



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI SCIENZE MM. FF. NN.

Dipartimento di Geoscienze
Direttore Prof.ssa Cristina Stefani

TESI DI LAUREA MAGISTRALE
IN
GEOLOGIA E GEOLOGIA TECNICA

**CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E
MINERALOGICA DEI TERRENI COINVOLTI
IN FRANE SUPERFICIALI DELLA PROVINCIA
DI VICENZA**

Relatore: Dott. Mario Floris
Correlatori: Dott. Enrico Busnardo
Dott. Michele Secco

Laureando: Loris Dalla Costa

ANNO ACCADEMICO 2013 / 2014

INTRODUZIONE.....	1
1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	3
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-TECNICO.....	9
3. METODOLOGIE	13
3.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO	13
3.1.1. Fara Vicentino	13
TUF E LAVE - OLIGOCENE	14
DEPOSITI ELUVIALI.....	15
DEPOSITI COLLUVIALI	15
DEPOSITI DI FRANA	15
3.1.2. Cornedo Vicentino	16
BASALTI DI COLATA - EOCENE MEDIO	16
DEPOSITI ELUVIALI.....	17
DEPOSITI COLLUVIALI	18
3.2. DESCRIZIONE DEI FENOMENI FRANOSI	18
3.2.1. Fara Vicentino	18
3.2.2. Cornedo Vicentino	21
3.3. CAMPIONAMENTO DI CAMPAGNA	22
3.3.1. Fara Vicentino	22
3.3.2. Cornedo Vicentino	25
3.4. PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO	26
3.4.1. Analisi granulometrica	27
Preparazione dei campioni.....	27
Analisi granulometrica per vagliatura	28
Analisi granulometrica per sedimentazione (aerometria)	30
3.4.2. Limiti di Atterberg.....	32
Preparazione dei campioni.....	33
Limite di Liquidità (W_L).....	33
Limite di Plasticità (W_P)	35
3.5. ANALISI MINERALOGICHE.....	37
3.5.1. Diffrazione a raggi X da polveri, aspetti teorici.....	37
Cenni teorici, setup strumentale e analisi qualitativa di fase	37
Analisi quantitativa: metodo Rietveld	38
3.5.2. Diffrazione a raggi X da polveri su campione totale	40
3.5.3. Diffrazione a raggi X da polveri sulla frazione fine.....	44
4. RISULTATI	47
4.1. RISULTATI DELLE PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO	47
4.1.1. Analisi granulometrica	47
4.1.2. Limiti di Atterberg.....	55
4.2. RISULTATI DELLE ANALISI MINERALOGICHE	59
4.2.1. Diffrazione a raggi X da polveri su campione totale	59
4.2.2. Diffrazione a raggi X da polveri sulla frazione fine.....	70
5. CONCLUSIONI	81
RINGRAZIAMENTI	85
ALLEGATI	87
5.1.1. Risultati delle prove geotecniche di laboratorio relative ai campioni FARA01-25 .	87
5.1.2. Risultati delle prove geotecniche di laboratorio relative ai campioni FARA26-50 .	88
5.1.3. Risultati delle prove geotecniche di laboratorio relative ai campioni CORN01-30	89
5.1.4. Risultati delle analisi mineralogiche relative ai campioni FARA01-25	90
5.1.5. Risultati delle analisi mineralogiche relative ai campioni FARA25-45	91
5.1.6. Risultati delle analisi mineralogiche relative ai campioni CORN01-30	92
BIBLIOGRAFIA.....	93

INTRODUZIONE

La presente tesi si inserisce in un progetto di ricerca volto a definire un modello numerico atto a descrivere i fenomeni franosi superficiali che coinvolgono le coltri di alterazione delle rocce vulcaniche effusive. In particolare il progetto vuole comprendere se esistono delle caratteristiche mineralogiche predisponenti e come quest'ultime influenzino il comportamento geotecnico dei depositi interessati da fenomeni franosi.

La fase iniziale del progetto di cui il presente elaborato è parte, consiste nella definizione dei parametri geotecnici indice e delle fasi mineralogiche presenti nei terreni coinvolti nelle frane superficiali.

Lo studio è stato circoscritto al territorio collinare della provincia di Vicenza. In particolare esso coinvolge i Monti Lessini Orientali e le colline di Marostica. In queste zone gli eventi franosi più frequenti risultano essere gli *scivolamenti* e le *colate di terra* (secondo la classificazione di Varnes, 1978), la totalità dei quali interessa i terreni superficiali costituiti da depositi eluviali e colluviali originati dall'alterazione dei basalti e dei tufi Terziari sottostanti.

I depositi in questione, ad una prima analisi visiva, sono costituiti, per la stragrande maggioranza, da terreni a grana fine, con rari inclusi ghiaiosi. Pertanto ci si è concentrati sulla caratterizzazione della parte fine, che molto probabilmente controlla l'innescò e lo sviluppo dei fenomeni franosi stessi.

Attraverso l'attività di stage svolto presso la Provincia di Vicenza, precisamente nell'Ufficio Difesa del Suolo, è stato possibile catalogare tutti i progetti di sistemazione relativi ai dissesti gravitativi e selezionarne due che rappresentano le due tipologie di frane suddette: lo scivolamento di Fara Vicentino e la colata di Cornedo Vicentino.

L'approccio metodologico è stato doppio: dapprima è stata eseguita una caratterizzazione geotecnica di dettaglio (analisi granulometrica e limiti di Atterberg); quindi si è proseguiti con la determinazione delle fasi mineralogiche presenti (diffrazione ai raggi-X delle polveri).

L'obiettivo finale che ci si prefigge è quello di caratterizzare in dettaglio quali sono i parametri, o i rapporti tra di essi, che predispongono i depositi ad essere coinvolti in un tipo di movimento, piuttosto che un altro.

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le aree di studio sono situate nella porzione collinare della Provincia di Vicenza, sui Lessini Orientali e sulle colline del Marosticano, entrambi all'interno del Sudalpino (Fig.1).

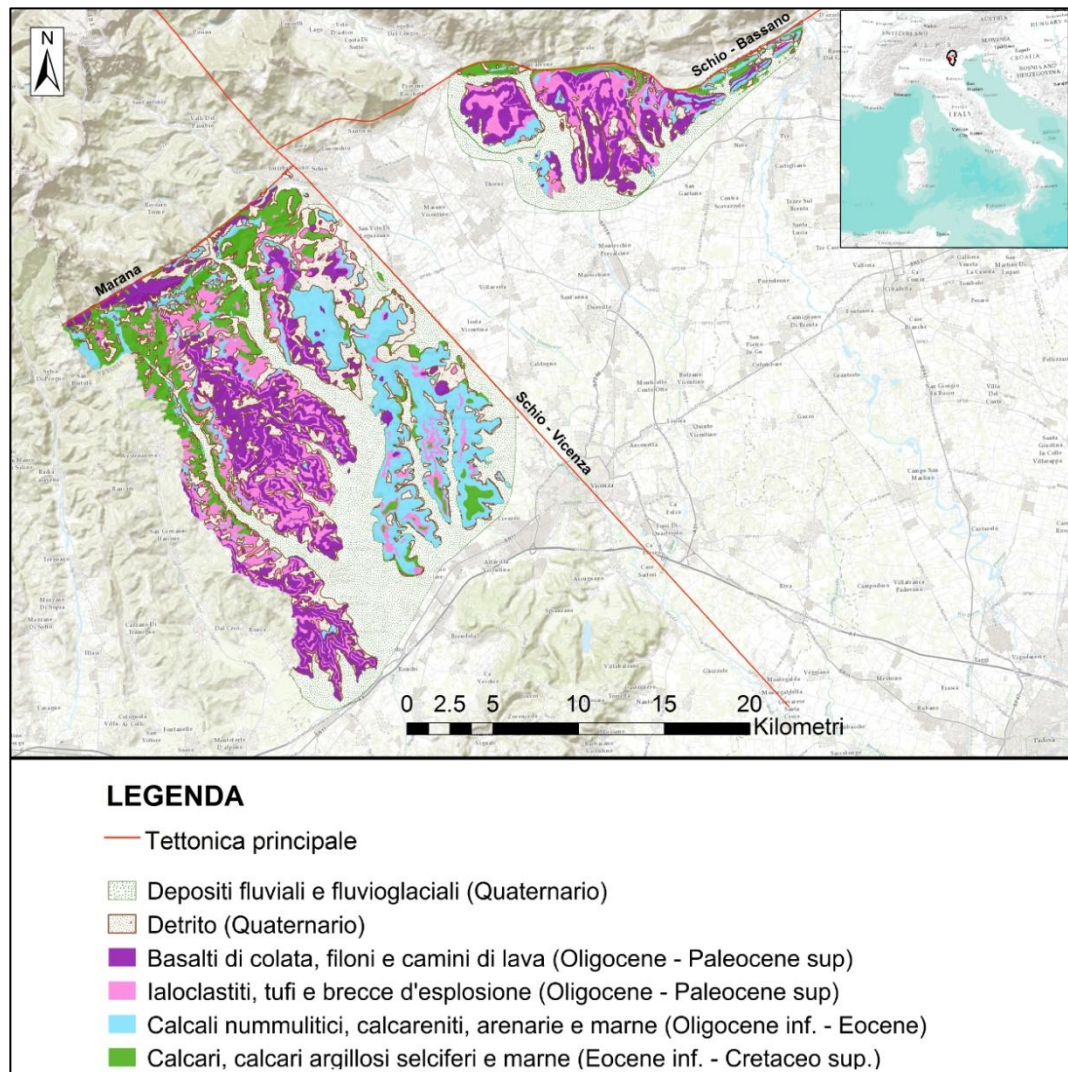


Fig.1- Carta geologica delle aree studio. Da ovest a est: Lessini Orientali e Marosticano.

Dal punto di vista paleogeografico la zona in esame è posta all'interno della piattaforma carbonatica terziaria, nota come Lessini Shelf (Bosellini, 2004, 1989), localizzata tra il Veneto ed il Trentino, estendendosi dagli odierni Lessini Orientali fino al Fiume Piave. Essa si impostò su di un antico alto strutturale giurassico – cretacico – paleocenico, noto come Piattaforma Atesina, che durante

l'orogenesi alpina venne frammentata da una serie di faglie listriche in 'alti' e 'bassi' strutturali, successivamente iniettati da vulcaniti basiche. Gli alti strutturali permisero, fino dall'Eocene inferiore, una sedimentazione carbonatica tipica di laguna tropicale che, espandendosi lateralmente, diede forma alla Lessini Shelf, collegata a nord con la terra emersa (attuale Trentino) e circondata da mare profondo (Fig. 2).

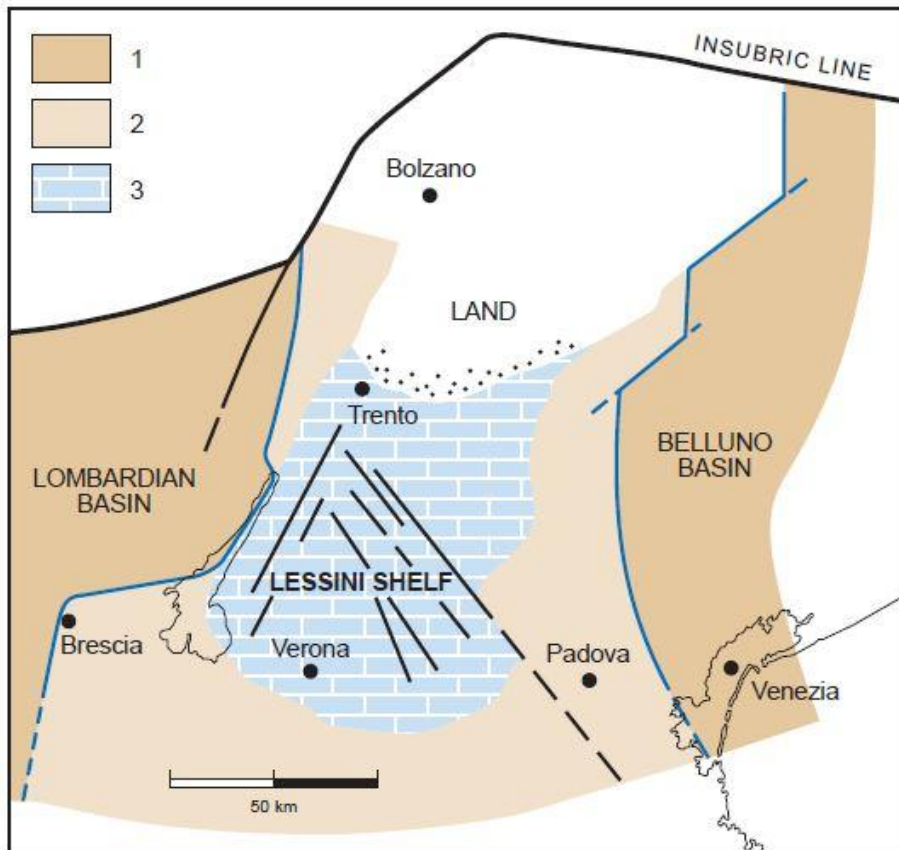


Fig.2- Lessini Shelf, tratto da Bosellini 2004. 1) Sedimenti marini dei precedenti bacini giurassici (bacino Lombardo e bacino di Belluno); 2) Argilliti e marne pelagiche paleogeniche sovrastanti la piattaforma giurassica di Trento; 3) Calcarei di barriera paleogenici della Lessini Shelf.

Nel Cenozoico iniziò un'intensa attività vulcanica che ammassò enormi depositi di breccie, tufi, ialoclastiti e basalti (Piccoli, 1966), manifestazioni vulcaniche basiche e ultrabasiche (Bellieni et al., 2010).

I magmi uscirono da fenditure del suolo, oppure da veri e propri condotti eruttivi. Non si conservano tracce di apparati vulcanici tipici, perché o non poterono costituirsi sul movimentato mare o, formati durante i periodi subaerei, furono

poi abrasati e demoliti nelle successive trasgressioni marine. Come testimonianza dell'attività vulcanica non solo cenozoica, oggi rimangono i resti di numerosi condotti eruttivi (necks), come nel Monte Mucchione di Valdagno e nel bacino lignifero del M. Pulli.

L'effusione delle colate basaltiche si svolse anche lungo fessurazioni aperte in direzione prevalentemente meridiana ed in ambiente sottomarino. Anche nella valle del Chiampo e dell'Agno i basalti del Rio, della Piana dell'Arpega, e del Resténa, nonché quelli disseminati lungo la dorsale destra dell'Agno, fino a Montecchio Maggiore, dimostrano la grandiosità dell'attività eruttiva "bericolessinea", così denominata perché interessò anche i Monti Berici e il Marosticano.

L'attività eruttiva cenozoica o terziaria è stata studiata da molti geologi tra i quali vanno ricordati G. Piccoli, G. Schiavinato, Gp. De Vecchi, Bellieni e Vison. Gli autori non concordano nel numero delle fasi eruttive, alcuni si limitano a tre periodi, altri ammettono una dozzina di fasi eruttive principali di breve durata, con precisa definizione cronologica, caratterizzata da una propria biozona a foraminiferi planctonici, che inquadra l'effusione magmatica di durata inferiore (Antonelli et al., 1990).

La prima fase vulcanica (Paleocene superiore-Eocene medio) fu quasi tutta sottomarina con ampie colate di lave a cuscini, cumuli di tufi subacquei, nonché abbondanti ialoclastiti. Si attuò nella Valle del Chiampo e nella media valle dell'Agno.

Il secondo ciclo si verificò nell'Eocene medio; iniziò in condizioni subacquee e terminò in ambiente subaereo. Venne coinvolta la fossa tettonica (graben) denominata "graben Alpone Chiampo" (Piccoli, 1966; Barbieri et al., 1982; Barbieri & Zampieri, 1992; Zampieri 1995), che dalla zona occidentale dei Colli Berici si estendeva a nord fino a raggiungere la Valle dell'Agno all'altezza di Valdagno. Una volta che il graben venne riempito di lave e tufi, si attuò il sollevamento subaereo delle dorsali della valle del Chiampo, col grande complesso del monte Calvarina e quelli non meno estesi del monte Faldo e Nogarole (Bosellini et al., 1967). I tufi di questa fase hanno colorazione diversa in

funzione del grado di ossidazione , quindi dell'ambiente in cui sono stati effusi. Non mancano al loro interno proietti, bombe vulcaniche, lave scoriacee, che testimoniano la condizione aerea dell'attività vulcanica.

Nell'Eocene superiore ci fu stasi eruttiva nel Vicentino, mentre iniziò una fase eruttiva basica nei Colli Euganei, che durò fino all'Oligocene inferiore.

Il ciclo oligocenico medio, testimoniato dai necks messi in vista dall'erosione, fu in gran parte sottomarino. Laddove l'erosione asportò i suoi vasti depositi piroclastici, si possono talora osservare i necks di adduzione delle lave in camini di lava basaltica, oppure in camini pieni di breccie d'esplosione (con clasti strappati dalle pareti dei necks). L'attività esplosiva fu frequente nella fase oligocenica.

Anche il vulcanesimo Marosticano (Oligocene medio e superiore) si attuò a più riprese, con l'emissione di grandi volumi di basalti. Nei pressi di Priabona e nel Marosticano si concluse, forse nel Miocene inferiore, la vasta attività piroclastica terziaria berico-lessinea.

La dinamica eruttiva ebbe un crescendo, spostandosi da occidente a oriente, nella pressione e nella velocità di risalita ed effusione dei magmi, con una chiara tendenza verso fasi sempre più esplosive (Piccoli, 1966; De Boer, 1963). Si comprende perché solo nella zona vicentina più orientale i necks e i filoni riuscirono a farsi strada fino alla sommità degli strati, espandendosi perfino sopra alle calcareniti oligoceniche o alle formazioni mioceniche.

Dal punto di vista tettonico, il vulcanismo presente nella provincia di Vicenza si impostò in un ambiente caratterizzato da una tettonica distensiva (Zampieri, 2000), con una prevalente direzione NW-SE (sistema della faglia Schio-Vicenza). La faglia Schio-Vicenza, e la parallela faglia di Castelvero, definiscono una zona tettonicamente più bassa rispetto alla porzione più a ovest (Piccoli, 1966), nella quale si può osservare un maggiore spessore delle vulcaniti.

Si ha conferma che l'allineamento delle bocche vulcaniche corrisponde alle linee di faglia. Lo si avverte già ad occidente nel Veronese riguardo alla faglia di Castelvero.

Vanno presentati alcuni importanti allineamenti di centri eruttivi da occidente a oriente: S. Giovanni Ilarione, Vestenavecchia, Purga di Bolca, Purga di Durlo, Monte Merlo, Monte Corpegani, Monte Guarda, Monte Castellaro, Monte Calvarina, Monte Madarosa, Case Fiori di Vignaga; Monte Tesoro, Zerbati di Altissimo, Nogarole (Chiampo), Monte Main di Arzignano, apparato esplosivo di Marana con i necks di Bressavaldà.

L'allineamento nella direzione della faglia Schio-Vicenza trova i centri eruttivi oligocenici di Mucion, Case Zaupa, Grumo Peloso, Castelgomberto con un cratere di 850 m di diametro, Monte Schiavi con il suo neck basaltico, Monte Costi di S.Urbano, SS. Trinità, Castelli di Montecchio Maggiore (Arcaro & Cocco, 2002).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-TECNICO

Dalla consultazione dei progetti di sistemazione dei dissesti, messi a disposizione dalla Provincia di Vicenza, sono stati realizzati due profili geologico-tecnici relativi alle due aree studio. I profili geologico-tecnici costituiscono il risultato di un'analisi critica degli elaborati redatti da professionisti, materiale nel complesso molto eterogeneo per quanto concerne la restituzione dei risultati. Questo significa che le stratigrafie, i parametri morfometrici e geotecnici non sono stati determinati per ogni progetto, visto che in alcuni casi la relazione geologica consisteva semplicemente in un inquadramento geologico seguito dalla descrizione del dissesto.

Dall'elaborazione dei dati relativi ai 13 progetti ubicati nei Lessini Orientali è stato realizzato il profilo rappresentato in Tab.1, mentre dai dati associati ai 15 progetti ubicati nel Marosticano è stato realizzato il profilo geologico-tecnico rappresentato in Tab.2.

Orizzonte	Descrizione	Spessore [m]	γ [kN/m ³]	C_u [kPa]	ϕ' [°]
A	terreno vegetato/antropizzato	0.1-5.2			
B1	deposito argilloso-limoso da molle a mediamente consistente	1.0-8.0	16	0-30	37
B2	deposito limoso-argilloso da mediamente a molto consistente con inclusi basaltici/tufacei	1.0-8.0	18-19	11-150	34-42
C	substrato roccioso costituito da basalto/tufi (da -7.0 a -18.0 m)		22-24		

Tab.1- Profilo geologico-tecnico dei terreni coinvolti da frane superficiali presenti nei Lessini Orientali.

Orizzonte	Descrizione	Spessore [m]	γ [kN/m ³]	C_u [kPa]	ϕ' [°]
A	terreno vegetato/antropizzato	0.5-2.5			
B1	deposito argilloso-limoso da molle a mediamente consistente	1.0-6.8	16-19	5-50	0-24
B2	deposito limoso-argilloso da mediamente a molto consistente con inclusi basaltici/tufacei	0.6-4.0	18-20	13-330	0-38
C	substrato roccioso costituito da basalto/tufi (da -2.0 a -8.0 m)		21-24		

Tab.2- Profilo geologico-tecnico dei terreni coinvolti da frane superficiali presenti nel Marosticano.

Dai profili si può osservare che sia per i Lessini Orientali che per il Marosticano sono individuabili quattro orizzonti, nel complesso costituiti dai medesimi terreni e litologie. Il primo orizzonte è rappresentato dal terreno vegetato, sostituito in alcuni casi dal manto stradale. Segue poi un deposito argilloso-limoso da molle a mediamente consistente ($C_u=0-50$ kPa). Il terzo orizzonte è invece costituito da un deposito limoso-argilloso da mediamente a molto consistente ($C_u=11-330$ kPa), contenente inclusi basaltici o tufacei; tale orizzonte incorpora quindi porzioni alterate e disgregate della roccia sottostante. Il quarto orizzonte è rappresentato dal substrato roccioso, costituito talora da basalti o da tufi.

Si può notare che nei terreni dei Lessini Orientali la coltre d'alterazione del substrato roccioso può raggiungere spessori anche di 18 m, contro i 7.5 m nel Marosticano; inoltre, i terreni dei Lessini Orientali tendono a possedere dei parametri di resistenza al taglio mediamente maggiori rispetto a quelli del Marosticano.

Dalla lettura critica dei progetti è emerso che il piano di scivolamento dei dissesti si colloca generalmente tra l'interfaccia B1/B2, oppure all'interno di B1, quindi

ad una profondità variabile di 3-9 m nei Lessini Orientali e di 1.5-7 m nel Marosticano.

Dal punto di vista della dinamica, i fenomeni franosi considerati nelle aree studio sono stati tutti classificati come *Scivolamenti traslazionali/rotazionali di terra* o *Colate di terra*; dalla consultazione dei progetti risulta che il 90% delle frane superficiali appartengono alla categoria degli scivolamenti, mentre il restante 10% sono classificate come colate.

3. METODOLOGIE

3.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO

Attraverso il rilevamento geologico di dettaglio e dai dati raccolti da lavori professionali inediti, sono state individuate le principali litologie coinvolte dai dissesti e le caratteristiche geometriche delle frane. Tra queste la scelta di approfondire le osservazioni è caduta sul dissesto di Fara Vicentino e su quello di Cornedo Vicentino.

