carta tematica che raffigura la distribuzione geografica delle diverse tipologie di suolo, andando a descriverne le principali caratteristiche fisiche e chimiche.

Lo studio è stato realizzato grazie ad una preliminare indagine ambientale che ha portato all'individuazione, in prima battuta, delle Unità di Paesaggio (UdiP). Queste costituiscono ambiti omogenei in cui si realizza una specifica combinazione dei fattori della pedogenesi (clima, tempo, litologia, morfologia e vegetazione) e si presume che i suoli che si sviluppano all'interno abbiano caratteristiche comuni e distintive. All'interno delle diverse UdiP si è poi andati a concretizzare l'indagine pedologica vera e propria, con la realizzazione dei rilievi pedologici e delle analisi di laboratorio.

La lettura critica di tutte le osservazioni fatte e delle risultanze analitiche permette la redazione di una Carta dei Suoli della Riserva di prima approssimazione, in cui viene rappresentata graficamente la distribuzione geografica dei pedotipi dell'area.

In generale, le carte dei suoli forniscono informazioni utili anche a valutare l'idoneità di un territorio ad essere utilizzato per molteplici attività e settori, come agricoltura, selvicoltura, urbanistica, industria, viabilità, tempo libero, costituendo un importante ausilio nella gestione e pianificazione territoriale.

3 – Materiali e metodi

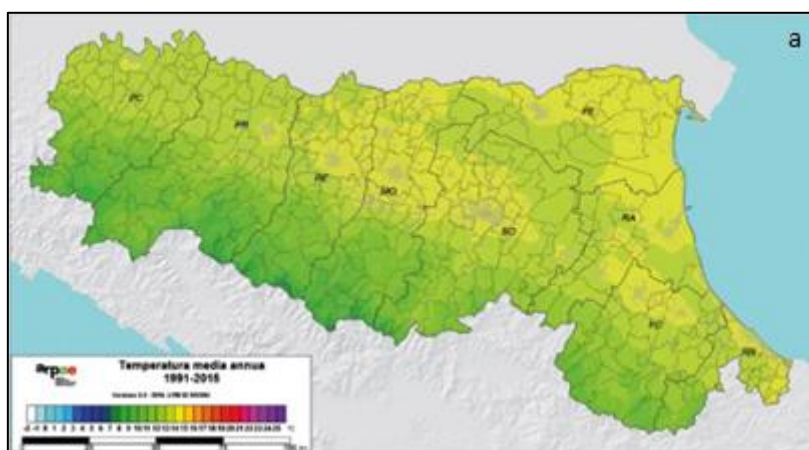
3.1. Indagine ambientale

L'indagine ambientale prevede l'elaborazione dei diversi aspetti ambientali che costituiscono gli elementi fondamentali della pedogenesi: clima, litologia, morfologia e geologia, biocenosi (considerando prevalentemente la vegetazione), uso del suolo e tempo.

Attraverso l'analisi dei fattori della pedogenesi si definiscono gli ambiti territoriali con specifiche caratteristiche ecologiche, denominate Unità di Paesaggio. Queste rappresentano zone omogenee caratterizzate da fattori ambientali simili e correlati tra loro, che forniscono un elemento rappresentativo e significativo del territorio. In prima approssimazione è ipotizzabile che, all'interno di ogni Unità di Paesaggio, si venga a sviluppare un tipo di suolo, o pedotipo, distintivo.

3.1.1 Clima

L'Emilia-Romagna è caratterizzata da un clima prevalentemente temperato subcontinentale, con inverni freddi e rigidi ed estati calde e umide. Le temperature e le precipitazioni variano in base alla distinzione geografica: tenendo conto del monitoraggio svoltosi tra il 1991 e il 2015 nella fascia appenninica le temperature medie annue si aggirano tra 8 e 12 °C e le precipitazioni medie annue variano tra i 900 e i 1800 mm l'anno; per quanto riguarda la zona di pianura le temperature medie annue sono più alte e variano tra gli 11 e 15 °C , le precipitazioni oscillano tra 600 mm l'anno, principalmente nella zona costiera, e 800 mm nella parte di pianura occidentale. Rispetto al monitoraggio del trentennio riferimento 1961 – 1990 le temperature medie si sono aumentate di 1,1 °C (Marletto et al., 2017). In Figura 10 le temperature e le precipitazioni medie annue dell'Emilia-Romagna dal 1991 al 2015.



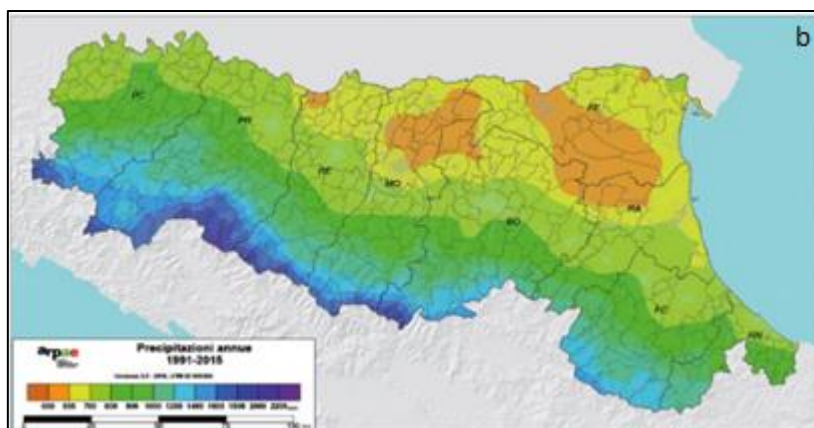
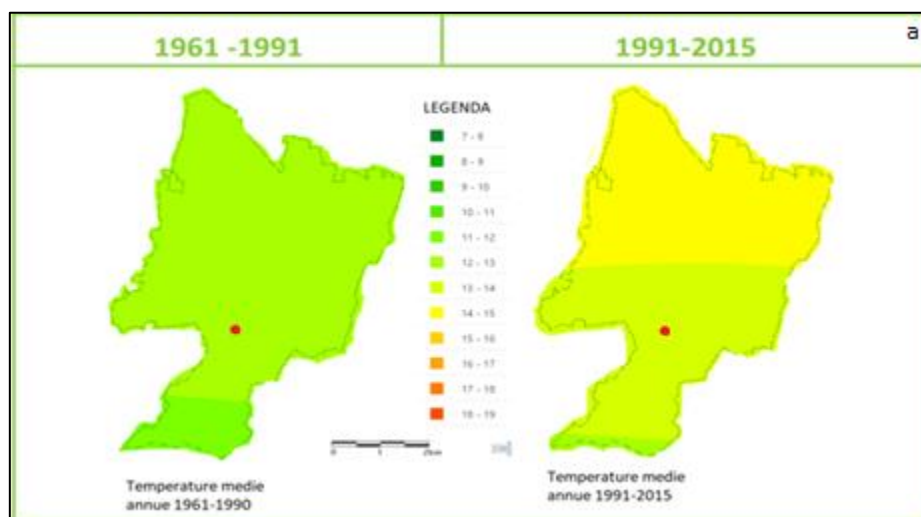


Figura 10. Temperature medie annue (a) e precipitazioni medie annue (b) dell'Emilia – Romagna, dall'Atlante climatico 1991 – 2015.

Per quanto riguarda il comune di Fiorano Modenese, questo è caratterizzato da un territorio diviso principalmente in due aree omogenee: una parte pianeggiante, che rappresenta la porzione più grande del territorio, e una parte collinare, concentrata nella parte più meridionale del comune, in cui si colloca la Riserva.

Le temperature medie annuali oscillano tra gli 11 e 15 °C, mentre le precipitazioni variano tra 700 – 800 mm l'anno (Figura 11b). Rispetto al trentennio di riferimento 1961 – 1991 le temperature si sono generalmente alzate di 1 °C circa (Tosi et al., 2021). In Figura 11a le temperature medie nel comune di Fiorano Modenese in riferimento a due finestre temporali: 1961-1990; 1991-2015.



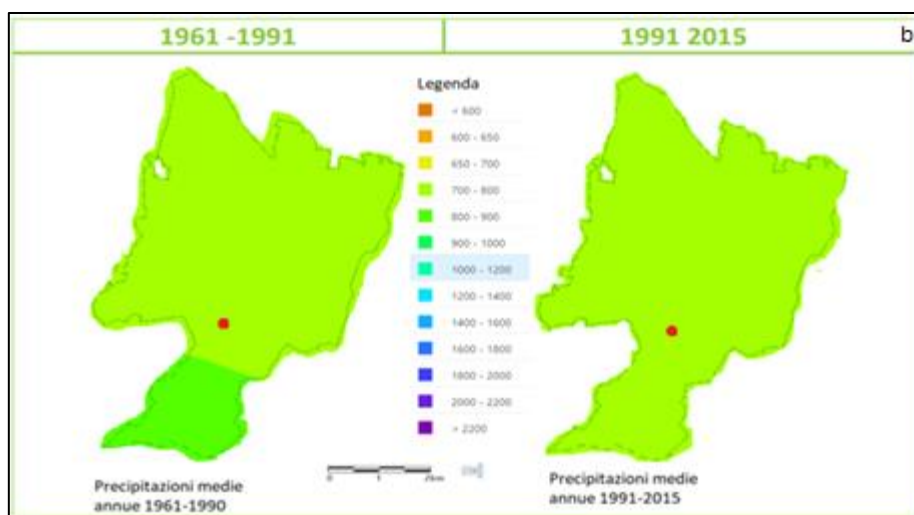


Figura 11. Temperature medie annue (a) e precipitazioni medie annue (b) del comune di Fiorano. Segnato in rosso la Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano (Tosi et al., 2021).

3.1.2 Litologia

La Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano è collocata in una zona in cui affiora la Formazione delle Argille Azzurre risalenti al Pliocene Inferiore e, sottostante a questa, vi sono: la Formazione dei Colombacci, risalente al Messiniano e costituita principalmente da argilla, sabbia e ghiaia; l'Unità Epi – Liguri dell'Eocene – Miocene; le Unità Liguri del Giurassico – Oligocene e la Formazione Marnoso Arenacea di età miocenica (Bonini et al., 2008).

I fluidi eruttati alle salse di Nirano sono costituiti da fango, bolle di gas (principalmente metano) e acque torbide, che possono contenere anche una piccola frazione di idrocarburi liquidi.

L'analisi del fango ha mostrato la presenza di frammenti carbonatici e di argille derivanti sia dalle Argille Azzurre che dagli strati sottostanti; l'origine dei frammenti è anche dimostrata da microfossili marcatori che suggeriscono la migrazione dei fluidi attraverso le Unità Liguri che, essendo essenzialmente impermeabili, possono indurre una sovrappressione di fluidi nelle sottostanti torbiditi della Formazione Marnoso Arenacea.

Il modello geologico (Figura 12) prevede che la risalita dei fluidi pressurizzati attraverso le discontinuità nelle Unità Liguri, e si accumulano in serbatoi poco profondi racchiusi tra le impermeabili Argille Azzurre e i sottostanti, più permeabili, livelli delle Unità Epiliguri e dei depositi della Formazione dei Colombacci (Bonini et al., 2008).

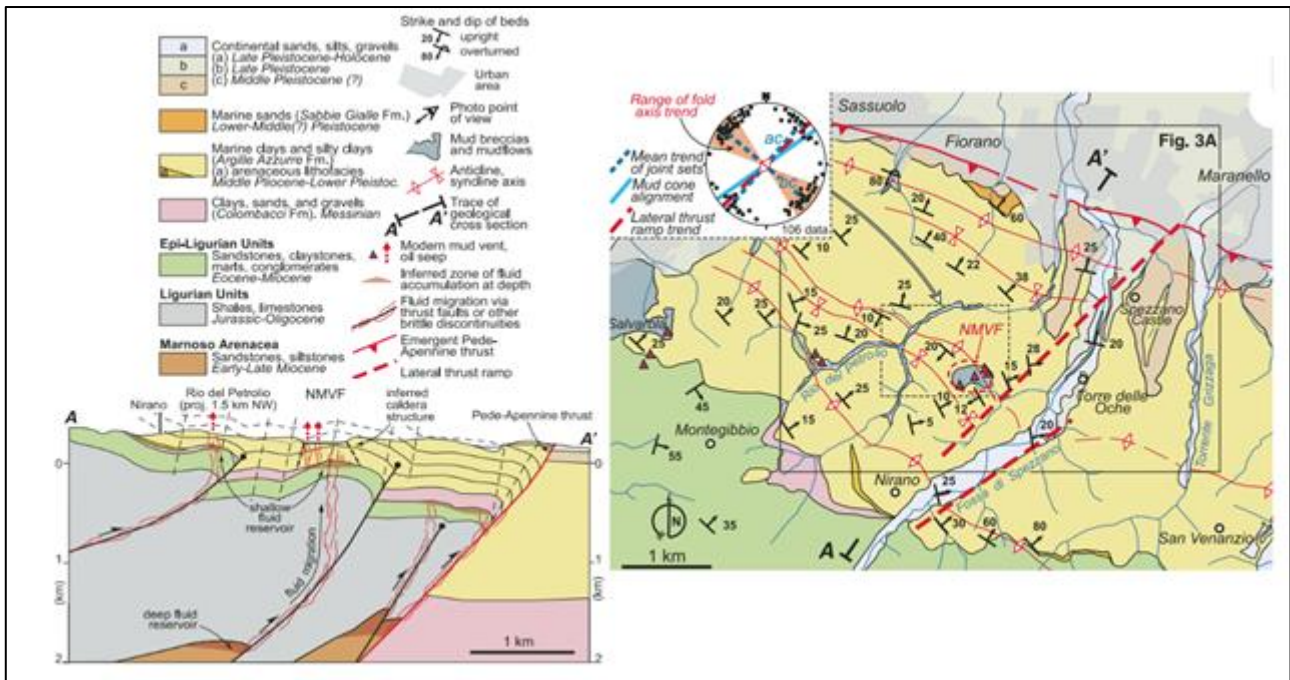


Figura 12. Struttura geologica dell'area delle Salse di Nirano, da Bonini et al, 2008.

3.1.3 Morfologia e geologia

All'interno della Riserva Integrale le quote vanno da un massimo di 220 m a 199 m sul livello del mare medio (slmm).

I livelli tematici relativi all'esposizione e la pendenza sono stati ottenuti dall'elaborazione del Modello Digitale del Terreno (DTM) importate dal Geoportale dell'Emilia-Romagna, in cui è rappresentata l'altimetria attraverso un modello a celle di 5 m x 5 m a cui è associata l'informazione di quota. Il modello è derivato dalle informazioni altimetriche ricavate dalla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000, dalle curve di livello e i punti quotati. Dal DTM sono stati creati i layer di esposizione e pendenza mediante le funzioni di analisi raster.

Per il layer dell'esposizione sono stati considerati i punti cardinali, quindi la direzione verso cui guarda il versante, mentre per il layer della pendenza sono state scelte tre classi di pendenza, < 5%, 5-20% e > 20%, in quanto rappresentavano al meglio le diverse morfologie della Riserva senza eccedere nella specificità.

Morfologicamente il territorio è caratterizzato da pendenze (Figura 13) più ripide, localizzate ai margini dell'area buffer e presenti in modo puntiforme nell'area meridionale della Riserva Integrale, in cui prevalgono pendenze che vanno da meno del 5% al 20%. Nell'area circostante ai vulcani le pendenze sono più dolci, ai margini e tra Fernando ed Egidio sono più accentuate.

L'esposizione (Figura 14) della Riserva Integrale si può distinguere complessivamente in due parti, delimitate dalla zona di impluvio tra Fernando ed Egidio. La parte orientale della Riserva è principalmente esposta a S; nelle zone circostanti ai vulcani invece si ha un'esposizione eterogenea generata dalla morfologia degli apparati lutivomi. La parte occidentale invece è complessivamente esposta a E e a N.

La Riserva Integrale ricade quasi interamente nei depositi di colata delle salse (Figura 15), ad eccezione di una zona a SO, in cui il substrato è costituito da rocce marnoso-argillose con locali intercalazioni sabbiose; una zona a N, in cui è presente una frana quiescente e un deposito colluviale, i cui materiali derivano dal substrato soprastante, formato da rocce marnoso-argillose.

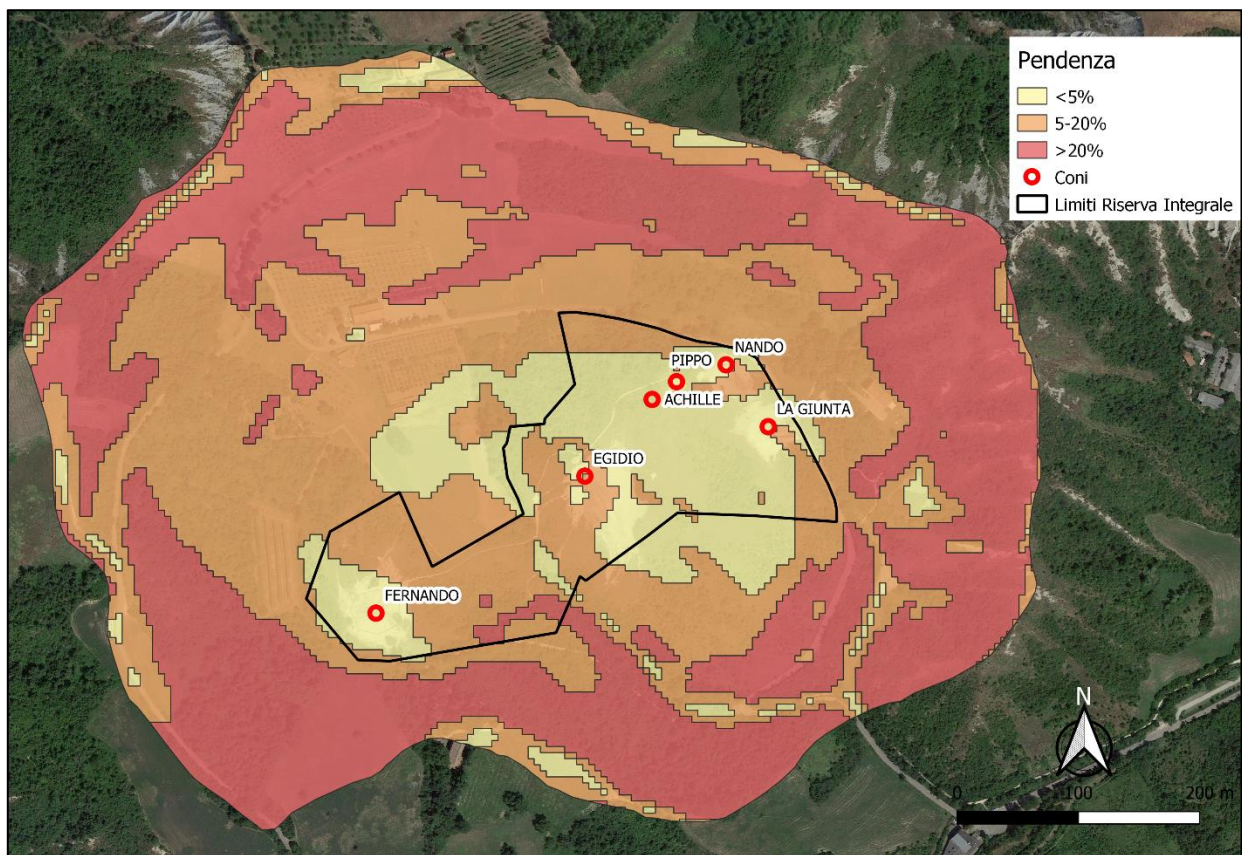


Figura 13. Livello tematico delle pendenze elaborato con GIS.

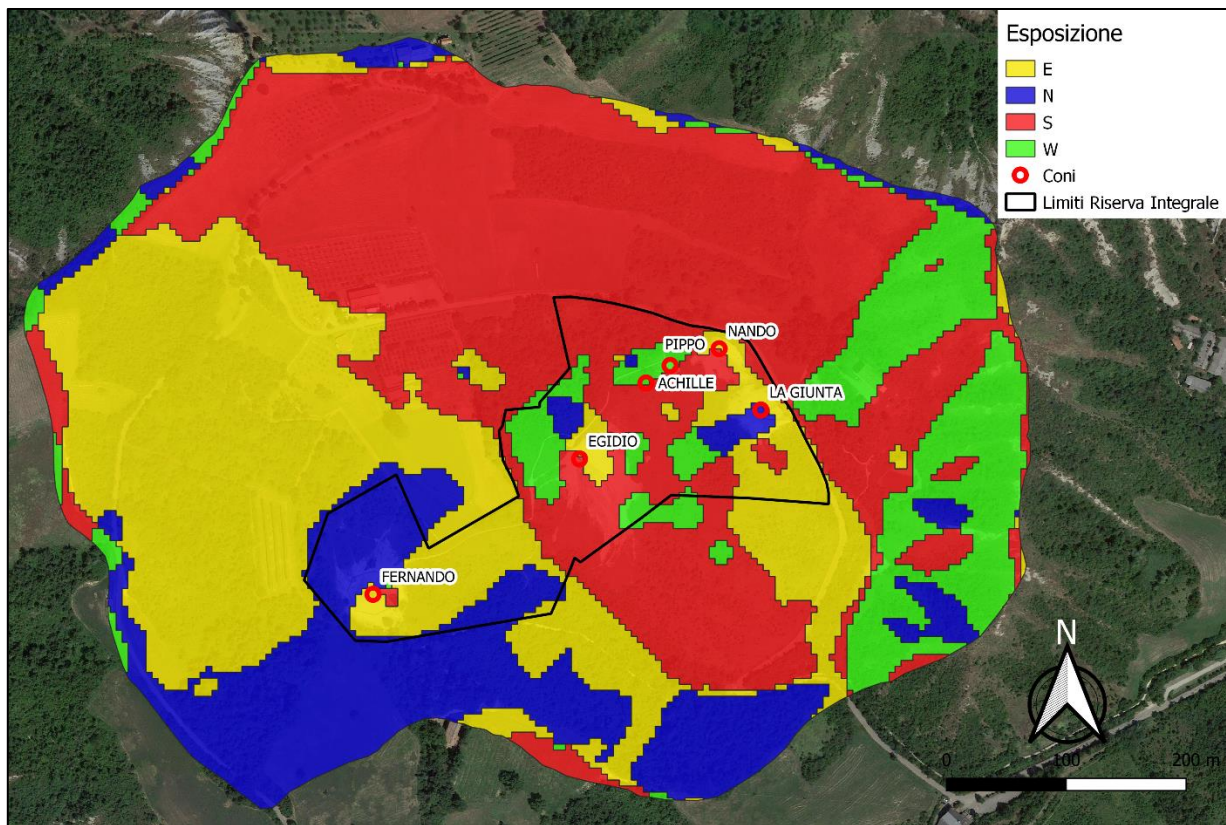


Figura 14. Livello tematico delle esposizioni elaborato con GIS.

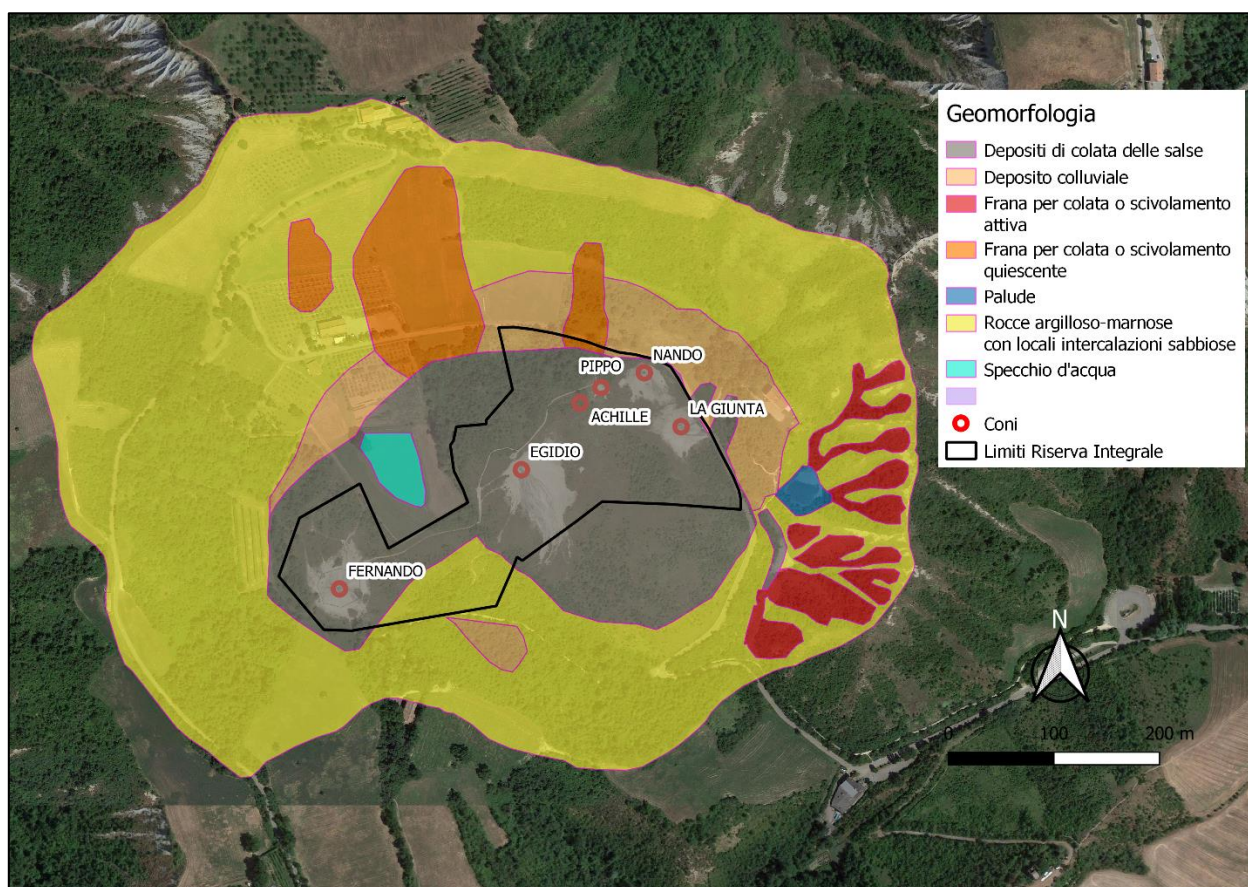


Figura 15. Livello tematico della morfologia e geologia elaborato con GIS.

3.1.4 Vegetazione e uso del suolo

Prima dell'istituzione della Riserva, numerose documentazioni cartografiche e fotografiche mostrano come l'intera zona fosse coltivata nei primi anni '60: le continue pratiche agricole (rimodellamenti del terreno per limitare l'espansione dei fanghi, arature, ecc.) e il prelievo dei fanghi per scopi termali ed industriali avevano un effetto fortemente negativo sullo sviluppo naturale sulle salse, che infatti hanno iniziato a mostrare la propria evoluzione solo quando, dai primi anni 80', si è istituita la Riserva (Figura 16).

In seguito alla istituzione della Riserva Naturale, e alla dismissione delle pratiche agricole, si è potuto assistere non solo all'evoluzione degli apparati lutivomi ma anche ad una successione vegetale in funzione del materiale emesso dai vulcani.

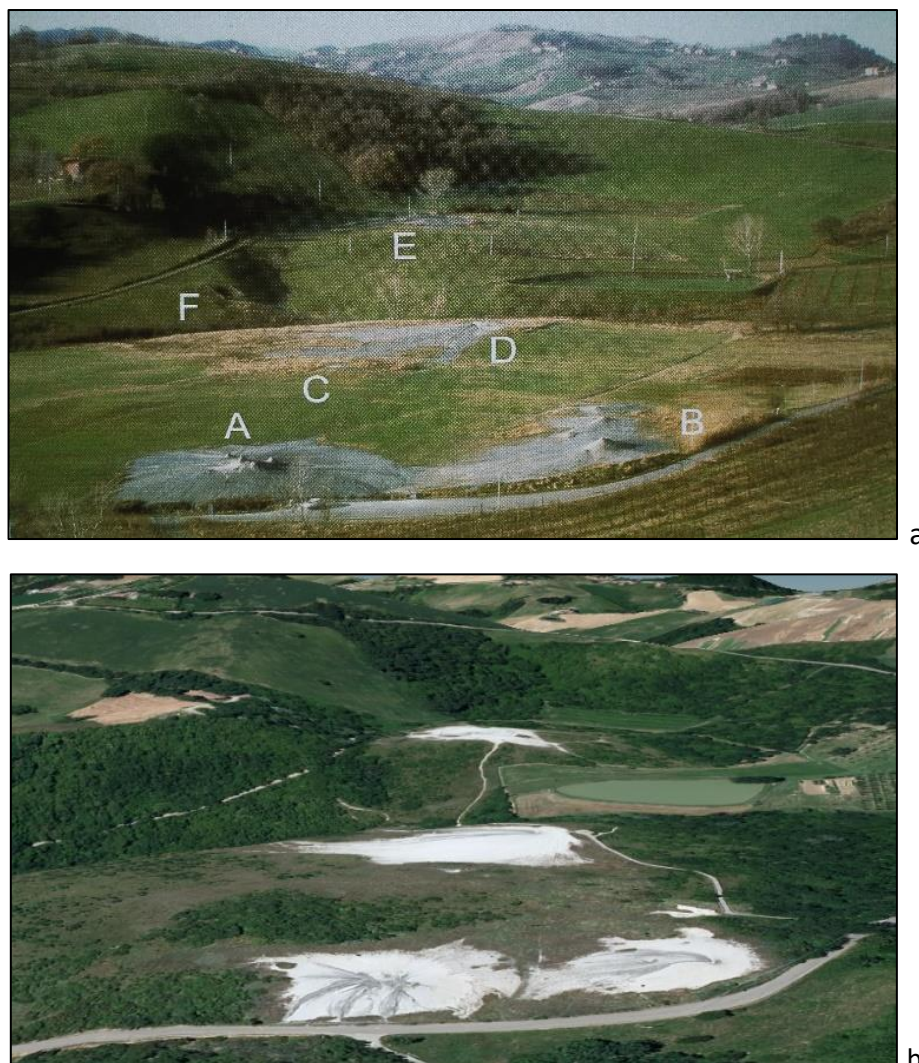


Figura 16. Foto storica di quando il terreno attorno agli apparati lutivomi era coltivato (a); la situazione attuale (b). Le lettere indicano rispettivamente A – La Giunta, B – Nando, D –Egidio, E – Fernando; i punti D e F non sono stati denominati.

La vegetazione si distribuisce lungo un gradiente legato principalmente alla salinità del substrato: nell'area prossima ai vulcani è presente la *Puccinellia fasciculata*, una specie erbacea alofila che cresce solitamente lungo la zona costiera, ma strettamente legata alla nicchia ecologica formata dai vulcani. Allontanandosi gradualmente dai coni si incontra una comunità vegetale prevalentemente erbacea, composta principalmente da graminacee e composite, mentre ai margini della Riserva Integrale troviamo delle zone arbustive, concentrate maggiormente nella parte meridionale, e delle zone con vegetazione arborea, distribuite nella parte settentrionale e tra Egidio e Fernando, dove vi sono delle leggere depressioni che garantiscono una maggiore presenza dell'acqua durante l'anno. In Figura 17 possiamo osservare il livello tematico dell'uso del suolo elaborato con GIS, che è stato realizzato partendo dall'immagine satellitare, su cui sono stati dei poligoni che descrivessero le aree tematiche all'interno della Riserva.

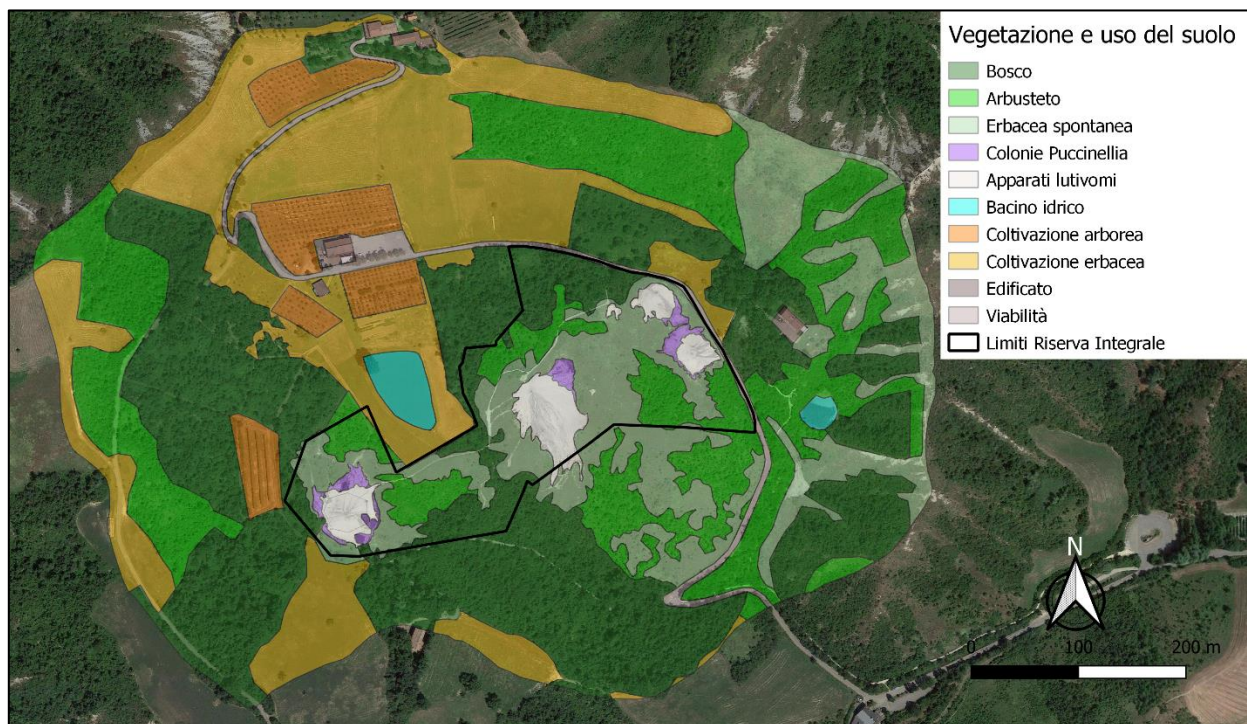


Figura 17. Livello tematico della vegetazione ed uso del suolo elaborato su GIS.

3.1.5 Individuazione delle Unità di Paesaggio

Con l'utilizzo di GIS sono stati creati i livelli tematici riguardanti i fattori pedogenetici, quali vegetazione ed uso del suolo; esposizione e pendenza, elaborate mediante la creazione del DEM (ottenuto dalle curve di livello); e geologia. Ai fini della definizione delle Unità di Paesaggio (UdiP) si è scelto di utilizzare la sovrapposizione dei livelli riguardanti la vegetazione/uso del suolo e geologia, in quanto rappresentano i due fattori principali che influenzano e modellano l'area di interesse.

L'esposizione dei versanti, infatti, non sembra esercitare un ruolo rilevante nella dinamica evolutiva dei suoli dell'area.

3.2 Indagine pedologica

Il suolo viene studiato nel suo ambiente naturale mediante l'osservazione, la descrizione e il campionamento di un'apposita sezione della superficie della terra, scavata fino alla profondità della roccia o del substrato non ancora alterato (substrato pedogenetico). Tale sezione è definita profilo del suolo. Ciascun profilo è caratterizzato da specifiche proprietà fisiche e chimiche distribuite lungo strati sovrapposti e circa-paralleli alla superficie denominati orizzonti pedogenetici, ognuno con le proprie caratteristiche e differenze rilevabili anche ad occhio nudo. Gli orizzonti principali del suolo vengono designati con le lettere maiuscole: A, B, C, E, L, M, O, R, V, W; ad ogni lettera corrisponde un orizzonte principale con caratteristiche ben definite (Dazzi, 2021).

L'indagine pedologica si estrinseca in tre fasi principali: il rilevamento di campagna, in cui si svolge il campionamento e la descrizione della stazione e del profilo pedologico; le indagini di laboratorio per ricavare le proprietà chimiche degli orizzonti; l'interpretazione dei risultati e la classificazione dei suoli campionati.

3.2.1 Campionamento

Il campionamento è stato svolto in sette differenti giornate: 5 novembre 2020, 17 febbraio 2021, 3 marzo 2021, 31 maggio 2021, 26 ottobre 2021, 16 marzo 2022 e 1 luglio 2022.

La scelta dei punti di campionamento è stata fatta cercando di interessare al meglio ogni Unità di Paesaggio, quindi campionando in punti che suggerivano una possibile rappresentatività e mantenendo circa lo stesso numero di campionamenti per ogni UdiP.

Sono stati effettuati anche dei campionamenti al di fuori della Riserva Integrale, ma rimanendo comunque all'interno della zona Buffer, al fine di avere un contesto più completo circa la situazione pedologica dei suoli, considerando i due substrati, i depositi di colate e le rocce argilloso-marnose, che interessano principalmente la Riserva.

Per indagare la possibile correlazione tra gli apparati lutivomi e la distribuzione della *Puccinellia fasciculata* è stato svolto un transetto sul cono La giunta. In Figura 18 la mappa dei punti di campionamento.

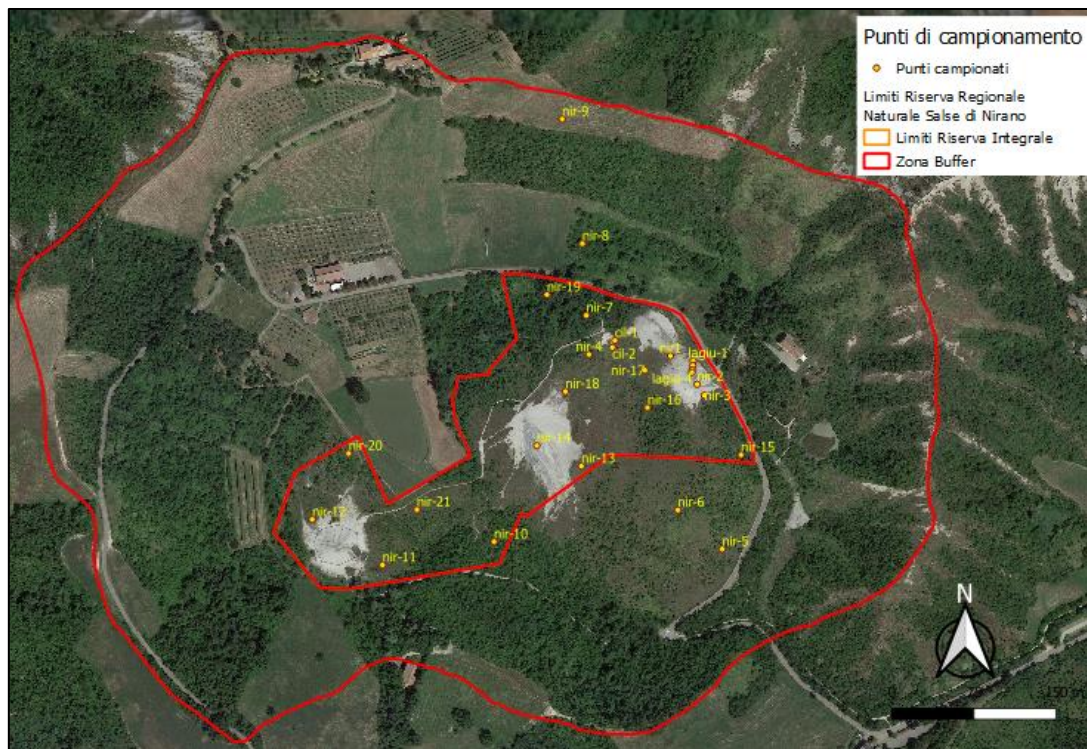


Figura 18. Punti di campionamento effettuati.

Per prelevare i campioni di suolo è stata utilizzata una trivella olandese di tipo Eijkelkamp (Figura 19), ed è stata indagata una profondità massima di 2 m. Mediante la trivella si preleva il materiale e si dispone su idoneo supporto, cercando di rispettare le profondità man mano che si scava e si estrae il campione di materiale terroso.



Figura 19. Fase di trivellata della stazione NIR-16.

Una volta disposto tutto il materiale sul supporto si procede con l'osservazione e descrizione del campione, riportando le osservazioni su apposite schede di campagna, seguendo le linee guida descritte in Schoeneberger et al. (2002), in cui si riportano:

- descrizione della stazione: data, località, coordinate est e ovest (datum WGS84-UTM33), esposizione, pendenza, quota, morfologia, substrato, vegetazione, regime di umidità e regime di temperatura;
- descrizione del profilo o della trivellata: una volta identificati gli orizzonti e riportati in sigla, vengono riportati la profondità, limite, umidità, colore (secco e umido) determinato mediante le Tavole Munsell (Munsell, 1975), screziature, struttura (tipo, dimensione e grado), tessitura (valutazione manuale di campo), scheletro, consistenza (umida e secca), adesività, plasticità, pori, radici, pH (determinazione di campo), figure pedogenetiche (per esempio concrezioni), contenuto di carbonati.

Una volta compilata la scheda si procede con la raccolta dei campioni in sacchetti, in cui è riportata la sigla della stazione, la data di campionamento e la profondità del materiale prelevato.

In totale sono state descritte 21 stazioni, denominate da NIR-1 a NIR-21, e sono stati raccolti 106 campioni corrispondenti agli orizzonti rilevati che sono stati conservati presso il Laboratorio di Geopedologia del Corso di Laurea a Ravenna, all'interno della pedoteca.

3.3 Analisi di laboratorio

In laboratorio i campioni sono stati stesi in vaschette di plastica ed essiccati a temperatura ambiente nel Laboratorio di Geopedologia. Successivamente, sono stati macinati con un macinatore per suoli a rulli, ottenendo un materiale con diametro < 2 mm, la cosiddetta terra fine.

Le analisi per le caratteristiche fisiche e chimiche sono state eseguite seguendo il Manuale dei Metodi di Analisi Chimica del Suolo (MiPAF, 2001), che contiene le procedure standard analitiche ufficiali descritte nel D.M. 13 settembre 1999 pubblicato sul Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n° 248 del 21 ottobre 1999.

In seguito, vengono descritte le procedure analitiche seguite per l'analisi dei campioni prelevati.

3.3.1 Determinazione della reazione del suolo (pH)

La reazione rappresenta uno dei parametri principali di qualità chimica del suolo; questo può mostrare una reazione acida, neutra o basica a seconda della quantità relativa di ioni idrogeno (H^+) e ioni ossidrili (OH^-) presenti nella soluzione.

Questo parametro si misura attraverso il pH, che si definisce come il logaritmo negativo in base 10 della concentrazione in moli/l di ioni H^+ nella fase liquida (Sørensen, 1909); i valori più bassi di pH indicano una maggiore concentrazione dello ione H^+ , che corrisponde ad un'acidità più elevata, mentre i valori più alti indicano una maggiore basicità, determinata dalla maggiore concentrazione dello ione OH^- .

$$pH = -\log a_{H^+} = -\log[H^+]$$

Il procedimento per la determinazione della reazione prevede il prelievo di 20 g di campione a terra fine, che viene inserito in un'ampolla da centrifuga, in cui si aggiungono 50 ml di H_2O deionizzata (rapporto suolo: soluzione 1:2,5). Successivamente si posizionano i campioni in un agitatore e si agita la sospensione per circa due ore.

Al termine del tempo, attraverso il pH-metro opportunamente tarato con soluzioni tampone a pH 4 e pH 7, si introduce l'elettrodo nella soluzione e si esegue la lettura.

La misura del pH è effettuata una seconda volta dopo aver centrifugato il campione a 3000 per 20 minuti (Figura 20).



Figura 20. Determinazione pH con pH-metro.

3.3.2 Conducibilità elettrica CE

La conducibilità elettrica esprime la misura indiretta della concentrazione totale dei sali disciolti in una soluzione in equilibrio con il suolo. Quindi, esprime l'attitudine di un elettrolita a trasportare corrente elettrica quando questo è fatto passare all'interno di una cella avente una coppia di elettrodi posizionati agli estremi che lo sottopongono ad una differenza di potenziale. In condizioni in cui il volume della cella e la differenza di potenziale sono standard, la conducibilità elettrica si esprime in d Sm^{-1} (deciSiemens/metro).

La conducibilità elettrica è strettamente legata alla salinità del suolo, intesa come il contenuto in sali solubili, principalmente cloruri (Cl^-), solfati (SO_4^{2-}), bicarbonati (HCO_3^-) e carbonati (CO_3^{2-}) di calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) e potassio (K^+): un suolo è considerato salino quando il suo estratto in pasta satura è superiore a 4 dS m^{-1} , l'ESP è minore di 15 ed il pH $< 8,5$ (Richards et al., 1954).

Il valore di 4 dS m^{-1} è stato scelto in quanto rappresenta il livello di salinità a cui la crescita e lo sviluppo di un gran numero tra le colture più comunemente coltivate cominciano ad essere influenzati negativamente (Aringhieri, 1999).

La normativa prevede diversi tipi di estrazione per la determinazione della conducibilità elettrica del suolo: a pasta satura, estratto acquoso con rapporto acqua/soilo 5:1 ed estratto acquoso con rapporto acqua/soilo 2,5:1. Nel nostro caso si è utilizzato l'estratto acquoso con rapporto 2,5:1 e il dato è stato espresso in dS m^{-1} e, per convenzione, è normalizzata a 25°C .

I campioni precedentemente agitati per due ore sono stati centrifugati per 20 minuti a 3000 giri e si è poi trasferito il surnatante in provette falcon.

La misura della CE è stata effettuata mediante conduttimetro, calibrato automaticamente con una soluzione di KCl 0,01 M ($1,413 \text{ d Sm}^{-1}$ a 25°C), riconosciute automaticamente dallo strumento. Una volta effettuata la taratura si è inserita la sonda nel campione per misurare la conducibilità elettrica. Per normalizzare la misura a 25°C si utilizzano dei fattori di correzione tabellari F in funzione della temperatura, come riportato in Tabella IV.1.2 della GU n. 248 del 21/10/1999, quindi si utilizza la formula:

$$\text{CE a } 25^\circ\text{C} = \text{CE assoluta} \cdot F(T) \cdot K$$

Dove:

F = fattore di correzione in funzione della temperatura T

K = fattore di cella

I valori tabellari per il calcolo del fattore F sono approssimati alla seguente equazione (MiPAF-SISS, 2015): $F = 1 - 0,20346 \cdot [(T-25^\circ)/10] + 0,03822 \cdot [(T-25^\circ)/10]^2 - 0,00555 \cdot [(T-25^\circ)/10]^3$

A differenza dell'estratto in pasta satura, l'estratto acquoso ha diversi intervalli per definire il grado di salinità di un suolo. In Tabella 2, si riportano gli intervalli di conducibilità elettrica correlati con la salinità, confrontati con quelli con l'estratto in pasta satura.

Tabella 2. Intervalli di conducibilità elettrica, con estratto acquoso e in pasta satura, correlati alla salinità.

CE 1:2,5	CE eps	Salinità
0 – 0,5	0 – 2	Suoli non salini
0,6 – 1,0	2 – 4	Suoli debolmente salini
1,1 – 2,0	4 – 8	Suoli molto salini
2,1 – 4,0	8 – 16	Suoli fortemente salini
> 0,4	> 16	Suoli estremamente salini

3.3.3 Calcare totale

La determinazione del contenuto in carbonati può essere eseguita sia in campo, osservando la reazione di una piccola porzione di campione all'acido cloridrico (HCl), che in laboratorio, in cui il metodo è basato sulla decomposizione dei carbonati con un eccesso di acido cloridrico e sulla determinazione dell'anidride carbonica sviluppatasi all'interno del calcimetro di Dietrich - Fruehling, che viene misurato con un sistema volumetrico opportunamente tarato.

Il metodo prevede il prelievo di 1 g di campione, (per suoli con contenuto di carbonati compreso tra 50 e 80 g kg⁻¹), che viene inserito in una beuta in cui poi successivamente è inserita una provetta di plastica con all'interno 5 ml di soluzione diluita di HCl (acido cloridrico 1:2 v/v). Il calcimetro viene tarato, eguagliando la pressione interna a quella esterna e poi viene collegata la beuta mediante un tappo di chiusura.

Successivamente si agita la beuta, per circa un minuto, in modo tale che la soluzione di HCl entri in contatto con il campione, così facendo viene liberata la CO₂ che farà abbassare il livello dell'acqua nel cilindro graduato (in ml). Una volta terminata la reazione si legge il valore sul cilindro graduato e si rileva la temperatura, per andare a ricavare mediante apposita tabella il rispettivo valore della tensione di vapore in mmHg (Figura 21).

Il contenuto di "calcare totale" è espresso in g kg⁻¹ senza cifre decimali e per il calcolo viene utilizzata l'espressione:

$$C = \frac{V_0 * 0,0044655 * 1000}{m}$$

Dove:

C = contenuto di "calcare totale", espresso in g kg⁻¹;

V₀ = volume della CO₂ standardizzato, corretto a 0 °C e alla pressione atmosferica di 101.325 kPa, espresso in ml; 0,0044655 = equivalente gas-volumetrico;

m = massa del campione di terra fine utilizzato per l'analisi, espressa in g.

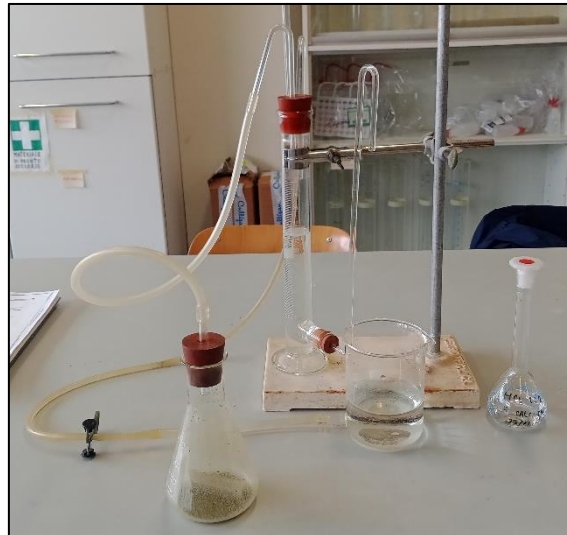


Figura 21. Calcimetro di Dietrich – Fruehling.

3.3.4 Alcalinità

Per alcalinità di una soluzione si intende la sua capacità di reagire con gli ioni idrogeno, cioè di neutralizzare gli acidi, quindi, è una misura del potere tamponante di una soluzione nei confronti rispettivamente degli acidi e delle basi.

L'alcalinità viene misurata mediante titolazione, che consiste nella determinazione della concentrazione di una determinata specie misurando il volume di una soluzione a concentrazione nota (titolante o soluzione standard) richiesto per far reagire quantitativamente la soluzione con la sostanza in esame. Con questo metodo l'alcalinità è misurata attraverso la concentrazione di ioni carbonato (CO₃²⁻) e bicarbonato (HCO₃⁻) nella soluzione. Lo strumento utilizzato per misurare l'alcalinità è MColortest™ 111109 0.1 – 10 mmol l⁻¹.

Per determinare la concentrazione di ioni carbonato si prelevano 5 ml di campione e si aggiungono 2 gocce di reagente (soluzione titolante R-1) che fa assumere al campione una colorazione tendente al rosa più o meno acceso sulla base della presenza dello ione; successivamente viene aggiunta la soluzione titolante (R3), mediante siringa da 5 ml, finché la soluzione non ritorna trasparente. Ogni

ml di soluzione R3 equivalgono a $0,1 \text{ mmol l}^{-1}$ di ione carbonato, quindi per ottenere la concentrazione di ioni carbonato nel campione si moltiplicano i ml di soluzione utilizzati per il peso molare dello ione carbonato. In Figura 22 il procedimento di titolazione.

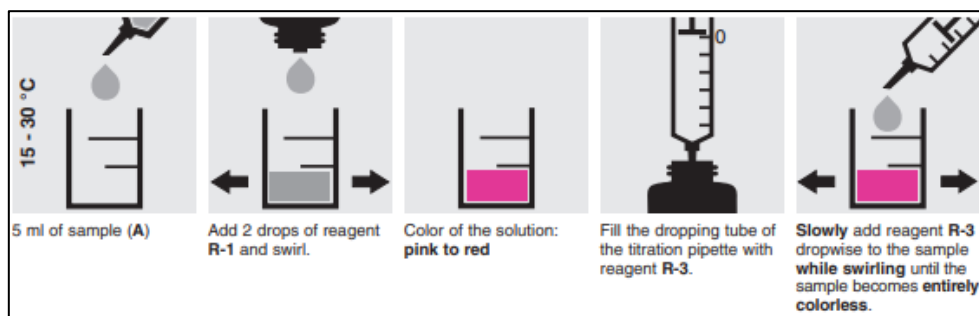


Figura 22. Procedimento di titolazione per lo ione carbonato.

Per misurare lo ione bicarbonato si prelevano 5 ml di campione, in cui si inseriscono 2 gocce di reagente (soluzione titolante R2), che fa assumere al campione una colorazione tendente al blu più o meno acceso sulla base della presenza dello ione; successivamente si aggiunge la soluzione titolante R3 fino a quando il colore del campione non vira verso il rosa. Ogni ml di soluzione R3 equivalgono a circa $0,1 \text{ mmol l}^{-1}$ di ione bicarbonato, quindi per ottenere la concentrazione di ioni carbonato nel campione si moltiplicano gli ml di soluzione utilizzati per il peso molare dello ione bicarbonato. In Figura 23 il procedimento di titolazione.