3.1.1. Fara Vicentino

L'area di indagine è situata nel settore centro-settentrionale della Provincia di Vicenza, nell'ambito del territorio prevalentemente collinare del Comune di Fara Vicentino, e più precisamente lungo via Costa (Fig.3)

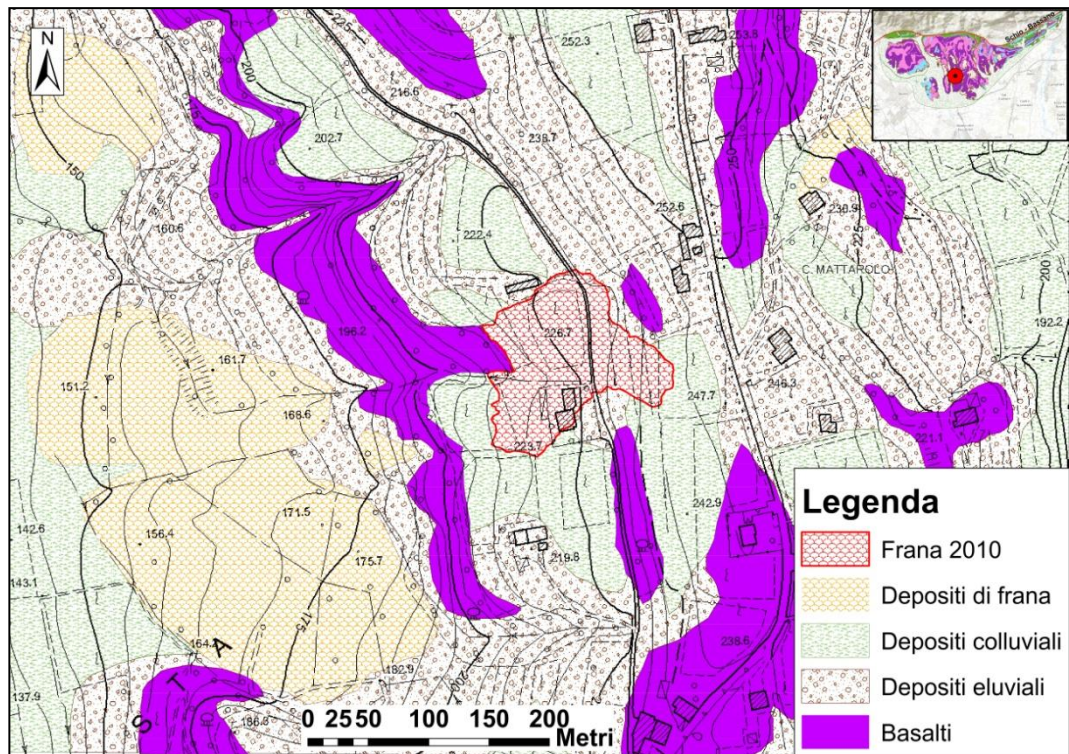


Fig.3- Carta geologica dell'area coinvolta dal dissesto.

TUFI E LAVE - OLIGOCENE

Appartengono a manifestazione vulcaniche di tipo basico che si originarono dal Cretaceo superiore all'Oligocene e localmente al Miocene nella zona dei Lessini sud-orientali, dei Berici e nel Marosticano.

L'attività vulcanica oligocenica è testimoniata localmente principalmente da tufi, da lave compatte di colata, da lave protoclastiche e dai prodotti di disfacimento quali le ialoclastiti e le breccie.

Le colate laviche si rinvengono in tutto il settore rilevato a vari livelli: i principali affioramenti si osservano lungo le incisioni lineari che si sviluppano nel settore inferiore del pendio ove si ubica l'area in frana. Un altro affioramento è visibile a monte della nicchia di distacco del dissesto in esame nel lato nord. Queste colate sono costituite nella parte superiore da lave bollose, notevolmente alterate e con una colorazione grigio scuro, mentre in quella inferiore da basalti neri più compatti. Queste unità mostrano numerosi caratteri delle vulcaniti subaeree.

Anche i tufi sono presumibilmente presenti in tutta l'area di rilevamento, ma la tendenza di queste rocce ad alterarsi molto rapidamente in superficie, generando coltri argillose talora molto spesse, determina la quasi totale assenza di loro affioramenti. Essi costituiscono il substrato roccioso principale dell'area in frana e la loro esistenza è stata rilevata in seguito alla realizzazione di un sondaggio a carotaggio continuo.

In merito al loro assetto stratigrafico, osservando la morfologia dell'area di studio, è plausibile che nell'ambito dei settori a bassa-bassissima inclinazione il substrato roccioso sia costituito da prodotti tufacei (anche ialoclastitici), mentre ove il versante assume maggior pendenza il substrato è costituito dalle colate basaltiche. Dal punto di vista idrogeologico, questi ammassi risultano avere di norma una permeabilità da molto bassa a nulla, a parte gli ammassi lavici basaltici che possono presentare una permeabilità media.

DEPOSITI ELUVIALI

I depositi eluviali riconosciuti si presentano in due litofacies principali differenziate in relazione alla natura delle rocce da cui si sono originati e dalla quantità di matrice.

Alla base dei versanti in cui il substrato roccioso è rappresentato dai basalti compatti si rinvengono depositi clasto-sostenuti, con porosità intraclastica occlusa da matrice limoso-argillosa. Sono costituiti da elementi basaltici sub-rotondeggianti, fortemente cariati, di dimensioni da decimetriche a millimetriche immersi in una matrice limoso-argillosa, prodotto dell'incipiente alterazione dei basalti stessi.

Ove il substrato roccioso è costituito da tufi i depositi di eluviale presentano abbondante matrice tendenzialmente argillosa ed i clasti sono principalmente costituiti da elementi basaltici di dimensioni da centimetri a millimetriche, quindi minori rispetto al caso precedente.

DEPOSITI COLLUVIALI

Costituiti prevalentemente da matrice limoso-argillosa con rari clasti eterometrici di natura basaltica, si sono accumulati nelle aree sub-pianeggianti ed alla base dei versanti. L'origine di molti di questi depositi nell'ambito dei versanti è da imputarsi all'attività antropica legata alla movimentazione del terreno nelle varie fasi agricole (dissodatura, spietramento, ecc.), che ha determinato la classazione granulometrica ed agevolato l'alterazione della componente clastica.

DEPOSITI DI FRANA

Nell'ambito del settore rilevato oltre al corpo di frana oggetto d'analisi di dettaglio, sono stati riconosciuti altri 5 corpi di frana d'età più antica e nel complesso apparentemente stabilizzati. Tutti i dissesti hanno interessato in maniera più o meno profonda i depositi eluviali ed i depositi colluviali.

Tre di questi corpi di frana, in particolare, si rinvengono alla base del pendio ove si rinviene il dissesto in esame. Si tratta di colate di terra mobilitatesi dal settore di versante ove si è innescato il dissesto in esame.

Gli altri due corpi sono invece ubicati nell'ambito del pendio il primo a monte di quelli appena descritti, mentre il secondo oltre la dorsale verso est presso C. Mattarolo.

3.1.2. Cornedo Vicentino

L'area di indagine è situata nel settore centro-occidentale della Provincia di Vicenza, nell'ambito del territorio prevalentemente collinare del Comune di Cornedo Vicentino, e più precisamente in prossimità di C.da Fini (Fig.4).

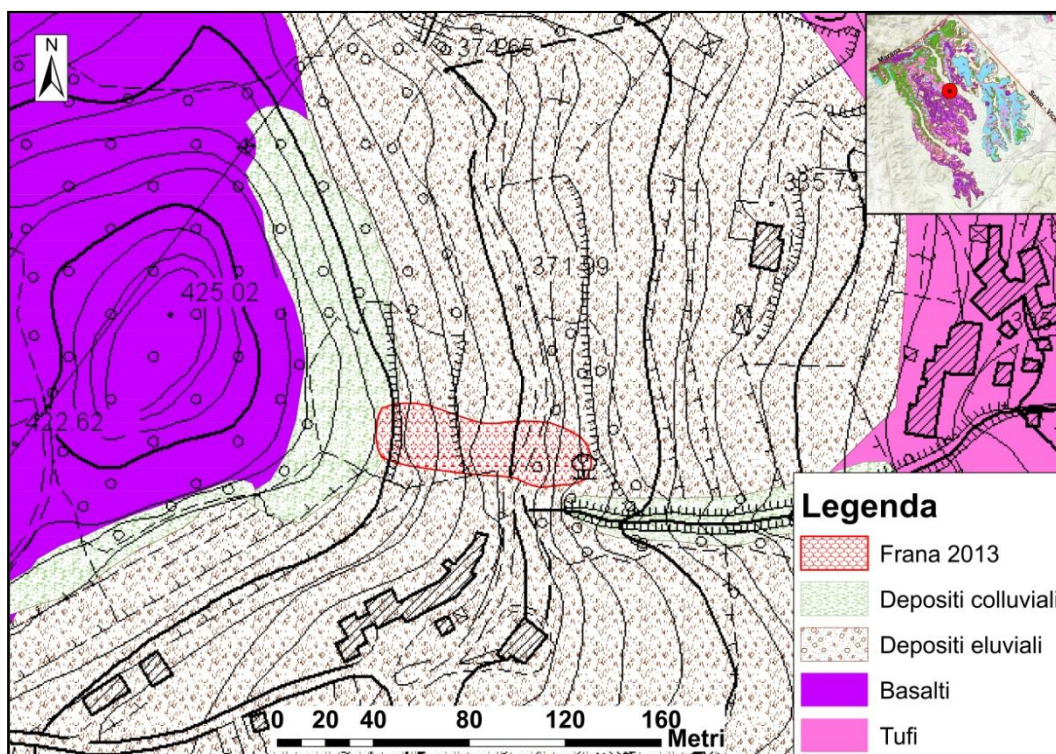


Fig.4- Carta geologica dell'area coinvolta dal dissesto.

BASALTI DI COLATA - EOCENE MEDIO

Alle rocce vulcaniche che caratterizzano la prima fase dell'attività eruttiva terziaria nei Lessini, fa seguito una potente sequenza di prodotti effusivi, testimoniata nell'area studio da basalti di colata.

Questi basalti sono costituiti sia da colate sotto marine che subaeree ma risulta pressoché impossibile riconoscere e correlare i vari affioramenti, spesso molto alterati e comunque limitati, per delimitare le singole unità di colata.

L'alterazione risulta infatti sempre molto spinta per l'argillificazione incipiente lungo le discontinuità della roccia, evidente per la tipica colorazione rossastra o vinaccia prodotta da una diretta e prolungata esposizione agli agenti atmosferici.

Queste rocce costituiscono il substrato principale dell'area in frana, ed essendo molto sensibili ai processi fisico-chimici di alterazione, danno luogo a terreni limo-argillosi che possono raggiungere spessori notevoli, come è evidente nell'area studio.

Gli sporadici affioramenti mostrano che l'attività vulcanica fu caratterizzata nella parte bassa della serie da colate subacquee nelle quali si riconoscono talora alcuni pillows e strutture ialoclastitiche.

A questi prodotti seguono notevoli spessori di basalti compatti che è possibile osservare lungo le incisioni delle principali vallecole; quest'ultimi sembrano testimoniare espandimenti di lava molto fluida e ad alta temperatura, messi in posto in una fase di attività ristretta nel tempo. Tipiche di queste lave sono le fessurazioni colonnari, con colonne molto sviluppate in altezza, continue o più spesso con ulteriore suddivisione in prismi secondo un sistema di fessurazione secondario normale al senso di allungamento delle colonne. E' interessante notare che tutti i muretti a secco presenti nell'area studio sono costituiti proprio da blocchi prismatici di basalto colonnare.

Il valore di permeabilità di queste formazioni varia a seconda del grado di fratturazione e degradazione dell'ammasso ma si possono considerare nell'insieme praticamente impermeabili con $K < 10^{-6}$ cm/s, anche se localmente una modesta circolazione idrica può avvenire tra le fessure della roccia.

DEPOSITI ELUVIALI

Si tratta di materiali derivanti dal disfacimento in sito del substrato roccioso (Castiglioni, 1989) e costituiti da frammenti detritici basaltici fortemente alterati, da grossolani a minuti, che fanno transizione con le terre fini più superficiali.

Essi coprono al roccia madre con una coltre che in genere può raggiungere spessori di variati metri; nel sito ove è stato eseguito il campionamento, la suddetta coltre raggiunge spessori superiori ai 10 m.

DEPOSITI COLLUVIALI

Nei tratti dove è più intenso il processo di dilavamento, i terreni, costituenti la coltre d'alterazione del substrato, possono venire asportati per poi essere rideposti, soprattutto nella fascia adiacente al rilievo collinare, dando luogo a coperture colluviali. Dal punto di vista granulometrico questi materiali presentano quasi sempre una certa omogeneità anche se spesso possono inglobare materiali grossolani estranei.

3.2. DESCRIZIONE DEI FENOMENI FRANOSI

Verranno ora riportate le principali caratteristiche geometriche dei due fenomeni franosi studiati e classificati in base alla classificazione di Varnes (Tab.3).

Tipo di movimento	Tipo di materiale		
	Roccia (<i>rock</i>)	Roccia sciolta o terra (<i>engineering soil</i>)	
		Detrito grossolano (<i>debris</i>)	Detrito fine (<i>earth</i>)
Crollo (<i>fall</i>)	Crollo di roccia	Crollo di detrito	Crollo di terra
Ribaltamento (<i>topple</i>)	Ribaltamento di roccia	Ribaltamento di detrito	Ribaltamento di terra
Scivolamento (<i>slide</i>)			
rotazionale (<i>rotational</i>)	Scivolamento rotaz. di roccia	Scivolamento rotaz. di detrito	Scivolamento rotaz. di terra
traslativo (<i>translational</i>)	Scivolamento trasl. di roccia	Scivolamento trasl. di detrito	Scivolamento trasl. di terra
Espansione laterale (<i>spread</i>)	Espansione di roccia	Espansione di detrito	Espansione di terra
Colata (<i>flow</i>)	Colata di roccia	Colata di detrito	Colata di terra

Tab.3- Classificazione di Varnes (1978).

3.2.1. Fara Vicentino

Il dissesto in esame si ubica su di un versante esposto a ovest, a valle di una arteria viaria secondaria (via Costa), e interessa una strada vicinale parallela a via Costa. Il versante, ricoperto prevalentemente da vegetazione arborea ed in parte coltivato a vigneto, risulta essere da mediamente a poco inclinato, possedendo una pendenza variabile da 10° a 15°. Il dissesto, che si è verificato a seguito degli eventi meteorologici eccezionali avvenuti nel mese di novembre 2010, è costituito da un'ampia nicchia di distacco a forma arcuata, di ampiezza di 85-90 m (Fig.6), con ciglio superiore alla quota massima di ca. 240 m s.l.m. e piede alla quota di

ca. 215 m s.l.m. , quindi con un dislivello complessivo dell'area in dissesto di circa 25 m. L'evento ha provocato il crollo di un'abitazione posta a valle di via Costa, ad una quota di ca. 224 m s.l.m. (Fig.5).



Fig.5- Cedimento dell'abitazione sul lato est.

Il dissesto è inoltre evidenziato dalla presenza di fessure nel terreno sia nel settore apicale che in quello mediano ed inferiore, con la formazione di evidenti scarpate (Fig.7); la disposizione di queste spaccature e dei relativi gradini di frana indicano che l'attività di mobilitazione del deposito eluviale è concorde con la direzione di massima pendenza topografica. La superficie di rottura del corpo di frana è molto ben definibile in tutto il margine superiore e in gran parte dei margini laterali. Sulla base delle indagini geognostiche il dissesto presenta spessori massimi di 6,0-7,0 m. In base della classificazione proposta da Varnes (1978) la frana in studio è definibile in questa prima fase come “scivolamento rotazionale di terra” (Earth slump).



Fig.6- Nicchia di distacco della frana.



Fig.7- Scarpate secondarie della frana.

3.2.2. Cornedo Vicentino

Il dissesto in studio si ubica su di un versante esposto a sud-est, in particolare a monte della strada che da C.da Fini porta a C.da Gobbi Bassi. Il versante, ricoperto prevalentemente da alberi ad alto fusto, risulta essere mediamente inclinato, possedendo una pendenza media di 25° . Il dissesto, che si è verificato a seguito degli intensi eventi meteorologici avvenuti nel mese di maggio 2013, è costituito da una nicchia di distacco a forma leggermente arcuata, di ampiezza di 20 m, con coronamento alla quota massima di ca. 395 m s.l.m. e piede alla quota di ca. 370 m s.l.m. , con un dislivello complessivo dell'area in dissesto di circa 25 m. Si può chiaramente notare che l'attività di mobilitazione del deposito eluviale è concorde con la direzione di massima pendenza topografica. La superficie di rottura del corpo di frana è perfettamente definibile in tutto il margine superiore e lungo i fianchi della stessa (Fig.8). È ben visibile anche la parte sommitale della superficie di scorrimento. Sulla base del rilevamento geologico si è constatato che il dissesto presenta spessori massimi di 4.0 m.



Fig.8- Superficie di rottura della frana. In rosso sono evidenziati il coronamento e i fianchi della frana.

Sulla base della classificazione proposta da Varnes (1978) il dissesto in studio è definibile come “colata di terra” (Earth flow).

3.3. CAMPIONAMENTO DI CAMPAGNA

Allo scopo di caratterizzare i terreni vulnerati da dissesto è stato eseguito un campionamento di campagna, con la raccolta in totale di 80 campioni rimaneggiati.

3.3.1. Fara Vicentino

Per quanto riguarda la frana di Fara Vicentino, il campionamento è stato facilitato dalla precedente esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo, spinto fino alla profondità di 10 metri dal piano campagna. In origine le carote di terreno erano poste all'interno di due cassette catalogatrici, collocate nei pressi dell'abitazione dissestata dalla frana. Purtroppo durante il sopralluogo è stata rinvenuta soltanto la parte finale del sondaggio, cioè la porzione che va dai 5 a 10 metri di profondità (Fig.9), mentre la prima cassetta catalogatrice è stata trovata vuota.



Fig.9- Cassetta catalogatrice relativa alla porzione profonda del sondaggio.

Si è quindi provveduto alla ricostruzione della prima parte del sondaggio attraverso un campionamento di dettaglio; successivamente, dai risultati delle prove geotecniche e mineralogiche, è stata verificata la coerenza tra i dati dell'ultimo metro ottenuti dal campionamento di campagna e quelli relativi al primo metro di carotaggio presente nella cassetta catalogatrice. A tale scopo è stata individuata una scarpata secondaria della frana, ubicata all'interno del vigneto e situata a monte rispetto alla casa. La parete in questione è alta circa 3 metri e ben rappresenta la parte superiore del terreno franato. Dopo aver ripulito la scarpata dalle sterpaglie e dai primi centimetri di terreno, ove si trovano le radici del manto erboso, è stata posizionata una cordella metrica e si è proceduto al campionamento, dall'alto verso il basso.

E' stato scelto un passo di campionamento costante di 20 cm, quindi per ogni metro di scarpata sono stati raccolti 5 campioni. Ogni campione è stato ottenuto picchettando la parete con una piccozza, raccogliendo il materiale rimosso con l'ausilio di un piccolo badile e inserendolo all'interno di un sacchetto di nylon.

Raggiunta la base della parete, si è dovuto scavare in verticale per 2 metri sotto al piano campagna, in modo tale da campionare fino alla profondità complessiva di 5 metri dal ciglio della scarpata (Fig.10).

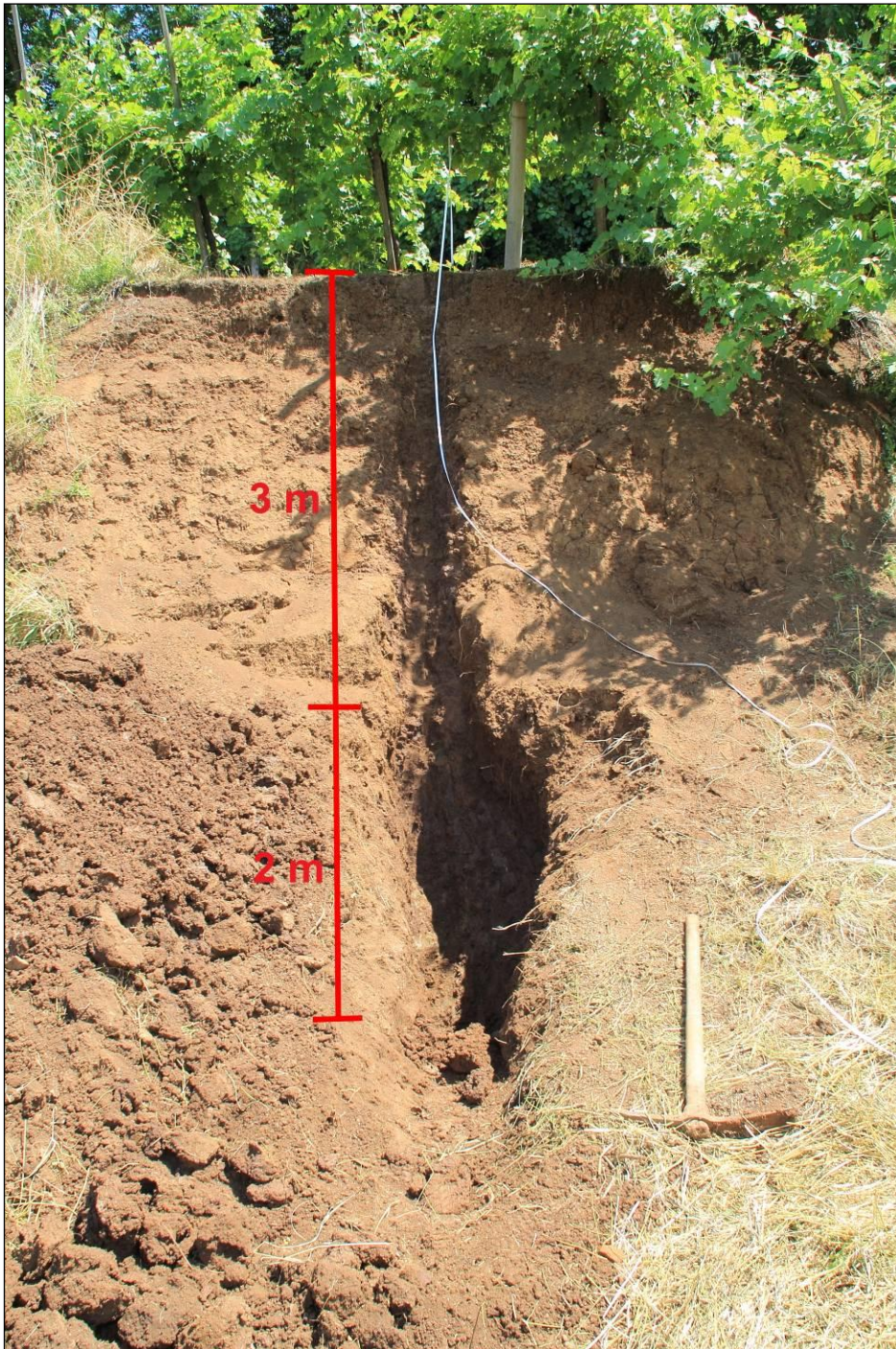


Fig.10- Scarpata secondaria della frana sulla quale sono stati campionati i primi 5 metri di terreno.

La parte profonda del sondaggio, presente all'interno della seconda cassetta catalogatrice, è stata campionata sempre con un passo di 20 cm.

Con questo metodo di campionamento sono stati confezionati 50 campioni, numerati in funzione della loro profondità, partendo dal campione FARA01 (0.00-0.20m) fino al campione FARA50 (9.80-10.00m).

3.3.2. Cornedo Vicentino

Per quanto concerne la frana di Cornedo Vicentino, il campionamento è stato eseguito interamente sulla parete subverticale che costituisce la scarpata nonché la parte sommitale della superficie di scivolamento della colata. Siccome la scarpata risulta alta ben 10 m, al fine di operare in assoluta sicurezza, è stato necessario effettuare il campionamento con l'ausilio dell'imbragatura, assicurata al tronco di un albero radicato in un'area stabile a monte rispetto al coronamento della frana (Fig.11).

Si è poi proceduto analogamente al campionamento di Fara Vicentino, quindi con il posizionamento della cordella metrica, pulitura della parete e confezionamento dei campioni.

E' stato scelto di campionare i primi 5 m con un passo di campionamento di 20 cm, mentre al di sotto si è raccolto un campione rappresentativo per ogni metro fino alla base della scarpata (-10m), in quanto il materiale risultava visivamente molto omogeneo.

Con questa metodologia di campionamento sono stati confezionati 30 campioni, numerati in funzione della loro profondità, partendo dal campione CORN01 (0.00-0.20m) fino al campione CORN30 (9.00-10.00m).