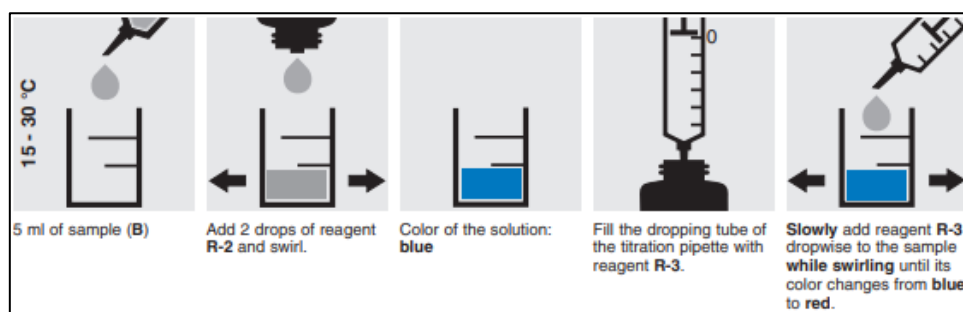


Figura 23. Procedimento di titolazione per lo ione bicarbonato.

3.3.5 Determinazione granulometrica: tessitura

La granulometria del suolo, cioè quantità e dimensione dei suoi elementi minerali, è una caratteristica fondamentale del suolo in quanto non varia nel breve periodo. Una prima distinzione granulometrica degli elementi minerali del suolo è la separazione tra scheletro, costituito da elementi con diametro superiore o uguale a 2 mm, e terra fine, che è inferiore ai 2 mm di diametro e si divide in sabbia, tra i 2 e 0,05 mm, limo, tra i 0,05 e 0,002 mm, e argilla con elementi minerali inferiori a 0,002 mm di diametro.

Per misurare la tessitura è stato utilizzato il metodo dell'idrometro, che prevede la distruzione e dispersione degli aggregati di suolo con apposita soluzione e successivamente si è calcolata la quantità delle frazioni granulometriche mediante la velocità di sedimentazione delle particelle all'interno di una soluzione acquosa, che segue la legge di Stoke, in seguito descritta:

$$v = (\rho_s - \rho_l) * g * d^2 / 18\eta_l$$

Dove:

v : velocità di caduta delle particelle (cm/s)

ρ_s : massa volumica reale delle particelle (g/cm³)

ρ_l : massa volumica del liquido di sedimentazione (g/cm³)

g : accelerazione di gravità = 981 cm/s²

d : diametro delle particelle (cm)

η_l : viscosità del liquido di sedimentazione (g/cm·s)

Nella prima fase vi è la preparazione del campione: vengono prelevati 40 g di suolo, si inseriscono in una beuta, si aggiungono 100 ml di soluzione di sodio esametafosfato (NaPO₃)₆ 50 g^l⁻¹ (agente deflocculante), e viene agitato per due ore mediante agitatore (Figura 24a).

Successivamente la sospensione viene miscelata per circa tre minuti in un disgregatore e poi è travasata in un cilindro sedimentatore da 1 l; la sospensione si porta a volume con l'acqua deionizzata (Figura 24b).

Nella seconda fase viene eseguita la lettura dei valori a seconda del tempo di sedimentazione delle particelle di suolo: il cilindro di sedimentazione viene capovolto per 20 volte per uniformare la sospensione e, una volta terminato l'ultimo capovolgimento, a 40 secondi termina la sedimentazione delle sabbie, quindi viene determinata la concentrazione di limo e argilla rimasti in sospensione mediante il densimetro di Boujucos ASTM 152H. Inoltre, è rilevata anche la temperatura, la quale è convertita attraverso un fattore di conversione in quanto il metodo è tarato a 20 °C.

Dopo 24 ore termina la sedimentazione del limo, viene determinata la concentrazione dell'argilla rimasta in sospensione; si misura la temperatura.

Sia per la determinazione di argilla e limo che per le argille viene effettuata la lettura del bianco (a 40 secondi e 24 ore) in un cilindro di sedimentazione avente al suo interno solo la soluzione deflocculante; è misurata anche la temperatura.

La concentrazione del limo è ricavata mediante differenza tra la concentrazione della sabbia e la concentrazione delle argille.

La granulometria si esprime in g kg^{-1} , e viene calcolata con le seguenti formule:

$$C_1(\text{sabbia}) = 1000 - 1000 \cdot \frac{L_1 + 0,36(T_1 - 20) - L_0}{P}$$

$$C_2(\text{limo}) = 1000 - C_3(\text{argilla}) - C_1(\text{sabbia})$$

$$C_3(\text{argilla}) = 1000 \cdot \frac{L_2 + 0,36(T_2 - 20) - L_0}{P}$$

Dove:

C_1 : è la frazione granulometrica più grossolana (sabbia), espressa in g kg^{-1} nel terreno;

C_2 : è la frazione granulometrica intermedia (limo), espressa in g kg^{-1} nel terreno;

C_3 : è la frazione granulometrica più fine (argilla), espressa in g kg^{-1} nel terreno;

L_1 : lettura dell'idrometro a 40'', tempo di deposizione della sabbia, in g l^{-1} ;

T_1 : temperatura della soluzione a 40'', in $^{\circ}\text{C}$;

L_2 : lettura dell'idrometro a 24h, tempo di deposizione di sabbia e limo, in g l^{-1} ;

T_2 : temperatura della soluzione a 24h, in $^{\circ}\text{C}$;

L_0 : lettura fatta sulla soluzione disperdente;

P : peso in g del campione.

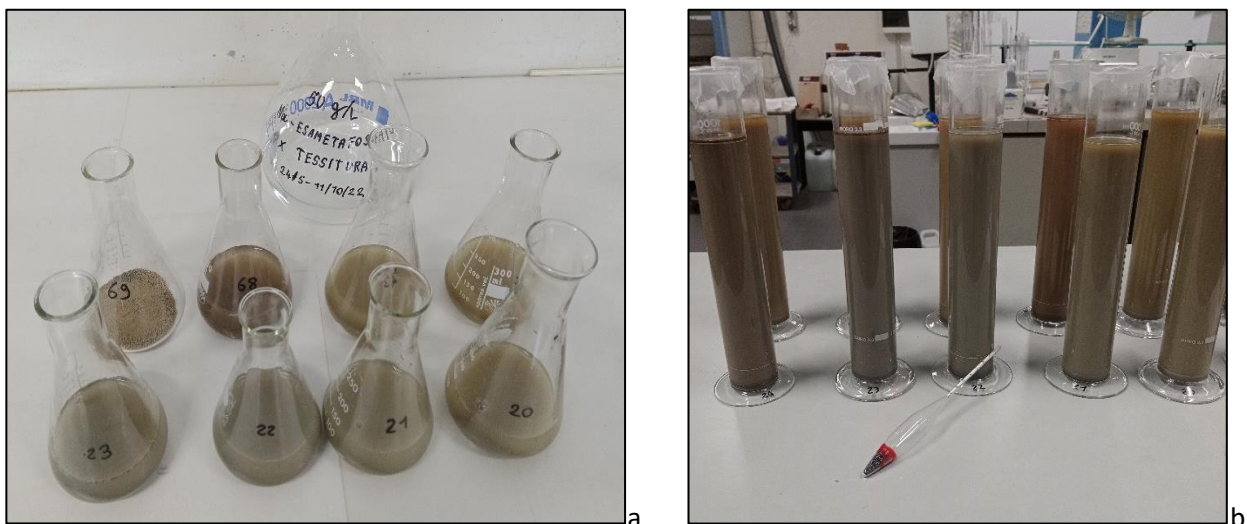


Figura 24. Trattamento de campione con la soluzione di esametafosfato (a); cilindri per l'analisi della tessitura e il densimetro di Boujoucos (b).

3.3.6 Determinazione carbonio organico totale TOC

Il carbonio organico totale (TOC) esprime la quantità di carbonio legato in un composto organico, includendo il carbonio organico degli acidi umici, acidi fulvici e le componenti umificate. Il carbonio organico è generalmente espresso in g kg^{-1} oppure in percentuale sul suolo.

Per la determinazione del TOC si è utilizzato l'analizzatore elementare Thermo Fischer FLASH 2000 CHNS/O, il cui metodo analitico si basa sull'ossidazione istantanea del campione per combustione a $1800\text{ }^{\circ}\text{C}$, con conseguente conversione delle sostanze in prodotti gassosi.

Per calibrare lo strumento si pesano da 2 a 3 mg, in capsule di stagno, quattro aliquote di BBOT (2,5-Bis(5'-tert-butyl-2-benzo-oxazol-2-yl) thiophene), materiale di riferimento: una capsula servirà per condizionare lo strumento mentre le altre tre per ottenere la curva di calibrazione. Inoltre, viene pesato in una capsula in argento un suolo di riferimento con valori certificati di C, N, e S per ottenere il bianco.

Successivamente si pretratta il campione, che viene macinato finemente fino a raggiungere una dimensione dei granuli $< 0,5\text{ mm}$, poi viene prelevata una quantità di suolo compresa tra 5 e 10 mg e inseriti in una capsula in argento. In seguito, si aggiungono 20-40 μl di soluzione di HCl diluita 1,5 M e si inserisce il campione in un supporto di alluminio, per inserirlo in stufa ventilata a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ per un'ora. Il trattamento con la soluzione di HCl si ripete finché non vi è più effervescenza nel campione, in genere si ripete per 4 o 5 volte.

Una volta terminati i trattamenti si chiude la capsula d'argento e si inseriscono i campioni nell'autocampionatore dell'analizzatore elementare. Da questo i campioni uno alla volta cadono nel crogiuolo, dove vi è una colonna impaccata dove vengono sottoposti ad una combustione a $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ per 5-8 secondi in presenza di ossigeno e si incendiano; i gas liberati dalla combustione sono convogliati attraverso una corrente di elio nella fase ossidante dell'ossido rameico (CuO), dove i gas reagiscono e seguono la fase riducente del rame metallico, in cui sono ridotti. Una volta che i gas, in ordine di tempo, escono dalla colonna il rilevatore a conducibilità termica rileva i gas e invia il segnale al computer, che restituisce il segnale come cromatogramma mediante software "EAger Experience".

Il contenuto percentuale di carbonio nel campione di suolo è calcolato con la seguente formula:

$$C = \frac{I \cdot 100}{K \cdot M}$$

Dove:

C = contenuto percentuale dell'elemento considerato nel campione di suolo;

K = valore medio del fattore di taratura (mV s mg^{-1});

I = area del picco dell'elemento (C, N, H o S) nel campione di suolo (mV s);

M = massa del campione di suolo (mg).

Moltiplicando il valore ottenuto per 10 si ottiene il dato espresso in g kg^{-1} come richiesto dalla GU del 1999.

3.3.7 Contenuto di anioni solubili

La concentrazione degli anioni solubili, quali F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , sono stati determinati mediante la cromatografia ionica (IC), con lo strumento Metrohm 883 e il programma Magic Net 3.1, opportunamente calibrato per ciascun anione analizzato mediante soluzione standard (Figura 25).

La cromatografia ionica si basa sul principio di attrazione degli ioni di carica opposta per separare gli ioni presenti nel campione. Questa tecnica è basata sulla distribuzione differenziale tra due fasi: una mobile (o eluente), costituita da un fluido, in cui viene iniettato il campione che precedentemente è passato attraverso un filtro da $20 \mu\text{m}$; nella seconda fase, detta stazionaria, il campione è immesso dall'eluente in una colonna, costituita da macromolecole contenenti dei siti attivi ionizzati, in cui i controioni possono essere scambiati con altri aventi carica uguale, eluiti con la fase mobile.

I componenti più affini alla fase stazionaria passeranno più tempo in questa fase, quindi si sposteranno più lentamente attraverso il sistema, mentre i componenti più affini alla fase mobile si sposteranno più velocemente. Le forme anioniche escono dalla colonna in tempi diversi e nel seguente ordine: fluoruri, cloruri, nitriti, bromuri, nitrati, fosfati, solfati.

All'uscita della colonna un rivelatore misura la concentrazione del soluto nella fase mobile e riporta il segnale in funzione del tempo, che viene elaborato dal computer e restituito sottoforma di cromatogramma, in cui l'area sottesa del picco, in funzione del tempo, corrisponde alla quantità dello ione. Lo strumento esprime il risultato in mg l^{-1} è successivamente convertito in meq kg^{-1} .

Il campione, prima di iniziare l'analisi, viene diluito con acqua deionizzata in funzione del valore di conducibilità elettrica e, nel momento in cui viene iniettato, viene ulteriormente filtrato con un filtro da $20 \mu\text{m}$.



Figura 25. Cromatografo ionico.

3.3.8 Contenuto di cationi solubili

La concentrazione dei cationi solubili, quali Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , è stata determinata con l'assorbimento atomico a fiamma (FAAS). Per questo tipo di analisi i campioni sono stati pretrattati: sono state eseguite delle diluizioni a 1:10, 1:100, 1:1000, 1:5000, in base alla conducibilità elettrica. All'interno di ogni provetta falcon da 50 ml sono stati inseriti 5 ml di campione, a cui sono aggiunti: 6 ml di nitrato di lantanio $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, 5 ml di cloruro di cesio CsCl , 5 ml di acido nitrico HNO_3 e acqua deionizzata per portare a volume (50 ml) (Figura 26a).

Una volta calibrato lo strumento, mediante soluzione standard per ogni catione analizzato, il campione viene immesso in forma molecolare nello strumento: è quindi necessaria una fase di vaporizzazione per l'eliminazione del solvente, seguita da una fase di atomizzazione in cui si disgrega la molecola e si producono atomi allo stato fondamentale attraverso una combustione a fiamma monocromatica con temperatura a circa 2000 °C e una miscela di aria e acetilene. Successivamente si farà arrivare sul vapore atomico una radiazione in grado di provocare l'eccitazione degli atomi, che sarà parzialmente assorbita; tale radiazione è formata da una sola lunghezza d'onda specifica, il cui assorbimento da parte dell'elemento risponde alla legge di Lambert-Beer (Figura 26b). Il rivelatore trasmette poi il segnale al computer, che lo restituisce esprimendo la concentrazione del catione in mg l^{-1} . Questa concentrazione è poi convertita in meq kg^{-1} .

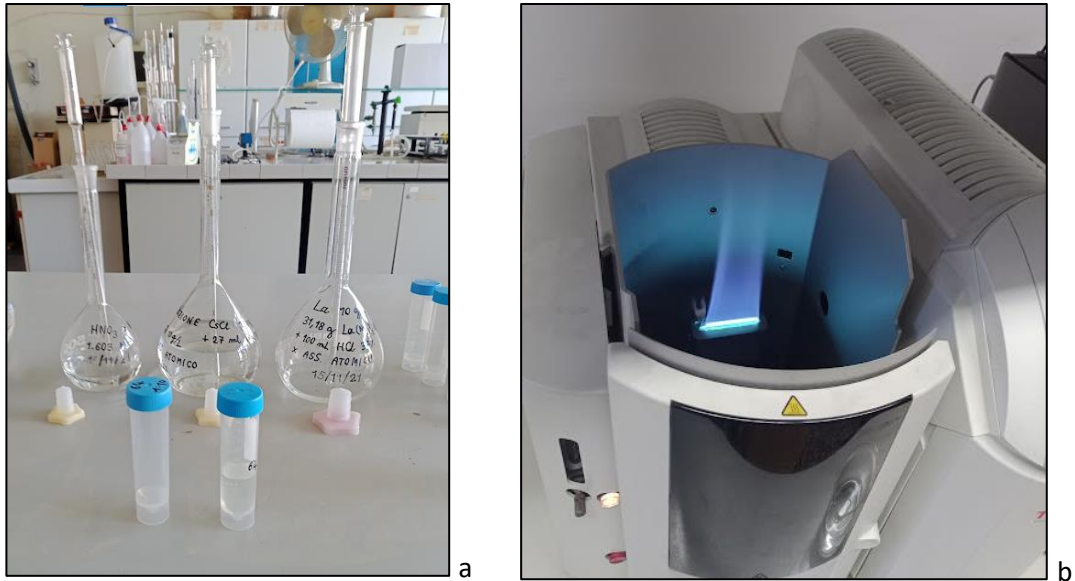


Figura 26. Trattamento dei campioni per l'assorbimento atomico (a); la fiamma utilizzata per determinare il sodio (b).

Una volta ottenuti i risultati si può calcolare il SAR (Sodium Adsorption Ratio), un indice che rappresenta la quantità relativa di ioni sodio rispetto alla quantità combinata di ioni calcio e magnesio, seguendo la formula riportata in seguito (Tabella 3). Per determinare il grado di salinità di un suolo si fa riferimento ai valori definiti nella Gazzetta Ufficiale (Tabella 3).

Tabella 3. Intervalli di salinità secondo la Gazzetta Ufficiale, Supplemento ordinario n. 185, serie n. 248 del 21 ottobre 1999.

$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}}}$	Valore	Salinità
	<10	Bassa
	10-18	Media
	18-26	Alta
	>26	Molto alta

3.4 I sistemi di classificazione: Soil Taxonomy e World Reference Base for Soil Taxonomy

La Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2022) è un sistema di classificazione creato dal National Resources Conservation Service del Dipartimento di Agricoltura degli Stati Uniti (NRCS-USDA). Questo sistema è di tipo analitico e si basa su una serie di principi, al fine di ottenere una classificazione oggettiva basata sui caratteri osservati in campo e in laboratorio.

La Soil Taxonomy presenta una struttura piramidale, organizzata in sei livelli gerarchici, in seguito sinteticamente riportati dal più generale al più specifico:

1. **Ordine:** indica i processi di formazione del suolo rilevati dalla presenza o assenza di orizzonti diagnostici, cioè un suolo che presenta un insieme di proprietà definite e che sono utili ai fini della classificazione;
2. **Sottordine:** suddivisione degli Ordini secondo la presenza o assenza di proprietà associate all'umidità, ai regimi udometrici (variazione di umidità ad una specifica profondità del suolo), ai principali substrati;
3. **Grande Gruppo:** suddivisione dei Sottordini secondo tipi simili, disposizione e grado di espressione degli orizzonti; vi è una maggiore enfasi alla presenza o assenza di caratteri diagnostici;
4. **Sottogruppo:** suddivisione dei Grandi Gruppi, il concetto centrale dei taxa per questi è in proprietà indicanti intergradi verso altri Grandi Gruppi.
5. **Famiglia:** separazioni dei Sottogruppi in base alle classi tessiturali riferite alla sezione di controllo; classi mineralogiche dominanti; regimi di temperatura;
6. **Serie:** si differenziano in funzione di elementi del suolo osservabili e misurabili, come colore tessitura, struttura, consistenza e reazione degli orizzonti.

Una volta identificati tutti i livelli, il suolo è classificato con una specifica nomenclatura, indicata con un esempio in Figura 27.

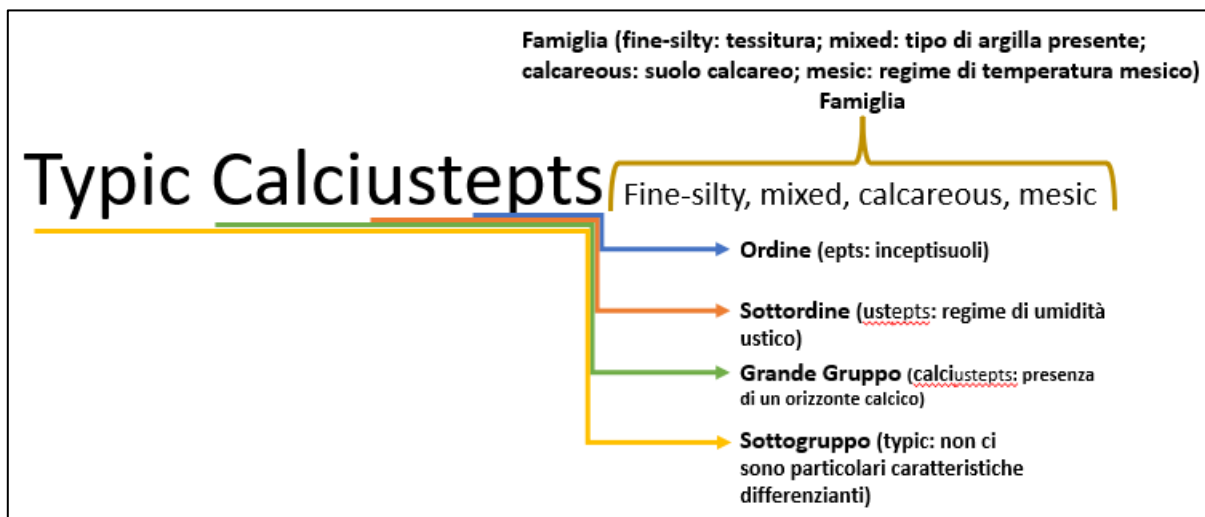


Figura 27. Esempio di nomenclatura della Soil Taxonomy.

La World Reference Base for Soil Resources (IUSS Working Group WRB, 2022) è un sistema internazionale di classificazione, che ha lo scopo di fornire un linguaggio comune per comparare i sistemi di classificazione nazionali.

La WRB è costituita da due livelli gerarchici: il primo livello è caratterizzato da 32 gruppi, denominati Reference Soil Groups (RSG), differenziati tra loro in funzione dei processi pedogenetici che li caratterizzano; il secondo livello è definito dal nome del RSG associato a un gruppo di qualificatori, distinti in principali e supplementari. I primi sono i più significativi per una migliore definizione del suolo e vengono ordinati secondo la loro importanza; i supplementari forniscono un maggiore dettaglio sul suolo e sono elencati in ordine alfabetico. In Figura 28 un esempio di classificazione WRB.

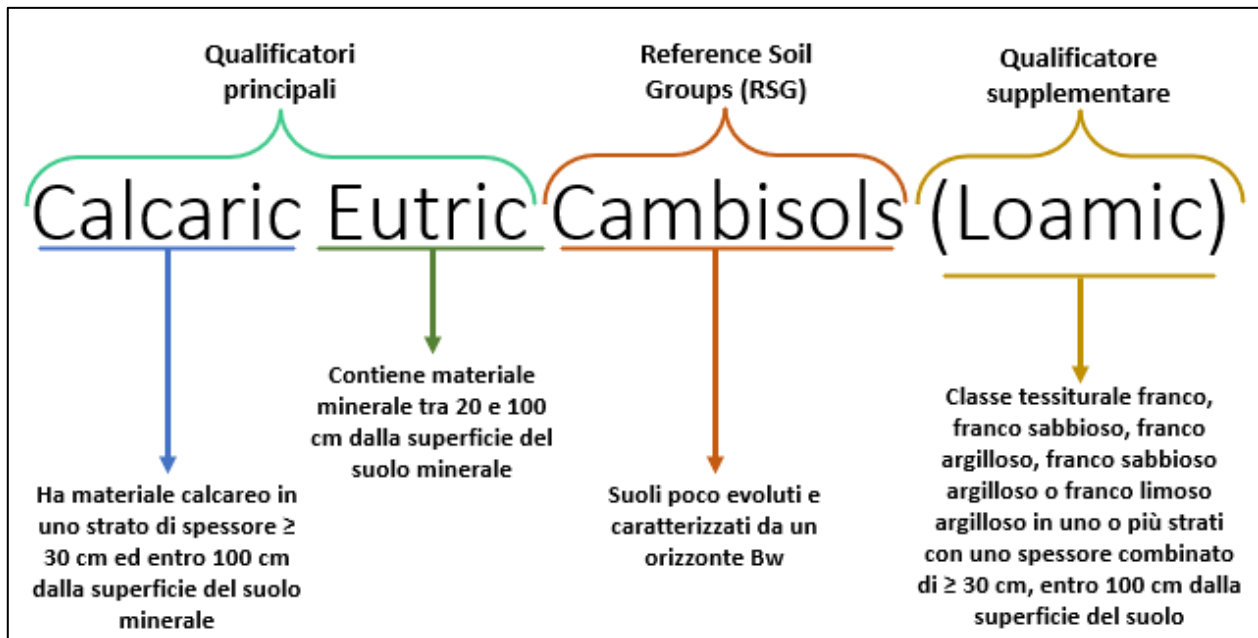


Figura 28. Esempio di classificazione con la WRB.

4 – Risultati e discussione

4.1 Le Unità di Paesaggio (UdiP)

Con l'utilizzo di un GIS sono stati creati i livelli tematici riguardanti i fattori pedogenetici, quali vegetazione ed uso del suolo (Figura 17), morfologia (mediante elaborazione del DEM da cui si ricavano i livelli di pendenza (Figura 13) ed esposizione (Figura 14), e geologia (Figura 15). Ai fini della definizione delle Unità di Paesaggio (UdiP) si è scelto di utilizzare i livelli riguardanti la vegetazione/uso del suolo e geologia, in quanto rappresentano i due fattori principali che influenzano e modellano l'area di interesse. L'aspetto morfologico, quando rilevante, è stato considerato all'interno delle singole UdiP.

I livelli tematici realizzati con GIS sono stati sviluppati sia per la zona Buffer della Riserva che per l'area di Riserva Integrale; si è scelto poi di concentrarsi solo su quest'ultima, in cui sono state identificate le Unità di Paesaggio.

Sulla base della sovrapposizione dei livelli tematici sono state individuate sei Unità di Paesaggio raffigurate in Figura 29, le quali presentano caratteristiche omogenee a livello di geologia e comunità vegetali.

In generale, all'interno della zona integrale, il substrato è rappresentato da colate delle salse sul quale, a seconda delle caratteristiche locali, si è venuta a sviluppare una successione vegetale principalmente in funzione della salinità. Solo in limitate porzioni marginali il substrato è costituito da FAA su cui si sviluppa vegetazione arborea. In queste aree le pendenze sono più pronunciate, in quanto trattasi di frane quiescenti o zone di impluvio su cui agisce la forza erosiva dell'acqua.

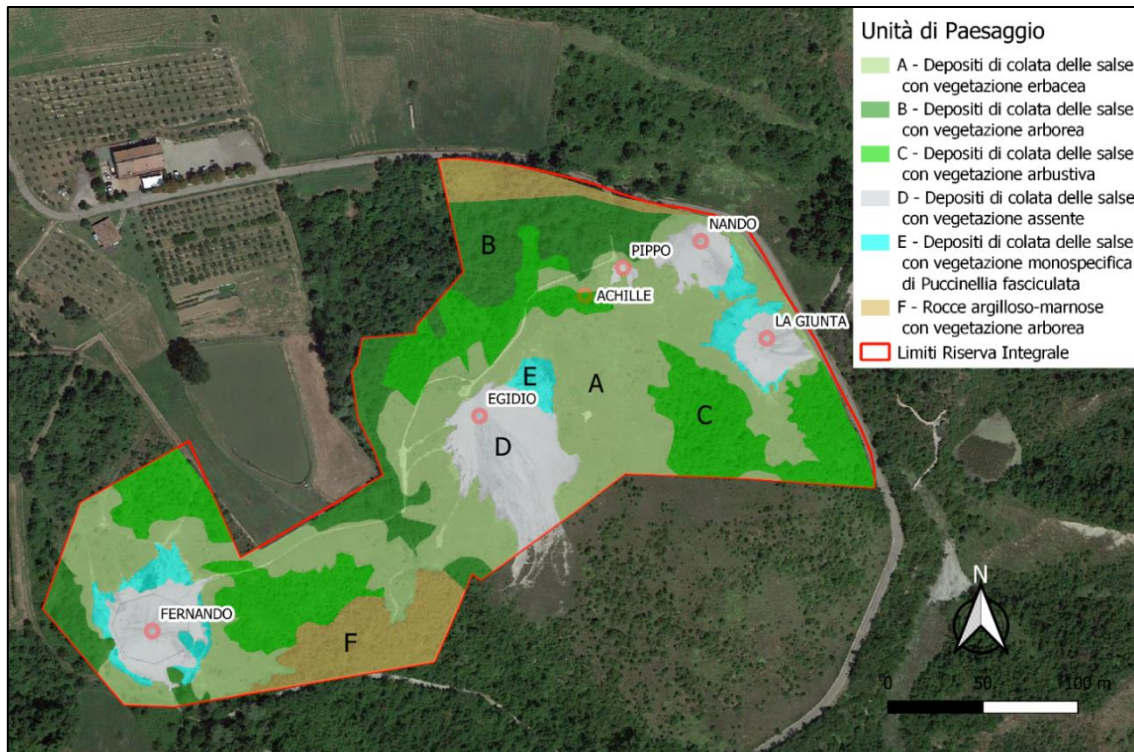


Figura 29. Carta delle Unità di Paesaggio (UdiP) della Riserva Integrale.