Fig.11. Campionamento sulla superficie di scivolamento della colata.

3.4. PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Allo scopo di caratterizzare i terreni coinvolti nei due dissesti sono state eseguite delle prove geotecniche di laboratorio, nella fattispecie la determinazione della distribuzione granulometrica e dei limiti di Atterberg.

Le prove geotecniche sono state realizzate all'interno del Laboratorio di Ingegneria Geotecnica presso il Dipartimento di Ingegneria Idraulica Marittima Ambientale e Geotecnica, via Ognissanti 39.

Le prove sono state eseguite su tutti gli 80 campioni raccolti, precisamente sui 50 campioni relativi a Fara Vicentino e sui 30 campioni relativi a Cornedo Vicentino, in modo tale da rilevare con precisione come variano le caratteristiche geotecniche in funzione della profondità.

3.4.1. Analisi granulometrica

La finalità del test granulometrico è stata quella di definire la distribuzione percentuale in peso dei granuli di diverso diametro che compongono ogni campione di terreno (Lancellotta, 1987), permettendo di determinare come varia la granulometria con la profondità.

Per l'analisi granulometrica completa sono stati utilizzati due differenti test di prova:

- l'analisi granulometrica per vagliatura;
- l'analisi granulometrica per sedimentazione (aerometria).

La vagliatura meccanica viene riservata alle frazioni con diametro di dimensione superiore a 0.075 mm; la sedimentazione viene attuata per l'analisi dimensionale delle frazioni fini, ovvero con diametro inferiore a 0.075 mm (passante al setaccio ASTM 200).

Preparazione dei campioni

Per ogni campione è stata prelevata una quantità rappresentativa di terreno, quindi inserito in un becher di vetro e sottoposto ad essiccazione in forno a 105°C per 24 ore. Al termine dell'essiccazione gli agglomerati di terreno sono stati eliminati mediante pestellatura in un mortaio di ceramica, agendo con attenzione al fine di non danneggiare la geometria dei singoli grani. Terminata l'accurata preparazione del campione (essiccazione e pestellatura) il provino è stato pesato per ottenere il peso totale iniziale del medesimo (P_i). Successivamente si è riversato il provino nel setaccio 200 ASTM, chiuso inferiormente dal fondo raccogliatore e

superiormente dal coperchio; questa operazione serve essenzialmente per ricavare 40 g di materiale fine da destinare all'analisi aerometrica. Recuperati 40 g di terreno fine, il provino è stato lavato attraverso il setaccio 200 ASTM per eliminare tutta la frazione fine rimasta. L'operazione di lavaggio si ritiene conclusa quando l'acqua che attraversa il setaccio si presenta limpida, cioè quando tutta la frazione fine è stata rimossa. Il campione rimasto sul setaccio è stato dunque rimesso nel becher e inserito in forno per altre 24 ore. Una volta essiccato, il provino è pronto per l'operazione di vagliatura.

Analisi granulometrica per vagliatura

L'apparecchiatura di prova necessaria è costituita da una serie standard completa di setacci. Da sottolineare come la normativa ASTM identifica i setacci con luci di maggiori dimensioni (ovvero con luci comprese tra 3" e 3/8") attraverso la lunghezza del lato della maglia; altresì identifica i setacci con luci ad apertura inferiore (dal setaccio n. 4 al n. 200) con il numero di maglie presenti su un pollice lineare.



Fig.12- Pila di setacci utilizzata per la vagliatura.

Nel caso specifico è stata utilizzata la seguente serie di setacci: 1/2" - 3/8" - 4 - 10 - 20 - 40 - 60 - 80 - 140 - 200 (Fig.12). Si procede quindi alla preparazione della serie standard di setacci prescelta posizionandola in successione, dal basso verso l'alto, con luci di dimensioni crescenti, completate dal raccogliatore alla base.

Il campione essiccato è stato riversato sul setaccio superiore, sigillando la serie di setacci mediante coperchio sommitale.

E' seguita la vagliatura del campione attraverso lo scuotimento manuale; per ogni setaccio costituente la pila sono state eseguite le operazioni di vagliatura e pesata del trattenuto con la bilancia (sensibilità 0.1 g). La vagliatura si ritiene conclusa quando proseguendo con l'operazione di scuotimento, per ciascun setaccio al di sopra di un foglio di carta pulito, non sono rilevabili (sul foglio medesimo) quantità apprezzabili di materiale.

Ciascun trattenuto al singolo setaccio è stato indicato con T_1, T_2, \dots, T_i , mentre le aliquote di trattenuto ai singoli setacci si ottengono dividendo T (con $i=1, 2, \dots, n$)

per il peso totale iniziale P_t . La percentuale di terreno passante per il generico setaccio (P_i) si ottiene dall'espressione:

$$P_i(\%) = \frac{P_t - (T_1 + T_2 + \dots + T_i)}{P_t} \cdot 100$$

Analisi granulometrica per sedimentazione (aerometria)

L'analisi granulometrica per sedimentazione trova fondamento teorico nella legge fisica di Stokes, secondo la quale la velocità di caduta verticale di una particella sferica all'interno di un fluido è funzione del diametro, del peso specifico del granulo, della viscosità e del peso di volume del fluido. Dalla legge di Stokes e dalla densità è stato così possibile calcolare le frazioni di particelle presenti nella sospensione in ciascun istante. Lo strumento di rilevazione della variazione di densità della miscela in funzione del tempo è rappresentato dal densimetro (o aerometro), ovvero da un galleggiante di vetro composto inferiormente da un bulbo tarato e superiormente dallo stelo graduato di rilevazione (Fig.13).



Fig.13- Set di cilindri graduati utilizzati per le aerometrie. Il cilindro centrale contiene il densimetro.

Con il procedere del test, al variare della densità della miscela terra-acqua (decrecita progressiva) si assiste alla corrispettiva diminuzione del grado di galleggiamento strumentale rilevabile attraverso lo stelo graduato; questo in seguito alla continua diminuzione della densità, ovvero del peso di volume della sospensione e della conseguente minore spinta di galleggiamento apposta dalla medesima.

La prova ha inizio con la preparazione della miscela acqua-terreno all'interno di un apposito contenitore metallico e procedendo poi all'omogeneizzazione mediante miscelatore elettrico per un periodo di circa 10 minuti. La miscela è stata preparata con 40 g di materiale passante al setaccio 200 ASTM e da un quantitativo d'acqua demineralizzata sufficiente a garantire l'operazione di miscelazione. Nel frattempo sono stati versati 20 ml di antiflocculante (silicato di sodio liquido) all'interno del cilindro graduato di capacità 1000 ml.

Al termine della fase di miscelazione il materiale viene trasferito nel cilindro graduato aggiungendo acqua demineralizzata fino al raggiungimento del livello di fede (1000 ml). Si procede quindi all'agitazione della miscela acqua-terreno sino a nuova e completa omogeneizzazione della sospensione, immergendovi quindi il densimetro e leggendo il peso di volume della miscela acqua-terreno a intervallo di tempo standardizzati pari a 10'' - 20'' - 30'' - 1' - 2' - 4' - 8' - 15' - 30' - 1h - 2h - 4h - 8h - 24h dal termine della fase di miscelazione.

La miscela acqua-terreno viene considerata nella fase iniziale del test omogenea e contraddistinta da peso di volume iniziale espresso dalla seguente formulazione:

$$\gamma_{(0)} = \gamma_a + \frac{G_s - 1}{G_s} \cdot \frac{P_s}{V}$$

dove

$\gamma_{(0)}$ = peso di volume miscela terra-acqua

γ_a = peso di volume della sola acqua

G_s = peso specifico dei granuli

P_s = peso secco del campione

V = volume

Considerando la profondità H_R relativa al centro del volume (C_{vol}) del densimetro utilizzato al generico istante t dall'inizio del test, nel settore del cilindro di prova compreso tra il pelo libero della miscela acqua-terreno e il piano orizzontale passante per C_{vol} non risulterebbero più presenti granuli contraddistinti da diametro maggiore di d definito come:

$$d = \sqrt{\frac{H_R}{Ct}}$$

mentre la presenza in soluzione di granuli aventi diametro inferiore a d resta invariata. Questo in seguito al comportamento e alla velocità di sedimentazione delle particelle granulari in quanto le particelle di dimensione maggiori di d hanno percorso una distanza maggiore nell'intervallo di tempo t considerato.

Pertanto la concentrazione percentuale di particelle di terreno di diametro inferiore a d è stata espressa nel seguente modo:

$$P_{\%} = \frac{100}{P_s} \cdot \frac{G_s}{G_s - 1} (R + m)$$

per

$$R = V(r + c - \gamma_a)$$

dove

r = misurazione condotta con il densimetro

m = coefficiente correttivo dovuto alla variazione della temperatura di prova rispetto al valore standard pari a 20 °C.

c = correzione al "menisco" relativa all'innalzamento del livello della miscela acqua-terreno lungo lo stelo di misura a una quota superiore a quella reale del pelo libero della soluzione.

3.4.2. Limiti di Atterberg

Un terreno a grana fine può presentarsi in quattro differenti stati fisici a seconda del suo contenuto d'acqua, e precisamente allo stato solido, semisolido, plastico o liquido. I limiti di Atterberg indicano proprio il valore limite del contenuto d'acqua per il quale si verifica una transizione dello stato fisico del terreno.

Le prove sono state eseguite, per ogni campione, sulla parte di terreno passante al setaccio 40 ASTM.

Preparazione dei campioni

La preparazione dei campioni è stata realizzata per mezzo di vagliatura del materiale umido con il setaccio 40 ASTM (apertura dei vagli pari a 0.42 mm). Nella fattispecie, per ogni campione è stata prelevata un'aliquota rappresentativa di terreno ed è stata aggiunta la quantità d'acqua demineralizzata strettamente necessaria per sgretolare gli agglomerati di terreno con l'ausilio di una spatola metallica. Ottenuto un impasto sufficientemente omogeneo, il terreno è stato vagliato al setaccio 40 ASTM con una piccola spatola di metallo, al fine di ottenere il provino da destinare alla determinazione dei limiti di Atterberg. Nei casi in cui la vagliatura a umido risultava difficoltosa per l'abbondanza della frazione grossolana, il provino è stato ottenuto previo lavaggio al setaccio 40 ASTM e successiva essiccazione in forno.

Limite di Liquidità (W_L)

Il limite di liquidità è definito come il contenuto d'acqua, espresso in percentuale, che determina il passaggio di un determinato terreno dallo stato liquido a quello plastico. Nel caso specifico è stato ottenuto con il metodo di Casagrande.

Innanzitutto è stata prelevata un'aliquota di terreno passante al setaccio 40 ASTM e la si è impastata con le spatole aggiungendo acqua demineralizzata. Si è dunque creata una pastella omogenea di terreno, quindi con il medesimo grado di umidità in ogni sua porzione. Il provino è stato poi messo all'interno della *cucchiaia di Casagrande* facendo attenzione alla eliminazione di eventuali bolle d'aria all'interno dell'impasto. Quindi l'impasto è stato livellato mediante spatola facendo attenzione a ottenere uno spessore massimo di materiale non superiore a 10 mm. Infine è stato inciso un solco diametrale mediante l'utilizzo di un apposito utensile standardizzato (Fig.14).

A questo punto, girando l'apposita manovella, è stata fatta cadere la cucchiaina di Casagrande precedentemente preparata da un'altezza di 1 cm con un frequenza pari a 2 colpi/secondo.

E' stato quindi registrato il numero di colpi N necessario a produrre la chiusura del solco diametrale per una lunghezza minima di 10 mm. Per il numero di colpi N è stata assunta una regione di accettazione limitata inferiormente da $N=15$ e superiormente da $N=35$, con un valore ideale di N pari a 25 colpi. Se il numero di colpi non risultava compreso nella regione di accettazione, la prova è stata ripetuta diminuendo o aumentando il contenuto d'acqua a seconda dei casi. Per diminuire il contenuto d'acqua della pastella è stata utilizzata la pietra porosa, mentre nel caso in cui N risultava maggiore di 35 è stata semplicemente aggiunta dell'acqua.

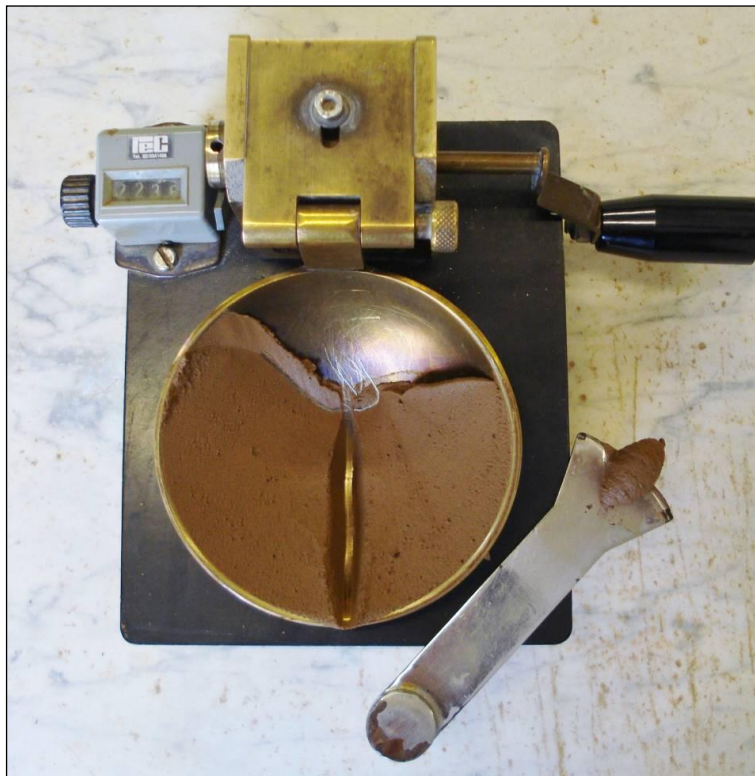


Fig.14- *Cucchiaina di Casagrande* utilizzata per la determinazione del limite di liquidità. Particolare del solco diametrale e dell'utensile utilizzato per effettuarlo.

Successivamente è stato prelevato un quantitativo del provino in prossimità del solco che si è chiuso, quindi posto su un vetrino numerato e tarato, pesato con la

bilancia di precisione (sensibilità 0.001 g) e messo in forno ad essiccare a 105°C per 24 ore. Trascorse le 24 ore, il provino è stato ripesato da secco con la bilancia di precisione; la differenza tra il peso del provino umido e secco risulta essere il peso d'acqua. Si procede quindi alla determinazione del contenuto d'acqua (W) di ciascun provino mettendolo in relazione al numero di colpi (N) ottenuto alla cucchiaia; il contenuto d'acqua è definito come il rapporto percentuale tra il peso d'acqua del provino e il peso secco del medesimo.

Teoricamente il valore del limite di liquidità (W_L) dovrebbe essere definito dall'interpolazione di una retta, risultante dall'esecuzione di 3-4 prove, con la verticale corrispondente a 25 colpi. Ma la normativa ASTM ammette l'esecuzione del limite liquido anche attraverso un'unica determinazione utilizzando un algoritmo in cui vengono inseriti il numero di colpi N e il contenuto d'acqua corrispondente del provino (metodo del punto unico). L'espressione di calcolo è la seguente:

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.12}$$

Il risultato viene espresso in percentuale e approssimato all'unità (Bruschi & Cippa, 2012).

Limite di Plasticità (W_P)

Il limite di plasticità è definito come quel valore di contenuto d'acqua che determina il passaggio di un terreno dallo stato plastico a quello semisolido.

Per prima cosa è stato prelevato il campione avanzato dal precedente test di Casagrande, quindi spalmato con la spatola sull'apposita pietra porosa affinché avvenga una parziale perdita di umidità. La prova prevede la realizzazione di un impasto omogeneo lavorando il provino prima con la spatola e successivamente nel palmo delle mani creando 3 piccole palline di terra. Successivamente ciascuna pallina è stata posta sul piano di prova sottoponendola a rotolamento con una leggera pressione verticale della mano.

In tal modo si creano 3 cilindretti di terra di spessore pari a circa 3.2 mm di diametro; ogni cilindro viene fatto rotolare manualmente sul piano di lavoro

determinando in tal modo la progressiva perdita di umidità del provino. Tale operazione procede sino alla comparsa di piccole fessure sulla superficie del cilindretto, indice di prossimità al valore di umidità critica di passaggio di stato. Se tale condizione limite si rileva precedentemente al raggiungimento del diametro critico (3.2 mm) occorrerà procedere alla riuniformazione del provino; se tale condizione limite si rileva dopo il raggiungimento dei 3.2 mm sarà necessario procedere a essiccazione ulteriore del provino medesimo. Eseguita la prova ogni cilindretto è stato posto su un vetrino numerato e tarato (Fig.15), pesato con la bilancia di precisione e messo in forno ad essiccare a 105°C per 24 ore. Trascorse le 24 ore, ogni provino è stato ripeso con la bilancia di precisione; la differenza tra il peso del provino umido e secco risulta essere il peso d'acqua. Dopo l'esecuzione della prova viene determinato il contenuto d'acqua corrispondente di ciascuno dei tre provini, definito come il rapporto percentuale tra il peso d'acqua del provino e il peso secco del medesimo. Il limite di plasticità W_P di un campione è stato perciò determinato dalla media del contenuto d'acqua dei tre relativi provini, in modo tale da ridurre l'arbitrarietà della prova.



Fig.15- Set di provini realizzati per la determinazione del limite di plasticità.

3.5. ANALISI MINERALOGICHE

Le analisi mineralogiche sono state eseguite per caratterizzare dal punto di vista mineralogico le masse coinvolte nei fenomeni franosi, le superfici di scivolamento ed i depositi stabili posti sotto il piano di scivolamento.

La caratterizzazione mineralogica è stata eseguita attraverso le seguenti fasi:

- diffrazione a raggi X da polveri su campione totale;
- diffrazione a raggi X da polveri sulla frazione fine.

Le analisi diffrattometriche sono state eseguite nel Laboratorio di diffrattometria delle polveri del Dipartimento di Geoscienze, via G. Gradenigo n°6, Padova.

3.5.1. Diffrazione a raggi X da polveri, aspetti teorici

Cenni teorici, setup strumentale e analisi qualitativa di fase

La diffrazione a raggi X da polveri è la tecnica più utilizzata ed efficace per l'identificazione e l'analisi quantitativa delle fasi mineralogiche, in particolare quando si studiano campioni multifase come nel caso in esame.

Nello studio con diffrazione a raggi X da polveri cristalline, il campione da esaminare viene macinato il più finemente possibile e preparato su un apposito portacampione. Un preparato di polveri per diffrazione a raggi X è costituito idealmente da un elevatissimo numero di particelle cristalline orientate in maniera totalmente casuale. Per garantire un orientamento casuale dei granuli cristallini rispetto al fascio X incidente, il preparato viene ruotato durante l'analisi.

Quando un fascio di raggi X monocromatici colpisce il preparato, tutti i possibili effetti di diffrazione avvengono simultaneamente. Se l'orientazione dei frammenti cristallini nel preparato è veramente casuale, per ogni famiglia di piani atomici con la sua distanza interplanare (d) caratteristica vi saranno molte particelle la cui orientazione è tale da possedere l'angolo θ appropriato rispetto al fascio incidente tale da soddisfare la legge di Bragg:

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

dove λ è la lunghezza d'onda caratteristica del raggio X incidente.

I massimi di diffrazione di una determinata serie di piani formeranno coni di diffrazione aventi il fascio incidente come asse e angolo interno 4θ . Qualunque

gruppo di piani atomici produrrà una serie di coni concentrici corrispondenti a “riflessi” di primo, secondo, terzo ordine e superiore ($n = 1, 2, 3, \dots$). Famiglie differenti di piani con distanze interplanari differenti soddisferanno la legge di Bragg ai valori opportuni di θ per valori differenti di numeri interi n , originando una serie di coni nidificati di raggi X “riflessi”. Quindi la diffrazione può essere definita come una riflessione “selettiva”, in quanto si verifica solo per ben determinati angoli dei raggi X rispetto ai piani reticolari. (Klein, 2004).

Un diffrattometro da polveri è composto da una sorgente di raggi X, da un portacampione e da un detector, posti reciprocamente a seconda di differenti geometrie sperimentali. La più utilizzata è la cosiddetta “Bragg-Brentano” che utilizza un campione piatto. Le caratteristiche fondamentali sono:

- fascio incidente divergente;
- campione piatto tangente al cerchio di focalizzazione;
- sorgente e detector disposti sul cerchio goniometrico, a distanza uguale e costante dal portacampione;
- raggi diffratti raccolti all’intersezione tra cerchio goniometrico e cerchio di focalizzazione;
- presenza di ottiche su raggio incidente e diffratto (soller, slitte e monocromatori).

Ciò che si ottiene dall’analisi in diffrazione a raggi X da polveri, attraverso l’ausilio di un software, è un diffrattogramma avente in ascissa l’angolo 2θ e in ordinata le intensità misurate degli effetti di diffrazione. Dal confronto della posizione dei picchi di diffrazione (2θ), con quella dei picchi relativi alle varie specie mineralogiche che costituiscono i database del software, si identificano le fasi mineralogiche presenti nel campione.

Analisi quantitativa: metodo Rietveld

La determinazione della percentuale in massa di una fase in un campione solido è possibile attraverso l’analisi del pattern di diffrazione da polveri del composto secondo il metodo Rietveld (Rietveld, 1969).

Il metodo Rietveld consiste nell'elaborazione di un modello fisico matematico dell'intero pattern di diffrazione delle polveri, da confrontare con il dato sperimentale, al fine di operare un affinamento delle strutture cristalline e, in una miscela polifasica, una stima quantitativa delle percentuali in peso dei costituenti.

La bontà dei risultati ottenibili con il metodo Rietveld è direttamente collegata con la qualità dei dati di diffrazione da polveri (campione policristallino ben preparato, elevata statistica di conteggio, ridotte aberrazioni strumentali).

Con il metodo Rietveld, ciascun punto del profilo di diffrazione viene calcolato con il modello proposto e confrontato con l'osservazione sperimentale. Usando minimizzazioni ai minimi quadrati, i parametri del modello vengono affinati fino a convergenza alle minime differenze:

$$Y_{ic} = Y_{ib} + \sum_{J=1}^n \sum_{k=k_1}^{k_2} G_{jk} I_{jk}$$

Y_{ic} è l'intensità totale calcolata nel punto i del profilo, Y_{ib} è l'intensità dovuta al fondo (background), n è il numero di fasi, I_{jk} è l'intensità del picco k della fase J , k_1 e k_2 sono i riflessi che contribuiscono a tale picco, G_{jk} è la funzione di profilo del picco.

Ciascuna fase è inoltre caratterizzata da un fattore di scala, che dipende, tra l'altro, dalla sua quantità. Attraverso un'analisi dei fattori di scala di tutte le fasi, si può determinare la presenza percentuale di ciascuna di esse.

Utilizzando il metodo della riduzione ai minimi quadrati, il raffinamento richiede parametri strumentali e strutturali di partenza che ragionevolmente approssimino il dato reale, da raffinarsi progressivamente durante il processo di fitting.

Questi parametri comprendono:

- funzione analitica per la descrizione del fondo;
- funzione che descrive la forma dei picchi;

- funzione che descrive gli effetti strumentali (effetti su forma, posizione e intensità dei picchi);
- parametri strutturali delle singole fasi quali dimensioni di cella, gruppo spaziale e coordinate atomiche in cella unitaria.

Requisito fondamentale per l'applicazione dell'analisi quantitativa con il metodo Rietveld è avere a disposizione dei modelli strutturali affidabili per tutte le fasi da quantificare, così che la sommatoria delle frazioni in massa delle varie fasi sia sempre uguale a 1. Tale assunzione non risulta corretta qualora sia presente all'interno della miscela analizzata un composto invisibile a tecniche diffrattometriche, ad esempio una fase amorfa o a basso ordine cristallino: in tal caso la percentuale delle fasi cristalline risulterebbe sovrastimata. Il problema è ovviabile con il metodo dello standard interno, il quale consiste nell'inserire all'interno della miscela da analizzare una fase cristallina in quantità nota. Essendo il rapporto tra la frazione in peso reale dello standard e quella determinata tramite raffinamento Rietveld sempre minore di 1, risulta possibile rinormalizzare di conseguenza la frazione in peso delle fasi, e successivamente calcolare la frazione in massa dell'amorfo per differenza a 1 rispetto alla somma delle frazioni in massa corrette delle fasi cristalline.

3.5.2. Diffrazione a raggi X da polveri su campione totale

Sono stati analizzati 75 campioni di terreno, precisamente 45 campioni di Fara (da 0.0 a 9.0 m) e 30 di Cornedo (da 0.0 a 10.0 m) sui quali sono state eseguite in precedenza le prove geotecniche. I provini sono stati ottenuti dal materiale passante al setaccio 40 ASTM, lo stesso sul quale sono stati determinati i limiti di Atterberg; il materiale avanzato dalle prove geotecniche è stato quindi essiccato in forno a 70 °C per 4 giorni e predisposto per le analisi mineralogiche. Oltre ai campioni di terreno, è stato analizzato un trovante di basalto (TROV-FARA) campionato dalla cassetta catalogatrice del sondaggio eseguito a Fara Vicentino, riferito ad una profondità di 8.8-9.0 m dal piano campagna.

Innanzitutto le particelle di terreno sono state ridotte ad un diametro inferiore ai 500 micron attraverso disaggregazione in mortaio d'agata e successiva vagliatura

con l'apposito setaccio, avente maglia con aperture di 500 micron. E' stato sufficiente recuperare circa 2 g di materiale setacciato per ogni campione. Per quanto riguarda il trovante di basalto, la macinazione in mortaio è stata preceduta dalla riduzione dello stesso per mezzo di un'apposita pressa manuale.

Si è poi proceduto con la micronizzazione, cioè con la riduzione dei campioni setacciati ad una granulometria inferiore a circa 10 micron. La micronizzazione avviene all'interno di un cilindro cavo (detto "giara") costituito da materiale plastico, entro la cui cavità sono ubicati dei cilindretti d'agata disposti in pile verticali. Il materiale da micronizzare è stato caricato dall'alto con l'aggiunta di 20 ml d'acqua. La giara è stata poi inserita in una macchina scuotitrice che trasmette ai cilindretti d'agata un impulso tale da macinare il materiale interposto (Fig.16-17).



Fig.16- Giara di micronizzazione.



Fig.17- Macchina scuotitrice entro la quale è stato riposta la giara di micronizzazione.

Per prevenire eventuali contaminazioni dei campioni, sono stati eseguiti due “avvinamenti”, il primo con la normale acqua di rete, mentre il secondo sempre con acqua di rete ma con l’aggiunta di un minimo quantitativo del campione che dovrà essere poi micronizzato; terminato ciascun avvinamento, il contenuto della giara viene eliminato sotto l’acqua corrente. L’operazione di avvinamento viene eseguita per un tempo di 5 minuti, sia per il primo che per il secondo avvinamento. La micronizzazione vera e propria necessita invece di 10 minuti; in questo caso è stata utilizzata acqua deionizzata e circa 2 g di campione setacciato. Passati i 10 minuti, si è versato il contenuto della giara in un vetrino ad orologio marcato con il codice identificativo del campione e lo si è posto ad essiccare in forno ad una temperatura di 70° per circa 24 ore.

A questo punto il campione essiccato è stato recuperato raschiando dal vetrino con una lametta e disgregato nel mortaio d’agata. Si è quindi proceduto con l’aggiunta di un’aliquota nota di standard interno, nella fattispecie zincite (ZnO), una fase cristallina utile per quantificare la frazione non cristallina, o a basso grado di cristallinità, durante il raffinamento Rietveld dei dati da diffrazione. Proprio per garantire la quantificazione della fase amorfa, è stato aggiunto al campione

micronizzato un quantitativo noto di standard interno, precisamente il 20 % in peso del campione totale. Avendo scelto di analizzare i terreni su dei portacampioni standard, è stato necessario preparare dei campioni di peso pari a 1.5 g, costituiti da 1.2 g di materiale micronizzato e 0.3 g di ZnO. Le pesate sono state effettuate per mezzo di una bilancia di precisione con sensibilità pari a 0.0001 g.

Una volta pesato il terreno con lo standard interno, il campione è stato omogeneizzato nel mortaio d'agata e infine posto in apposito portacampione in acciaio con il metodo della retrocarica. La retrocarica riduce l'eventuale isoorientazione dei minerali costituenti il campione, cosa molto frequente nei casi in cui siano presenti minerali delle argille.

A questo punto si è proceduto con l'esecuzione della misura diffrattometrica.

Di seguito vengono riportate le specifiche strumentali e operative utilizzate durante le analisi diffrattometriche a raggi X da polveri sui campioni totali (Tab.4).

Diffrattometro	Panalytical X'Pert Pro
Geometria	Parafocalizzante Bragg Brentano
Goniometro	θ -2 θ
Raggio Goniometrico	240 mm
Sorgente	Cu K α ($\lambda=1.54\text{\AA}$)
Generatore	40 kV-40 mA
Slitte divergenti	1/4°
Slitte antiscatter	1/2°
Slitte soller	0.04 radianti
Monocromatore	Filtro al Nickel
Rilevatore	X' Celerator
Range angolare	3-80° 2 θ
Step	0.017° 2 θ

Tab.4- Specifiche strumentali e operative utilizzate durante le analisi diffrattometriche a raggi X da polveri sui campioni totali.

3.5.3. Diffrazione a raggi X da polveri sulla frazione fine

In seguito alle diffrazioni su campione totale, un numero limitato di campioni è stato nuovamente trattato al fine di essere analizzato tramite tecniche diffrattometriche specifiche per la caratterizzazione dei minerali argillosi.

Tali procedure di analisi permettono di caratterizzare la frazione fine del campione analizzato precedentemente rendendo possibile la determinazione dettagliata e le relative caratteristiche mineralogiche dei minerali delle argille.

Le analisi sono state effettuate su tre campioni rappresentativi di Fara, precisamente i campioni FARA02-26-29, e quattro campioni per Cornedo (CORN02-09-21-27). La scelta dei suddetti campioni è stata basata sui risultati delle analisi diffrattometriche ottenuti dopo il raffinamento Rietveld, quindi sono stati scelti quei campioni che presentano dei particolari contenuti in smectite e caolinite.

La preparazione consiste innanzitutto nella disgregazione del campione di terreno essiccato (passante al setaccio 40 ASTM, lo stesso materiale utilizzato per la determinazione dei limiti di Atterberg), con il mortaio di ceramica; successivamente il terreno è stato versato in una provetta da centrifuga da 50 ml fino alla tacca dei 7.5 ml, si è aggiunta acqua deionizzata fino a 35 ml e agitato la provetta energicamente. La provetta è stata poi inserita in centrifuga per 25 minuti alla velocità massima (6000 rpm). Fatto ciò, si è estratta l'acqua intorbidita dalle particelle in sospensione con una pipetta da laboratorio, rabboccato con acqua deionizzata fino al livello precedente, rimesso in soluzione il terreno depositatosi sul fondo e quindi si è proceduto con un ulteriore passaggio di centrifuga. Ancora una volta si è estratta con una pipetta l'acqua intorbidita, più pulita rispetto al precedente passaggio. La frazione solida sul fondo è stata quindi rimescolata, la provetta è stata rabboccata con l'acqua deionizzata fino al livello iniziale e si è proceduto con un energico scuotimento manuale al fine di omogeneizzare la soluzione. A questo punto la miscela è stata fatta decantare per 3 ore e mezza, posizionando la provetta verticalmente.

Successivamente la parte superiore della soluzione è stata estratta con una pipetta da laboratorio, dal pelo libero della sospensione fino alla profondità in

corrispondenza della tacca dei 15 ml. Quindi è stato versato il contenuto della pipetta su un portacampione zero-background di alluminio e si è atteso che l'acqua evaporasse naturalmente; questa operazione ha permesso l'isorientazione dei minerali argillosi in modo tale da accentuare i riflessi basali che più discriminano i minerali stessi. Il campione così ottenuto (detto "levigato"), è stato quindi sottoposto ad analisi diffrattometrica..

In seguito, gli stessi campioni levigati sono stati posti in atmosfera satura di glicole etilenico per ventiquattro ore ed analizzati in diffrazione al fine di caratterizzare la componente espansiva delle argille; tale trattamento provoca un aumento della distanza interplanare (d-spacing) delle sezioni basali dei minerali argillosi con caratteristiche espansive, per incorporamento della molecola organica nell'interstrato delle fasi (Moore & Reynolds, 1997).. Essendo tale variazione strettamente correlata alla tipologia di minerale, tale tecnica analitica permette una caratterizzazione più precisa del tipo di minerale argilloso presente nella miscela rispetto a tecniche diffrattometriche standard.

Infine, i campioni levigati FARA02, FARA26, CORN02 e CONR21 sono stati sottoposti a trattamento termico per mezzo di forno elettrico a muffola, attraverso due step di riscaldamento (335°C e 550°C) e quindi rianalizzati in diffrazione delle polveri. Queste operazioni di riscaldamento provocano delle caratteristiche perdite d'acqua strutturale e gruppi ossidrilici costituenti i minerali argillosi, le quali sono variabili da specie a specie, tali da renderle altamente diagnostiche (Moore & Reynolds, 1997).

La frazione fine dei campioni è stata analizzata con il medesimo strumento utilizzato per le analisi sui campioni totali e con le seguenti specifiche strumentali (Tab.5).

Diffrattometro	Panalytical X'Pert Pro
Geometria	Parafocalizzante Bragg Brentano
Goniometro	θ -2 θ
Raggio Goniometrico	240 mm
Sorgente	Cu K α ($\lambda=1.54\text{\AA}$)
Generatore	40 kV-40 mA

Slitte divergenti	1/8°
Slitte antiscatter	1/4°
Monocromatore	Filtro al Nickel
Rilevatore	X' Celerator
Range angolare	2.5-40° 2θ
Step	0.033° 2θ

Tab.5- Specifiche strumentali e operative utilizzate durante le analisi diffrattometriche a raggi X da polveri sulla frazione fine.

4. RISULTATI

4.1. RISULTATI DELLE PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

4.1.1. Analisi granulometrica

I risultati ottenuti dall'analisi granulometrica sono stati rappresentati su un apposito diagramma semilogaritmico con percentuale di passante in ordinata (scala lineare) e diametro dei granuli D in ascisse (scala logaritmica), dove D rappresenta il lato della maglia del setaccio. I punti ottenuti sono stati quindi uniti ottenendo la curva granulometrica caratteristica per ciascun campione esaminato.

A puro titolo d'esempio, in Fig.18 è riportata la curva granulometrica del campione FARA15.

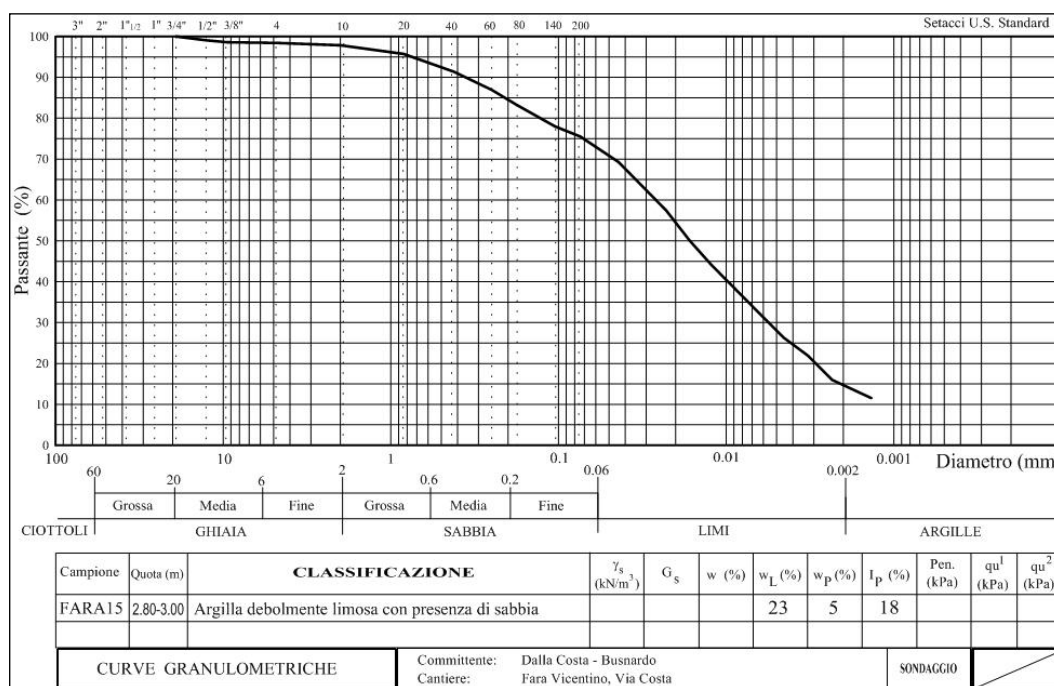


Fig.18- Curva granulometrica relativa al campione FARA15.

Successivamente i dati sono stati proiettati anche sui triangoli granulometrici, allo scopo di evidenziare la variazione della granulometria con la profondità. Il vantaggio nell'utilizzo del triangolo granulometrico è la possibilità di rappresentare un notevole numero di campioni, ognuno dei quali è associato ad un punto avente per coordinate le percentuali di tre sue componenti granulometriche.

I campioni relativi alle due frane sono stati rappresentati in due tipologie di triangoli granulometrici: il primo utilizzando la terna granulometrica ghiaia - sabbia - limo + argilla (Fig.19-21) e il secondo prendendo in considerazione solamente i termini sabbia - limo - argilla (Fig.20-22).

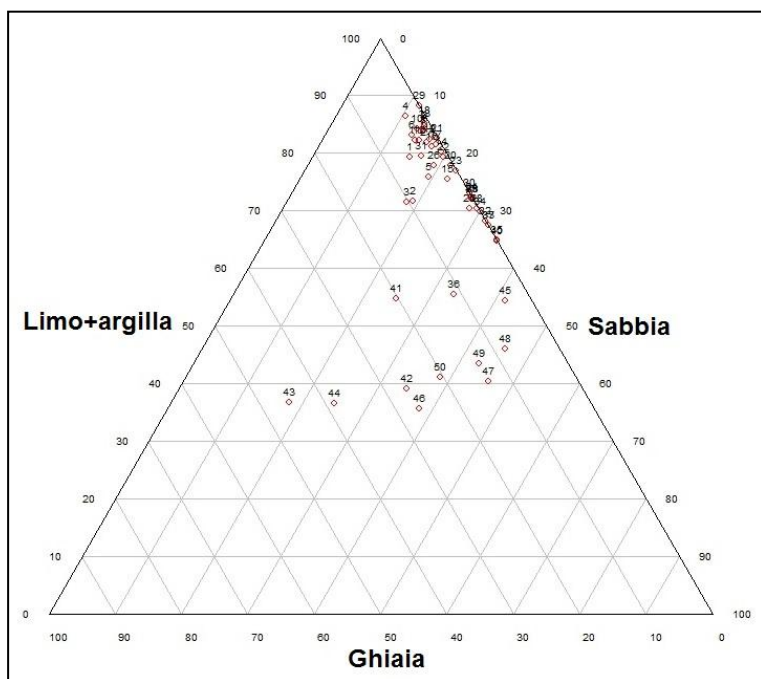


Fig.19- Triangolo granulometrico Ghiaia-Sabbia-Limo+Argilla relativo ai terreni di Fara Vicentino.

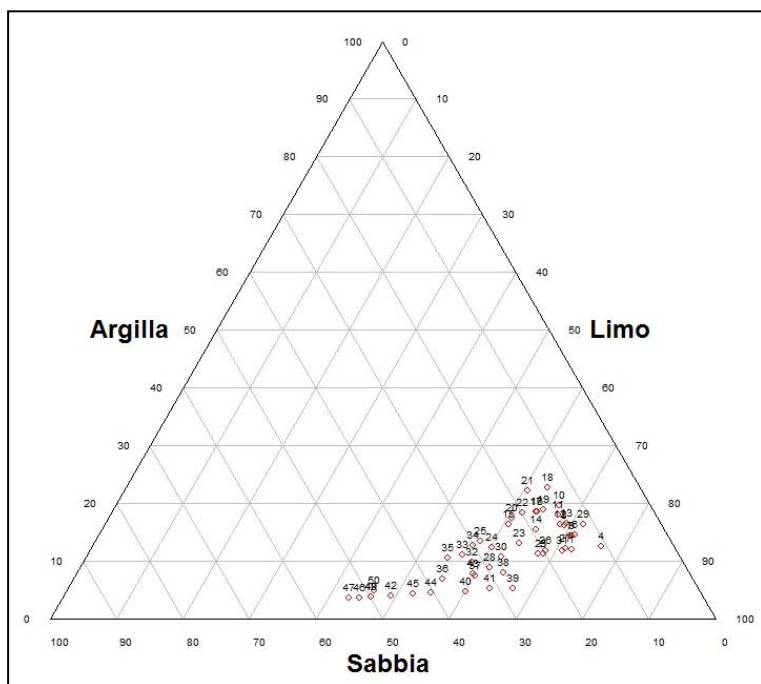


Fig.20- Triangolo granulometrico Sabbia-Limo-Argilla relativo ai terreni di Fara Vicentino.

I dati ottenuti hanno permesso di stabilire che a Fara, nei primi 6 metri, il terreno si può considerare nel complesso omogeneo, caratterizzato dall'abbondanza della frazione fine (mediamente 80% di limo + argilla), che risulta predominante fino a 8.4 m di profondità dal piano campagna. Il limo costituisce la classe granulometrica principale fino a 8.4 m di profondità; rimane circa costante nei primi 6 m con valori compresi tra 60-74 %, poi diminuisce in modo oscillatorio, raggiungendo un minimo del 38% tra 9.0 e 9.2 m.

L'argilla aumenta gradualmente con la profondità raggiungendo un massimo del 23% tra 3.4 e 3.6 m di profondità dal piano campagna, diminuisce in modo graduale fino a 8.0 metri di profondità, dopodiché è presente con una percentuale circa costante e pari al 3-4%.

La sabbia rimane circa costante nei primi 3.4-3.6 m, attestandosi su valori attorno al 15-20%, poi aumenta gradualmente con la profondità raggiungendo il 38% a 10.0 m dal piano campagna.

La ghiaia è nel complesso poco presente fino a 8.0 m di profondità, eccezion fatta per i primi 0.6 m, nel quale è superiore al 5%; sotto agli 8.0 m di profondità aumenta in maniera oscillatoria attestandosi su valori medi del 20% e raggiungendo un massimo del 45% tra 8.6-8.8 m di profondità dal piano campagna (Fig.23). Il marcato incremento del contenuto in ghiaia dagli 8.0 m di profondità in poi indica l'approssimarsi al substrato roccioso, evidenziato anche dalla presenza di un trovante basaltico di diametro medio pari a circa 7 cm, tra 8.80-9.00 m di profondità dal piano campagna.

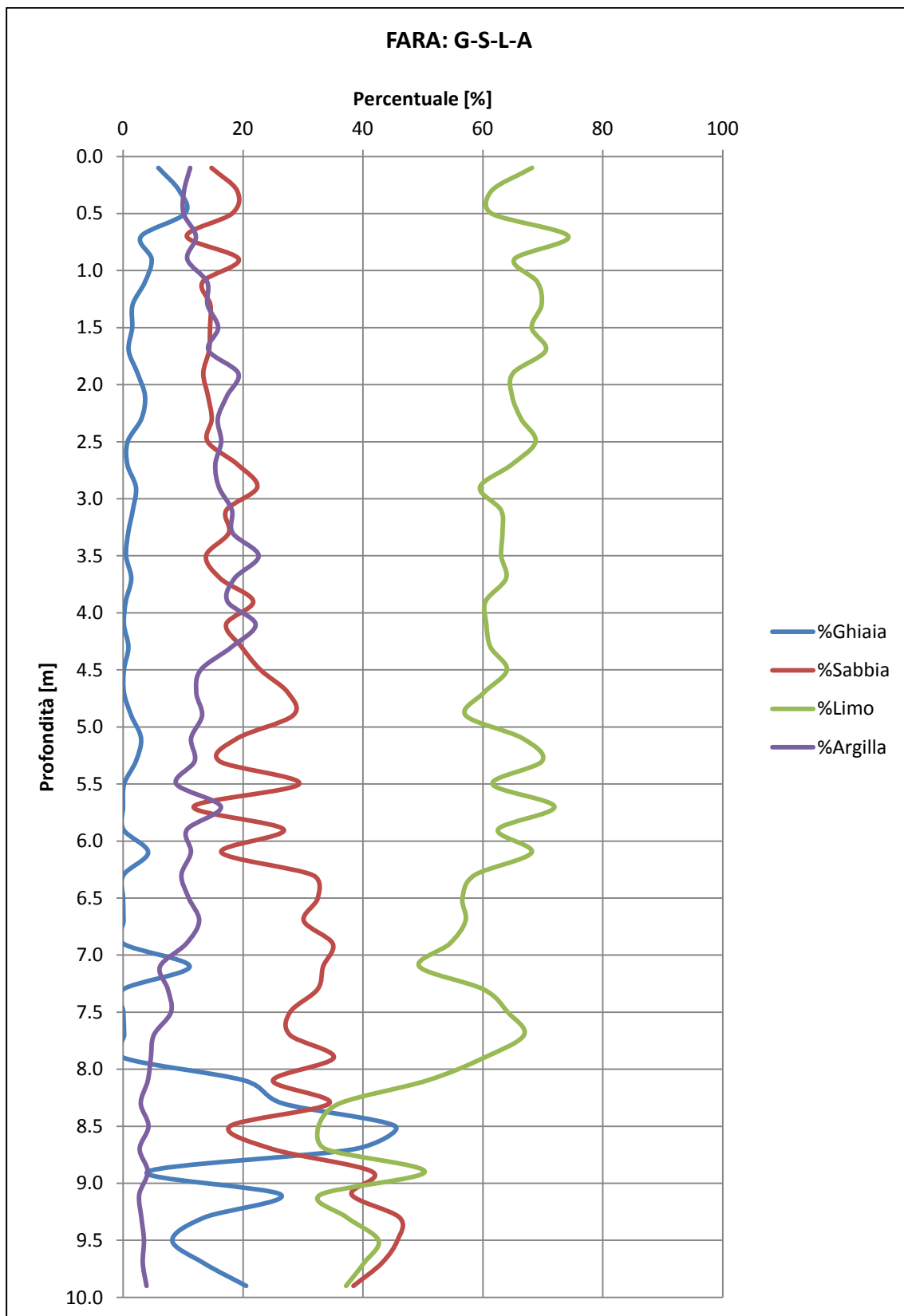


Fig.23- Grafico relativo alle variazioni delle frazioni granulometriche con la profondità.

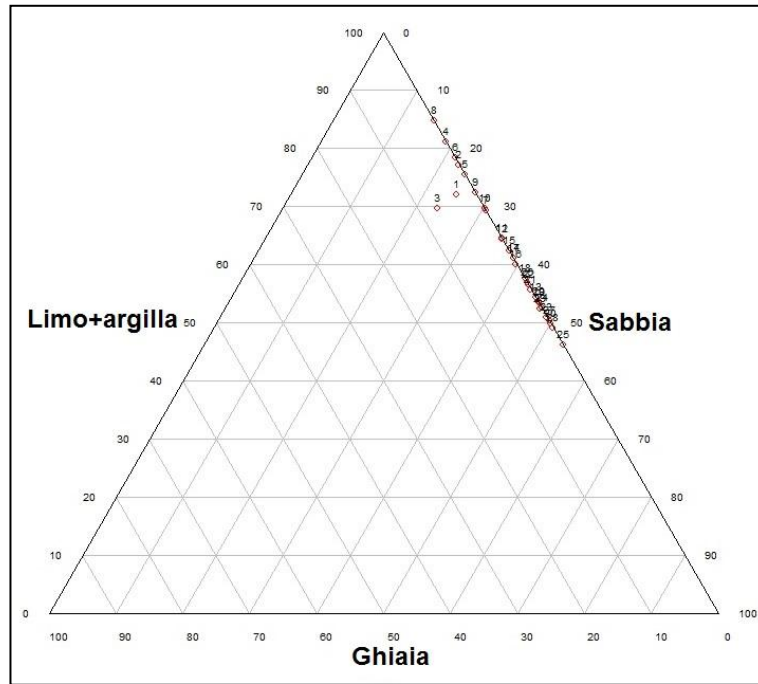


Fig.21- Triangolo granulometrico Ghiaia-Sabbia-Limo+Argilla relativo ai terreni di Cornedo Vicentino.