Nello specifico, le UdiP individuate sono:

A. Aree interessate da depositi di colata delle salse con vegetazione erbacea dominante: sono caratterizzate da una vegetazione prevalentemente erbacea e si distribuisce nelle aree circostanti ai vulcani di fango e nella parte centrale della Riserva. Si possono distinguere complessivamente tre poligoni: uno descritto attorno agli apparati lutivomi Egidio, Nando e La giunta, uno nella zona circostante al cono Fernando e uno tra gli apparati Egidio e Fernando, in cui si rilevano le pendenze maggiori. Queste zone sono caratterizzate da pendenze che vanno da meno del 5% (in cui ricade la maggior parte dell'UdiP) ad un massimo del 20%; l'esposizione è prevalentemente S ed E, quest'ultima localizzata nella parte orientale rispetto all'apparato Fernando. La vegetazione è costituita da un raro esempio di prateria alofila continentale (habitat prioritario con codice 1340* della Direttiva Habitat) caratterizzato da un ambiente naturale salino con clima continentale e non costiero, in cui la vegetazione alofila cresce grazie all'infiltrazione nel suolo di acque correnti o stagnanti con sali in soluzione, ma soprattutto grazie all'attività eruttiva dei vulcani.

La comunità vegetale è costituita principalmente da *Puccinellia fasciculata*, *Elymus repens*, *Phragmites australis*, *Atriplex patula* L., *Lotus tenuis* e *Bupleurum tenuissimum* (Dallai et al., 2016).

- B. Aree interessate da depositi di colata delle Salse con vegetazione arborea dominante:** queste aree si concentrano principalmente nelle zone perimetrali della Riserva Integrale. La porzione più estesa la troviamo nella parte a N e NO del cono Egidio con una esposizione a sud; due aree meno estese, una presente a O e una a S di Fernando e l'altra in una zona di impluvio tra i coni Fernando ed Egidio, presentano, rispettivamente, una esposizione N e SE. Le pendenze di queste zone ricadono principalmente tra il 5 e il 20%, quindi essendo più pronunciate ha comportato probabilmente un precoce abbandono dell'attività agricola, con conseguente sviluppo della successione vegetale costituita principalmente da *Cornus mas* (corniolo), *Acer campestre*, *Ulmus minor* (olmo comune), *Salix alba* e *Quercus*.
- C. Aree interessate da depositi di colata delle Salse con vegetazione arbustiva dominante:** queste zone occupano le aree a S dell'apparato La Giunta, a N di Egidio, a N e a E di Fernando. La successione vegetale è ad uno stadio meno evoluto rispetto all'Unità di Paesaggio B; infatti, troviamo comunità di specie vegetali principalmente arbustive, associate a quelle erbacee. Le pendenze complessivamente sono comprese tra il 5 e il 20%, però vi sono alcune aree, concentrate nella parte NE della Riserva, che presentano una pendenza minore del 5%. La vegetazione arbustiva è costituita prevalentemente da *Prunus spinosa* (prugnolo selvatico), *Rosa canina*, *Fraxinus ornus* (orniello) e *Spartium junceum* (Ginestra odorosa).
- D. Aree interessate da depositi di colata delle Salse con vegetazione assente:** queste zone sono circoscritte ai vulcani, in cui vi sono le colate attualmente attive. Le pendenze sono complessivamente dolci e non superano il 5%, ad eccezione della zona ad ovest di Egidio. La vegetazione è assente in quanto vi è un continuo apporto di materiale da parte dei vulcani, che ricopre il suolo in formazione, non permettendo l'attecchimento di specie pioniere, anche a causa dell'elevata salinità.
- E. Area interessata da colate degli apparati lutivomi con vegetazione erbacea monospecifica di *Puccinellia fasciculata*:** queste aree corrispondono alle zone prossime ai coni degli apparati lutivomi in cui vegeta una sola specie, la *Puccinellia fasciculata* (*Puccinellia fasciculata* (Torr.) Bicknell), una graminacea tipica in realtà di spiagge e dune costiere (Pignatti, 1982) ma che, nell'area delle Salse, riveste una rilevanza particolare: infatti, è una delle tre più estese popolazioni continentali oggi note a livello nazionale (Dallai et al., 2016). La *P. fasciculata* è una pianta erbacea emicriptofita cespitosa, quindi una pianta biennale o perenne con gemme svernanti al livello del terreno; è strettamente correlata con la salinità

del suolo; infatti, nella parte più vicina ai coni dei vulcani, è l'unica pianta presente grazie alla sua elevata tolleranza alla salinità dei suoli.

- F. **Aree con substrato di rocce marnoso-argillose con vegetazione arborea:** questa UdiP è presente in due zone: una nel margine N della riserva, con esposizione S e con pendenze che variano tra il 5 e il 20%, caratterizzata da depositi colluviali e da frane ormai quiescenti; la seconda zona si trova nel margine meridionale, esposta a N, con pendenze che vanno da 5 a oltre il 20%, il cui substrato è in comune con tutto il territorio circostante alla Riserva Integrale, formato da rocce marnoso-argillose.

La vegetazione non varia rispetto all'Unità di Paesaggio B, quindi è caratterizzata principalmente da *Cornus mas* (corniolo), *Acer campestre*, *Ulmus minor* (olmo comune), *Salix alba*, *Quercus*.

4.2 I suoli della Riserva

Come anticipato, all'interno di ogni singola UdiP sono stati individuati dei siti d'osservazione dei suoli. In Allegato I, sono riportate le schede morfologiche dei suoli, ordinate in base all'Unità di Paesaggio in cui ricadono. All'interno di ogni scheda troviamo i dati della stazione campionata, la descrizione del profilo e la classificazione del suolo secondo la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2022) e il World Reference Base for Soil Resources (IUSS Working Group WRB, 2022). In seguito per ogni UdiP si è deciso di soffermarsi sulla tassonomia World Reference Base for Soil Resources per descrivere i suoli, in quanto è parsa più idonea a mettere in evidenza eventuali peculiarità dei suoli osservati.

Per ogni UdiP viene riportata una tabella riassuntiva delle analisi chimico fisiche svolte sui campioni di suolo.

Sono state svolte le analisi complete dei campioni da NIR-1 A NIR-6 al fine di costituire un quadro conoscitivo di riferimento e, successivamente, si è scelto di fare l'analisi degli anioni e cationi solo per i campioni di suolo che presentavano una conducibilità elettrica superiore a 1 dS m^{-1} . L'analisi della tessitura è stata effettuata sul profilo pedologico (NIR-13) e sulle trivellate più rappresentative per l'Unità di Paesaggio considerata; il calcare totale è stato calcolato per le trivellate di cui si è analizzata la tessitura.

Per ogni campione è stato analizzato il pH, conducibilità elettrica e carbonio organico totale.

I campioni NIR-5, NIR-6 sono stati prelevati fuori Riserva Integrale, ma appartengono comunque all'Unità di Paesaggio C, mentre il sito NIR-9, campionato sempre fuori dall'area Integrale, è costituito da un substrato marnoso-argilloso, come nell'Unità di Paesaggio F ma, a differenza di quest'ultima, è caratterizzato da attività antropica legata alla gestione colturale a seminativo e pascolo.

4.2.1 Suoli dell'Unità di Paesaggio A

L'area dell'UdiP A copre il 38,55% del territorio della Riserva Integrale. Qui sono stati campionati i siti NIR-11, a S del cono Fernando; NIR-13, a S del cono Egidio; NIR-17, tra gli apparati Nando e La Giunta, NIR-21, nella zona con maggiore pendenza tra i vulcani Fernando ed Egidio (Figura 30).

Nell'allegato I sono riportate le schede descrittive dei siti campionati mentre, in Tabella 4, si riportano i risultati delle analisi chimico fisiche.

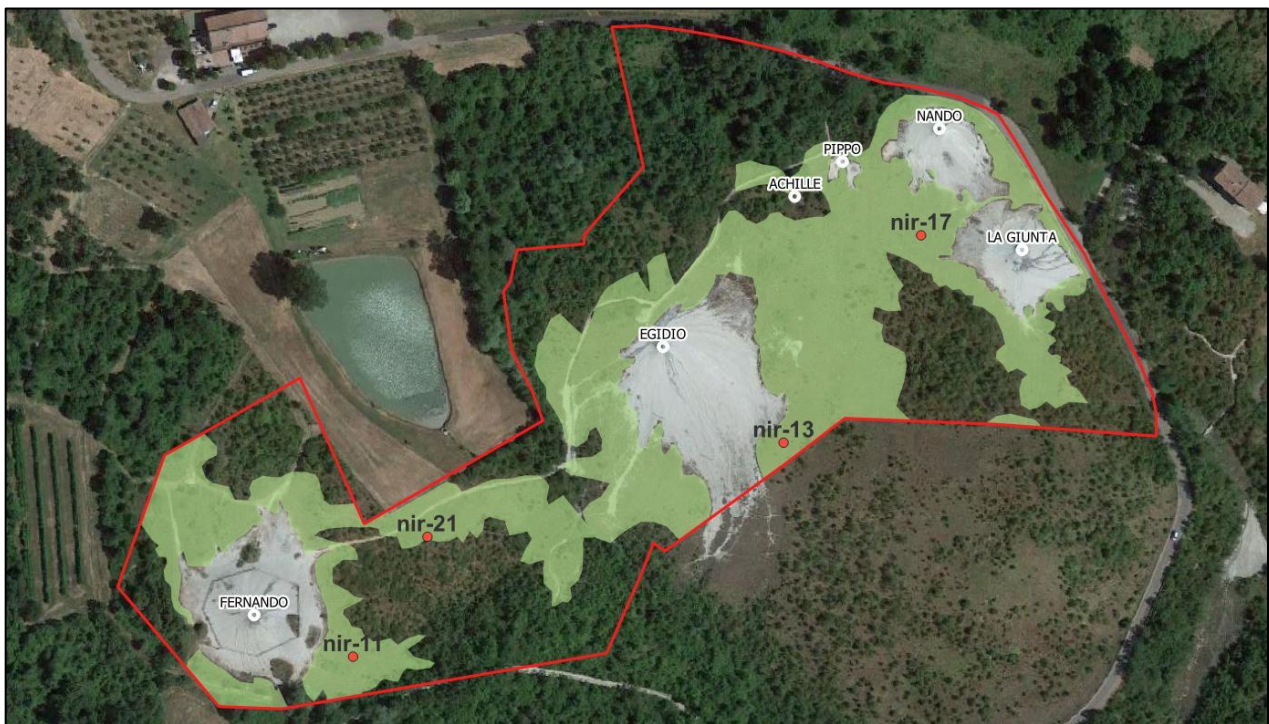


Figura 30. UdiP A e siti di osservazione e campionamento suoli.

Tabella 4. Analisi chimico fisiche dei suoli dell'Unità di Paesaggio A.

UdP	Morfologia	Pendenza	Quota	Esposi one	Campione	Orizzonte	Profondità	Sabbia g kg ⁻¹	Limo g kg ⁻¹	Argilla g kg ⁻¹	Tessitura USDA	Reazione pH	CE1:2,5 25°C dS m ⁻¹	Calcare totale - CaCO ₃ g kg ⁻¹	TOC g kg ⁻¹	Ca ²⁺ mmol _c kg ⁻¹	Mg ²⁺ mmol _c kg ⁻¹	K ⁺ mmol _c kg ⁻¹	Na ⁺ mmol _c kg ⁻¹	SAR	CO ₃ ²⁻ mmol _c kg ⁻¹	HCO ₃ ⁻ mmol _c kg ⁻¹	F mmol _c kg ⁻¹	Cl ⁻ mmol _c kg ⁻¹	NO ₂ ⁻ mmol _c kg ⁻¹	Br ⁻ mmol _c kg ⁻¹	NO ₃ ⁻ mmol _c kg ⁻¹	PO ₄ ³⁻ mmol _c kg ⁻¹	SO ₄ ²⁻ mmol _c kg ⁻¹							
																														12,13	1,43	0,43	16,28	3,96	3,00	15,75
UdP A Depositi di colata delle salze, vegetazio ne erbaacea	in pendenza	6	218	89	NIR-11	A1	0-12					8,0	1,01	25,6		12,13	1,43	0,43	16,28	3,96	3,00	15,75	0,19	14,24	0	0,06	0,04	0	2,49							
						A2	12-40				8,3	0,77	11,5																							
						Bw	40-70				8,5	1,21	4,3																							
						Cgk1	70-100				8,4	2,09	4,3																							
	Debolmen te in pendenza	2	204	244	NIR-11	Cgk2	100-120+						8,4	2,70	3,1		11,53	2,88	0,07	35,82	8,44	0,50	4,50	0,22	64,21	0	0,00	0,18	0	10,10						
						A1	0-10	181	607	213	FL	8,0	0,63	200	23,3																					
						A2	10-26	166	612	222	FL	8,4	0,32	239	8,5																					
						Bw	26-44	109	636	255	FL	8,4	0,29	230	7,0																					
	Debolmen te in pendenza	2	207	106	NIR-13	Cgk1	44-100						8,5	0,22	227	3,1																				
						Cgk2	100-120	10	653	336	FAL	8,6	0,98	227	2,7																					
						A1	0-12					7,9	1,40																							
						A2	12-30					8,3	2,76	12,5																						
in pendenza	10	209	72	NIR-17	Cg1	30-75						8,3	6,48	6,3		44,96	33,39	0,97	76,63	7,74	0,50	3,00	0,16	96,87	0	0,36	0,07	0	82,50							
					Cg2	75-115					8,4	6,61	5,0																							
					Cg3	115-140					8,4	5,03	4,2																							
					A1	0-10	26	662	312	FAL	8,3	0,79	284	26,3																						
in pendenza	10	209	72	NIR-21	A2	10-25	41	613	346	FAL	8,6	0,70	293	13,2																						
					Bw	25-40	21	623	356	FAL	8,7	0,84	284	9,9																						
					Cg1	40-65	4	621	375	FAL	8,9	1,37	251	4,2																						
					Cg2	65-100	0	493	507	AL	8,7	2,77	373	10,0																						

In questa UdiP troviamo suoli che vanno da moderatamente alcalini a fortemente alcalini, caratterizzati da una conducibilità elettrica che, nei siti NIR-11, NIR-13, NIR-21, non supera 3 dS m^{-1} e generalmente aumenta all'aumentare della profondità, probabilmente dovuta all'influenza di depositi di colate passate. Il sito NIR-17, localizzato a E del vulcano La Giunta, presenta una conducibilità elettrica più elevata in particolare negli orizzonti compresi tra 30 e 140 cm. Con ogni probabilità le originarie colate di fango sono state oggetto di rimaneggiamento e messa a coltura e questo ha favorito un parziale allontanamento dei sali solubili dagli orizzonti superficiali, determinando valori di CE più moderati in superficie.

Il calcare totale è stato analizzato per il profilo NIR-13 e la trivellata NIR-21, e sono risultati suoli mediamente calcarei, in quanto entrambi presentano valori superiori a 200 g kg^{-1} .

Come ci si poteva attendere, il carbonio organico totale in NIR-11, NIR-13, NIR-17 decresce all'aumentare della profondità, evidenziando lo stretto legame esistente con la presenza di specie vegetali ed apparati radicali in superficie; il sito NIR-21 invece presenta in un orizzonte profondo (Cg2: 65-100 cm) un aumento del TOC, che potrebbe rappresentare la superficie di un suolo antico ricoperto dalle colate del vulcano Fernando e perciò una testimonianza dell'attività agricola qui esercitata fino agli anni '80.

Tale ipotesi è corroborata dall'analisi della tessitura che manifesta in corrispondenza di tale orizzonte un significativo aumento della frazione argillosa a scapito di quella limosa (Tabella 4).

I suoli dei siti NIR-11, NIR-13 e NIR-21 sono caratterizzati da un orizzonte cambico (Bw), quindi un orizzonte che presenta alterazioni in colore e variazioni nel contenuto di argilla, generalmente in aumento, e carbonati, generalmente in diminuzione, rispetto agli orizzonti sovrastanti. Gli orizzonti del substrato pedogenetico (C) presentano screziature più o meno evidenti con colori sul tono del rosso, che testimoniano delle variazioni periodiche delle condizioni di ossidazione del ferro nel suolo dovute alla presenza saltuaria di acqua.

NIR-17 invece mostra proprietà gleyche e sodiche ed una salinità maggiore (Solonchaks), rispetto agli altri suoli dell'UdiP; questo è dovuto probabilmente sia alla vicinanza ai vulcani che alle colate che potrebbero essere più recenti.

4.2.2 Suoli dell'Unità di Paesaggio B

Il suolo dell'Unità di Paesaggio B è caratterizzato da una vegetazione arborea ed occupa le parti più marginali della Riserva, costituendo il 13,06 % della copertura della Riserva. Il substrato è parte dei depositi di colata delle salse (Figura 31). Qui è stato campionato NIR-7, localizzato a nord dei coni Achille e Pippo. La scheda di campo del suolo è in allegato I, in Tabella 5 si riportano le analisi chimico fisiche.

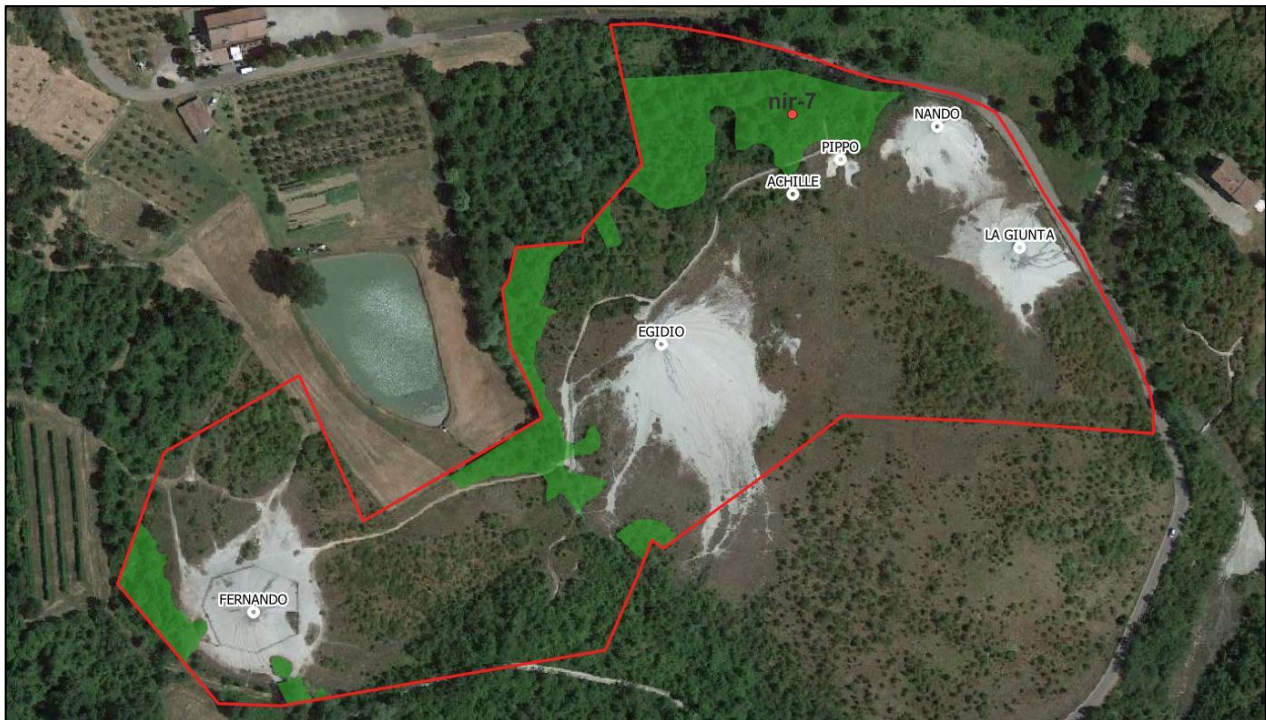


Figura 31. UdiP B e siti di osservazione e campionamento suoli.

Tabella 5. Analisi chimico fisiche dei suoli dell'Unità di Paesaggio B.

UdP	Morfologia	Pendenza %	Quota m	Esposizione	Campione	Orizzonte	Profondità cm	Sabbia g kg ⁻¹	Limo g kg ⁻¹	Argilla g kg ⁻¹	Tessitura USDA	Reazione pH	CE 1:2,5 25°C dS m ⁻¹	Calcare totale ~ CaCO ₃ g kg ⁻¹	TOC g kg ⁻¹
UdP B Depositi di colata delle salse, vegetazione arborea	Debolmente in pendenza	2	208	201	NIR-7	A1	0-1	170	594	236	FL	7,8	0,68	298	77,0
					NIR-7	A2	1-15	55	655	290	FAL	8,2	0,41	247	23,1
					NIR-7	A3	15-50	29	641	330	FAL	8,0	0,43	259	12,1
					NIR-7	Bw	50-80	22	650	328	FAL	8,2	0,67	248	8,4
					NIR-7	C	80-135	12	656	331	FAL	8,3	0,77	216	6,8
					NIR-7	Cg	135-160+	12	644	344	FAL	8,4	0,81	239	6,6

NIR-7 è un suolo calcareo caratterizzato da un pH moderatamente alcalino e una conducibilità elettrica che non supera 1 dS m⁻¹. Il carbonio organico totale presenta valori elevati nei primi 15 cm di suolo, dovuto al forte sviluppo della vegetazione, poi diminuisce gradualmente all'aumentare della profondità. La tessitura nel primo orizzonte è franco limosa, nei successivi è franco argilloso limosa (Tabella 5).

Questo suolo ricco di carbonati in tutto il suo spessore è caratterizzato da un orizzonte cambico (Bw), identificato principalmente sulla base della variazione di colore.

4.2.3 Suoli dell'Unità di Paesaggio C

I suoli dell'Unità di Paesaggio C si caratterizzano per un substrato formatosi da depositi di colata delle salse e la vegetazione è prevalentemente arbustiva. Questa UdiP copre il 21,46% del territorio della Riserva. Qui sono stati campionati i siti NIR-4, in prossimità del cono Achille; NIR-15, nel limite E della Riserva; NIR-16, a O del vulcano La Giunta; NIR-20, nel margine NO della Riserva. (Figura 32). In questa Unità di Paesaggio ricadono anche NIR-5 e NIR-6, campionati al di fuori della Riserva Integrale (evidenziati in rosso nella Tabella 6).

In allegato I vi sono le schede di campo, in Tabella 6 le analisi chimico fisiche.



Figura 32. UdiP C e siti di osservazione e campionamento suoli.

Tabella 6. Analisi chimico fisiche dei suoli dell'Unità di Paesaggio C.

Udp	Morfologia	Pendenza	Quota	Esposi one	Campione	Orizzonte	Profondità	Sabbia g kg ⁻¹	Limo g kg ⁻¹	Argilla g kg ⁻¹	Tessitura USDA	Reazione pH	CE 12.5 25°C dS m ⁻¹	Calcare totale - CaCO ₃ g kg ⁻¹	TOC g kg ⁻¹	Ca ²⁺ mmol _(L) kg ⁻¹	Mg ²⁺ mmol _(L) kg ⁻¹	K ⁺ mmol _(L) kg ⁻¹	Na ⁺ mmol _(L) kg ⁻¹	SAR	CO ₃ ²⁻ mmol _(L) kg ⁻¹	HCO ₃ ⁻ mmol _(L) kg ⁻¹	F ⁻ mmol _(L) kg ⁻¹	Cl ⁻ mmol _(L) kg ⁻¹	NO ₂ ⁻ mmol _(L) kg ⁻¹	Br ⁻ mmol _(L) kg ⁻¹	NO ₃ ⁻ mmol _(L) kg ⁻¹	PO ₄ ³⁻ mmol _(L) kg ⁻¹	SO ₄ ²⁻ mmol _(L) kg ⁻¹	
Udp C Depositi di colata delle salise, vegetazio ne arbutiva	Debolment e in pendenza	2	208		NIR-4	C	0-1					8,2	0,56	168	23,0	12,40	1,33	0,62	11,82	2,85	1,00	8,75	0,11	3,59	0,02	0,51	0,05	1,17	1,42	
												8,0	0,90	149	31,1	13,88	1,13	0,50	18,79	4,34	0	11,75	0,10	10,09	0,05	0,05	0,05	1,17	1,42	
	pendenza				NIR-4	CK1	55-75					8,4	1,53	189	8,7	11,66	1,56	0,15	25,23	6,21	0,13	4,25	0,42	29,93	0,12	0,21	0,03	0,33		
												8,6	2,66	196	3,3	3,85	2,80	0,17	51,87	18,00	0,13	4,00	0,18	54,77	0,23	0,03	0,33			
	pendenza				NIR-4	CK2	75-110					8,7	2,32	211	4,9	3,35	1,91	0,18	47,57	18,55	0,13	4,50	0,15	47,86	0,20	0,03	0,33			
												8,8	2,60	190	3,7	2,79	1,39	0,19	52,89	23,12	0,13	6,25	0,16	51,82	0,23	0,08	0,74			
	pendenza				NIR-4	Cg2	150-190					8,8	2,50	187	11,4	1,99	1,19	0,16	51,97	26,06	0,25	5,25	0,21	51,68	0,23	0,03	0,48			
												8,0	0,63	280	31,6															
	In pendenza	13	200	89		NIR-15	A1	0-10	74	657	269	FL	8,0	0,42	190	18,4	10,11	1,07	0,38	4,64	1,24	0	5,00	0,09	1,53	0	0,06	0,06	0,06	4,64
	Debolment e in pendenza	1	208	349		NIR-16	A2	5-40	0	578	422	AL	8,6	0,77	250	17,4	4,99	0,96	0,25	24,13	8,85	2,00	7,75	0,35	30,85	0	0,12	0,03	0	1,54
	In pendenza	8	212	24		NIR-16	3Cg2	75-100	0	683	317	FAL	8,8	3,05	225	4,6	8,56	4,65	0,72	43,99	10,83	3,00	6,00	0,08	38,56	0	0,17	0,02	0	26,65
	In pendenza	17	195	133		NIR-20	A1	0-10					8,0	0,39	8,3	3,0	10,11	1,07	0,38	4,64	1,24	0	5,00	0,09	1,53	0	0,06	0,06	4,64	
																														8,6
	Debolment e in pendenza	1	206	140		NIR-20	Cg1	45-60	0	3,8	0,26	3,8	9,2	0,26	3,8	3,3	40,07	13,72	1,24	29,42	3,59	0,00	2,75	0,12	5,10	0,02	0,04	0,02	69,47	
																														9,3
	In pendenza	17	195	133		NIR-20	Cg2	60-80	0	683	317	FAL	8,8	3,05	225	4,6	45,29	22,84	2,17	59,47	5,79	0,13	2,50	0,09	11,48	0,05	0,02	0,04	100,48	
																														8,2
Debolment e in pendenza	1	206	140		NIR-20	Cg3	80-120	2	643	355	FAL	7,9	0,25	145	24,9	9,97	0,80	0,32	1,47	0,40	0	6,50	0,08	0,32	0	0,05	0,05	0,05	45,22	
																														8,6
In pendenza	17	195	133		NIR-5	A1	0-15	2	643	355	FAL	8,2	3,80	171	5,3	45,29	22,84	2,17	59,47	5,79	0,13	2,50	0,09	11,48	0,05	0,02	0,04	100,48		
																													8,6	0,19
Debolment e in pendenza	1	206	140		NIR-5	A2	15-40	2	643	355	FAL	8,6	0,19	118	8,1	2,99	0,57	0,17	3,10	1,47	0,13	4,50	0,36	0,46	0	0,05	0,05	0,05	45,22	
																														8,9
In pendenza	17	195	133		NIR-5	A/Cg	40-70	2	643	355	FAL	8,2	3,80	171	5,3	45,29	22,84	2,17	59,47	5,79	0,13	2,50	0,09	11,48	0,05	0,02	0,04	100,48		
																													8,7	2,74
Debolment e in pendenza	1	206	140		NIR-6	A1	0-15	2	643	355	FAL	7,9	0,25	145	24,9	9,97	0,80	0,32	1,47	0,40	0	6,50	0,08	0,32	0	0,05	0,05	0,05	45,22	
																														8,6
In pendenza	17	195	133		NIR-6	A2	15-40	2	643	355	FAL	8,6	0,19	118	8,1	2,99	0,57	0,17	3,10	1,47	0,13	4,50	0,36	0,46	0	0,05	0,05	0,05	45,22	
																														8,9
Debolment e in pendenza	1	206	140		NIR-6	A/Cg	40-70	2	643	355	FAL	8,2	3,80	171	5,3	45,29	22,84	2,17	59,47	5,79	0,13	2,50	0,09	11,48	0,05	0,02	0,04	100,48		
																													8,7	2,74

In questi suoli troviamo un pH moderatamente alcalino e fortemente alcalino, quest'ultimo in NIR-20 che presenta i valori più elevati.