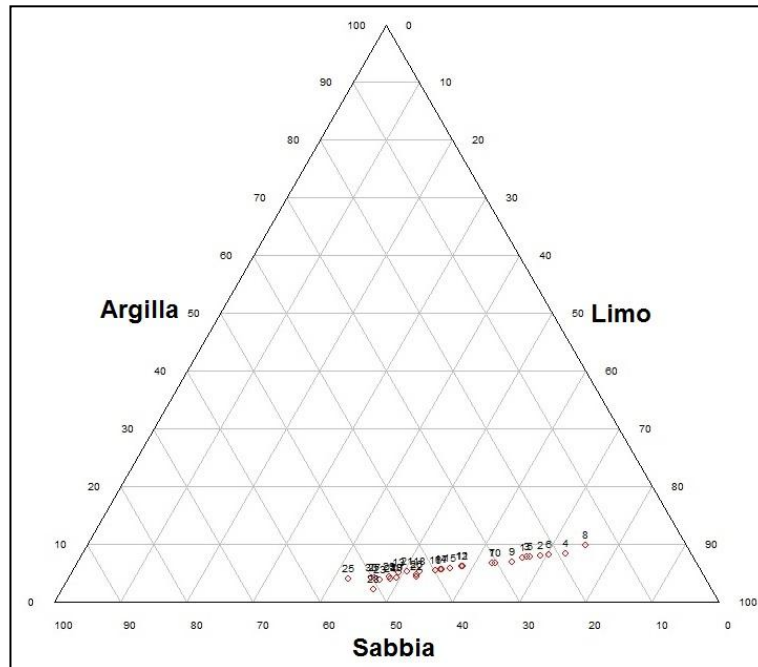


Fig.22- Triangolo granulometrico Sabbia-Limo-Argilla relativo ai terreni di Cornedo Vicentino.

I risultati indicano che a Cornedo la frazione fine è predominante nei primi 6.0 m di profondità, dove il limo costituisce la classe granulometrica principale; nei primi 2.0 m oscilla tra il 63-75%, dopodiché diminuisce fino a 6.0 m di profondità e rimane pressoché costante su valori attorno al 47%. L'argilla è presente con una percentuale dell'8 % fino a 1.6 m di profondità dal piano campagna; diminuisce con la profondità e risulta costante da 3.0 m in poi, con un valore medio del 5%.

Dopo il limo, la sabbia costituisce la classe granulometrica prevalente; partendo da un valore medio del 24%, aumenta da 1.4 m fino a raggiungere il 50% a 7.0 m di profondità dal piano campagna.

Dal grafico che mostra la variazione delle classi granulometriche con la profondità (Fig.24), si evince che a Cornedo la variazione del contenuto in sabbia è speculare rispetto al contenuto in limo.

La ghiaia è invece presente soltanto fino a 0.6 m di profondità, dovuta essenzialmente alla presenza di materiale colluviale; a maggiore profondità è praticamente assente, indicando che il substrato roccioso è ben al di sotto dei 10.0 m di terreno investigato.

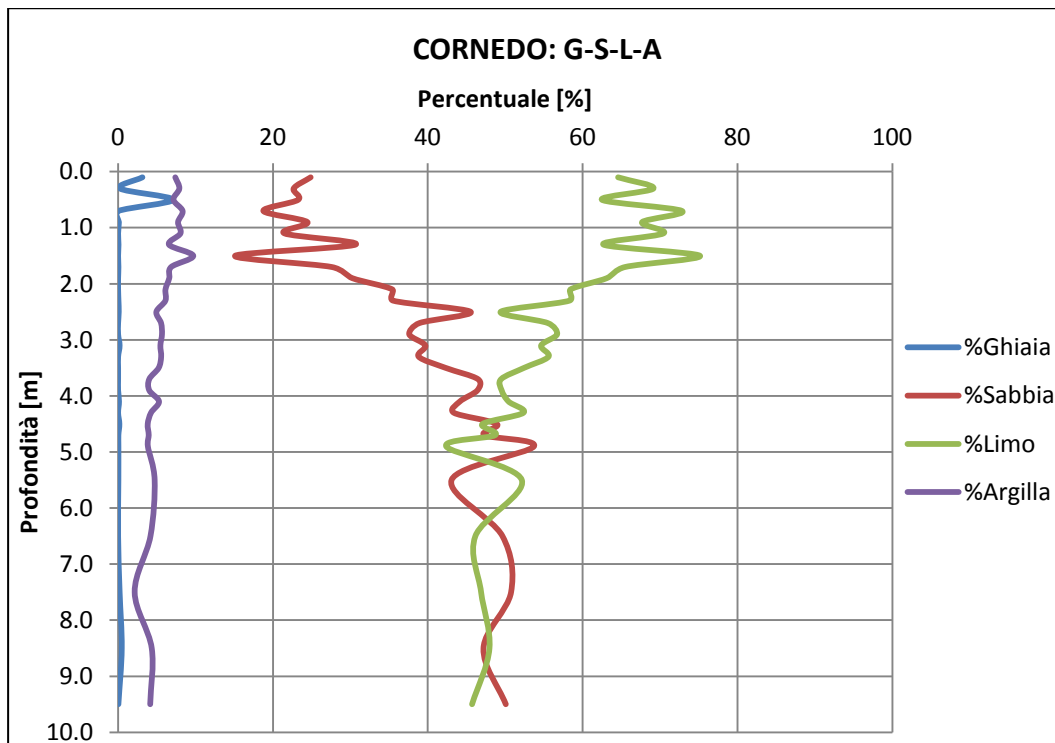


Fig.24- Grafico relativo alle variazioni delle frazioni granulometriche con la profondità.

Grazie ai dati derivanti dalla curva granulometrica, per ogni campione è stato calcolato il coefficiente di uniformità (C_U), che esprime numericamente il grado di classazione del terreno. Il coefficiente di uniformità è il rapporto tra i diametri dei granuli corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% di passante.

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Nei campioni di Cornedo il coefficiente di uniformità è compreso tra 9 e 25 (Fig.25), mentre a Fara risulta mediamente maggiore, eccezion fatta della porzione di terreno compresa tra 7.2 e 8.0 m di profondità.

Inoltre, nei campioni di Fara compresi tra le quote -8.0 e -10.0 m dal piano campagna, il coefficiente di uniformità si mostra estremamente variabile, andando da un minimo di 23 e raggiungendo un valore massimo di 467 (Fig.26).

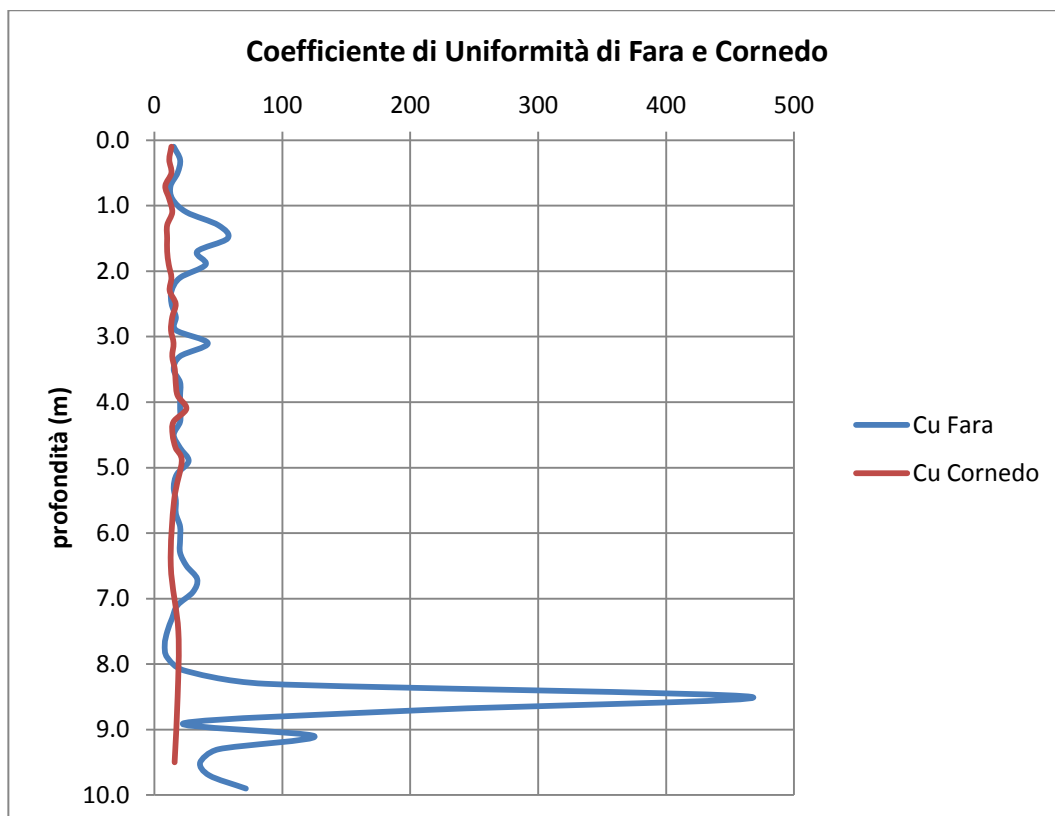


Fig.25- Grafico relativo alla variazione del coefficiente di uniformità (C_U) con la profondità.

Un altro parametro molto importante è il D_{50} , cioè il diametro dei grani corrispondente al 50% di materiale passante (detto anche diametro medio).

Proiettando su un diagramma semilogaritmico con profondità in ordinata (scala lineare) e il D_{50} in ascissa (scala logaritmica), si evince che nel complesso il D_{50} aumenta con la profondità sia nei campioni di Fara che in quelli di Cornedo. Tuttavia si notano delle differenze sostanziali tra i due terreni.

Il D_{50} dei campioni di Cornedo è mediamente superiore a quello dei campioni di Fara nei primi 8.0 m di profondità, dopodiché si osserva un'inversione della tendenza (Fig.27). Inoltre, il D_{50} dei campioni di Cornedo risulta aumentare in modo pressoché costante, andando da un minimo di 0.02 mm a un valore massimo di 0.08 mm. Nei campioni di Fara si osserva un trend analogo nei primi 8.0 m di profondità, ma dopo tale livello il D_{50} risulta molto variabile, oscillando da tra 0.06 e 0.4 mm.

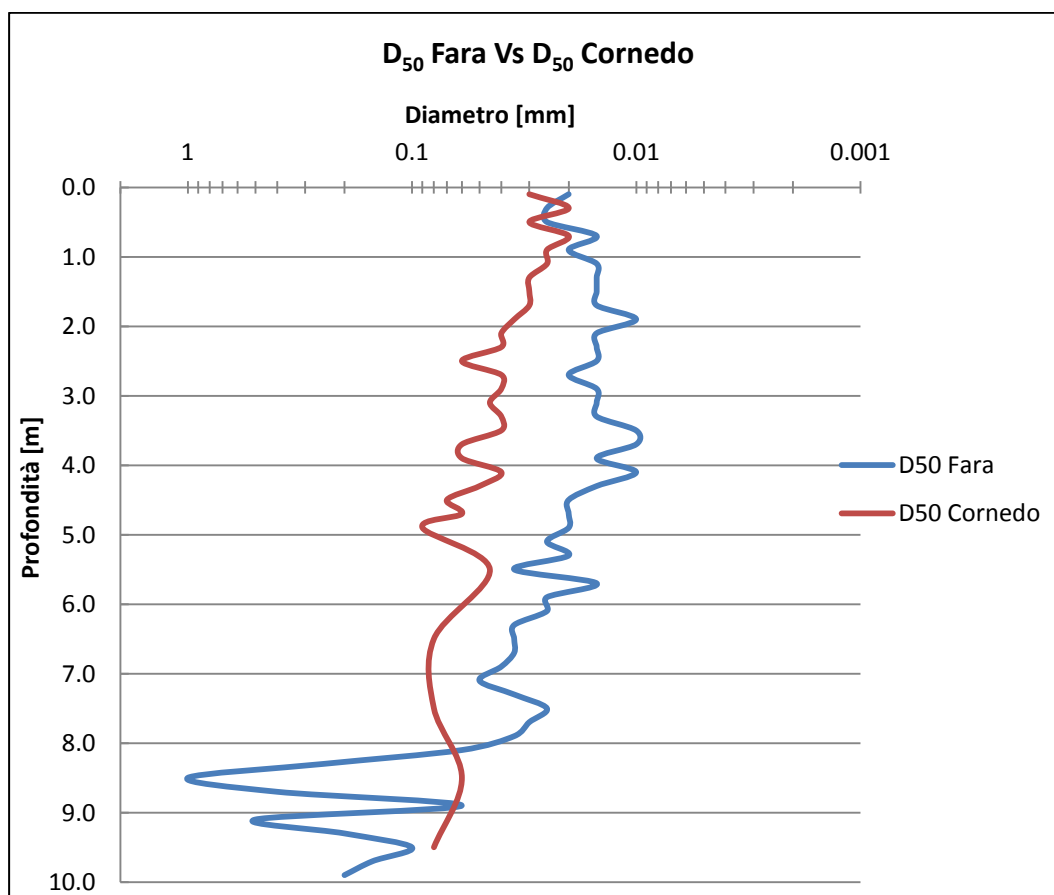


Fig.26- Grafico relativo alla variazione del diametro medio (D_{50}) con la profondità.

Dalle percentuali delle frazioni granulometriche presenti in ciascun campione sono stati individuati una serie di orizzonti (Fig.27), identificati utilizzando i termini delle varie classi come sostantivi o aggettivi, nel modo seguente:

- *I termine*: nome della frazione granulometrica prevalente;
- *II termine*: nomi delle eventuali frazioni maggiore del 25%, precedute dal prefisso *con*;
- *III termine*: nomi delle eventuali frazioni comprese tra il 10% e il 25%, con suffisso *oso*;
- *IV termine*: nomi delle eventuali frazioni comprese tra il 5% e il 10%, con il suffisso *oso*, precedute dal prefisso *debolmente*.

FARA VICENTINO	
Profondità [m]	Orizzonte
0.0 – 0.6	Limo sabbioso argilloso debolmente ghiaioso
0.6 – 7.0	Limo sabbioso (con sabbia) argilloso
7.0 – 8.0	Limo con sabbia debolmente argilloso
8.0 -8.8	Limo (ghiaia) con sabbia
8.8 – 10.0	Sabbia con limo, con ghiaia (ghiaiosa)

CORNEO VICENTINO	
Profondità [m]	Orizzonte
0.0 – 3.6	Limo con sabbia (sabbioso) debolmente argilloso
3.6 – 4.8	Limo con sabbia
4.8 - 10	Sabbia con limo

Fig.27- Colonne stratigrafiche relative ai terreni di Fara Vicentino e Cornedo Vicentino.

4.1.2. Limiti di Atterberg

Dai risultati ottenuti dalla determinazione dei limiti di Atterberg è stato possibile calcolare l'indice di plasticità, ovvero la differenza tra il limite di liquidità e il limite di plasticità.

$$I_P = W_L - W_P$$

L'indice di plasticità è un parametro fondamentale del terreno e rappresenta l'ampiezza dell'intervallo di contenuto d'acqua in cui il terreno rimane allo stato plastico (Lancellotta, 1987).

I risultati sono stati proiettati in un diagramma bilineare, con la profondità in ordinata e il valore dei limiti in ascisse (Fig.28-29).

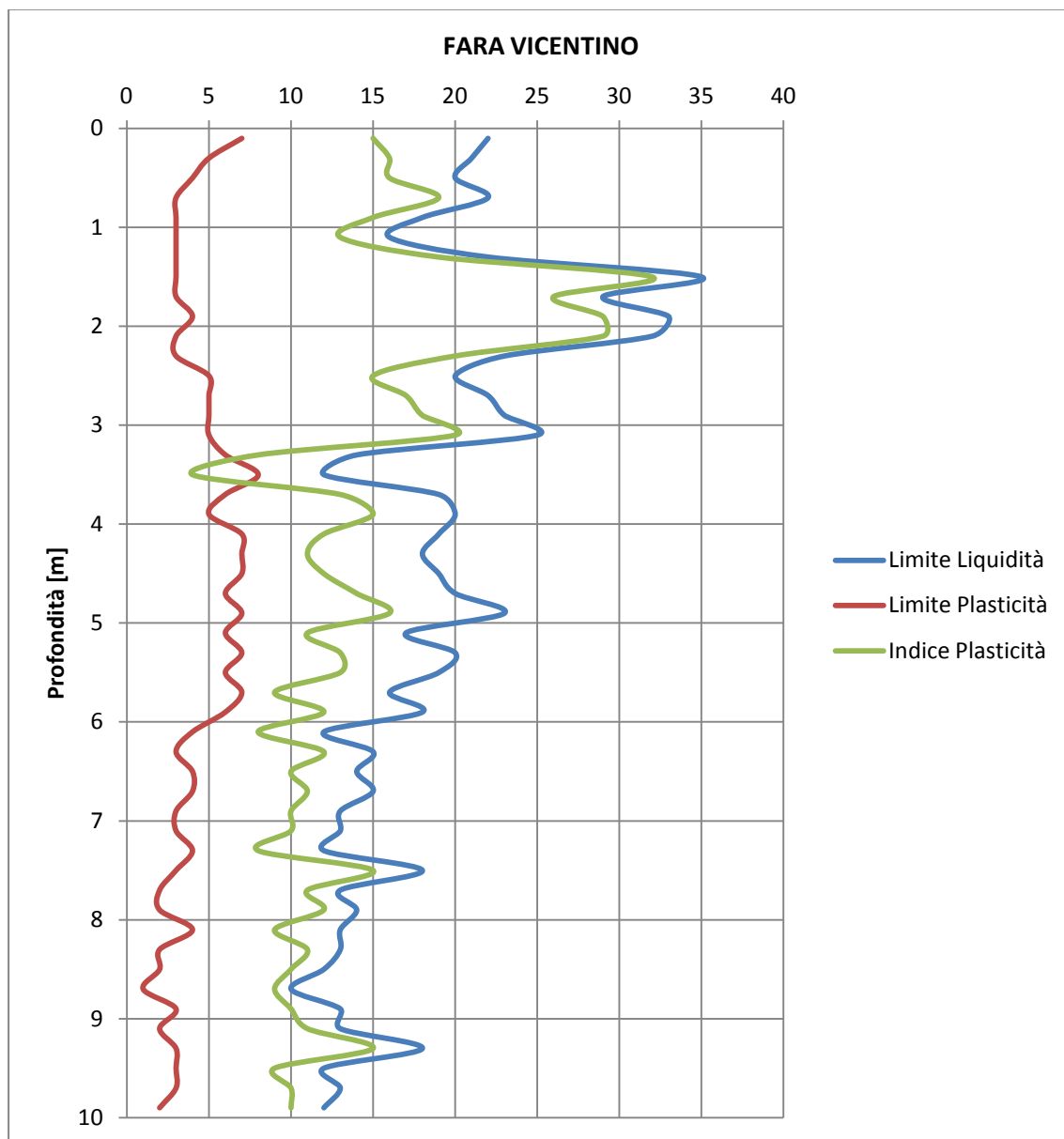


Fig.28- Variazione dei limiti di Atterberg con la profondità relativi ai terreni di Fara Vicentino.

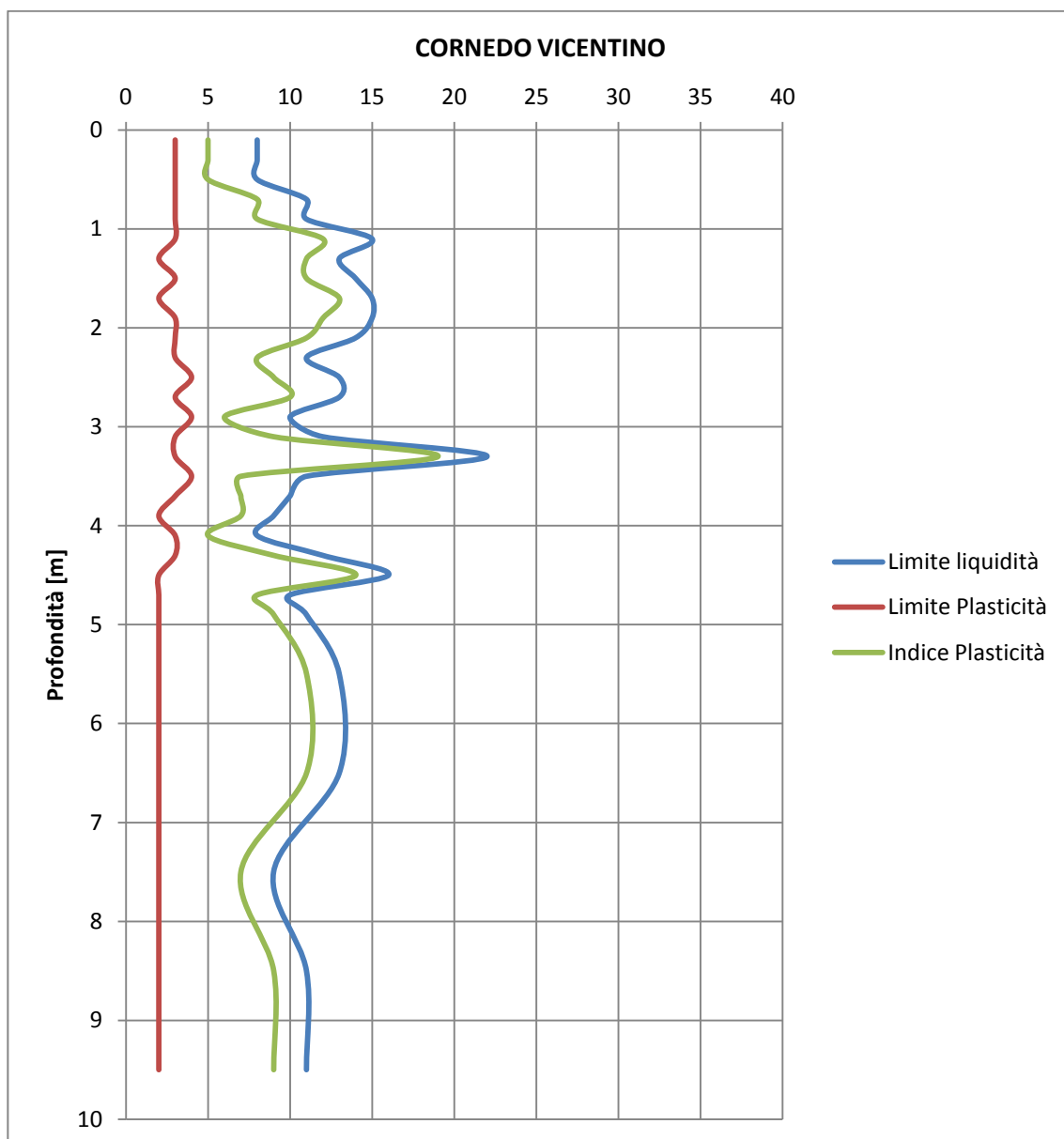


Fig.29- Variazione dei limiti di Atterberg con la profondità relativi ai terreni di Cornedo Vicentino.

Dai grafici è possibile notare che le maggiori variazioni del valore assoluto del limite di liquidità si collocano nei primi 5.0 m, sia per Fara che per Cornedo.

Nel caso di Fara, il limite di liquidità assume valori compresi tra 16 e 22%, nella porzione di terreno compresa tra il piano campagna e 1.4 m di profondità, 29-35% tra 1.4 e 2.2 m, 10-25% tra 2.2 e 3.2 m, 12-14% tra 3.2 e 3.6 , 18-23% tra 3.6 e 5.00, 10-20% da 5.0 a 10.0 m. Mentre a Cornedo, il limite di liquidità risulta

compreso tra 8 e 11 % nel primo metro di profondità, 10-15% tra 1.0-3.2 m, 22% tra 3.2 e 3.4m, 8-12% e 3.4 e 4.4 m, 16% tra 4.4 e 4.6, 9-13% da 4.6 a 10.0 m.