La conducibilità elettrica aumenta all'aumentare della profondità evidenziando, da un lato, lo stretto legame esistente con il substrato e, dall'altro, l'allontanamento per lisciviazione dei sali solubili dagli orizzonti superficiali.

Il suolo del sito NIR-4 presenta una salinità più elevata in tutti gli orizzonti rispetto agli altri campioni, questo può essere causato dall'influenza delle colate del vulcano Achille che si trova nelle immediate vicinanze.

Il carbonio organico totale in NIR-15, NIR-16, NIR-20, NIR-5, decresce all'aumentare della profondità, come atteso; nei siti NIR-4 e NIR-6 tale gradiente si inverte in corrispondenza dell'ultimo orizzonte campionato. Questo fenomeno potrebbe indicare la presenza di un'antica superficie del suolo che è stata in seguito ricoperta dalle colate degli apparati lutivomi. Purtroppo, non sono disponibili, per questi due siti, le analisi tessiturali che potrebbero corroborare tale ipotesi.

I suoli dei siti NIR-4, NIR-5 e NIR-6 risultano mediamente calcarei mentre nei siti NIR-15 e NIR-16 il contenuto di carbonati risulta maggiore.

I suoli di questa UdiP presentano una tessitura generalmente franco argillosa limosa che diventa sporadicamente franco limosa o argilloso limosa in alcuni orizzonti. Il contenuto di limo risulta tuttavia sempre preponderante mentre il contenuto di sabbia è assai basso (tabella 6).

Si può notare che i suoli NIR-4, NIR-16 mostrano condizioni saline testimoniata da un elevato contenuto di sali negli orizzonti più profondi, Cg1 e Cg2 per NIR-4 e 2Cg1 e 3Cg2 per NIR-16. Anche NIR-5 e NIR-6 presentano condizioni saline sempre negli orizzonti sotto superficiali A/Cg e Cg.

In NIR-4, campionato in una zona leggermente concava, si può osservare un leggero accumulo di CaCO_3 , testimoniato da una maggiore presenza di concrezioni negli orizzonti Ck2 e Ck1.

Tutti i suoli descritti in questa UdiP sono caratterizzati da proprietà gleyche, cioè da condizioni di ossido riduzione negli orizzonti profondi del profilo, evidenziate dalla presenza di screziature sui toni del grigio ed arancio.

NIR-15 e NIR-20 non mostrano proprietà saline, questo è dovuto probabilmente alla maggiore distanza dai coni e per una vegetazione più densa.

4.2.4 Suoli dell'Unità di Paesaggio D

I suoli dell'Unità di Paesaggio D sono stati osservati sui depositi recenti di colata degli apparati lutivomi, caratterizzati da assenza di vegetazione. L'UdiP copre il 14% del territorio della Riserva.

In questa UdiP sono stati campionati i siti NIR-2, campionato sul substrato del vulcano La Giunta; NIR-12, campionato a N del cono Fernando; NIR-14, campionato a S del cono Egidio (Figura 33).

In Allegato I vi sono le schede di campo dei suoli e in Tabella 7 sono mostrate le analisi chimico fisiche.



Figura 33. UdiP D e siti di osservazione e campionamento suoli.

Tabella 7. Analisi chimico fisiche dei suoli dell'Unità di Paesaggio D.

UdP	Morfologia	Pendenza	Quota	Esposizio ne	Campione	Orizzonte	cm Profondità	Sabbia g kg ⁻¹	Limo g kg ⁻¹	Argilla g kg ⁻¹	Tessitura USDA	Reazione pH	CE 1:2.5 25°C dS m ⁻¹	Calcare totale - CaCO ₃ g kg ⁻¹	TOC g kg ⁻¹	Ca ²⁺ mmol _(l) kg ⁻¹	Mg ²⁺ mmol _(l) kg ⁻¹	K ⁺ mmol _(l) kg ⁻¹	Na ⁺ mmol _(l) kg ⁻¹	SAR	CO ₃ ²⁻ mmol _(l) kg ⁻¹	HCO ₃ ⁻ mmol _(l) kg ⁻¹	F ⁻ mmol _(l) kg ⁻¹	Cl ⁻ mmol _(l) kg ⁻¹	NO ₂ ⁻ mmol _(l) kg ⁻¹	Br ⁻ mmol _(l) kg ⁻¹	NO ₃ ⁻ mmol _(l) kg ⁻¹	PO ₄ ³⁻ mmol _(l) kg ⁻¹	SO ₄ ²⁻ mmol _(l) kg ⁻¹	
																														mmol _(l) kg ⁻¹
UdP D Depositi di colata delle salse, vegetazio ne	in pendenza	5	207	28	NIR-2	C1	0-40	0	633	367	FAL	9,2	6,23	183	6,6	1,67	1,14	0,70	134,63	71,87	3,13	8,50	0,25	106,95	0,48	0,43	0,43	0,43	0,43	3,81
						C2	40-130	0	637	363	FAL	9,1	3,04	179	6,0	1,84	0,90	0,43	62,21	33,65	2,00	5,75	0,23	48,69	0,22	0,04	0,22	0,04	0,04	0,04
assente	in pendenza	7	206	135	NIR-2	C3	130-170	0	636	364	FAL	9,0	2,96	179	4,0	1,84	0,91	0,45	59,43	32,06	1,00	5,50	0,20	49,68	0,22	0,10	0,22	0,10	0,10	9,41
						C4	170-190	0	677	323	FAL	9,0	2,99	184	4,3	1,86	0,83	0,56	62,43	34,00	0,75	5,75	0,23	51,07	0,23	0,03	0,23	0,03	0,03	0,03
assente	in pendenza	7	206	135	NIR-2	2C	190-220	0	728	272	FL	8,9	3,08	183	6,4	2,04	0,89	0,62	64,47	33,70	0,50	7,25	0,22	48,95	0,22	0,03	0,22	0,03	0,03	11,86
						A1	0-25		8,3	6,09	10,2	25,81	12,94	0,81	85,00	12,21	0,50	6,25	0,16	119,10	0,04	0,44	0,20	0	13,87					
assente	in pendenza	7	206	135	NIR-12	AC	25-70		8,3	4,80	9,0	8,3	4,80	9,0	30,57	9,97	0,42	61,49	8,64	0,50	7,25	0,14	73,22	0	0,27	0,03	0	33,18		
						Cg	70-100		8,6	3,64	4,3	15,10	5,07	0,29	51,53	10,26	0,50	4,75	0,10	62,21	0	0,25	0,01	0	17,22					
assente	in pendenza	7	206	135	NIR-14	C1	0-50		9,1	4,81	4,2	9,1	4,81	4,2	6,77	2,48	0,83	80,89	23,79	6,00	4,25	0,14	69,41	0	0,28	1,95	0	27,21		
						C2	50-90		8,9	3,11	4,5	6,77	2,45	0,56	46,25	13,62	3,50	4,25	0,21	36,42	0	0,15	2,09	0	23,36					

Il pH in questi suoli è moderatamente alcalino e fortemente alcalino, con valori che oscillano tra 8,3 a 9,2; la conducibilità elettrica presenta valori generalizzati molto elevati testimonianza di una salinità elevata, condizionata principalmente dall'elevato contenuto di cloro e sodio, i quali hanno valori alti soprattutto negli orizzonti superficiali dei suoli. Anche il SAR presenta valori alti, specialmente in NIR-2, in cui l'indice va da 32,06 a 71,87. Si tratta quindi di suoli altamente salini, strettamente legati al contenuto di sali disciolti presenti nel materiale di colata delle salse.

Il carbonio organico totale presenta dei valori bassi, legati all'assenza di vegetazione in superficie. In NIR-2 si osserva un andamento del TOC che diminuisce all'aumentare della profondità, ad eccezione dell'orizzonte 2C in cui vi è un aumento: le radici sono assenti nel primo orizzonte mentre negli altri le radici sono comuni. In NIR-12 il TOC diminuisce all'aumentare della profondità, parallelamente alla progressiva diminuzione della presenza delle radici. In NIR-14 i valori di TOC non variano sensibilmente, le radici sono assenti in tutti gli orizzonti.

Il calcare totale è stato analizzato solo in NIR-2, che risulta essere un suolo mediamente calcareo. Anche la tessitura è stata analizzata solamente in NIR-2, che presenta una tessitura franco argillosa limosa negli orizzonti C1, C2, C3 E C4, in 2C invece è franco limosa; questo può essere dovuto ad una diversa composizione del materiale di colata del vulcano La Giunta.

NIR-12 è l'unico suolo ad avere un orizzonte A1, questo probabilmente è dovuto ad una maggiore stabilità della superficie e a fenomeni di ricoprimento meno frequenti.

4.2.5 Suoli dell'Unità di Paesaggio E

I suoli dell'Unità di Paesaggio E si trovano nell'area circoscritta ai vulcani di fango, in cui vi è una vegetazione monospecifica costituita da *Puccinellia fasciculata*. L'UdiP E copre il 4,38% del territorio della Riserva.

In questa UdiP sono stati campionati i siti NIR-1 e NIR-3, nell'area circostante al vulcano La Giunta, e NIR-18, campionato in una zona a E di Egidio (Figura 34).

In allegato I vi sono le schede di campo, in Tabella 8 le analisi chimico fisiche.



Figura 34. UdiP E e siti di osservazione e campionamento suoli.

Tabella 8. Analisi chimico fisiche dei suoli dell'Unità di Paesaggio E.

UdP	Morfologia	Pendenza	Quota	Esposizione	Campione	Orizzonte	Profondità	Sabbia	Limo	Argilla	Tessitura	Reazione pH	CE 1:2.5	Calcare totale - CaCO ₃	TOC	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	F	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻		
																														g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
UdP E Depositi di colata delle salse, vegetazione monospecifica di <i>Pulcinella fasciculata</i>	Debolmente in pendenza	3	206	112	NIR-1 NIR-1 NIR-1 NIR-1 NIR-1	C1 C2 C3 Cg1 C1	0-40 40-80 80-120 120-160 160-200	0	653	347	FAL	8,4	7,64	183	7,6	46,30	28,86	2,38	132,92	13,71	0,25	4,50	0,14	119,96	0,45	0,35	0,32	0,12	87,69		
	In pendenza	7	207	53	NIR-3	C	0-10	0	653	347	FAL	9,1	3,23	183	8,1	2,14	0,54	0,49	66,75	36,49	0,38	8,50	0,24	51,10	0,13	0,21	0,04	0,04	13,43		
					NIR-3	2AC	10-40/50	29	399	572	FA	8,7	6,62	172	11,1	13,73	4,73	0,81	133,75	27,85	0,50	8,25	0,20	118,86	0,48	0,70	0,33	0,21	31,68		
					NIR-3	3C1	40/50-80	14	601	385	FAL	8,5	5,45	176	7,1	13,45	4,38	0,53	106,84	22,63	0,13	4,50	0,33	89,34	0,33	2,21	0,33	2,21	32,39		
					NIR-3	3C2	80-150	21	611	368	FA	8,4	5,19	179	7,5	21,37	5,17	0,52	104,39	18,12	0,13	3,25	0,34	113,00	0,41	2,34	0,41	2,34	35,21		
					NIR-3	3Cg	150-180	58	573	370	FAL	8,3	4,17	170	2,9	24,23	7,24	0,70	77,64	12,38	0,13	3,00	0,17	67,59	0,26	0,25	0,26	0,25	31,98		
	Debolmente in pendenza	2	207	210	NIR-18	Ag	0-10	8,5	5,78	13,9	10,34	6,55	0,83	92,93	20,22	0,50	9,25	0,12	114,85	0	0,49	0,04	0	0,26	0,03	0	0,26	0,03	0	2,50	
					NIR-18	ACg	10-50	8,3	4,99	1,47	0,26	47,88	16,85	2,50	7,50	0,21	57,91	0	0,26	0,03	0	0,23	0,03	0	0,23	0,03	0	1,79			
					NIR-18	Cg	50-70	8,9	2,84	1,22	0,28	40,75	15,38	1,50	6,50	0,21	53,09	0	0,23	0,03	0	0,23	0,03	0	0,23	0,03	0	0,23	0,03	0	1,79
					NIR-18	C	70-100	9,0	2,62	1,10	0,39	36,62	13,97	1,50	9,25	0,19	49,94	0	0,20	0	0,20	0,04	0	0,20	0,04	0	0,20	0,04	0	0,94	

Il pH di questi suoli è fortemente alcalino, con valori che vanno da 8,1 a 9,1; la conducibilità elettrica in NIR-1 e NIR-18 diminuisce all'aumentare della profondità testimoniando il continuo apporto superficiale di fanghi ad elevato contenuto salino. Nel sito NIR-3, in virtù di una posizione più stabile e più distante dal cono eruttivo, l'orizzonte più superficiale presenta un contenuto salino leggermente inferiore.

In NIR-1 e NIR-3 il carbonio organico totale ha valori altalenanti con la profondità probabilmente legato alla presenza di colonie di *Puccinellia* ricoperte da colate del vulcano, in quanto negli orizzonti sopra citati vi sono radici comuni.

In NIR-18 il TOC diminuisce invece all'aumentare della profondità, a testimonianza di una situazione maggiormente stabile.

I suoli dei siti NIR-1 e NIR-3 si presentano mediamente calcarei. L'analisi della tessitura è stata svolta su NIR-3, che mostra un'alternanza di tessiture da franco argillosa limosa a franco argillosa; questo può suggerire diverse fasi di colata in cui il materiale fuoriuscente dai vulcani presentava granulometrie differenti.

I suoli della UdiP E presentano tutti condizioni saline (Solonchaks) più evidenti in NIR-3 e NIR-18, mentre in NIR-1 le concentrazioni di sali sono minori.

NIR-18, campionato in una zona di impluvio, mostra condizioni di ossidazione e riduzione in quasi tutto il suolo ad eccezione dell'orizzonte C, testimoniate dalla presenza comune di screziature. In NIR-1 le screziature sono presenti solo in Cg1, in NIR-3 in 3Cg.

4.2.5.1 Transetto *Puccinellia fasciculata*

Oltre al campionamento dei suoli è stato eseguito un transetto, sul vulcano La Giunta, per indagare il comportamento e la distribuzione della *Puccinella fasciculata*, in relazione alla salinità e alle colate degli apparati lutivomi.

Il transetto è stato definito in direzione N a partire dalla bocca del vulcano La giunta, per una lunghezza di 14 m. Su questa linea sono stati campionati quattro punti, denominati LAGIU-1, campionato in mezzo ad una colonia di *Puccinellia*; LAGIU-2, campionato vicino a piante singole di *Puccinellia*; LAGIU-3, su suolo nudo senza vegetazione; LAGIU-4, campionato vicino alla parete del vulcano. I campioni sono stati prelevati rispettivamente a 12 m, 8 m, 4 m e 0 m in riferimento alla distanza della bocca del vulcano.

Per ogni campione sono state indagate tre profondità: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e per ogni orizzonte sono stati analizzati pH, conducibilità elettrica, calcare totale, carbonio organico totale e la densità delle radici (Tabella 9).

Il pH negli orizzonti dei campioni non varia sensibilmente; sono suoli molto alcalini; anche il calcare totale risulta con valori simili tra i diversi orizzonti.

La conducibilità elettrica in LAGIU-2 e LAGIU-4 è compresa tra valori di 4 e 6 dS m⁻¹ e diminuisce all'aumentare della profondità; in LAGIU-1 la conducibilità elettrica aumenta all'aumentare della profondità; mentre in LAGIU-3 il valore maggiore è in superficie, poi si rileva una diminuzione e successivamente un aumento.

Il carbonio organico totale non presenta un gradiente in nessuno dei campioni: in LAGIU-1 presenta valori più alti nel primo e nell'ultimo orizzonte, così come in LAGIU-2; in LAGIU-3 e LAGIU-4 osserviamo un valore maggiore nell'orizzonte centrale.

La densità delle radici in LAGIU-1, LAGIU-2 e LAGIU-4 diminuisce all'aumentare della profondità; in LAGIU-3 non si rileva la presenza di radici entro i primi 30 cm di suolo (Tabella 9).

Le oscillazioni dei valori di carbonio organico totale possono dare un'idea del dinamismo che caratterizza questa zona: in funzione dell'intensità delle colate e del loro spostamento il puccinellieto viene sommerso e ricolonizza altre aree. Inoltre la delimitazione della Riserva Integrale ha permesso anche ad altre specie come *Elymus athericus*, *Atriplex patula*, *Lotus tenuis* e *Bupleurum tenuissimum* di avanzare nelle aree interessate da colate meno recenti ed entrare in competizione con la *Puccinellia*, che tende ad avanzare sempre più nelle aree più circoscritte alle pareti dei vulcani (Dallai et al., 2016).

N.	Campione	Profondità cm	Reazione		CE	Calcare	TOC	Densità radici
			pH		1:2.5 25°C dS m ⁻¹	totale ~ CaCO ₃ g kg ⁻¹		
1	LAGIU-1	0-10	8,8		2,65	185	6,2	1,39
2	LAGIU-1	10-20	8,8		3,10	182	5,0	0,68
3	LAGIU-1	20-30	8,7		3,99	171	6,8	0,27
4	LAGIU-2	0-10	8,5		5,58	182	7,6	1,57
5	LAGIU-2	10-20	8,9		5,41	168	5,3	0,28
6	LAGIU-2	20-30	8,8		4,66	174	7,1	0,03
7	LAGIU-3	0-10	8,8		10,01	194	5,0	
8	LAGIU-3	10-20	8,8		4,32	178	7,3	
9	LAGIU-3	20-30	8,8		5,10	187	5,8	
10	LAGIU-4	0-10	8,7		5,56	184	6,2	0,71
11	LAGIU-4	10-20	8,8		5,64	173	6,9	0,55
12	LAGIU-4	20-30	8,7		5,07	181	5,3	0



Tabella 9. Analisi chimico fisiche transetto "LAGIU", a sinistra la posizione del transetto.

4.2.6 Suoli dell'Unità di Paesaggio F

I suoli dell'Unità di Paesaggio F si trovano in un'area caratterizzata da un substrato derivante dalle rocce marnoso-argillose ed è costituita da una vegetazione arborea; l'area copre l'8,55% della Riserva. Qui sono stati campionati NIR-10, nel margine N della Riserva, NIR-19, nel margine S. È stato campionato anche NIR-8, che non rientra nei limiti della Riserva (Figura 35).

In Allegato I vi sono le schede di campo e in Tabella 10a le analisi chimico fisiche.

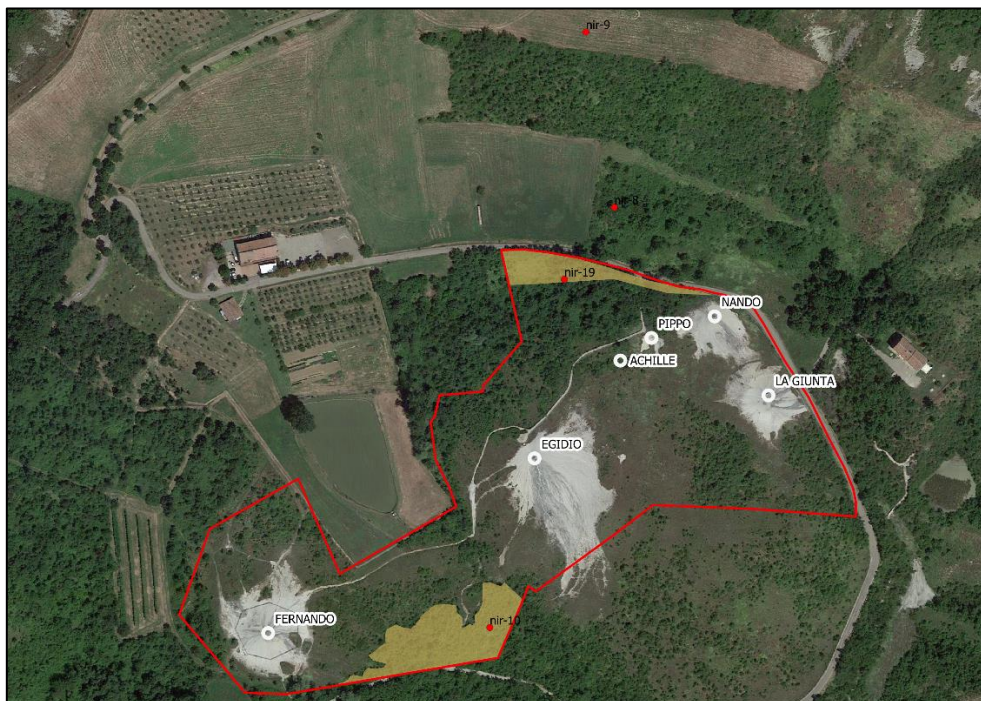


Figura 35. UdP F e siti di osservazione e campionamento suoli.

Tabella 10. Analisi chimico fisiche dei suoli dell'Unità di Paesaggio F (a) e NIR-9 (b).

UdP	Morfologia	Pendenza %	Quota m	Esposizione °	Campione	Orizzonte	Profondità cm	Sabbia g kg ⁻¹	Limo g kg ⁻¹	Argilla g kg ⁻¹	Tessitura USDA	Reazione pH	CE 1:2,5	Calcare	TOC
													25°C dS m ⁻¹	totale - CaCO ₃ g kg ⁻¹	
UdP F Rocce argilloso- marnose, vegetazio- ne arborea	In pendenza	12	219	183	NIR-8	A1	0-3					7,1	0,61		72,1
					NIR-8	A2	3-30				7,7	0,24		14,7	
					NIR-8	C1	30-45				7,9	0,21		8,0	
					NIR-8	C2	45-75+				8,1	0,18		5,3	
	In pendenza	18	203	32	NIR-10	A1	0-10	154	577	269	FL	7,2	0,56	345	35,0
					NIR-10	A2	10-30	57	595	348	FAL	7,7	0,32	314	14,2
					NIR-10	C1	30-50	0	554	446	AL	8,2	0,24	351	6,9
					NIR-10	C2	50-80+	0	528	472	AL	8,4	0,23	354	5,8
	In pendenza	10	210	181	NIR-19	A1	0-12					7,9	0,41		41,1
					NIR-19	A2	12-45				8,2	0,24		12,1	
					NIR-19	C1	45-70				8,4	0,19		9,5	
					NIR-19	C2	70-100				8,5	0,17		7,8	

a

UdP	Morfologia	Pendenza %	Quota m	Esposizione °	Campione	Orizzonte	Profondità cm	Sabbia g kg ⁻¹	Limo g kg ⁻¹	Argilla g kg ⁻¹	Tessitura USDA	Reazione pH	CE 1:2,5	Calcare	TOC
													25°C dS m ⁻¹	totale - CaCO ₃ g kg ⁻¹	
Alto (Rocce argilloso- marnose)	In pendenza	17	254	186	NIR-9	Ap1	0-5					7,5	0,49		15,7
					NIR-9	Ap2	5-40				8,0	0,19		8,4	
					NIR-9	Cg	40-80+				8,3	0,14		2,9	

b

I suoli mostrano un pH che va da neutro a moderatamente alcalino e si può osservare un gradiente: i valori di pH aumentano all'aumentare della profondità; probabilmente dovuto a processi di lisciviazione, influenzati anche dalla morfologia del versante.

La conducibilità elettrica in tutti i suoli non supera 1 dS m^{-1} e in tutti i suoli i valori diminuiscono all'aumentare della profondità.

Il carbonio organico totale in tutti i suoli si presenta valori maggiori in superficie, poi diminuisce all'aumentare della profondità. La grande quantità di radici, sia erbacee che legnose, va ad influenzare il carbonio organico presente nei primi 10 cm di suolo (Tabella 10a).

Il calcare totale e la tessitura sono stati analizzati in NIR-10, che risulta essere un suolo calcareo con tessitura variabile: l'orizzonte A1 è caratterizzato da una tessitura franco limosa, A2 è franco argillosa limosa, C1 e C2 argilloso limosa. Si osserva quindi un cambio tessiturale, determinato probabilmente dalla posizione del suolo che ricade in un deposito colluviale, in cui il materiale è apportato da fenomeni di dilavamento.

I suoli dell'unità UdiP F sono complessivamente omogenei e caratterizzati dalla stessa successione degli orizzonti e con pendenza simile. Inoltre in quasi tutti gli orizzonti sono presenti degli accumuli di CaCO_3 sottoforma di concrezioni carbonatiche.