Nei campioni di Fara, il limite di plasticità diminuisce leggermente con la profondità, andando da un valore massimo dell'8% e raggiungendo un minimo del 2%, mentre nei campioni di Cornedo rimane circa costante, con un valore medio del 3%.

Utilizzando la Carta di Plasticità di Casagrande è possibile classificare i terreni mettendo in correlazione il limite di liquidità e l'indice di plasticità (Fig.30). Nel caso di Fara i campioni analizzati risultano essere classificati come argille inorganiche di bassa plasticità, eccezion fatta dei campioni FARA08 (1.4-1.6 m), FARA10 (1.8-2.0 m) e FARA11 (2.0-2.2 m) che si posizionano nella regione delle argille inorganiche di media plasticità. I campioni di Cornedo appartengono tutti alla categoria delle argille inorganiche di bassa plasticità, mostrando tuttavia, rispetto ai campioni di Fara, una minore variabilità nel valore assunto dai limiti.

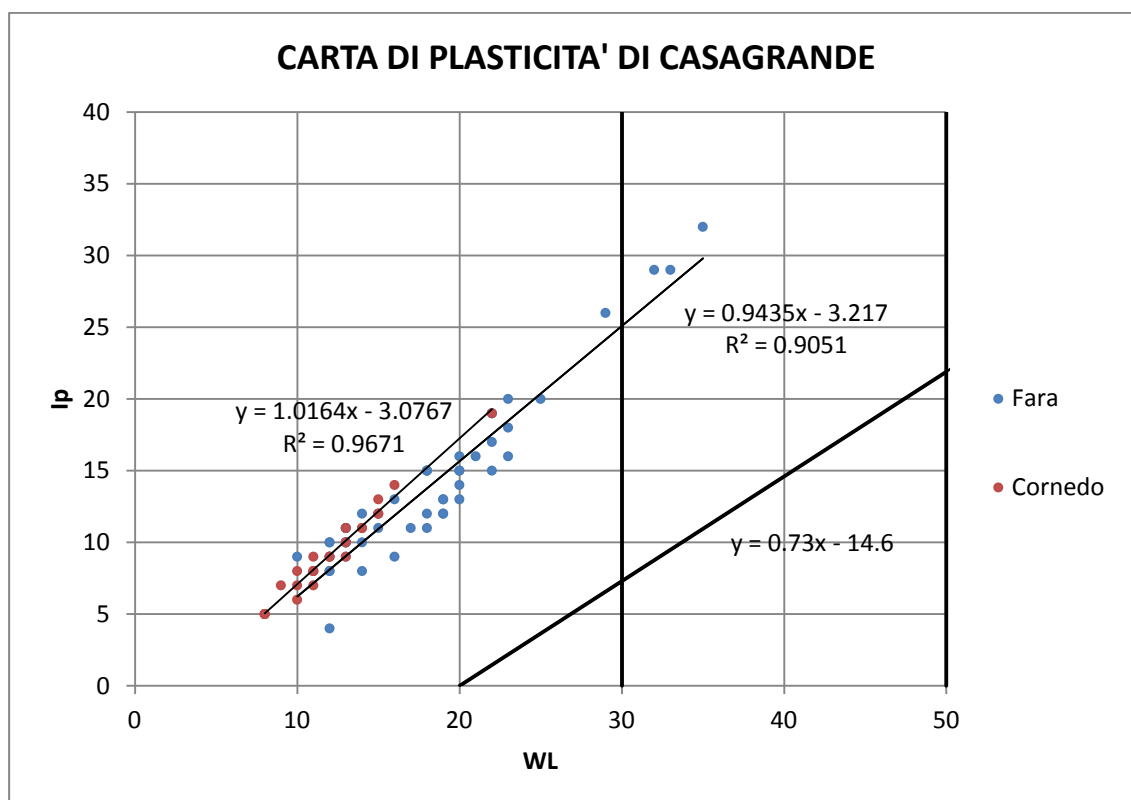


Fig. 30- Terreni di Fara Vicentino e Cornedo Vicentino proiettati sulla Carta di Plasticità di Casagrande (modificata).

4.2. RISULTATI DELLE ANALISI MINERALOGICHE

4.2.1. Diffrazione a raggi X da polveri su campione totale

L'elaborazione dei dati ottenuti dai diffrattogrammi è stata eseguita attraverso il software X'Pert HighScore Plus 3.0.5, che ha permesso di individuare le fasi mineralogiche costitutive dei campioni per confronto con una serie di database contenenti una collezione di powder diffraction files (PDF); a tale scopo sono stati utilizzati i database ICDD (PDF-2), ICSD e COD. Successivamente, si è eseguita un'analisi quantitativa delle fasi cristalline e della componente amorfa presente all'interno dei materiali tramite raffinamento a profilo totale secondo il metodo Rietveld, utilizzando il software DIFFRACplus TOPAS (versione 4.1). La valutazione della bontà di raffinamento è stata effettuata per mezzo di analisi della curva delle differenze tra profilo osservato e calcolato, e valutando l'indice di accordo pesato del profilo calcolato (R_{wp}).

In Tab.6 sono riportate le strutture cristalline utilizzate per il raffinamento Rietveld.

Fase cristallina	Sistema cristallino	PDF	codice ICSD	Anno	Riferimento
Anatasio	Tetragonale	011-071-1166	9852	1972	Horn et al.
Andesina	Triclino	01-079-1149	66127	1986	Gerald et al.
Augite	Monoclino	96-900-9665	-	2000	Gualtieri
Biotite 1M	Monoclino	01-076-0884	34856	1975	Takeda
Caolinite 1A	Triclino	01-083-0971	80082	1993	Bish et al.
Chamosite	Triclino	96-900-9234	80082	1992	Walker et al.
Ematite	Esagonale	96-101-1268	-	1928	Zachariasen
Forsterite	Ortorombico	96-901-3097	-	1984	Takeuchi et al.
Goethite	Ortorombico	96-900-2160	-	1999	Gualtieri et al.
Ilmenite	Trigonale	01-071-1140	9085	1978	Morosin et al.
Magnetite	Monoclino	98-007-8090	98088	2002	Radabelli et al.
Montmorillonite	Triclino	96-900-2780	-	2002	Viani et al.
Muscovite 2M ₁	Monoclino	01-080-0743	68548	1989	Catti et al.
Quarzo	Esagonale	01-079-1910	67121	1989	Hazen et al.
Sanidino	Monoclino	96-901-0842	-	2008	Menna et al.
Titanomagnetite	Cubico	98-006-2252	77754	1997	Beaubeuf

Tab.6- Elenco delle fasi utilizzate nei raffinamenti Rietveld.

I parametri attivati durante il raffinamento sono:

- a) background con polinomiali tipo Chebychev di ordine tra 5 e 10;
- b) correzione per il sample displacement;
- c) parametri di cella, cristal size, Lorentziana e scale factor delle fasi cristalline (le coordinate atomiche e i parametri termici non sono stati modificati).

Per quanto riguarda la montmorillonite, non essendo disponibile un adeguato modello strutturale, è stata effettuata un'estrazione dell'intensità dei riflessi per mezzo di raffinamento non strutturale secondo il metodo Le Bail (Le Bail, 1988) a partire dalla cella di riferimento riportata in Tab. 6. Inoltre, essendo la fase interessata da forti fenomeni di allargamento anisotropo lungo i piani reticolari basali, si è escluso dal raffinamento l'intervallo angolare minore di $8.5 [^{\circ}2\theta]$, non raffinando pertanto il riflesso corrispondente ai piani (001) della montmorillonite. La stima della concentrazione di tale fase è stata effettuata considerando tutta la frazione di amorfo misurata con la tecnica dello standard interno come componente smectitica paracrystallina.

A puro titolo di esempio, nelle figure 31 ,32, 33 e 34 sono riportati i diffrattogrammi dei campioni FARA29 e CORN27 con i relativi pattern delle fasi mineralogiche individuate.

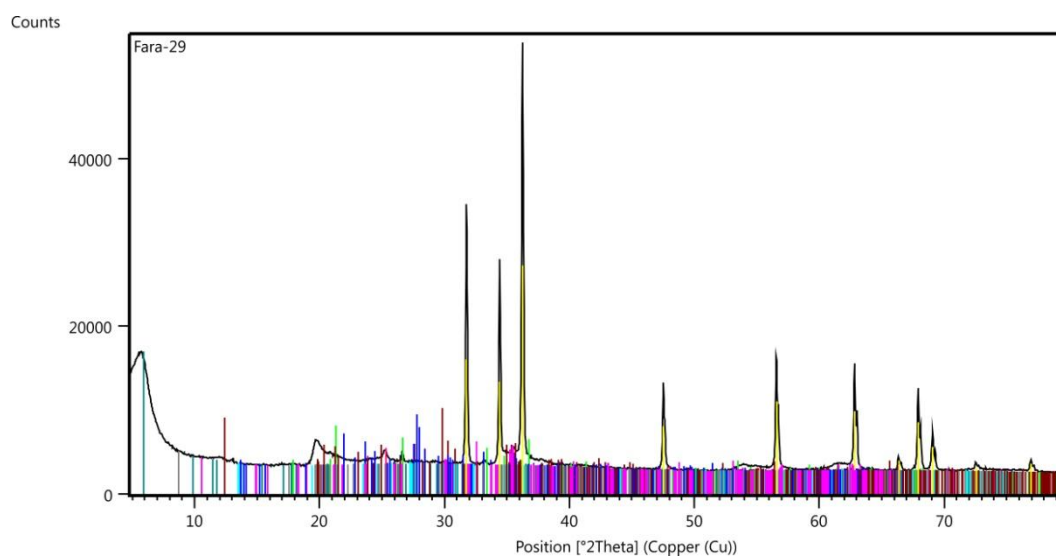


Fig.31. Diffrattogramma del campione FARA29.

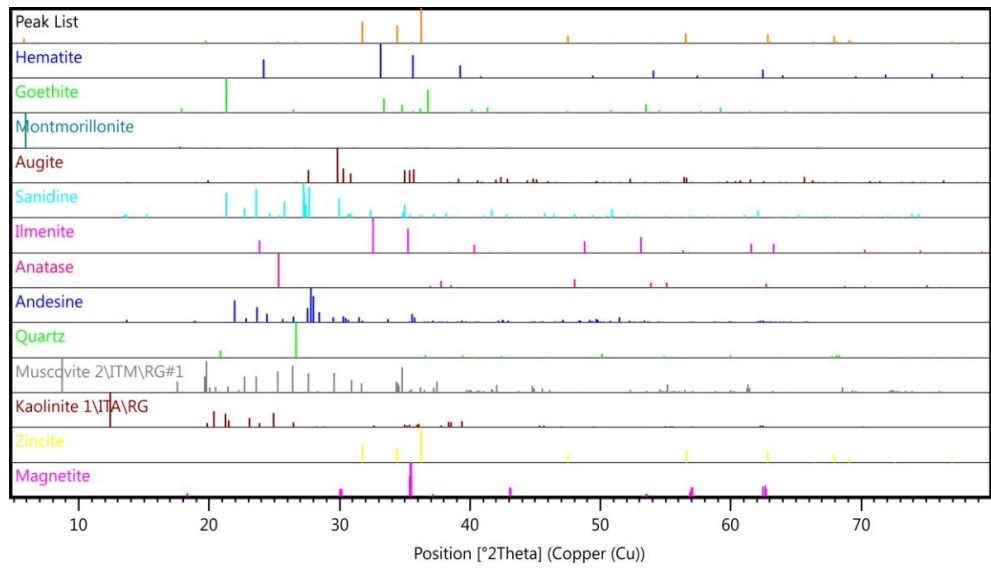


Fig.32. Pattern delle fasi mineralogiche del campione FARA29.

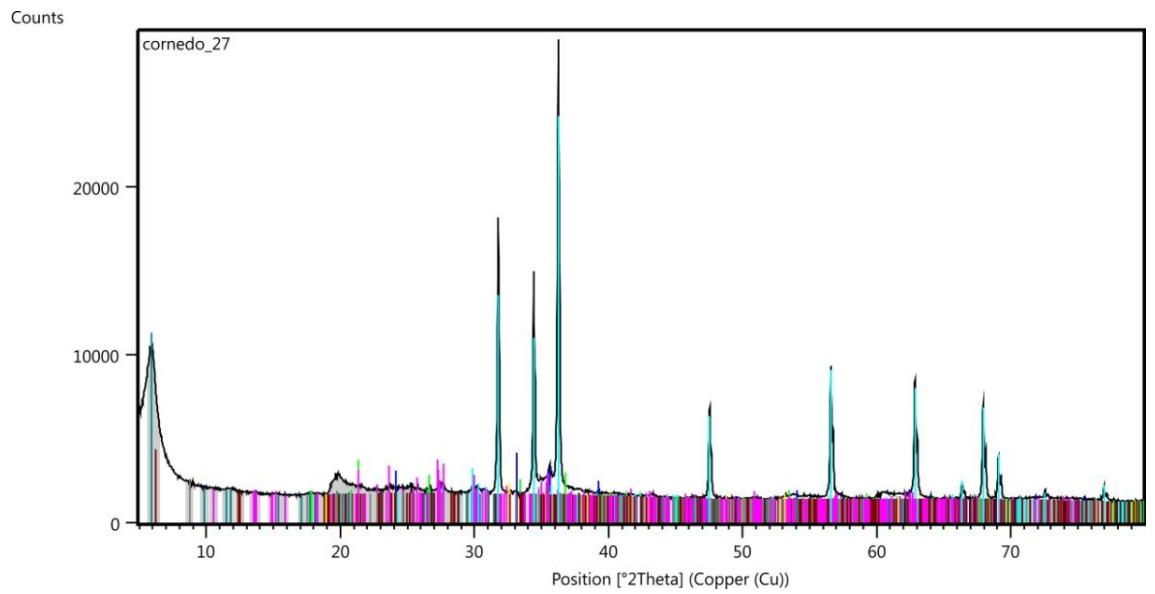


Fig.33. Diffratogramma del campione CORN27.

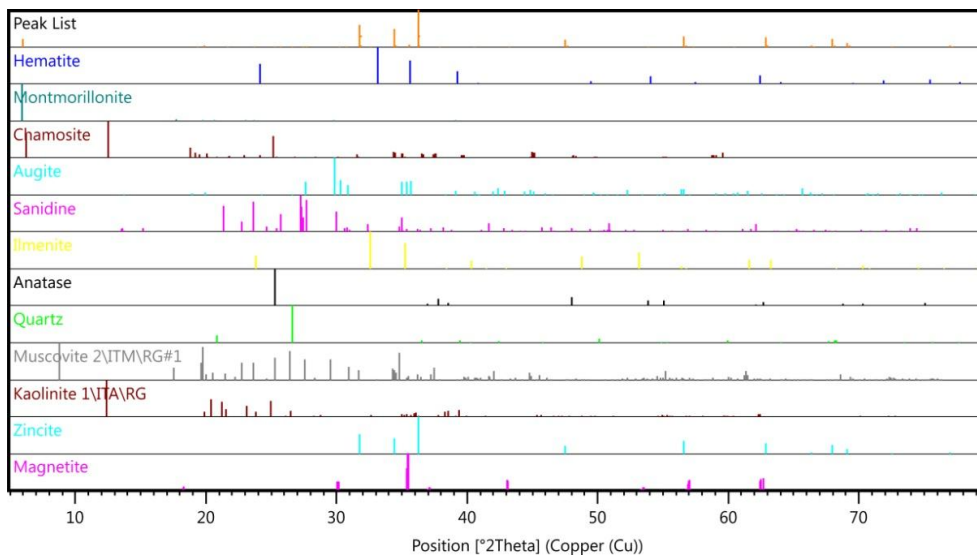


Fig.34. Pattern delle fasi mineralogiche del campione CORN27.

Dai risultati delle analisi mineralogiche si è stabilito che i terreni di Fara Vicentino e di Cornedo Vicentino sono nel complesso costituiti dalle medesime specie mineralogiche, con l'eccezione della presenza di andesina, goethite e chamosite, rinvenuti rispettivamente soltanto a Fara Vicentino (andesina e goethite) e a Cornedo Vicentino (chamosite).

I minerali costituenti i campioni sono stati quindi raggruppati in due associazioni più una fase mineralogica a se stante (smectite), ognuna delle quali rappresenta il risultato dei processi avvenuti nel relativo ambiente di formazione.

1) Fasi residuali, colluviali ed idrotermali (**augite, sanidino, andesina, magnetite, muscovite, chamosite e quarzo**): rappresentate dall'aliquota dei minerali del substrato roccioso (augite, sanidino, andesina e magnetite) non interessati da processi alterativi di natura chimica, ma sicuramente dall'alterazione meccanica, motivo per cui li si ritrova disciolti nel terreno e non in associazioni litologiche. Muscovite e chamosite non sono associati alla roccia madre, bensì a corpi estranei facenti parte del materiale colluviale/antropico; anche il quarzo presente a Cornedo Vicentino è associato al colluvio, mentre a Fara Vicentino è probabilmente legato all'attività idrotermale, motivo per cui lo si rinviene anche ad una certa profondità.

2) Smectite (**montmorillonite**): prodotta dall'alterazione chimica di bassa temperatura delle rocce vulcaniche, in particolare della componente vetrosa e dei silico-alluminati a Na, K, Ca e Mg (feldspati, pirosseni e olivine).

3) Fasi lateritiche (**ematite, ilmenite, anatasio, goethite e caolinite**): ultimi prodotti del processo di alterazione delle rocce vulcaniche, avvenuta attraverso la circolazione di fluidi meteorici di bassa temperatura ($\leq 40^{\circ}\text{C}$). La laterizzazione avviene generalmente in ambiente tropicale, ma il clima eccezionalmente caldo del Terziario (soprattutto nell'Eocene e nell'Oligocene), permise la formazione di profili di alterazione lateritica profonda sino a latitudini di 50° (Lombardi & Mattias, 1987). Nel caso specifico avvenne inizialmente un fenomeno di idrolisi dei silicati, che generò smectite poi sostituita da caolinite, e liberò alcali e silice; successivamente si verificò una concentrazione degli elementi che non furono disciolti dall'acqua e che precipitarono formando ossidi ed idrati di ferro e titanio. Inserendo in una tabella le percentuali in peso dei vari minerali per ogni campione, proiettati successivamente su dei grafici, è stato possibile ricostruire un profilo della composizione mineralogica dei terreni e quindi individuare degli orizzonti caratterizzati da particolari concentrazioni delle associazioni mineralogiche presenti.

Nel caso di Fara Vicentino sono stati individuati cinque orizzonti (Fig.35 e 36).

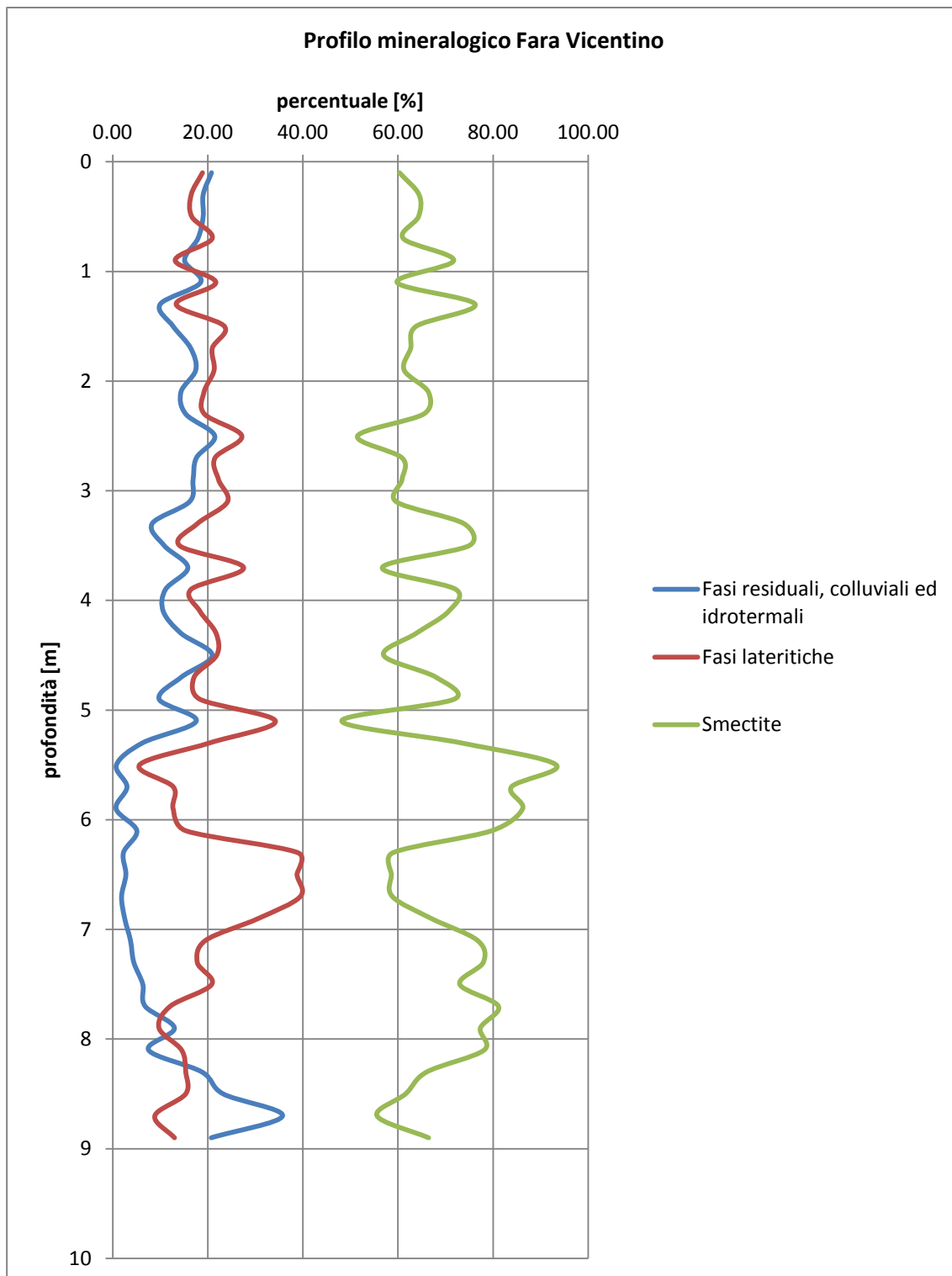


Fig.35. Profilo mineralogico dei terreni di Fara Vicentino.

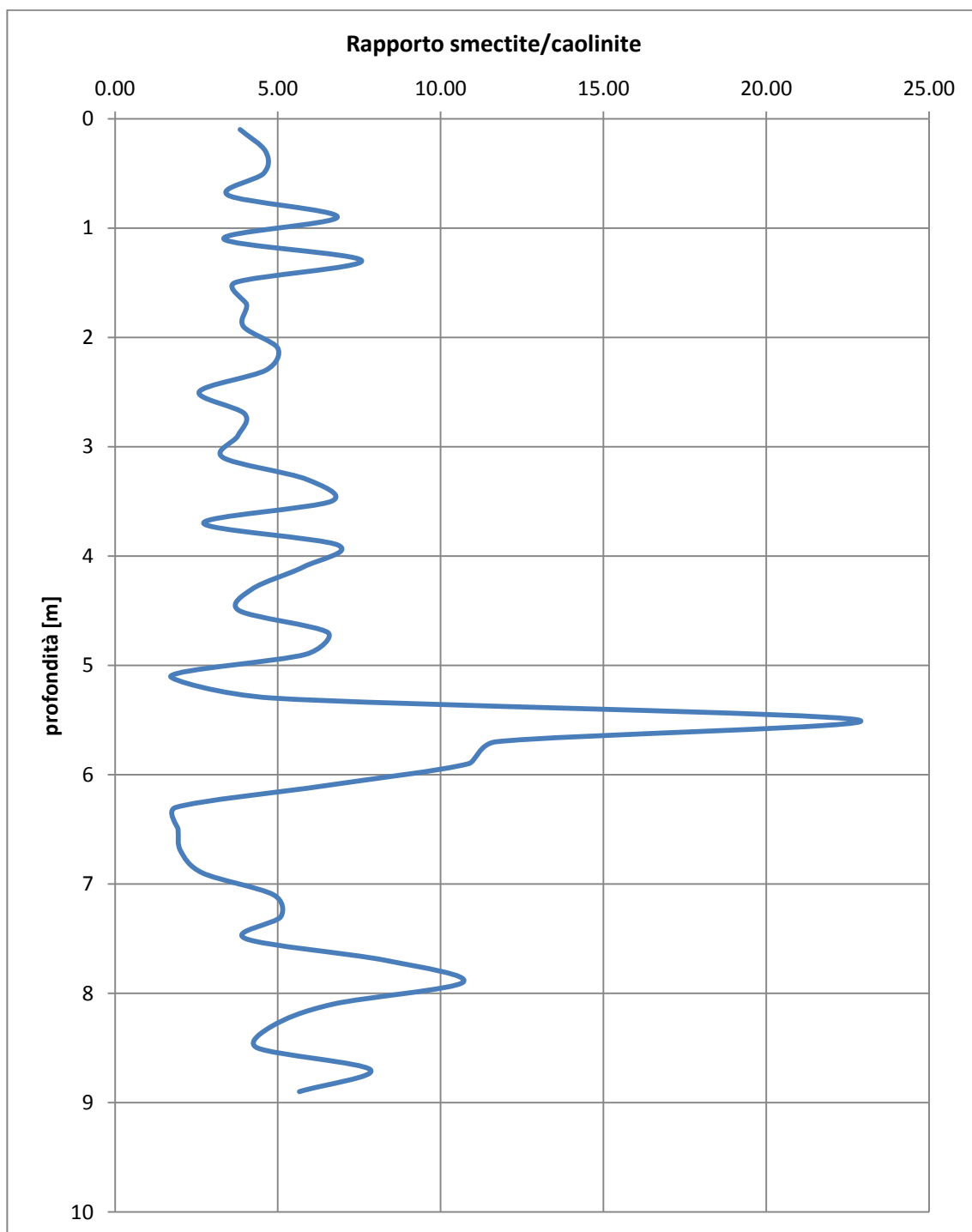


Fig.36. Variazione del rapporto smectite/caolinite con la profondità.

L'orizzonte più superficiale (0.0-1.2 m) presenta un contenuto di smectite medio del 64%, 18% di fasi lateritiche e 18% di fasi residuali, colluviali ed idrotermali. Nonostante sia la porzione di terreno più superficiale, quindi teoricamente più

alterata, presenta un discreto contenuto di fasi residuali; questo è dovuto essenzialmente al continuo rimaneggiamento antropico del colluvio, attività legata alla coltivazione del vigneto. Il rapporto smectite/caolinite è mediamente pari a 4. Il secondo orizzonte (1.2-5.4 m) contiene mediamente il 65% di smectite, 21% di fasi lateritiche, 14% di fasi residuali, colluviali ed idrotermali ed è caratterizzato da un rapporto smectite/caolinite mediamente pari a 5. A differenza del primo orizzonte, questo risulta essere più alterato, giacché il contenuto di fasi residuali diminuisce a spese dei minerali delle argille.

Tra 5.4 e 6.0 m si colloca il livello a maggiore contenuto in smectite, dove quest'ultima presenta valori tra l'84 e il 93% , portando il rapporto smectite/caolinite a raggiungere valori tra l'11 e il 23; le fasi lateritiche oscillano tra il 6% e il 13%, mentre le fasi residuali sono trascurabili.

Il quarto orizzonte (6.0-7.0 m) è caratterizzato da un'elevata concentrazione di fasi lateritiche (36%), con un contenuto medio di caolinite del 26%, mentre la smectite è presente con una concentrazione media del 65%. Anche in questo livello le fasi residuali sono trascurabili.

Nell'ultimo orizzonte (7.0-10.0 m) le fasi residuali diventano rilevanti, con concentrazione crescente all'aumentare della profondità, dal 4% al 36%; la smectite presenta un valore medio del 71% e le fasi lateritiche una percentuale del 15%, registrando un valore medio del rapporto smectite/caolinite pari a 6%.

Di seguito sono riportati il diffrattogramma, il pattern di diffrazione e la tabella con i risultati dell'analisi quantitativa del trovante basaltico (Fig.37 e Tab.7).

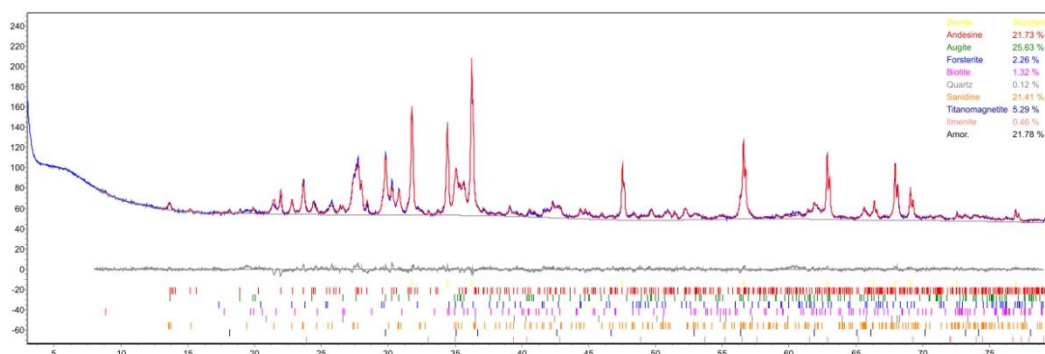


Fig.37. Diffrattogramma e pattern di diffrazione del campione TROV-FARA.

R_{wp}	Fase mineralogica	%
4.07	Augite	25.63
	Andesina	21.73
	Sanidino	21.41
	Titanomagnetite	5.29
	Forsterite	2.26
	Biotite	1.32
	Ilmenite	0.46
	Quarzo	0.12
	Amorfo	21.78

Tab.7- Risultati dell'analisi quantitativa relativa al trovante di basalto.

Dalla tabella 7 si può notare che un'aliquota delle specie individuate nel basalto di Fara Vicentino concordano con quelle rilevate nei medesimi terreni, in particolar modo per quanto concerne augite, andesina e sanidino. L'occorrenza di diverse tipologie di spinello nei campioni di terreno e nel trovante (rispettivamente magnetite e titanomagnetite) è giustificabile con l'ipotesi che il substrato roccioso interessato dai processi di alterazione chimico-fisica non fosse costituito dal basalto stesso, ma da tufo.

Per quanto concerne Cornedo Vicentino, dai grafici in Fig. 38 e 39 si può notare che, dal punto di vista mineralogico, i terreni sono nel complesso più omogenei rispetto a quelli di Fara Vicentino. Inoltre, presentano un contenuto medio di smectite maggiore, e rispettivamente pari all'80% contro il 68% di Fara Vicentino; la caolinite ha una concentrazione media del 12% e il rapporto smectite/caolinite si attesta su valori medi di 6-7.

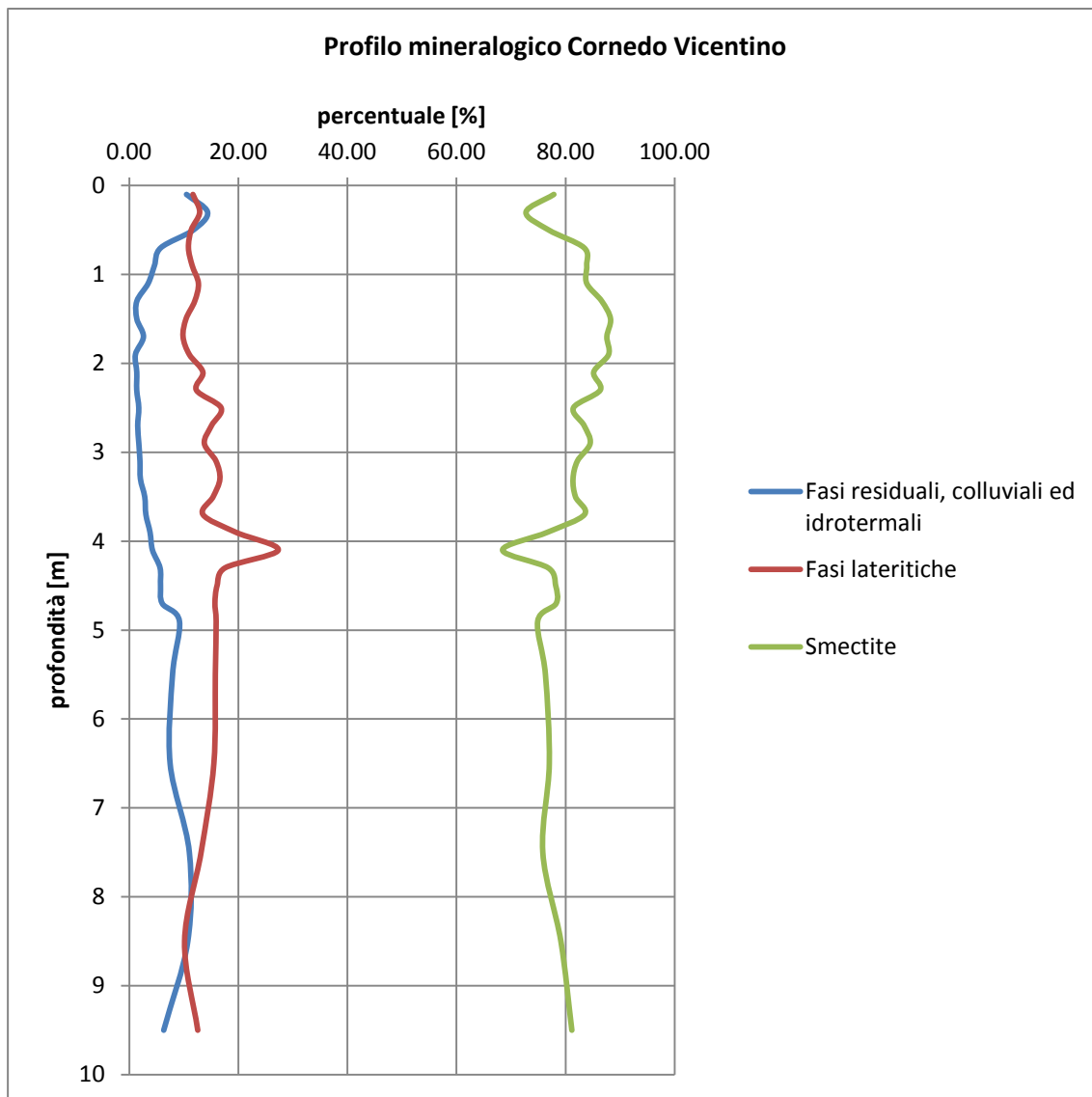


Fig.38. Profilo mineralogico dei terreni di Cornedo Vicentino.

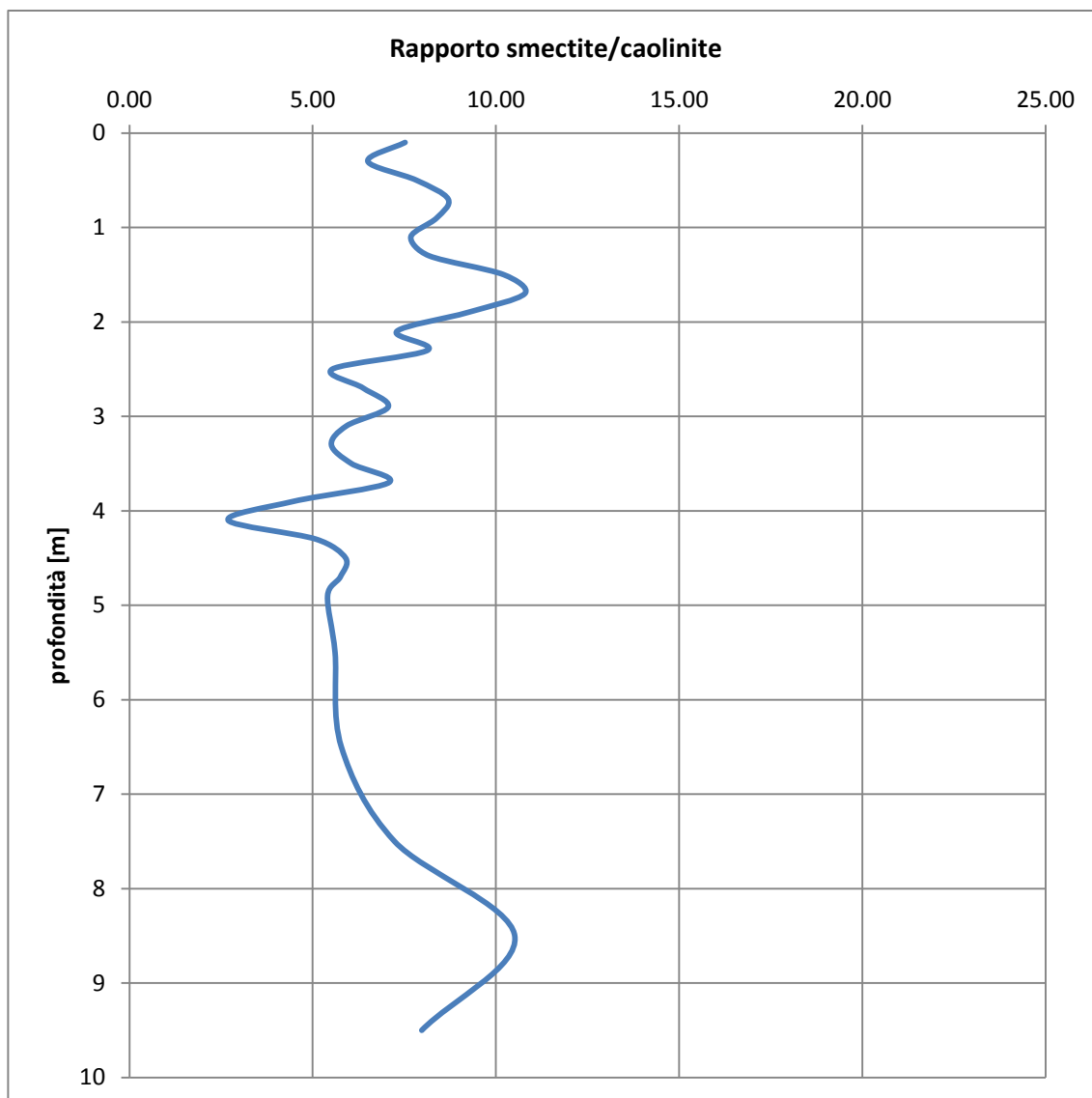


Fig.39. Variazione del rapporto smectite/caolinite con la profondità.

Dal profilo mineralogico si può notare che le fasi residuali e colluviali sono presenti con una percentuale significativa soltanto nella parte più superficiale di terreno (0.0-0.8 m) e nella porzione profonda (4.2-10.0 m); in superficie esse sono associate al rimaneggiamento antropico del materiale colluviale, mentre in profondità sono legate alla progressivo avvicinamento al substrato roccioso.

In base al contenuto di smectite è possibile individuare due orizzonti: il primo orizzonte (0.0-4.0 m) caratterizzato da un contenuto medio di smectite pari all'

83% e il secondo (4.0-10.0 m) con una concentrazione media di smectite pari al 77%. Come rappresentato in Fig.39, i due livelli sono ben individuabili anche dal rapporto smectite/caolinite.

4.2.2. Diffrazione a raggi X da polveri sulla frazione fine

La diffrazione da polveri dei levigati ha permesso di caratterizzare la frazione fine dei campioni, rendendo possibile la determinazione delle specie e le caratteristiche mineralogiche dei minerali argillosi individuati precedentemente, cioè caolinite e smectite.

La *caolinite* è un fillosilicato appartenente al gruppo serpentino-caolinite, con formula $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ e struttura T-O, quindi costituita da uno strato tetraedrico (T) e da uno ottaedrico (O). L'ottaedro della caolinite è di tipo diottaedrico, in quanto il catione che si trova al centro dello stesso è trivalente (Al^{3+}). Pacchetti successivi di caolinite sono sovrapposti in modo tale che in generale gli ossigeni alla base di uno strato sono legati attraverso un legame idrogeno agli ioni idrogeno alla sommità dello strato vicino; (Deer et al., 1998); siccome tali pacchetti sono tenuti insieme da forze elettrostatiche che non consentono l'ingresso di ioni e molecole, la caolinite non risulta espandersi quando viene in contatto con l'acqua. Per questo motivo, la distanza verticale lungo l'asse c tra i piani (001), cioè il d-spacing, è costante e pari a circa 7.1 Å (Fig.40)

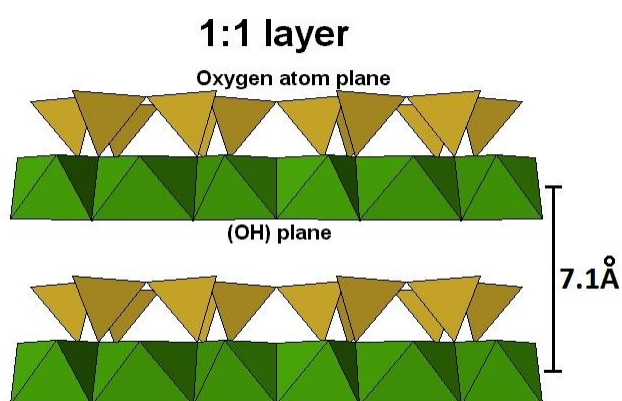


Fig.40. Struttura della caolinite.

Le *smectiti* costituiscono un gruppo di fillosilicati con struttura T-O-T (Fig.41), che possono essere sia diottaedrici che triottaedrici, giacché nell'ottaedro il catione trivalente Al^{3+} può essere sostituito dai cationi bivalenti Mg^{2+} ed Fe^{2+} (Moore & Reynolds, 1997). La smectite diottaedrica più comune è la montmorillonite, la quale ha la seguente formula ideale: $(Na,Ca)_{0.3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10} \cdot nH_2O$ (Klein, 2004). La montmorillonite ha la capacità di rigonfiare in seguito all'adsorbimento di molecole d'acqua fra i pacchetti T-O-T, in

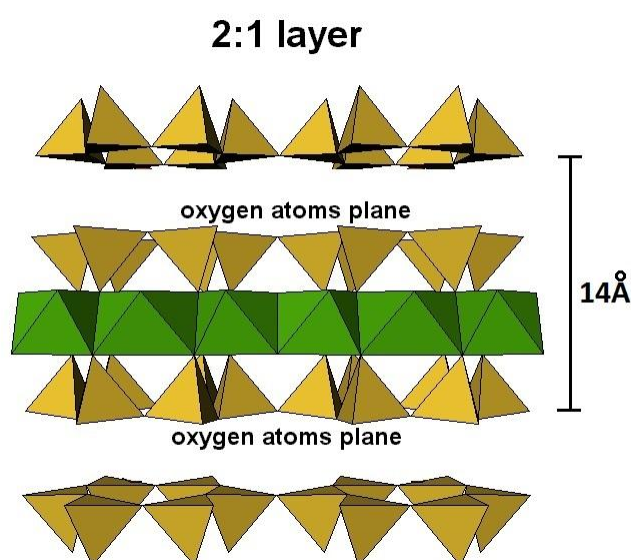


Fig.41. Struttura della smectite.

associazione con i cationi interstrato Na^+ e Ca^{2+} ; questa capacità di espandere è dovuta al fatto che i cationi interstrato sono attratti più dalle molecole d'acqua che dalla carica relativamente debole dei pacchetti T-O-T. Per tale motivo, la montmorillonite ha un spaziatura sull'asse c variabile in relazione alla quantità di acqua interposta tra gli interstrati, andando da un d-spacing di 14 Å in condizione anidre, a un d-spacing anche maggiore di 20 Å in presenza d'acqua.

I campioni trattati con il metodo della levigatura sono stati i seguenti:

- FARA02: campione rappresentante il terreno superficiale di Fara Vicentino;
- FARA26: campione contenente meno smectite (48%) e molta caolinite (28%);
- FARA29: campione molto alto in smectite (84%) e povero in caolinite (7%);

- CORN02: campione rappresentante il terreno superficiale di Cornedo Vicentino;
- CORN09: campione con il maggior contenuto di smectite (88%);
- CORN21: campione contenente il minor contenuto in smectite (64%) e il maggiore in caolinite (25%);
- CORN27: campione rappresentante il contenuto mineralogico medio dei terreni di Cornedo Vicentino.

Tutti i diffrattogrammi dei campioni trattati con il metodo della levigatura, ed analizzati in diffrattometria ai raggi x delle polveri pre- e post- trattamento con il glicole etilenico, dimostrano che la posizione dei riflessi della caolinite rimane sempre invariata (Fig.42-43-44-45-46-47-48). Questo è dovuto al fatto che la caolinite è caratterizzata da un comportamento espansivo sostanzialmente nullo, con conseguente assenza di variazione di d-spacing dei piani basali.

Invece, per quanto riguarda la smectite, si registra generalmente un evidente spostamento del riflesso relativo alla sezione basale (001), da un valore di 2θ pari a 5.90° (in aria) a un 2θ di 5.20° (in glicole), con la conseguente variazione del d-spacing basale da circa 15 \AA a 17 \AA . Tale comportamento espansivo conferma che la smectite in questione è una montmorillonite e precisamente una montmorillonite pura, in quanto se fosse interstratificata, ovvero caratterizzata da intercalazioni di altri minerali argillosi con carattere espansivo minore, la variazione di d-spacing risulterebbe inferiore rispetto a quella registrata. Unico campione anomalo è CORN02 (Fig.45), il quale mostra una componente montmorillonitica pura con spostamento a 17 \AA e una seconda componente priva di spostamento, il che potrebbe essere dovuto alla presenza di interstratificazioni di idrossidi (Moore & Reynolds, 1997), tali da rendere l'argilla meno espansiva.

Inoltre, dai diffrattogrammi è stato notato che la smectite non presenta sempre lo stesso grado di cristallinità; in alcuni diffrattogrammi i picchi risultano caratterizzati da più ridotte larghezze a metà altezza, mentre in altri i riflessi *hkl* dei piani reticolari basali si presentano distribuiti su un maggior intervallo angolare 2θ , ad indicare una forte anisotropia della fase.

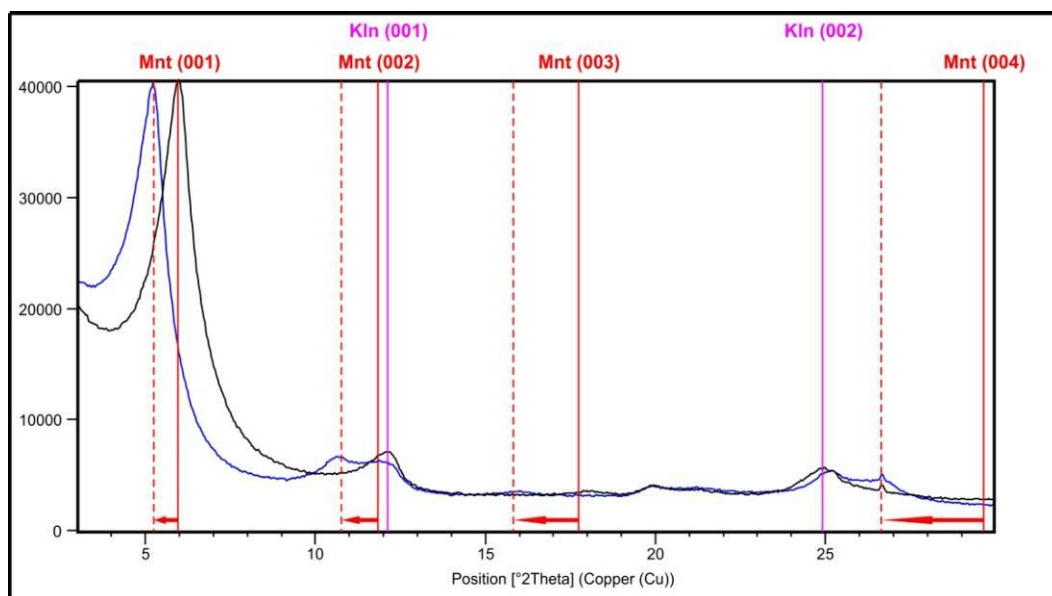


Fig.42. Diffratogrammi del campione FARA02: campione levigato (nero), campione glicolato (blu). Le linee di color magenta rappresentano la posizione dei riflessi hkl relativi alla caolinite, mentre le linee di color rosso sono associate alla montmorillonite; le linee rosse tratteggiate rappresentano gli spostamenti dei riflessi hkl della montmorillonite in seguito al trattamento con il glicole etilenico.