A questa Unità di Paesaggio è anche associato NIR-9, campionato fuori Riserva, che presenta il substrato costituito da rocce marnoso-argillose ma presenta una vegetazione gestita da attività antropica per pascolo e colture (Figura 35).

È un suolo che presenta una reazione da debolmente a moderatamente alcalina, con conducibilità elettrica inferiore a 1 dS m^{-1} ; il carbonio organico totale mostra un gradiente che diminuisce all'aumentare della profondità (Tabella 10b). Sono presenti due orizzonti (Ap1 e Ap2) che mostrano una perturbazione dovuta all'attività antropica e un orizzonte Cg, in cui sono presenti delle screziature di colore rossastro che mostrano una condizione ossidante del Fe.

4.3 La classificazione dei suoli

In Tabella 11 è riportata la classificazione dei suoli in riferimento ad ogni Unità Cartografica (UC), utilizzando sia la Soil Taxonomy che il sistema WRB.

Al fine di avere una lettura più chiara della nomenclatura, si riportano le descrizioni di ogni termine presente nella classificazione, iniziando con la Soil Taxonomy e seguendo con la WRB:

Tabella 11. Tabella riassuntiva della classificazione dei suoli della Riserva.

UC	Profilo	Soil Survey Staff. 2022.			IUSS Working Group WRB. 2022.		
A	NIR-11	TYPIC	CALCIUSTEPTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Calcaric, Eutric	CAMBISOLS	(Loamic)
	NIR-13	TYPIC	CALCIUSTEPTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Calcaric, Eutric	CAMBISOLS	(Loamic)
	NIR-17	AQUIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Gleyic, Sodic	SOLONCHAKS	(Loamic, Calcaric)
	NIR-21	AQUIC	CALCIUSTEPTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Calcaric, Eutric	CAMBISOLS	(Loamic)
B	NIR-7	TYPIC	CALCIUSTEPTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Calcaric, Eutric	CAMBISOLS	(Loamic)
C	NIR-4	AQUIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Gleyic, Calcaric, Eutric	REGOSOLS	(Loamic, Salic)
	NIR-15	AQUIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Gleyic, Calcaric, Eutric	REGOSOLS	(Loamic)
	NIR-16	AQUIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Gleyic, Calcaric, Eutric	REGOSOLS	(Loamic, Salic)
	NIR-20	AQUIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Calcaric, Eutric	REGOSOLS	(Loamic)
	NIR-5*	AQUIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Gleyic, Calcaric, Eutric	REGOSOLS	(Loamic, Salic)
	NIR-6*	AQUIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Gleyic, Calcaric, Eutric	REGOSOLS	(Loamic, Salic)
D	NIR-2	TORRERTIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Gleyic, Sodic	SOLONCHAKS	(Loamic, Chloridic, Calcaric)
	NIR-12	TORRERTIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Gleyic, Sodic	SOLONCHAKS	(Loamic, Chloridic, Calcaric)
	NIR-14	TORRERTIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Sodic	SOLONCHAKS	(Loamic, Chloridic, Calcaric)
E	NIR-1	AQUIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Gleyic, Sodic	SOLONCHAKS	(Loamic, Calcaric)
	NIR-3	AQUIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Gleyic, Sodic	SOLONCHAKS	(Loamic, Chloridic, Calcaric)
	NIR-18	AQUIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Gleyic, Sodic	SOLONCHAKS	(Loamic, Chloridic, Calcaric)
F	NIR-8*	TYPIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Calcaric, Eutric	REGOSOLS	(Loamic)
	NIR-10	TYPIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Calcaric, Eutric	REGOSOLS	(Loamic)
	NIR-19	TYPIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Calcaric, Eutric	REGOSOLS	(Loamic)
Altro	NIR-9*	TYPIC	USTORTHENTS	Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	Calcaric, Eutric	REGOSOLS	(Loamic)

Secondo la Soil Taxonomy all'interno della Riserva integrale vi è una prevalenza di Entisuoli, i quali mostrano una variazione delle caratteristiche in funzione della vicinanza o lontananza dagli apparati lutivomi (Torrertic, Aquic, Typic). A questi corrispondono i Regosols della classificazione WRB, la quale, per le UdiP D ed E, mostra un'ulteriore differenziazione dei suoli legata alla presenza di sali solubili, di conseguenza risulta più efficace nella descrizione delle diverse tipologie di suolo.

I due sistemi tassonomici presentano similitudini nelle UdiP A e B, infatti vi è una corrispondenza tra gli Inceptisuoli e i Cambisols, confermata anche dalle rispettive suddivisioni e qualificatori. Complessivamente la WRB risulta più idonea per la classificazione dei suoli perché riesce ad evidenziare più efficacemente i diversi caratteri che differenziano i suoli della Riserva Integrale.

Soil Taxonomy

- **Aquic:** suolo costituito da uno o più orizzonti, entro 75 cm dalla superficie del suolo minerale, caratterizzati da reazioni redox con croma di 2 o meno (in riferimento alle Tavole Munsell), e che presenta condizioni di saturazione idrica in qualche periodo dell'anno.

- **Typic:** non vi sono particolari caratteristiche differenzianti, si utilizza quando i suoli non soddisfano i criteri degli altri Sottogruppi.
- **Torrertic:** suolo che presenta crepe entro i 125 cm dalla superficie del terreno minerale, larghe 5 mm o più e con uno spessore di 30 cm o più in alcune parti dell'anno.
- **Calcustepts:** è un inceptisuolo, un suolo poco evoluto e sviluppato, che in genere non mostra un'accentuata differenziazione degli orizzonti, caratterizzato da un regime di umidità ustico, con l'umidità nel complesso limitata ma presente nel momento di crescita delle piante. È caratterizzato da un orizzonte calcico, con un accumulo di CaCO_3 equivalente maggiore o uguale del 5% rispetto all'orizzonte sottostante e di spessore di almeno 15 cm.
- **Ustorthents:** è un entisuolo, poco sviluppato ed evoluto, formatosi a diretto contatto con il substrato. Generalmente sono poco profondi e a tessitura variabile.
- **Calcareous:** suoli che mostrano nella frazione di terra fine mostrano un'effervescenza da forte a violenta nell'orizzonte compreso tra i 25 e i 50 cm di profondità.
- **Fine-silty:** la granulometria è costituita da una frazione inferiore a 75 mm di diametro, meno del 15% (in peso) di particelle con diametro da 0,1 a 75 mm (sabbia fine a più grossolana), e, nella frazione delle terre fini, da 18 a meno del 35% (in peso) di argilla.
- **Mesic:** regime di temperatura mesico, la temperatura annua del suolo è compresa tra 8 e 15 °C e la differenza tra media estiva ed invernale di temperatura del suolo è ≥ 6 °C.
- **Mixed:** mescolamento tra la superficie del suolo minerale e il suolo entro i 18 cm di profondità.
- **Regime ustico:** il suolo è umido per più di 180 giorni cumulativi o per meno di 90 giorni consecutivi. L'acqua disponibile per le piante è limitata, ma presente durante i periodi di sviluppo della vegetazione.

WRB

- **Calcaric:** suolo con materiale calcareo in uno strato di spessore ≥ 30 cm ed entro 100 cm dalla superficie del suolo minerale.
- **Eutric:** contiene materiale minerale tra 20 e 100 cm dalla superficie del suolo minerale.
- **Gleyic:** il suolo presenta uno strato di spessore ≥ 25 cm, che inizia ad una profondità ≤ 75 cm dalla superficie del suolo minerale, che presenta proprietà gleyche, quindi condizioni riducenti del Fe.
- **Sodic:** suolo che è caratterizzato da uno strato di almeno 20 cm, entro i 100 cm dalla superficie minerale, caratterizzata da almeno $\geq 15\%$ di Na e $\geq 6\%$ di Mg, e da almeno il $\geq 6\%$ di Na nel complesso di scambio.
- **Cambisols:** suoli poco evoluti caratterizzati da un orizzonte cambico Bw (orizzonte minerale di alterazione con cambiamenti nella struttura e nel colore del materiale di partenza).
- **Regosols:** suoli poco sviluppati e poco profondi che evolvono su substrati teneri, la loro evoluzione dipende principalmente da fenomeni di erosione.

- **Solonchaks:** suoli fortemente salini con alta concentrazione di sali solubili, le caratteristiche del suolo e la crescita delle piante dipendono dalla quantità di sali presenti e dalla loro distribuzione.
- **Chloridic:** è presente un orizzonte salino che mostra $[Cl^-] > 2*[SO_4^{2-}] > 2*[HCO_3^-]$ in una soluzione acqua-suolo 1:1. (Solo per suoli Solonchaks)
- **Loamic:** la classe tessiturale può variare franco, franco sabbioso, franco argilloso, franco sabbioso argilloso o franco limoso argilloso in uno o più strati con uno spessore combinato di ≥ 30 cm, entro 100 cm dalla superficie del suolo.
- **Salic:** suolo che è caratterizzato da un orizzonte salino (alto contenuto di sali solubili) entro i 100 cm di profondità.

In Figura 36 vi è uno schema rappresentativo della distribuzione dei suoli, possiamo vedere come i suoli salini sono concentrati nelle zone prossime ai vulcani.

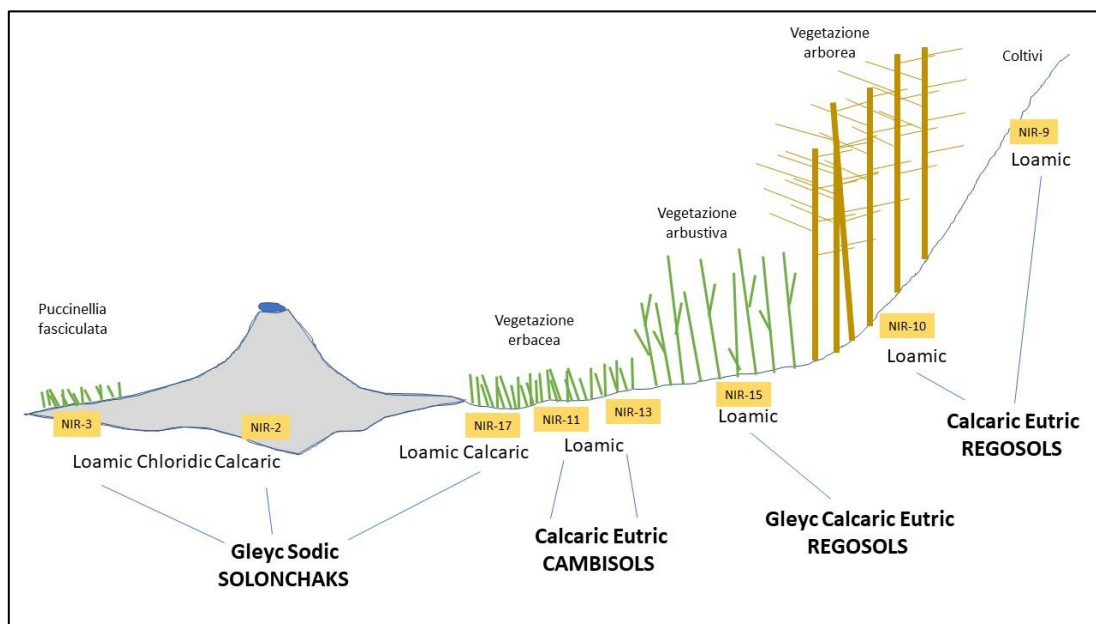


Figura 36. Schema della distribuzione dei suoli con classificazione WRB.

4.4 Carta dei Suoli

In Figura 37 viene riportata la Carta dei Suoli della Riserva Integrale. Le Unità Cartografiche (UC) corrispondono alle Unità di Paesaggio, in quanto la Carta costituisce un livello di prima approssimazione. In questa vi si può osservare una successione vegetale in funzione dell'attività dei vulcani. Iniziando dagli apparati lutivomi, privi di vegetazione, si passa alle colonie di *Puccinellia fasciculata*, alle aree con vegetazione erbacea, segue quella arbustiva ed infine arborea. In queste ultime Unità Cartografiche troviamo degli Inceptisuoli (Cambisols) e degli Entisuoli (Regosols).

Questi tipi di suolo si riscontrano anche nell'Unità Cartografica 9177 (UC GRI3/DOG0/BAN3) della Carta dei Suoli dell'Emilia-Romagna 1:50.000, in cui troviamo suoli classificati secondo la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff., 2010) come: Typic Calcustepts, Fine-silty, mixed, active, mesic

(DOG0); Oxyaquic Ustorthents, Fine, mixed, active, calcareous, mesic (BAN3); Typic Haplustepts, Fine, mixed, superactive, mesic (GRI3).

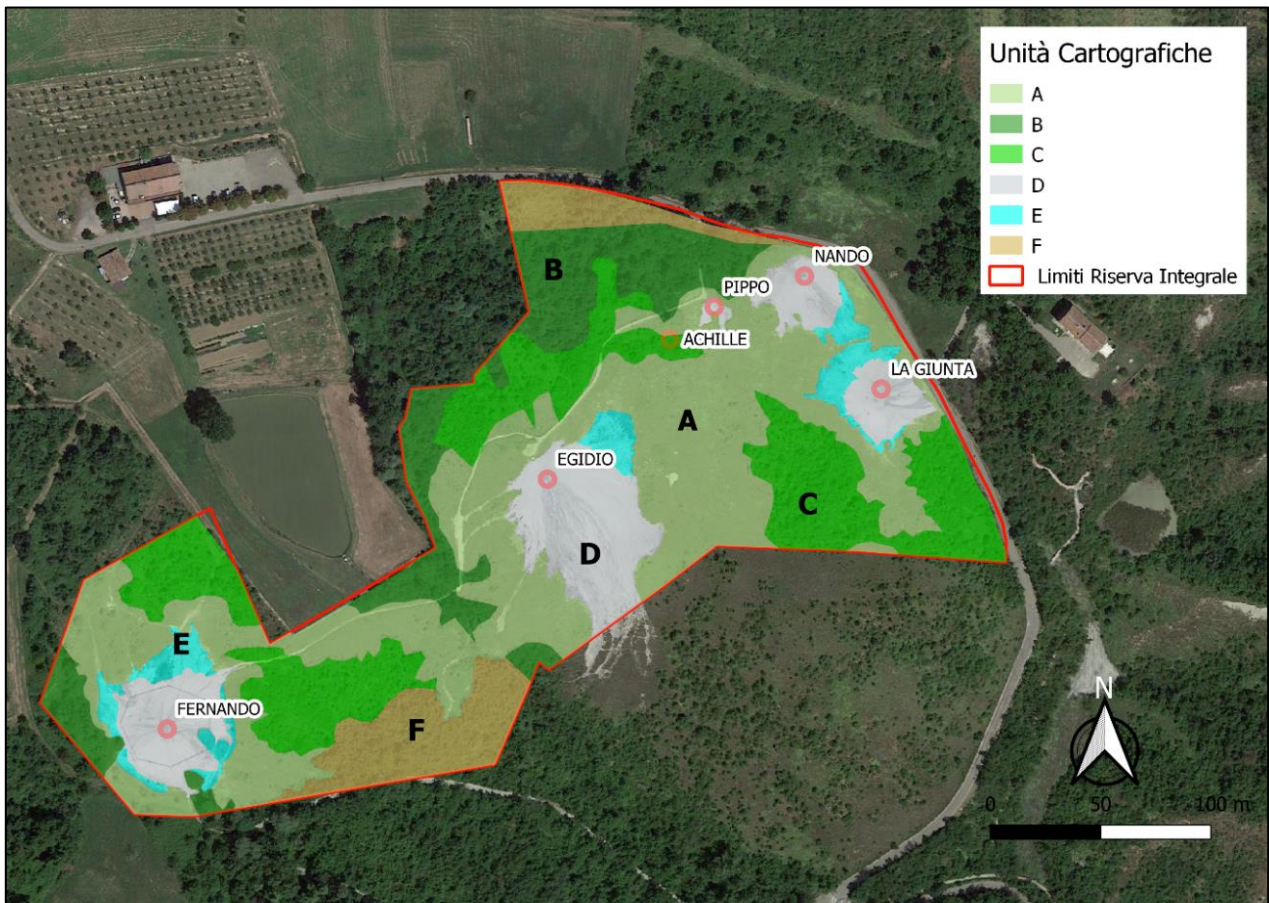


Figura 37. Carta dei suoli della Riserva Integrale delle Salse di Nirano.

5 – Discussione

I suoli della zona Integrale della Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano mostrano caratteristiche che risentono fortemente, come ci si poteva attendere, della natura del substrato. Questo è costituito in gran parte da materiale fuoriuscito dai coni eruttivi presenti nell'area e che si è venuto a stratificare e consolidare nel corso dei secoli. È un materiale particolare, e per certi aspetti ostico allo sviluppo di suoli. Questo perché alcune sue caratteristiche intrinseche (es. contenuto di sali) non favoriscono l'insediarsi di specie vegetali e da queste, l'apporto di materia organica nel sistema, elemento fondamentale per la formazione ed evoluzione di una coltre pedologica.

L'uomo ha comunque trovato il modo di utilizzare questi luoghi, i pochi con morfologia pianeggiante in un ambiente invece caratterizzato da pendii ripidi, da una perdurante erosione con fenomeni gravitativi intensi, da condizioni pedoclimatiche per certi aspetti ancor più difficili.

Non potendo bloccare la fuoriuscita dei fanghi, gli agricoltori della zona hanno spianato, per quanto possibile, i coni presenti ed hanno provveduto ad incanalare i fanghi lungo percorsi preferenziali. Questo ha consentito di affrancare gli spazi limitrofi ai coni dal continuo apporto di materiale e consentirne la messa a coltura. Lentamente, l'azione dell'acqua ha portato ad una solubilizzazione ed allontanamento dei sali solubili presenti nel substrato e all'instaurarsi di condizioni progressivamente più confacenti alla messa a coltura. Anche le lavorazioni, seppur minime in epoca passata, hanno sicuramente contribuito alla mitigazione degli aspetti negativi di questo substrato favorendo l'infiltrazione delle acque di precipitazione, la solubilizzazione ed allontanamento dei sali, ma anche attraverso una maggiore ossigenazione del sistema con una conseguente migliore condizione di vita per lo sviluppo delle colture.

Da quando però è stata istituita la Riserva, questi luoghi sono tornati alla loro originaria naturalità. Non prima però di consistenti movimentazioni di materiali resisi necessari, ad esempio, per realizzare e consolidare il tratto stradale che passa nella riserva. Materiali che sono stati asportati da certe zone (decorticazione) e trasportati (accumulazione) in altri. In questo nuovo assetto, i coni si sono riformati ed i fanghi hanno trovato nuovi percorsi, seguendo ed assecondando la morfologia dei luoghi. Stratificazioni successive si sono venute a determinare con ricoprimento a volte totale ed a volte parziale di spazi una volta dedicati all'attività agricola.

In questo complesso ambiente si è realizzata la presente indagine pedologica che ha cercato di individuare e descrivere le diverse situazioni pedoclimatiche presenti ed i suoli che vi si sono sviluppati.

In generale, all'interno della Riserva si rinvengono suoli poco evoluti e cioè caratterizzati da uno scarso sviluppo e differenziazione del profilo pedologico. Ciò è dovuto da un lato, al continuo rimaneggiamento operato dall'uomo e, dall'altro, dal periodico apporto di fanghi provenienti dai vulcanelli. Nonostante ciò, a seconda del contesto morfologico in cui si sono sviluppati e della maggiore o minore distanza dagli apparati lutivomi, i suoli osservati evidenziano caratteristiche peculiari e distintive. A volte infatti, si verifica una completa lisciviazione dei sali dal profilo pedologico mentre, in altri casi, questa interessa solamente gli orizzonti superficiali. A seconda poi della posizione morfologica, si evidenziano difficoltà di drenaggio profondo delle acque testimoniate dalla presenza di screziature (caratteristiche gleyche).

In corrispondenza degli apparati lutivomi (Unità Cartografica D) si rinvengono suoli in cui sono evidenti i segni delle ricorrenti colate di fango. Questi suoli risultano fortemente salini e sodici, con evidenti difficoltà di drenaggio delle acque, testimoniate dalla presenza in superficie di solchi d'erosione superficiale e di proprietà gleyche (Solonchaks) in profondità.

Ad una maggiore distanza dai con dei vulcani (Unità Cartografica E), in corrispondenza di morfologie più pianeggianti, compaiono le prime forme di vegetazione, costituite interamente dalla specie *Puccinellia fasciculata* che, grazie alla sua elevata tolleranza agli ambienti salini, riesce a colonizzare questi luoghi. I suoli qui sono ancora molto salini e ancora caratterizzati da proprietà sodiche e gleyche (Solonchaks) che ostacolano l'insediamento di altre specie vegetali meno tolleranti.

A distanze ancora maggiori dai con in zone pianeggianti e stabili un tempo interessate da colture agrarie (Unità Cartografica A), sono stati descritti suoli calcarei colonizzati da vegetazione erbacea. Questi suoli hanno perduto gran parte dell'originario contenuto in sali che rimangono, in traccia, solamente negli orizzonti profondi. Si caratterizzano per la presenza di un orizzonte cambico (Cambisols) e dall'assenza di caratteristiche gleyche.

Nelle zone con vegetazione arbustiva (Unità Cartografica C), i suoli mostrano orizzonti cambici (Cambisols), tracce di sali solubili negli orizzonti più profondi e proprietà gleyche.

Nella zona della riserva con substrato costituito dai depositi di colata e con vegetazione arborea (Unità Cartografica B), si sviluppano suoli con orizzonti cambici (Cambisols) mentre, quando il substrato è rappresentato da rocce marnoso-argillose (Unità Cartografica F), con pendenze più significative, i suoli risultano poco sviluppati (Regosols) e sempre calcarei.

Le unità cartografiche della Carta dei Suoli coincidono, in questa fase, alle Unità di Paesaggio individuate perché trattasi di una carta di prima approssimazione. Ulteriori fasi analitiche sui campioni fino ad ora raccolti così come una nuova campagna pedologica potrebbero condurre ad una migliore caratterizzazione dei suoli della Riserva Integrale e delle aree ad essa strettamente legate (area Buffer).

6 - Bibliografia

- Aringhieri R., 1999. I Sali nel terreno Quaderno n. 7. CNR Istituto per le Chimica del Terreno, Pisa. INAPA.
- Bertrami R., Ceccarelli A., Lombardi S., 1984. L'elio dei gas del suolo nella prospezione geotermica. *Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrogr.*, 39, pp. 331-342.
- Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Tanini C., Vannucci G., 2004. Seismotectonic Map of the Emilia–Romagna Region, Scale 1:250,000, with Explanatory Notes, SELCA, Società Elaborazioni Cartografiche, Florence, Italy.
- Bonazzi U., Tosatti G., 1999. Le Salse di Nirano. In: “I Beni Geologici della Provincia di Modena”, Dipart. Scienze della Terra, Università di Modena e Reggio E. - Assess. Difesa del Suolo e Tutela dell’Ambiente, Provincia di Modena, Artioli Ed., Modena, 40, pp. 48-50.
- Bonini, M., 2007. Interrelations of mud volcanism, fluid venting, and thrust-anticline folding: examples from the external northern Apennines (Emilia–Romagna, Italy). *Journal of Geophysical Research* 112, B08413 <http://dx.doi.org/10.1029/2006JB004859>.
- Bonini M., 2008a. Elliptical mud volcano caldera as stress indicator in an active compressional setting (Nirano, Pede-Apennine margin, northern Italy). *Geology*, pp. 36, 131-134.
- Bonini M., 2008b – I vulcani di fango emiliani: retrospettiva e prospettive. *Geoitalia*, 22, pp. 12-21.
- Bonini, M., 2009. Mud volcano eruptions and earthquakes in the Northern Apennines and Sicily, Italy. *Tectonophysics*, pp. 474, 723–735.
- Bonini M., 2012. Mud volcanoes: Indicators of stress orientation and tectonic controls. *Earth-Science Reviews*, pp. 115, 121-152.
- Castaldini D., Valdati J., Ilies D.C., Chiriac C., with contributions by Bertogna I., 2005. Geo-Tourist Map of the Natural Reserve of Salse di Nirano (Modena Apennines), Northern Italy. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, 18(1), Special Volume, pp. 245-255.
- Castaldini D., Conventi M., Coratza P., Dallai D., Liberatoscioli E., Sala L., Buldrini F. (2011). Carta Turistico - Ambientale della Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano. Comune di Fiorano Modenese, Tipolitografia Notizie, Modena.
- Castaldini D., Conventi M., 2017. Inquadramento geografico e caratteristiche delle Salse di Nirano. *Suppl. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, pp. 148.
- Castaldini D., Coratza P., De Nardo M.T., 2017b Geologia e geomorfologia del campo delle Salse di Nirano. *Suppl. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, pp. 148.
- Dallai D., Rebecchi C., Buldrini F., Pezzi G., Cuni I., Castaldini D., Santagata T., Camorani M., Coratza P., De nardo M.T., Conventi M., 2016. Distribuzione spaziale della popolazione di Puccinellia

- fasciculata (Torr.) Bicknell nelle Salse di Nirano (SIC IT4040007).
<https://hdl.handle.net/11380/1154952>.
- Dazzi C., 2021. Fondamenti di pedologia, Editrice Le Penseur.
 - Tosi F., Branduzzi D., De Luca G., Conventi M., Morena M., Giurgola M., PAESC 2021. Fiorano Modenese, Agenzia per l'energia e lo sviluppo sostenibile – AES.
 - Falorni P., Petti F. M., D'ambrogio C., 2007. Quaderno n. 7/VII Carta Geologica d'Italia - 1:50.000 - Catalogo delle formazioni - Unità tradizionali (2), APAT - CNR – Commissione Italiana di Stratigrafia, Quaderno n.7, pp. 318.
 - Gasperi G., Cremaschi M., Mantovani Uguzzoni M.P., Cardarelli A., Cattani M. & Labate D.,1989. Evoluzione Plio-Quaternaria del margine appenninico modenese e dell'antistante pianura. Note illustrative alla Carta Geologica, Mem. Soc. Geol. It., pp. 39, 431.
 - Gasperi G., Bettelli G., Panini F., Pizzolo M., Bonazzi U., Fioroni C., Fregni P., Vaiani S.C., 2005. Note Illustrative e Carta Geologia d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio n. 219 Sassuolo. SELCA, Firenze.
 - Gazzetta Ufficiale, Supplemento ordinario n. 79, serie n. 121 del 25 maggio 1992.
 - Gazzetta Ufficiale, Supplemento ordinario n. 173, serie n. 204 del 2 settembre 1997.
 - Gazzetta Ufficiale, Supplemento ordinario n. 185, serie n. 248 del 21 ottobre 1999.
 - IUSS Working Group WRB, 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.
 - Martinelli G., Judd A., 2004. Mud volcanoes of Italy. Geological Journal, 39, pp. 49-61.
 - Martinelli G., Dadomo A., 2017. Misura in continuo di temperatura e livello del fango in una emissione selezionata delle Salse di Nirano, Studi interdisciplinari in Scienze della Terra per la fruizione in sicurezza della Riserva Naturale delle Salse di Nirano, pp. 97, 98, 99, 100, 101, 102.
 - MiPAF, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del suolo, 2006. Metodi di Analisi delle Acque per uso Agricolo e Zootecnico. Collana di metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi. Franco Angeli Ed.
 - Panizza M., 2007. Geomorfologia. Pitagora Ed. (3a ediz.), Bologna, pp. 368, ISBN 8837116578.
 - Pignatti, S. (1982) Flora d'Italia. Volume II, Edagricole, Bologna.
 - Regione Emilia-Romagna, ENI — AGIP, 1998. Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. SELCA, Firenze, Italy, pp. 119.
 - Rete Natura 2000 – SIC IT4040007 Salse di Nirano – Quadro Conoscitivo <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/parchi-natura2000/rete-natura-2000/siti/it4040007>
 - Richards L.A.,1954. Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils, US Department of Agriculture, Washington DC, Agriculture, 160, Handbook 60.



- Sciarra A., Cantucci B., Conventi M., Ricci T., 2017b. Caratterizzazione geochimica e monitoraggio dei flussi e delle componenti gassose nella Riserva delle Salse di Nirano. *Suppl. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, 148.
- Soil Survey Staff. 2022. *Keys to Soil Taxonomy*, 13th edition. USDA Natural Resources Conservation Service.
- Sørensen S.P.I., 1909. Enzyme studies: The measurement and importance of the hydrogen ion concentration in enzyme reaction. *Compt. Rend. Trav. Lab. (Carlsberg)* 8:1.
- Tassi F., Bonini M., Montegrossi G., Capecchiacci F., Capaccioni B., Vaselli O., 2012. Origin of light hydrocarbons in gases from mud volcanoes and CH₄ -rich emissions. *Chem. Geol.*, 294-295, pp. 113-126.
- Marletto V., Antolini G., Pavan V., Tomozeiu R., 2017. *Atlante climatico dell'Emilia-Romagna 1961-2015*, ISBN 978-88-87854-44-2.
- Vezzalini G., Marchetti Dori S., Quartieri S., 2017. Analisi mineralogiche e granulometriche dei fanghi delle Salse di Nirano. *Suppl. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, 148.
- Whiticar M.J., Sues E., 1990. Hydrothermal hydrocarbon gases in the sediments of King George Basin, Bransfield Strait, Antarctica. *Applied Geochemistry*, 5(1-2), pp. 135-147, doi: 10.1016/0883-2927(90)90044-6.
- Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C., Broderick W.D. (Eds), 2002. *Field book for describing and sampling soils*, Ver. 2.0. National Resources Conservation Service, National Soil, Survey Center, Lincoln, NE.

Allegato 1 – Schede descrittive dei suoli campionati

Suoli dell'Unità Cartografica A.



NIR – 11		
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo		
Paesaggio	Dati di stazione	
	Data:	16/03/2022
	Coordinate WGS84 UTM 32N	644806 m E; 4930428 m N
	Regione:	Emilia-Romagna
	Provincia:	Modena
	Località:	Salse di Nirano
	Esposizione:	89°
	Pendenza:	6%
	Quota:	218 m slm
	Morfologia:	Pianoro leggermente inclinato verso est
	Substrato:	Depositi di colata delle salse
	Uso del suolo/vegetazione:	Vegetazione erbacea
	Regime di umidità:	Ustico
Regime di temperatura:	Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica	
	<p>Oj: 1 – 0 cm; lettiera poco decomposta costituita principalmente da piante erbacee.</p> <p>A1: 0 – 12 cm; poco umido; colore grigio chiaro (5Y 7/1 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, fine, debolmente sviluppata; tessitura argillosa - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; moderatamente plastico; pori assenti; radici con andamento orizzontale molte, medie e fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>A2: 12 – 40 cm; poco umido; colore giallo pallido (5Y 7/3 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, fine, debolmente sviluppata; tessitura franco-limoso-argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori assenti; radici comuni, fini; concrezioni carbonatiche poche, medie e fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>Bw: 40 – 70 cm; poco umido; colore giallo pallido (2.5 Y 7/3 – secco); screziature comuni, di colore giallo rossastro (7.5 YR 6/8 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, fine, debolmente sviluppata; tessitura franco-limoso argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); moderatamente adesivo; molto plastico; pori assenti; radici comuni fini e molto fini; concrezioni carbonatiche poche, medie; effervescenza media.</p> <p>Cgk1: 70 – 100 cm; poco umido; colore giallo pallido (2.5Y 7/3 – secco); screziature molte, di colore giallo rossastro (7.5 YR 6/8 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, fine, debolmente sviluppata; tessitura argillosa - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); moderatamente adesivo; molto plastico; pori assenti; radici comuni, fini e molto fini; concrezioni carbonatiche comuni da fini a grossolane; effervescenza all'HCl media.</p> <p>Cgk2: 100 – 120 cm; poco umido; colore giallo pallido (2.5Y 7/3 – secco); screziature molte, di colore giallo rossastre (7.5 YR 7/6 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, fine, debolmente sviluppata; tessitura argillosa - limosa (determinazione di campo); consistenza dura (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori assenti; radici poche, molto fini; concrezioni carbonatiche comuni, da fini a grossolane; effervescenza all'HCl debole.</p>	
	Classificazione	
<p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Typic Calcustepts, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Calcaric Eutric Cambisols (Loamic)</p>		

NIR – 13		
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo		
Paesaggio	Dati di stazione	
	Data:	16/03/2022
	Coordinate WGS84 UTM 32N	644988 m E; 4930518 m N
	Regione:	Emilia-Romagna
	Provincia:	Modena
	Località:	Salse di Nirano
	Esposizione:	244°
	Pendenza:	2%
	Quota:	204 m slm
	Morfologia:	Pianoro non interessato da colate recenti
	Substrato:	Depositi di colata delle Salse
	Uso del suolo/vegetazione:	Vegetazione erbacea
	Regime di umidità:	Ustico
	Regime di temperatura:	Mesico
Profilo pedologico	Descrizione morfologica	
	<p>Oj: 2 – 1 cm; lettiera poco decomposta.</p> <p>Oe: 1 – 0 cm; lettiera parzialmente decomposta, principalmente costituita da muschio.</p> <p>A1: 0 – 10 cm; limite lineare, chiaro; poco umido; colore bruno giallastro (2.5Y 6/3 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, fine, debolmente sviluppata; tessitura argillosa - limosa (determinazione di campo); consistenza leggermente dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori pochi, fini; radici erbacee molte, fini; concrezioni carbonatiche poche, fini; effervescenza all'HCl violenta.</p> <p>A2: 10 – 26 cm; limite lineare, chiaro; poco umido; colore giallo pallido (2.5Y 7/3 – secco); screziature poche, di colore giallo rossastro (7.5YR 7/6 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, fine, debolmente sviluppata; tessitura argillosa - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (secco); debolmente adesivo; plastico; pori pochi, fini; radici comuni, fini; effervescenza all'HCl violenta.</p> <p>Bw: 26 – 44 cm; limite lineare, chiaro; umido; colore giallo pallido (2.5Y 7/4 – secco); screziature poche, di colore giallo rossastro (7.5YR 7/6 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, fine, debolmente sviluppata; tessitura argilloso – argilloso limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori molto pochi, fini; radici con andamento suborizzontale molto poche, fini, e due radici legnose, medie; concrezioni carbonatiche molto poche, molto fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>Cgk1: 44 – 100 cm; umido; colore giallo pallido (2.5Y 7/3 – secco); screziature poche, di colore giallo rossastro (7.5YR 7/6 – secco); struttura poliedrica subangolare, fine, moderatamente sviluppata, tessitura argillosa – limoso argillosa (determinazione di campo); consistenza dura (secco); debolmente adesivo; moderatamente plastico; pori molto pochi, fini; radici molto poche, fini, sub orizzontali; concrezioni carbonatiche poche, molto fini; effervescenza all'HCl violenta.</p> <p>Cgk2: 100 – 120 cm; umido; colore giallo pallido (2.5YR 7/3 – secco); screziature comuni, di colore giallo rossastre (7.5YR 6/8 – secco); struttura poliedrica subangolare, fine, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (secco); debolmente adesivo; plastico; pori assenti; radici molto poche, fini; concrezioni carbonatiche poche, molto fini; effervescenza all'HCl violenta.</p>	
	<p>Classificazione</p> <p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Typic Calciustepts, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Calcaric Eutric Cambisols (Loamic)</p>	



NIR – 17	
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo	
Paesaggio	Dati di stazione
	Data: 01/07/2022
	Coordinate WGS84 UTM 32N 645045 m E; 4930605 m N
	Regione: Emilia-Romagna
	Provincia: Modena
	Località: Salse di Nirano
	Esposizione: 106°
	Pendenza: 2%
	Quota: 207 m slm
	Morfologia: Pianeggiante
	Substrato: Depositi di colata delle Salse
	Uso del suolo/vegetazione: Vegetazione erbacea
	Regime di umidità: Ustico
Regime di temperatura: Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica
	<p>Oj: 3 – 0 cm; lettiera poco decomposta costituita da residui vegetali.</p> <p>Oe: 3 – 0 cm; lettiera parzialmente decomposta costituita da residui vegetali.</p> <p>A1: 0 – 12 cm; secco; colore bruno grigiastro scuro (2,5Y 5/3 - umido); struttura poliedrica subarrotondata, media, moderatamente sviluppata; tessitura franco limoso argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori comuni, medi e fini; radici molte erbacee, fini, legnose poche, medie; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>A2: 12 – 30 cm; secco; colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/3 - umido); struttura poliedrica subangolare, media, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); adesivo; molto plastico; pori pochi, fini; radici comuni erbacee, molto fini e fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>Cg1: 30 – 75 cm; poco umido; colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/3 - umido); screziature comuni, fini, di colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/6 - umido), poche e deboli di colore grigio verdastro (GLEY1 5/10Y - umido); struttura poliedrica subarrotondata, grossolana, fortemente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); consistenza dura (secco); adesivo; plastico; pori assenti; radici erbacee poche, molto fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>Cg2: 75 – 115 cm; umido; colore bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 - umido); screziature comuni, deboli, di colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/6 - umido) e comuni, fini di colore grigio verdastro (GLEY1 5/10Y - umido); struttura poliedrica subarrotondata, grossolana, fortemente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); adesivo; plastico; pori assenti; radici assenti; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>Cg3: 115 – 140 cm; molto umido; colore bruno grigiastro (2,5Y 5/2 - umido); screziature comuni, medie, deboli, di colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/6 - umido) e piccole, comuni, di colore grigio verdastro (GLEY1 5/10Y - umido); struttura poliedrica subarrotondata, media, moderatamente sviluppata; tessitura franco limoso argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (secco); debolmente adesivo; plastico; pori assenti; radici assenti; effervescenza all'HCl forte.</p>
Classificazione	
<p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Aquic Ustorthents, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Gleyic Sodic Solonchaks (Loamic, Calcaric)</p>	

NIR – 21		
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo		
Paesaggio	Dati di stazione	
	Data:	01/07/2022
	Coordinate WGS84 UTM 32N	644837 m E; 4930472 m N
	Regione:	Emilia-Romagna
	Provincia:	Modena
	Località:	Salse di Nirano
	Esposizione:	106°
	Pendenza:	10%
	Quota:	207 m slm
	Morfologia:	Versante
	Substrato:	Depositi di colata delle Salse
	Uso del suolo/vegetazione:	Vegetazione erbacea
	Regime di umidità:	Ustico
Regime di temperatura:	Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica	
	<p>Oj: 4 – 1 cm; lettiera poco decomposta costituita da residui vegetali.</p> <p>Oe: 1 – 0 cm; lettiera parzialmente decomposta costituita da residui vegetali.</p> <p>A1: 0 – 10 cm; secco; colore grigio scuro (2,5Y 4/1 - umido); struttura poliedrica subarrotondata, media, debolmente sviluppata; tessitura franco argilloso limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); non adesivo; molto plastico; pori comuni, molto fini e fini; radici legnose molte, medie, ed erbacee molte, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>A2: 10 – 25 cm; secco; colore bruno olivastro (2,5Y 4/3 - umido); struttura poliedrica subangolare, fine, debolmente sviluppata; tessitura franco argilloso limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori pochi, fini; radici erbacee poche, molto fini; effervescenza all'HCl violenta.</p> <p>Bw: 25 – 40 cm; poco umido; colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/3 - umido); screziature deboli, di colore bruno giallastro (10YR 5/8 - umido) e grigie (2,5Y 5/1 - umido); struttura poliedrica subarrotondata, media; moderatamente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); non adesivo; molto plastico; pori molto pochi, molto fini; radici erbacee, poche, molto fini; concrezioni carbonatiche, comuni, medie e fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>Cg1: 40 – 65 cm; poco umido; colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/3 - umido); screziature marcate, di colore bruno giallastro (10YR 5/8 - umido) e grigie (2,5Y 5/1 - umido); struttura poliedrica subarrotondata, fine, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (secco); non adesivo; molto plastico; pori molto pochi, fini; radici erbacee poche, molto fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>Cg2: 65 – 100+ cm; poco umido; colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/3 - umido); screziature di colore nero (2,5Y 2,5/1 - umido); struttura poliedrica subangolare, fine, debolmente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); adesivo; molto plastico; pori assenti; radici erbacee molto poche, molto fini; effervescenza all'HCl violenta.</p>	
	Classificazione	
<p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Aquic Calciustepts, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Calcaric Eutric Cambisols (Loamic)</p>		

Suolo dell'Unità Cartografica B.



NIR – 7		
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo		
Paesaggio	Dati di stazione	
	Data:	26/10/2021
	Coordinate WGS84 UTM 32N	644992 m E; 4930655 m N
	Regione:	Emilia-Romagna
	Provincia:	Modena
	Località:	Salse di Nirano
	Esposizione:	201°
	Pendenza:	2%
	Quota:	208 m slm
	Morfologia:	Piano al limite delle salse
	Substrato:	Depositi di colata delle salse
	Uso del suolo/vegetazione:	Vegetazione arborea
	Regime di umidità:	Ustico
Regime di temperatura:	Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica	
	<p>Oj: 3 – 2 cm; lettiera poco decomposta costituita da residui vegetali; limite abrupto ondulato.</p> <p>Oe: 2 – 1 cm; lettiera parzialmente decomposta costituita da residui vegetali; limite abrupto ondulato.</p> <p>Oa: 1 – 0 cm; lettiera molto decomposta costituita da residui vegetali; limite abrupto ondulato.</p> <p>A1: 0 – 1 cm; secco; colore bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 - secco); struttura grumosa, fine, fortemente sviluppata; tessitura argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; moderatamente plastico; pori assenti; radici erbacee comuni, fini; effervescenza all'HCl molto debole.</p> <p>A2: 1 – 15 cm; secco; colore bruno oliva chiaro (2,5Y 5/3 - secco); struttura poliedrica subangolare, fine, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso-limoso (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza debolmente dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori pochi, molto fini; radici erbacee poche, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>A3: 15 – 50 cm; secco; colore oliva (5Y 5/4 - secco); struttura poliedrica subangolare, fine, moderatamente sviluppata; tessitura argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza debolmente dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori assenti; radici erbacee, medie, poche; concrezioni carbonatiche poche, medie e fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>Bw: 50 – 80 cm; secco; colore bruno giallastro chiaro (2,5Y 6/4 - secco); struttura poliedrica subangolare, fine, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso-limoso (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza debolmente dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori assenti; radici erbacee poche, fini; concrezioni carbonatiche poche, fini; effervescenza all'HCl violenta.</p> <p>C: 80 – 135 cm; secco; colore oliva chiaro (5Y 6/4 - secco); struttura poliedrica subangolare, fine, debolmente sviluppata; tessitura argillosa - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (secco); debolmente adesivo; plastico; pori pochi, molto fini; radici assenti; concrezioni carbonatiche poche, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>Cg: 135 – 160+ cm; secco; colore bruno oliva chiaro (2,5Y 5/4 - secco); screziature deboli comuni, piccole, rossastre (2.5 YR 5/6 - secco); struttura poliedrica subangolare, fine, moderatamente/debolmente sviluppata; tessitura argillosa - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (secco); debolmente adesivo; plastico; pori comuni, fini; radici assenti; concrezioni carbonatiche poche, fini; effervescenza all'HCl forte.</p>	
Classificazione		
<p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Typic Calciusteps, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Calcaric Eutric Cambisols (Loamic)</p>		



Suoli dell'Unità Cartografica C.



NIR - 4		
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo		
Paesaggio	Dati di stazione	
	Data:	03/03/2021
	Coordinate WGS84 UTM 32N	644994 m E – 4930620 m N
	Regione:	Emilia-Romagna
	Provincia:	Modena
	Località:	Salse di Nirano
	Esposizione:	209°
	Pendenza:	2%
	Quota:	208 m slm
	Morfologia:	Pianoro leggermente concavo
	Substrato:	Depositi di colata delle Salse
	Uso del suolo/vegetazione:	Vegetazione arbustiva
	Regime di umidità:	Ustico
Regime di temperatura:	Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica	
	<p>C: 0 – 1 cm; poco umido; colore grigio grigiastro chiaro (GLEY 7/1 – secco); struttura lamellare, fine, moderatamente sviluppata; tessitura argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori molto pochi, fini; radici assenti; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>A1: 1 – 10 cm; poco umido; colore grigio brunastro chiaro (2.5Y 6/2 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, fine, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; moderatamente plastico; pori comuni, fini; radici e rizomi comuni, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>A2: 10 – 55 cm; poco umido; colore grigio brunastro chiaro (2.5Y 6/2 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, fine, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (umido); non adesivo; molto plastico; pori pochi, fini; radici poche e molto fini; concrezioni carbonatiche sferiche poche, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>Ck1: 55 – 75 cm; poco umido; più duro; colore grigio chiaro (2.5Y 7/2 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, fine, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori comuni, fini; radici assenti; concrezioni carbonatiche sferiche, poche, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>Ck2: 75 – 110 cm; umido; colore grigio chiaro (2.5Y 7/2 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, fine, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (umido); debolmente adesivo; molto plastico; pori comuni, molto fini; radici assenti; concrezioni carbonatiche comuni, fini; effervescenza all'HCl violenta.</p> <p>Cg1: 110 – 150 cm; molto umido; colore grigio chiaro (2.5Y 7/2 – secco); screziature diffuse deboli, di colore giallo oliva (2.5Y 6/6); struttura poliedrica sub arrotondata, fine, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso-limosa (determinazione di campo); consistenza dura (secco); moderatamente adesivo; moderatamente plastico; pori pochi, molto fini; radici assenti; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>Cg2: 150 – 190+ cm; bagnato; colore grigio chiaro (2.5Y 7/2 – secco); screziature fini, poco distinte di colore giallo (2.5Y 7/8); struttura poliedrica subarrotondata, fine, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; moderatamente plastico; pori assenti; radici assenti; effervescenza all'HCl forte.</p>	
Classificazione		
<p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Aquic Ustorthents, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Gleyic Calcaric Eutric Regosols (Loamic, Salic)</p>		

NIR – 15		
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo		
Paesaggio	Dati di stazione	
	Data:	01/07/2022
	Coordinate WGS84 UTM 32N	645135 m E; 4930527 m N
	Regione:	Emilia-Romagna
	Provincia:	Modena
	Località:	Salse di Nirano
	Esposizione:	89°
	Pendenza:	13%
	Quota:	200 m slm
	Morfologia:	Versante non interessato da colate recenti
	Substrato:	Depositi di colata delle Salse
	Uso del suolo/vegetazione:	Vegetazione prevalentemente arbustiva
	Regime di umidità:	Ustico
Regime di temperatura:	Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica	
	<p>Oj: 2 – 1 cm; lettiera poco decomposta, principalmente con vegetazione erbacea.</p> <p>Oe: 1 – 0 cm; lettiera parzialmente decomposta.</p> <p>Oa: 1 – 0 cm; lettiera molto decomposta.</p> <p>A1: 0 – 10 cm; secco; colore bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 - umido); struttura poliedrica subangolare, media, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); non adesivo; plastico; pori pochi, fini; radici erbacee comuni, fini, legnose poche, medie e fini; effervescenza all'HCl violenta.</p> <p>A2: 10 – 60 cm; secco; colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/3 - umido); struttura poliedrica subangolare, fine, debolmente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (secco); non adesivo; molto plastico; pori assenti; radici assenti; effervescenza all'HCl violenta.</p>	
	<p>C: 60 – 80 cm; poco umido; colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/3 - umido); struttura incoerente, fine, debolmente sviluppata; scheletro assente; tessitura franco limoso argillosa (determinazione di campo); consistenza friabile (secco); non adesivo; molto plastico; pori assenti; radici assenti; effervescenza all'HCl violenta.</p> <p>Cg1: 80 – 110 cm; umido; colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/3 - umido); screziature poche, deboli, di colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/6 - umido) con zone impoverite di ferro di colore grigio (GLEY1 6/10GY - umido); struttura poliedrica subangolare, grossolana, fortemente sviluppata; tessitura franco limoso argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori assenti; radici assenti; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>Cg2: 110 – 140 cm; umido; colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/3 - umido); screziature poche, deboli, di colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/6 - umido) con zone impoverite di ferro di colore grigio (GLEY1 6/10GY - umido); struttura poliedrica subangolare, grossolana, fortemente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori assenti; radici assenti; effervescenza all'HCl forte.</p>	
Classificazione		
<p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Aquic Ustorthents, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Gleyic Calcaric Eutric Regosols (Loamic)</p>		



NIR – 16	
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo	
Paesaggio	Dati di stazione
	Data: 01/07/2022
	Coordinate WGS84 UTM 32N 645047 m E; 4930571 m N
	Regione: Emilia-Romagna
	Provincia: Modena
	Località: Salse di Nirano
	Esposizione: 349°
	Pendenza: 1%
	Quota: 208 m slm
	Morfologia: Pianeggiante
	Substrato: Depositi di colata delle Salse
	Uso del suolo/vegetazione: Vegetazione arbustiva
	Regime di umidità: Ustico
Regime di temperatura: Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica
	<p>Oi: 2 – 0 cm; limite abrupto; secco; costituito da un letto di graminacee e muschio.</p> <p>A1: 0 – 5 cm; secco; colore grigio scuro (2,5Y 4/1 - umido); struttura grumosa, media, moderatamente sviluppata; tessitura franco argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); non adesivo; plastico; pori comuni, fini; radici molte, molto fini e fini; effervescenza all'HCl violenta.</p> <p>A2: 5 – 40 cm; secco; colore bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 - umido); screziature molto deboli, di colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/4 - umido) e grigiastre (GLEY1 5/10Y - umido); struttura poliedrica subangolare, media, debolmente sviluppata; tessitura franco limoso argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza molto friabile (secco); debolmente adesivo; plastico; pori pochi, fini; radici poche, fini; effervescenza all'HCl violenta.</p>
	<p>2Cg1: 40 – 75 cm; poco umido; colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/3 - umido); screziature marcate comuni, fini, di colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/6 - umido) e grigiastre (GLEY1 5/10Y - umido); struttura poliedrica subangolare, grossolana, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori assenti; radici molto poche, molto fini; effervescenza all'HCl violenta.</p> <p>3Cg2: 75 – 100+ cm; poco umido; colore grigiastro scuro (GLEY1 4/5GY - umido); screziature comuni, di colore grigio scuro (GLEY1 3/N - umido); struttura poliedrica subangolare, grossolana, moderatamente sviluppata; tessitura franco limoso argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza leggermente dura (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori assenti; radici assenti; effervescenza all'HCl violenta.</p>
Classificazione	
<p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Aquic Ustorthents, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Gleyic Calcaric Eutric Regosols (Loamic, Salic)</p>	

NIR – 20	
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo	
Paesaggio	Dati di stazione
	Data: 01/07/2022
	Coordinate WGS84 UTM 32N 644775 m E; 4930529 m N
	Regione: Emilia-Romagna
	Provincia: Modena
	Località: Salse di Nirano
	Esposizione: 24°
	Pendenza: 8%
	Quota: 212 m s.l.m.
	Morfologia: Versante non interessato da colate recenti
	Substrato: Depositi di colata delle Salse
	Uso del suolo/vegetazione: Vegetazione arbustiva
	Regime di umidità: Ustico
Regime di temperatura: Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica
	<p>Oj: 3 – 1 cm; lettiera poco decomposta costituita da residui vegetali.</p> <p>Ae: 1 – 0 cm; lettiera parzialmente decomposta costituita da residui vegetali.</p> <p>A1: 0 – 10 cm; secco; colore bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 - umido); struttura poliedrica subarrotondata, fine, moderatamente sviluppata; tessitura franco limoso argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); non adesivo; plastico; pori molti, medi e fini; radici erbacee molte, da fini a grossolane, e legnose molte, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>A2: 10 – 45 cm; secco; colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/4 - umido); struttura poliedrica subarrotondata, fine, moderatamente sviluppata; tessitura limoso - argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori comuni, fini; radici erbacee poche, fini; concrezioni comuni, medie e fini; effervescenza all'HCl violenta.</p> <p>Cg1: 45 – 60 cm; poco umido; colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/4 - umido); screziature poche, fini, di colore bruno rossastro (7,5YR 5/6 - umido); struttura poliedrica subangolare, fine, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori assenti; radici assenti; concrezioni comuni, medie; effervescenza all'HCl violenta.</p> <p>Cg2: 60 – 80 cm; poco umido; colore bruno giallastro chiaro (2,5Y 6/4 - umido); screziature comuni, fini, di colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/4 - umido); struttura poliedrica subangolare, fine; moderatamente sviluppata; tessitura franco limoso argillosa – franco argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); poco adesivo; poco plastico; pori pochi, fini; radici assenti; concrezioni molte, medie; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>Cg3: 80 – 120 cm; umido; colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/3 - umido); screziature molte, medie, di colore bruno rossastro (7,5YR 4/6 - umido) e grigie (2,5Y 5/1 - umido); struttura poliedrica subangolare, media, fortemente sviluppata; tessitura franco limoso argillosa/franco argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); adesivo; plastico; pori assenti; radici assenti; concrezioni comuni, fini; effervescenza all'HCl violenta.</p>
	<p>Classificazione</p> <p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Aquic Ustorthents, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Calcaric Eutric Regosols (Loamic)</p>

NIR -5		
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo		
Paesaggio	Dati di stazione	
	Data:	31/05/2021
	Coordinate WGS84 UTM 32N	645116 m E – 4930442 m N
	Regione:	Emilia-Romagna
	Provincia:	Modena
	Località:	Salse di Nirano
	Esposizione:	133°
	Pendenza:	17%
	Quota:	195 m slm
	Morfologia:	Versante uniforme
	Substrato:	Deposito di colata delle salse
	Uso del suolo/vegetazione:	Vegetazione arbustiva
	Regime di umidità:	Ustico
Regime di temperatura:	Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica	
	<p>A1: 0 – 12 cm; poco umido; colore bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – umido); screziature poche, leggere, deboli, di colore bruno giallastre (10YR 5/6); struttura grumosa, media, debolmente sviluppata; tessitura argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (umido); debolmente adesivo; debolmente plastico; pori comuni, fini; radici comuni, fini; concrezioni carbonatiche sferiche, poche, medie; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>A2: 12– 30 cm; poco umido; colore bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – umido); screziature deboli, poche, di colore bruno giallastro (10YR 5/8); struttura poliedrica subarrotondata, media, moderatamente sviluppata; tessitura argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (umido); debolmente adesivo; debolmente plastico; pori pochi, fini; radici poche, fini; concrezioni carbonatiche comuni, sferiche, medie e fini; effervescenza all'HCl forte.</p>	
Classificazione	<p>A/Cg: 30 – 90 cm; umido; colore bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2 – umido); screziature comuni, marcate, di colore giallo brunastro (10YR 6/8 - umido) e grigio grigiastre (GLEY 5/10Y - umido); struttura poliedrica subangolare, grossolana, moderatamente sviluppata; tessitura franco – argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (umido); debolmente adesivo; moderatamente plastico; pori pochi, fini; radici poche, fini; concrezioni carbonatiche, poche, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>Cg: 90 – 110+ cm; umido; colore bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – umido); screziature comuni di colore bruno giallastre (10YR 5/6 - umido) e grigio grigiastre scure (GLEY1 4/5G - umido); struttura poliedrica subangolare, grossolana, moderatamente sviluppata; tessitura argillosa – limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza molto dura (umido); moderatamente adesivo; moderatamente plastico; pori molto pochi, molto fini; radici assenti; concrezioni carbonatiche poche, molto fini; effervescenza all'HCl forte.</p>	
<p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Aquic Ustorthents, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Gleyic Calcaric Eutric Regosols (Loamic, Salic)</p>		

NIR - 6	
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo	
Paesaggio	Dati di stazione
	Data: 31/05/2021
	Coordinate WGS84 UTM 32N 645075 m E – 4930478 m N
	Regione: Emilia-Romagna
	Provincia: Modena
	Località: Salse di Nirano
	Esposizione: 140°
	Pendenza: 1%
	Quota: 206 m slm
	Morfologia: Pianoro
	Substrato: Deposito di colata delle salse
	Uso del suolo/vegetazione: Arbusteto rado
	Regime di umidità: Ustico
Regime di temperatura: Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica
	<p>Oi: 2 – 0 cm; lettiera costituita da fusti erbacei e foglie, secchi.</p> <p>A1: 0 – 15 cm; secco; colore bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – umido); struttura poliedrica subarrotondata, media, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (umido); debolmente adesivo; molto plastico; pori comuni, fini e molto fini; radici erbacee comuni, medie e fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>A2: 15 – 40 cm; poco umido; colore bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – umido); screziature poche, deboli, di colore giallo brunastro (10YR 6/6 - umido) e grigie (10YR 6/1 - umido); struttura poliedrica subarrotondata, media, debolmente sviluppata; tessitura argilloso-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (umido); debolmente adesivo; molto plastico; pori comuni, fini; radici poche, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>A/Cg: 40 – 70 cm; poco umido; colore bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – umido); screziature comuni, marcate, di colore bruno grigiastre (10YR 5/8 - umido) e grigie grigiastre (GLEY1 5/10Y - umido); struttura poliedrica subangolare, media, moderatamente sviluppata; tessitura argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (umido); moderatamente adesivo; moderatamente plastico; pori pochi, molto fini; radici poche, molto fini; effervescenza all'HCl debole/forte.</p> <p>Cg: 70 – 110+ cm; poco umido; colore grigio grigiastro (2.5Y 5/2 – umido); screziature abbondanti, molto marcate, di colore bruno grigiastro scure (10YR 4/6 – umido) e grigio grigiastre (GLEY1 5/10Y - umido); struttura poliedrica subangolare, media, debolmente sviluppata; tessitura argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (umido); moderatamente adesivo; moderatamente plastico; pori molto pochi, molto fini; radici molto poche, molto fini; effervescenza all'HCl forte.</p>
	<p>Classificazione</p> <p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Aquic Ustorthents, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Gleyic Calcaric Eutric Regosols (Loamic, Salic)</p>

Suoli dell'Unità Cartografica D.

NIR - 2	
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo	
Paesaggio	Dati di stazione
	Data: 17/02/2021
	Coordinate WGS84 UTM 32N 645093 m E – 4930592 m N
	Regione: Emilia-Romagna
	Provincia: Modena
	Località: Salse di Nirano
	Esposizione: 28°
	Pendenza: 5%
	Quota: 207 m slm
	Morfologia: Piano a lato di apparato lutivomo
	Substrato: Depositi di colata delle salse
	Uso del suolo/vegetazione: Assente
	Regime di umidità: Ustico
Regime di temperatura: Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica
	<p>C1: 0 – 40 cm; poco umido; colore grigio chiaro (5Y 7/1 – secco); struttura lamellare, media, moderatamente sviluppata; tessitura argillosa-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (secco); adesivo, molto plastico; pori molto pochi; radici assenti; effervescenza all'HCl violenta.</p> <p>C2: 40 – 130 cm; poco umido; colore grigio chiaro (5Y 7/2 – secco); struttura subarrotondata, media, debolmente sviluppata; tessitura argillosa-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); moderatamente adesivo; molto plastico; pori comuni fini; radici e rizomi comuni, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>C3: 130 – 170 cm; poco umido; colore grigio chiaro (5Y 7/2 – secco); struttura subarrotondata, media, debolmente sviluppata; tessitura argillosa-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); moderatamente adesivo; molto plastico; pori comuni, fini; radici e rizomi comuni, fini; effervescenza all'HCl forte.</p>
	<p>C4: 170 – 190 cm; poco umido; colore grigio chiaro oliva (5Y 6/2 – secco); struttura subarrotondata, media, debolmente sviluppata; tessitura argillosa-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori comuni, fini; radici e rizomi comuni, fini; effervescenza all'HCl violenta.</p> <p>2C: 190 – 220 cm; poco umido; colore grigio (5Y 6/1 – secco), screziature nere (5YR 2.5/1 - secco); struttura subarrotondata, media, moderatamente sviluppata; tessitura argillosa-limosa/argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); moderatamente adesivo, molto plastico; pori comuni, fini; radici e rizomi comuni, fini; effervescenza all'HCl violenta.</p>
Classificazione	
<p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Torrenitic Ustorthents, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Gleyic Sodic Solonchaks (Loamic, Chloridric, Calcaric)</p>	



NIR – 12	
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo	
Paesaggio	Dati di stazione
	Data: 16/03/2022
	Coordinate WGS84 UTM 32N 644742 m E; 4930469 m N
	Regione: Emilia-Romagna
	Provincia: Modena
	Località: Salse di Nirano
	Esposizione: 1°
	Pendenza: 2%
	Quota: 220 m slm
	Morfologia: Piano a lato di apparato lutivomo
	Substrato: Depositi di colata delle Salse
	Uso del suolo/vegetazione: Vegetazione assente
	Regime di umidità: Ustico
Regime di temperatura: Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica
	<p>A1: 0 – 25 cm; poco umido; colore grigio chiaro (5Y 7/1 – secco); struttura poliedrica subangolare, media, debolmente sviluppata; tessitura argillosa – limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (secco); non adesivo; molto plastico; radici erbacee con andamento suborizzontale comuni, fini; effervescenza all’HCl violenta.</p> <p>AC: 25 – 70 cm; poco umido; colore grigio chiaro (2.5Y 7/2 – secco); screziature poche, deboli, giallo rossastre (7.5YR 7/6 – secco); struttura poliedrica subangolare, fine, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso – limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori assenti; radici poche, fini; effervescenza all’HCl forte.</p> <p>Cg: 70 – 120 cm; umido; colore grigio chiaro (5Y 7/2 – secco); screziature distinte, molte, giallo rossastre (7.5YR 7/6 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, fine, debolmente sviluppata; tessitura argillosa (determinazione di campo); consistenza dura (secco); moderatamente adesivo; plastico; pori assenti; radici assenti; effervescenza all’HCl violenta.</p>
Classificazione	
<p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Torricic Ustorthents, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Gleyic Sodic Solonchaks (Loamic, Chloridric, Calcaric)</p>	

NIR – 14																											
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo																											
Paesaggio	Dati di stazione																										
	<table border="1"> <tr> <td>Data:</td> <td>16/03/2022</td> </tr> <tr> <td>Coordinate WGS84 UTM 32N</td> <td>644947 m E; 4930536 m N</td> </tr> <tr> <td>Regione:</td> <td>Emilia-Romagna</td> </tr> <tr> <td>Provincia:</td> <td>Modena</td> </tr> <tr> <td>Località:</td> <td>Salse di Nirano</td> </tr> <tr> <td>Esposizione:</td> <td>135°</td> </tr> <tr> <td>Pendenza:</td> <td>7%</td> </tr> <tr> <td>Quota:</td> <td>206 m slm</td> </tr> <tr> <td>Morfologia:</td> <td>Piano con leggera pendenza, interessato da colate recenti</td> </tr> <tr> <td>Substrato:</td> <td>Depositi di colata delle Salse</td> </tr> <tr> <td>Uso del suolo/vegetazione:</td> <td>Vegetazione assente</td> </tr> <tr> <td>Regime di umidità:</td> <td>Ustico</td> </tr> <tr> <td>Regime di temperatura:</td> <td>Mesico</td> </tr> </table>	Data:	16/03/2022	Coordinate WGS84 UTM 32N	644947 m E; 4930536 m N	Regione:	Emilia-Romagna	Provincia:	Modena	Località:	Salse di Nirano	Esposizione:	135°	Pendenza:	7%	Quota:	206 m slm	Morfologia:	Piano con leggera pendenza, interessato da colate recenti	Substrato:	Depositi di colata delle Salse	Uso del suolo/vegetazione:	Vegetazione assente	Regime di umidità:	Ustico	Regime di temperatura:	Mesico
	Data:	16/03/2022																									
	Coordinate WGS84 UTM 32N	644947 m E; 4930536 m N																									
	Regione:	Emilia-Romagna																									
	Provincia:	Modena																									
	Località:	Salse di Nirano																									
	Esposizione:	135°																									
	Pendenza:	7%																									
	Quota:	206 m slm																									
	Morfologia:	Piano con leggera pendenza, interessato da colate recenti																									
	Substrato:	Depositi di colata delle Salse																									
	Uso del suolo/vegetazione:	Vegetazione assente																									
Regime di umidità:	Ustico																										
Regime di temperatura:	Mesico																										
Profilo pedologico	Descrizione morfologica																										
	<p>C1: 0 – 50 cm; poco umido; colore grigio chiaro (2.5Y 7/1 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, media, debolmente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori assenti; radici assenti; effervescenza all'HCl violenta.</p> <p>C2: 50 – 90+ cm; più umido; colore grigio chiaro (2.5Y 7/1 – secco); struttura poliedrica subangolare, media, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (secco); moderatamente adesivo; molto plastico; pori assenti; radici assenti; effervescenza all'HCl violenta.</p>																										
Classificazione																											
<p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Torrertic Ustorthents, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Gleyic Sodic Solonchaks (Loamic, Chloridric, Calcaric)</p>																											


Suoli dell'Unità Cartografica E.



NIR – 1	
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo	
Paesaggio	Dati di stazione
	Data: 05/11/2020
	Coordinate WGS84 UTM 32N 645069 m E – 4930618 m N
	Regione: Emilia-Romagna
	Provincia: Modena
	Località: Salse di Nirano
	Esposizione: 112°
	Pendenza: 3%
	Quota: 207 m slm
	Morfologia: Piano tra due apparati lutivomi
	Substrato: Depositi di colata delle Salse
	Uso del suolo/vegetazione: Vegetazione erbacea
	Regime di umidità: Ustico
Regime di temperatura: Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica
	<p>C1: 0 – 40 cm; poco umido; colore grigio chiaro oliva (5Y 6/2 – secco); struttura grumosa, fine; tessitura franco limosa-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori molto pochi; radici assenti; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>C2: 40 – 80 cm; poco umido; colore grigio chiaro brunastro (2.5Y 6/2 – secco); struttura poliedrica, subarrotondata, media, moderatamente sviluppata; tessitura argillosa-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori comuni, fini; radici e rizomi comuni, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>C3: 80 – 120 cm; poco umido; colore grigio chiaro brunastro (2.5Y 6/2 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, media, moderatamente sviluppata; tessitura argillosa-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); moderatamente adesivo; molto plastico; pori comuni, fini; radici e rizomi comuni, fini; effervescenza all'HCl forte.</p>
Classificazione	
<p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Aquic Ustorthents, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Gleyic Sodic Solonchaks (Loamic)</p>	<p>Cg1: 120 – 160 cm; poco umido; colore grigio brunastro chiaro (2.5Y 6/2 – secco); screziature evidenti grigio chiaro (5YR 7/1 - secco); struttura poliedrica subarrotondata, media, moderatamente sviluppata; tessitura argillosa-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); moderatamente adesivo; molto plastico; pori comuni, fini; radici e rizomi comuni, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>C'1: 160 – 200 cm; poco umido; colore bruno chiaro giallastro (2.5Y 6/3 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, media, moderatamente sviluppata; tessitura argillosa-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); moderatamente adesivo; molto plastico; pori comuni, fini; radici e rizomi comuni, fini; effervescenza all'HCl violenta.</p>



NIR - 3	
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo	
Paesaggio	Dati di stazione
	Data: 17/02/2021
	Coordinate WGS84 UTM 32N 645100 m E – 4930582 m N
	Regione: Emilia-Romagna
	Provincia: Modena
	Località: Salse di Nirano
	Esposizione: 53°
	Pendenza: 7%
	Quota: 207 m slm
	Morfologia: Piano al margine esterno di apparato lutivomo
	Substrato: Depositi di colata delle salse
	Uso del suolo/vegetazione: Vegetazione erbacea
	Regime di umidità: Ustico
Regime di temperatura: Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica
	<p>C: 0 – 10 cm; poco umido; colore grigio chiaro brunastro (2.5Y 6/2 – secco); struttura lamellare, media, moderatamente sviluppata; tessitura argillosa-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); moderatamente adesivo; molto plastico; pori molto pochi; radici assenti; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>2AC: 10 – 40/50 cm; poco umido; colore bruno chiaro giallastro (2.5Y 6/3 – secco); struttura poliedrica sub arrotondata, media, moderatamente sviluppata; tessitura argillosa-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); moderatamente adesivo; molto plastico; pori comuni, fini; radici e rizomi comuni, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>3C1: 40/50 – 80 cm; poco umido; colore bruno chiaro giallastro (2.5Y 6/4 – secco); struttura poliedrica subarrotondata, fine, moderatamente sviluppata; tessitura franco-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori comuni, fini; radici e rizomi comuni, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>3C2: 80 – 150 cm; poco umido; colore bruno chiaro giallastro (2.5Y 6/3 – secco); screziature deboli, molto poche; struttura poliedrica subarrotondata, fine, moderatamente sviluppata; tessitura franco-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori comuni, fini; radici e rizomi comuni, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>3Cg: 150 – 200 cm; poco umido; colore grigio chiaro (2.5Y 7/2 – secco); screziature comuni; struttura poliedrica subarrotondata, media, moderatamente sviluppata; tessitura franco – limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); moderatamente adesivo; molto plastico; pori comuni, fini; radici e rizomi comuni, fini; effervescenza all'HCl forte.</p>
Classificazione	
<p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Aquic Ustorthents, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Gleyic Sodic Solonchaks (Loamic, Chloridric, Calcaric)</p>	



NIR – 18	
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo	
Paesaggio	Dati di stazione
	Data: 01/07/2022
	Coordinate WGS84 UTM 32N 644973 m E; 4930586 m N
	Regione: Emilia-Romagna
	Provincia: Modena
	Località: Salse di Nirano
	Esposizione: 210°
	Pendenza: 2%
	Quota: 207 m slm
	Morfologia: Piccola depressione di impluvio
	Substrato: Depositi di colata delle Salse
	Uso del suolo/vegetazione: Vegetazione erbacea
	Regime di umidità: Ustico
Regime di temperatura: Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica
	<p>Ag: 0 – 10 cm; umido; colore grigio verdastro scuro (GLEY1 4/10Y - umido); screziature comuni, di colore bruno (7,5YR 4/6 - umido); struttura poliedrica subarrotondata, media, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori comuni, grossolani e fini; radici erbacee comuni, medie e fini; effervescenza all'HCl forte.</p>
	<p>ACg: 10 – 50 cm; umido; colore grigio verdastro scuro (GLEY1 4/10Y - umido); screziature molte, di colore bruno (7,5YR 4/6 - umido); struttura poliedrica subarrotondata, fine, moderatamente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); adesivo; molto plastico; pori pochi, molto fini; radici molto poche, erbacee, molto fini; effervescenza all'HCl violenta.</p>
Classificazione	<p>Cg: 50 – 70 cm; umido; colore grigio verdastro (GLEY1 4/5GY - umido); screziature comuni, di colore bruno (7,5YR 4/6 - umido); struttura poliedrica subarrotondata, fine, debolmente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); adesivo; molto plastico; pori pochi, molto fini; radici assenti; effervescenza all'HCl violenta.</p>
<p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Aquic Ustorthents, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p>	<p>C: 70 – 100+ cm; molto umido; colore grigio verdastro (GLEY1 4/5GY - umido), screziature assenti; struttura poliedrica subarrotondata, fine, debolmente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); consistenza dura (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori assenti; radici assenti; effervescenza all'HCl forte.</p>
<p>WRB (IUSS, 2022): Gleyic Sodic Solonchaks (Loamic, Chloridric, Calcaric)</p>	

Suoli dell'Unità Cartografica F.

NIR – 10	
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo	
Paesaggio	Dati di stazione
	Data: 26/10/2021
	Coordinate WGS84 UTM 32N 644908 m E; 4930449 m N
	Regione: Emilia-Romagna
	Provincia: Modena
	Località: Salse di Nirano
	Esposizione: 32°
	Pendenza: 18%
	Quota: 203 m slm
	Morfologia: Versante
	Substrato: Rocce argilloso-marnose
	Uso del suolo/vegetazione: Vegetazione arborea
	Regime di umidità: Ustico
Regime di temperatura: Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica
	<p>Oi: 3 – 1 cm; lettiera poco decomposta costituita da foglie, erba e rametti; limite abrupto ondulato.</p> <p>Oe: 1 – 0 cm; lettiera parzialmente decomposta costituita da residui vegetali; limite abrupto ondulato.</p> <p>A1: 0 – 10 cm; poco umido; colore bruno oliva chiaro (2,5Y 5/3 - secco); struttura grumosa, fine, moderatamente sviluppata; tessitura argillosa - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza moderatamente dura (secco); debolmente adesivo; moderatamente plastico; pori comuni, medi; radici erbacee suborizzontali molte, fini; effervescenza all'HCl debole.</p> <p>A2: 10 – 30 cm; secco; colore bruno oliva chiaro (2,5Y 5/4 - secco); struttura poliedrica subangolare grossolana, debolmente sviluppata; tessitura limosa - argillosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza leggermente dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori comuni, fini; radici erbacee poche, fini, radici legnose sub orizzontali poche, medie; poche concrezioni biancastre; effervescenza all'HCl forte.</p>
	<p>C1: 30 – 50 cm; secco; colore bruno giallastro chiaro (2,5Y 6/4 - secco); struttura poliedrica subangolare, grossolana, debolmente sviluppata; tessitura argillosa - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza leggermente dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori comuni, fini; radici erbacee e legnose poche, fini; concrezioni biancastre, comuni; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>C2: 50 – 80+ cm; secco; colore bruno oliva chiaro (2,5Y 5/6 - secco); struttura poliedrica subangolare molto grossolana, debolmente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza leggermente dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori comuni, fini; radici legnose poche, fini; molte concrezioni biancastre; effervescenza all'HCl forte.</p>
Classificazione	
<p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Typic Ustorthents, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Calcaric Eutric Regosols (Loamic)</p>	

NIR – 19		
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo		
Paesaggio	Dati di stazione	
	Data:	01/07/2022
	Coordinate WGS84 UTM 32N	644956 m E; 4930674 m N
	Regione:	Emilia-Romagna
	Provincia:	Modena
	Località:	Salse di Nirano
	Esposizione:	181°
	Pendenza:	10%
	Quota:	210 m slm
	Morfologia:	Versante non interessato da colate recenti
	Substrato:	Rocce argilloso-marnose
	Uso del suolo/vegetazione:	Vegetazione arborea
	Regime di umidità:	Ustico
Regime di temperatura:	Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica	
	Oj: 5 – 2 cm; lettiera poco decomposta costituita da residui vegetali.	
	Oe: 2 – 1 cm; lettiera parzialmente decomposta costituita da residui vegetali.	
Classificazione	Oa: 1 – 0 cm; lettiera molto decomposta costituita da residui vegetali.	
	A1: 0 – 12 cm; secco; colore bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 - umido); struttura poliedrica subarrotondata, media, moderatamente sviluppata; tessitura franco argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); adesivo; molto plastico; pori comuni, medi e fini; radici legnose con andamento suborizzontale comuni medie e fini; effervescenza all'HCl forte.	
	A2: 12 – 45 cm; secco; colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/4 - umido); struttura poliedrica subangolare, fine, debolmente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza friabile (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori pochi, fini e molto fini; radici legnose, poche, erbacee poche, molto fini; concrezioni carbonatiche comuni, fini; effervescenza all'HCl violenta.	
	C1: 45 – 70 cm; secco; colore bruno olivastro chiaro (2,5Y 5/3 - umido); struttura poliedrica subangolare, media, debolmente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); consistenza friabile (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori molto pochi, fini; radici assenti; concrezioni carbonatiche comuni, fini; effervescenza all'HCl violenta.	
	C2: 70 – 100+ cm; secco; colore bruno giallastro chiaro (2,5Y 6/4 - umido); struttura poliedrica subangolare, fine, debolmente sviluppata; tessitura franco limoso argillosa (determinazione di campo); consistenza friabile (secco); debolmente adesivo; molto plastico; pori assenti; radici assenti; concrezioni carbonatiche comuni, medie e fini; effervescenza all'HCl violenta.	
	Soil Taxonomy (SSS, 2022): Typic Ustorthents, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic	
WRB (IUSS, 2022): Calcaric Eutric Regosols (Loamic)		

NIR – 8		
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo		
Paesaggio	Dati di stazione	
	Data:	26/10/2021
	Coordinate WGS84 UTM 32N	644988 m E; 4239623 m N
	Regione:	Emilia-Romagna
	Provincia:	Modena
	Località:	Salse di Nirano
	Esposizione:	183°
	Pendenza:	12%
	Quota:	219 m slm
	Morfologia:	Versante
	Substrato:	Rocce argilloso-marnose
	Uso del suolo/vegetazione:	Vegetazione arborea
	Regime di umidità:	Ustico
Regime di temperatura:	Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica	
	<p>Oi: 2 – 1 cm; lettiera poco decomposta costituita da residui vegetali; limite abrupto, ondulato.</p> <p>Oe: 1 – 0 cm; lettiera parzialmente decomposta costituita da residui vegetali; limite abrupto, ondulato.</p> <p>A1: 0 – 3 cm; secco; colore bruno grigiastro molto scuro (2,5Y 3/2 - secco); struttura grumosa, media, fortemente sviluppata; tessitura argilloso-limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); non adesivo; plastico; pori comuni, medi e fini; radici erbacee molte, fini e molto fini, e legnose sub orizzontali, poche, medie; effervescenza all'HCl molto debole.</p> <p>A2: 3 – 30 cm; secco; colore oliva (5Y 5/4 - secco); struttura poliedrica subangolare media, mediamente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza leggermente dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori pochi, fini; radici con andamento sub orizzontale, poche, grossolane; concrezioni carbonatiche comuni, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>C1: 30 – 45 cm; secco; colore oliva (5Y 5/4 - secco); struttura poliedrica subangolare media, debolmente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori comuni, medi e fini; radici comuni, fini; concrezioni carbonatiche comuni, fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>C2: 45 – 75+ cm; secco; colore bruno oliva chiaro (2,5Y 5/4 - secco); struttura poliedrica subangolare media, mediamente sviluppata; tessitura argilloso - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza leggermente dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori comuni, fini; radici assenti; concrezioni carbonatiche comuni, fini; effervescenza all'HCl forte.</p>	
	Classificazione	
<p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Typic Ustorthents, Fine-silty, mixed, calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Calcaric Eutric Regosols (Loamic)</p>		

NIR – 9	
Dati di Stazione – Rappresentazione e descrizione del profilo	
Paesaggio	Dati di stazione
	Data: 26/10/2021
	Coordinate WGS84 UTM 32N 644969 m E; 4980834 m N
	Regione: Emilia-Romagna
	Provincia: Modena
	Località: Salse di Nirano
	Esposizione: 186°
	Pendenza: 17%
	Quota: 254 m slm
	Morfologia: Versante
	Substrato: Rocce argilloso-marnose
	Uso del suolo/vegetazione: Prato coltivato
	Regime di umidità: Ustico
Regime di temperatura: Mesico	
Profilo pedologico	Descrizione morfologica
	<p>Oe: 1 – 0 cm; lettiera parzialmente decomposta costituita da residui vegetali; limite abrupto ondulato.</p> <p>Ap1: 0 – 5 cm; secco; colore bruno oliva (2,5Y 5/4 - secco); struttura grumosa, grossolana, fortemente sviluppata; tessitura argillosa - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori comuni, fini; radici erbacee comuni, fini e molto fini; effervescenza all'HCl forte.</p> <p>Ap2: 5 – 40 cm; secco; colore bruno giallastro chiaro (2,5Y 6/3 - secco); screziature molto fini, deboli; struttura poliedrica subangolare media, debolmente sviluppata; tessitura argillosa - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; consistenza leggermente dura (secco); debolmente adesivo; plastico; pori comuni, fini; radici erbacee comuni, fini; concrezioni carbonatiche comuni, medie e fini; effervescenza all'HCl violenta.</p> <p>Cg: 40 – 80+ cm; secco; colore bruno giallastro chiaro (2,5Y 6/3 - secco); screziature molte, di colore giallo rossastre (7,5YR 7/6 - secco); struttura poliedrica subangolare media, debolmente sviluppata; tessitura argillosa - limosa (determinazione di campo); scheletro assente; debolmente adesivo; plastico; pori fini pochi; radici assenti; concrezioni carbonatiche comuni, medie e fini; effervescenza all'HCl violenta.</p>
	<p>Classificazione</p> <p>Soil Taxonomy (SSS, 2022): Typic Ustorthents, Fine-silty, mixed, Calcareous, mesic</p> <p>WRB (IUSS, 2022): Calcaric Eutric Regosols (Loamic)</p>

Ringraziamenti

Un grande grazie ad Alessandro Buscaroli e Denis Zannoni, che mi hanno permesso di svolgere un'attività a 360°, dal campo al laboratorio, e che mi hanno seguito in ogni step del percorso.

Ringrazio Luciano Callegari, per aver condiviso la memoria storica delle Salse di Nirano, con foto e racconti.

Ringrazio il mio più grande sostenitore e amico Lorenzo, che nonostante la scelta di studi diversa e le avversità mi è stato sempre accanto, facendo il tifo come nessun altro.

Un grazie anche alla natura, che ci permette di osservare fenomeni e paesaggi di un'infinita bellezza.