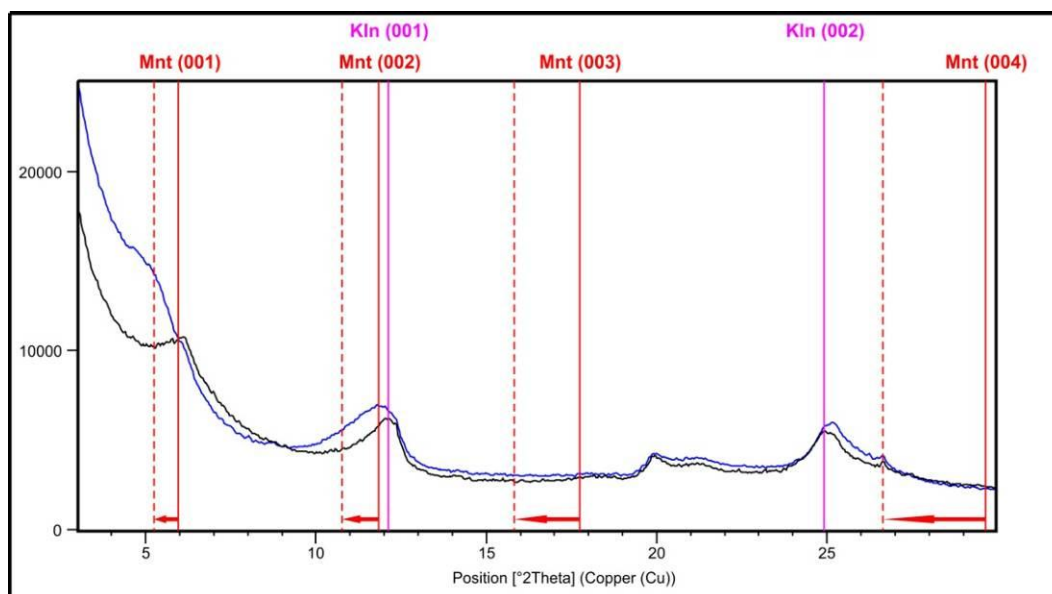


Fig.43. Diffratogrammi del campione FARA26: campione levigato (nero), campione glicolato (blu). Le linee di color magenta rappresentano la posizione dei riflessi hkl relativi alla caolinite, mentre le linee di color rosso sono associate alla montmorillonite; le linee rosse tratteggiate rappresentano gli spostamenti dei riflessi hkl della montmorillonite in seguito al trattamento con il glicole etilenico.

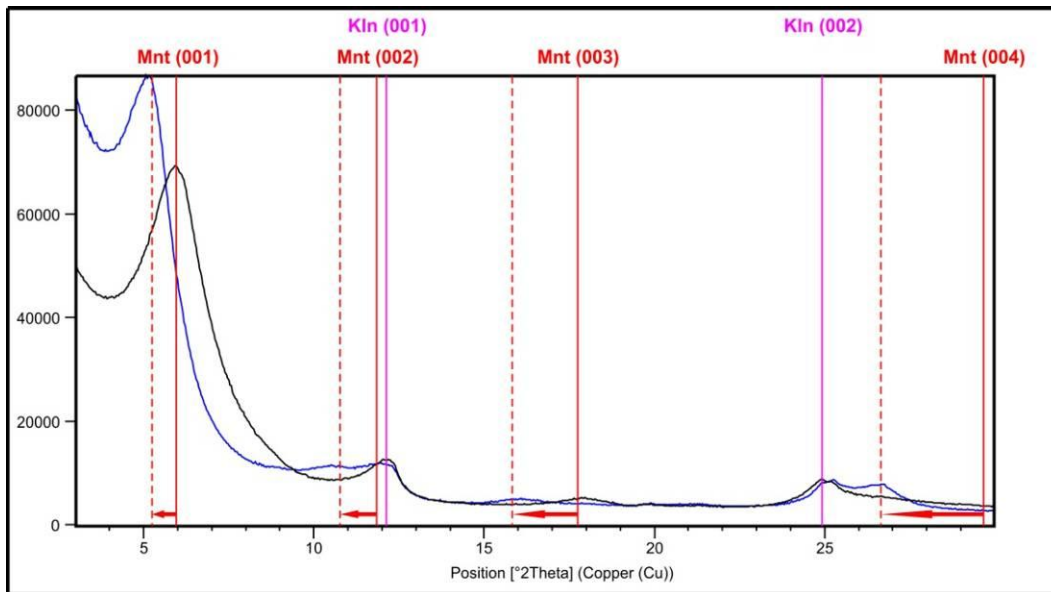


Fig.44. Diffratogrammi del campione FARA29: campione levigato (nero), campione glicolato (blu). Le linee di color magenta rappresentano la posizione dei riflessi hkl relativi alla caolinite, mentre le linee di color rosso sono associate alla montmorillonite; le linee rosse tratteggiate rappresentano gli spostamenti dei riflessi hkl della montmorillonite in seguito al trattamento con il glicole etilenico.

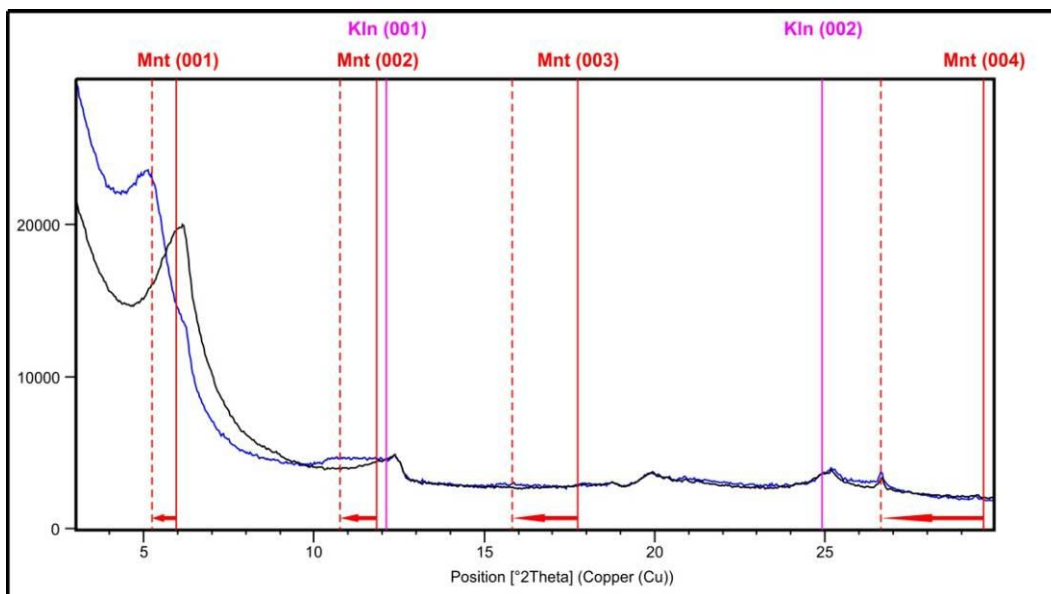


Fig.45. Diffratogrammi del campione CORN02: campione levigato (nero), campione glicolato (blu). Le linee di color magenta rappresentano la posizione dei riflessi hkl relativi alla caolinite, mentre le linee di color rosso sono associate alla montmorillonite; le linee rosse tratteggiate rappresentano gli spostamenti dei riflessi hkl della montmorillonite in seguito al trattamento con il glicole etilenico.

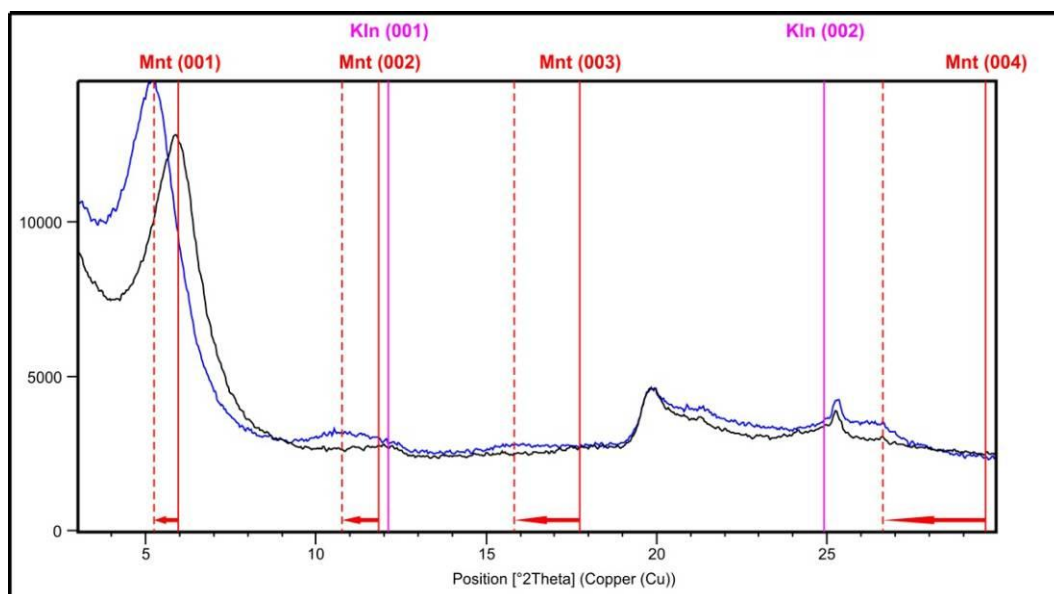


Fig.46. Diffratogrammi del campione CORN09: campione levigato (nero), campione glicolato (blu). Le linee di color magenta rappresentano la posizione dei riflessi hkl relativi alla caolinite, mentre le linee di color rosso sono associate alla montmorillonite; le linee rosse tratteggiate rappresentano gli spostamenti dei riflessi hkl della montmorillonite in seguito al trattamento con il glicole etilenico.

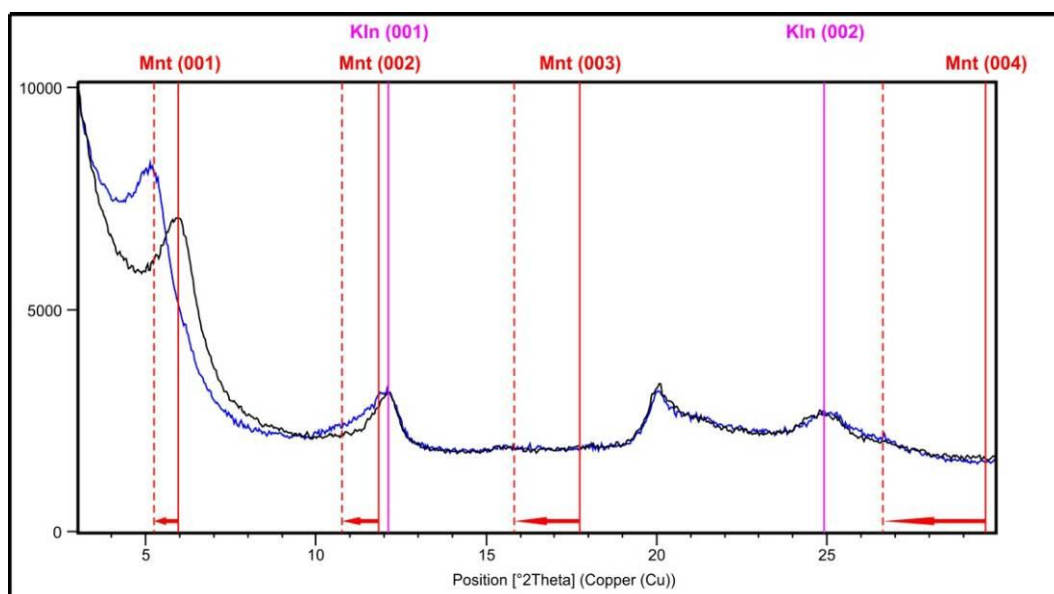


Fig.47. Diffratogrammi del campione CORN21: campione levigato (nero), campione glicolato (blu). Le linee di color magenta rappresentano la posizione dei riflessi hkl relativi alla caolinite, mentre le linee di color rosso sono associate alla montmorillonite; le linee rosse tratteggiate rappresentano gli spostamenti dei riflessi hkl della montmorillonite in seguito al trattamento con il glicole etilenico.

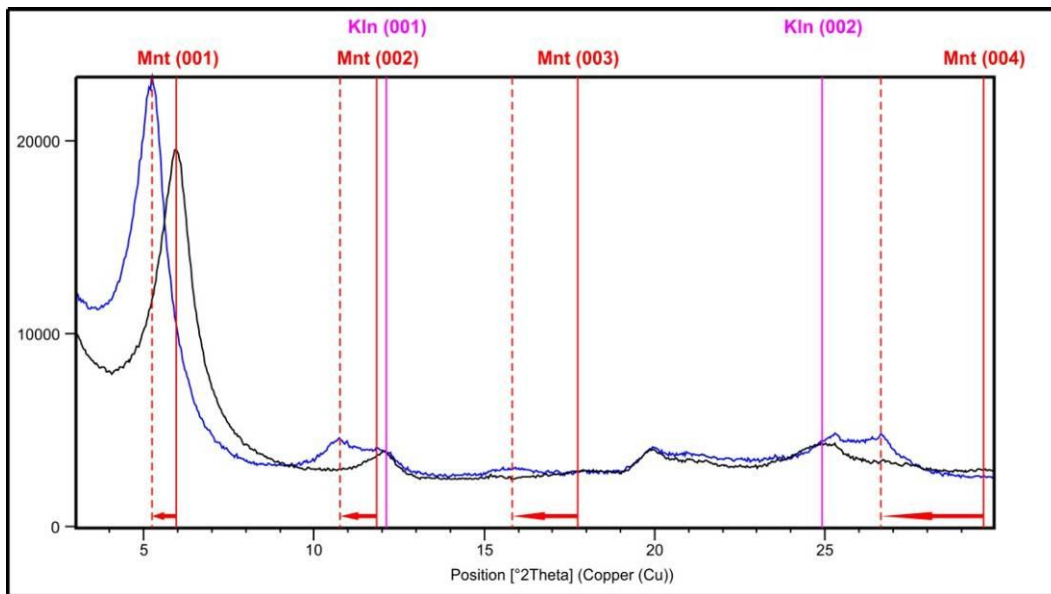


Fig.48. Diffattogrammi del campione CORN27: campione levigato (nero), campione glicolato (blu). Le linee di color magenta rappresentano la posizione dei riflessi hkl relativi alla caolinite, mentre le linee di color rosso sono associate alla montmorillonite; le linee rosse tratteggiate rappresentano gli spostamenti dei riflessi hkl della montmorillonite in seguito al trattamento con il glicole etilenico.

I campioni FARA02, FARA26, CORN02 e CORN21 sono stati inoltre trattati termicamente per mezzo di riscaldamento in forno elettrico a muffola, attraverso due step di riscaldamento (335°C e 550°C), e successivamente analizzati in diffrazione ancora una volta.

Complessivamente, i diffattogrammi dei campioni trattati con il metodo della levigatura ed analizzati in diffattometria ai raggi x delle polveri pre- e post-trattamento termico mostrano che a 335°C il riflesso basale (001) della montmorillonite varia da 14 \AA a 9.5 \AA . Tale comportamento è associato alla perdita d'acqua presente nell'interstrato, determinando così il collasso della struttura attorno ai rimanenti cationi interstrato e restituendo un pattern di diffrazione simile a quello dell'illite (Moore & Reynolds, 1997).

Nel caso del campione CORN02, si osserva che in seguito al trattamento termico a 335°C non tutta la smectite collassa a 9.5 \AA , ma permane un debole picco a circa $6.5 [^{\circ}2\text{Th}]$. Questo è molto probabilmente legato alla presenza di una frazione minoritaria di smectite interstratificata con un idrossido, il che è coerente con la

composizione mineralogica dei campioni, generalmente ricchi in ossidi di ferro e titanio.

Dai diffrattogrammi ottenuti dopo il secondo step di riscaldamento (550°C), si nota chiaramente la scomparsa del riflesso basale (001) associato alla caolinite; questa è dovuta al processo di deidrossilazione, con la conseguente formazione di metacaolino, fase non cristallina (Moore & Reynolds, 1997).

Di seguito sono riportati i diffrattogrammi relativi ai campioni levigati e analizzati in seguito al trattamento termico (Fig. 49, 50, 51, 52).

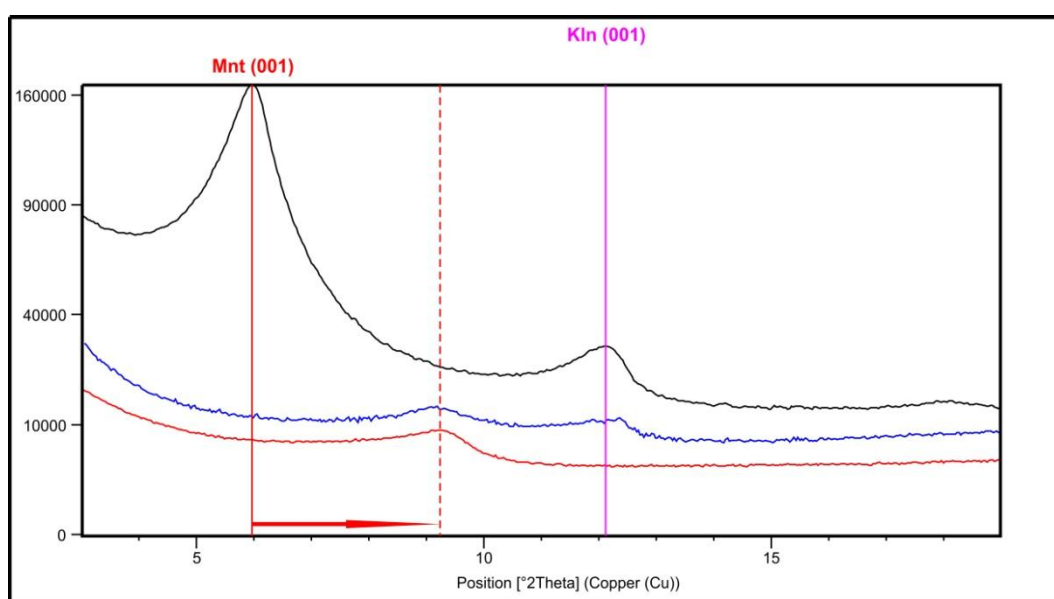


Fig.49. Diffrattogrammi del campione FARA02: campione levigato (nero), campione riscaldato a 335°C (blu), campione riscaldato a 550°C (rosso). La linea di color magenta rappresenta la posizione dei riflessi hkl relativi alla caolinite, mentre le linee di color rosso sono associate alla montmorillonite; le linee rosse tratteggiate rappresentano gli spostamenti dei riflessi hkl della montmorillonite in seguito al trattamento termico.

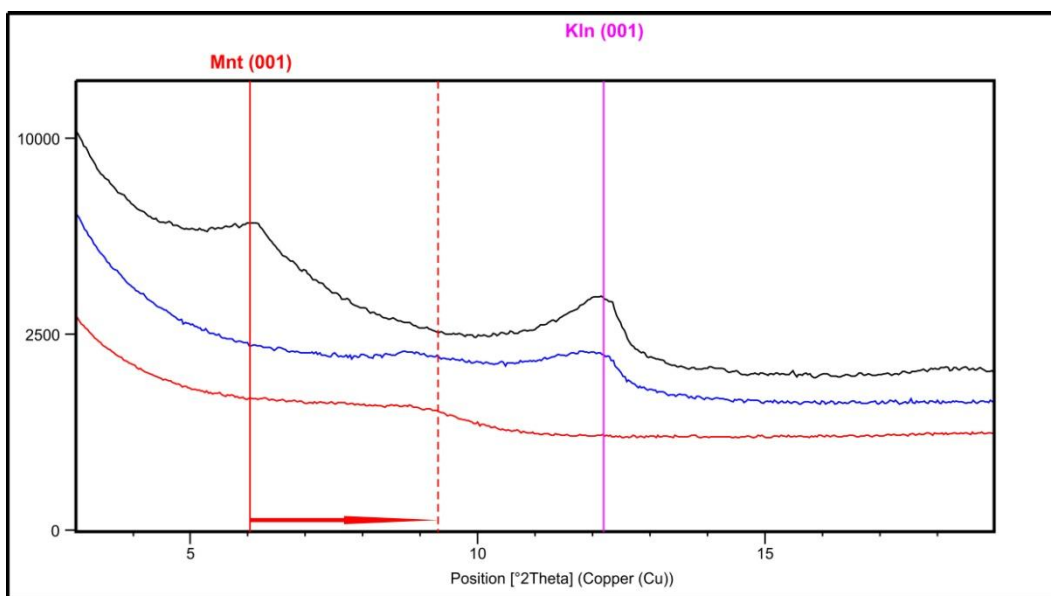


Fig.50. Diffratogrammi del campione FARA26: campione levigato (nero), campione riscaldato a 335°C (blu), campione riscaldato a 550°C (rosso). La linea di color magenta rappresenta la posizione dei riflessi hkl relativi alla caolinite, mentre le linee di color rosso sono associate alla montmorillonite; le linee rosse tratteggiate rappresentano gli spostamenti dei riflessi hkl della montmorillonite in seguito al trattamento termico.

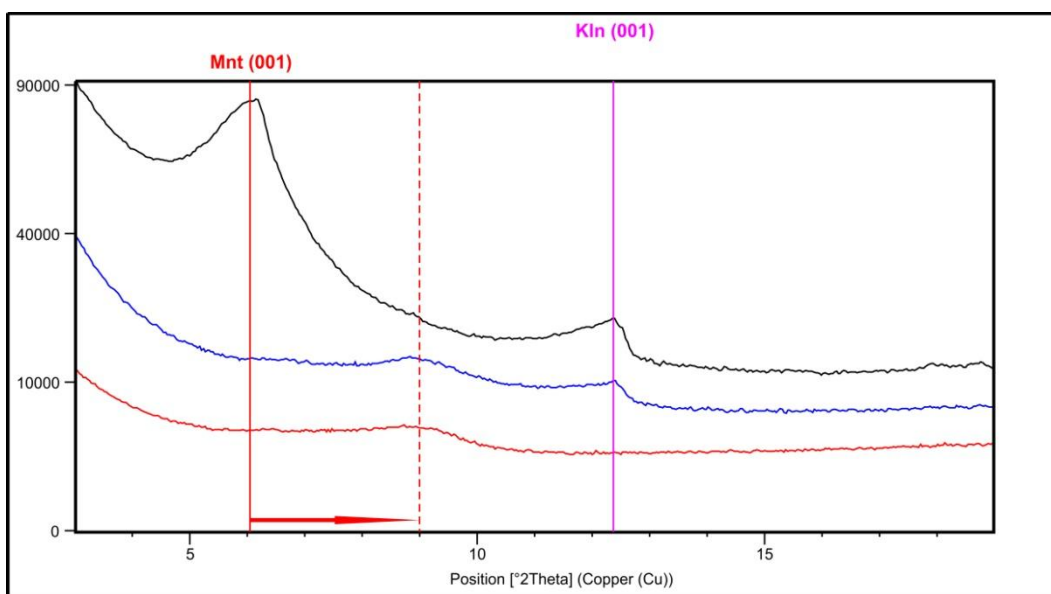


Fig.51. Diffratogrammi del campione CORN02: campione levigato (nero), campione riscaldato a 335°C (blu), campione riscaldato a 550°C (rosso). La linea di color magenta rappresenta la posizione dei riflessi hkl relativi alla caolinite, mentre le linee di color rosso sono associate alla montmorillonite; le linee rosse tratteggiate rappresentano gli spostamenti dei riflessi hkl della montmorillonite in seguito al trattamento termico.

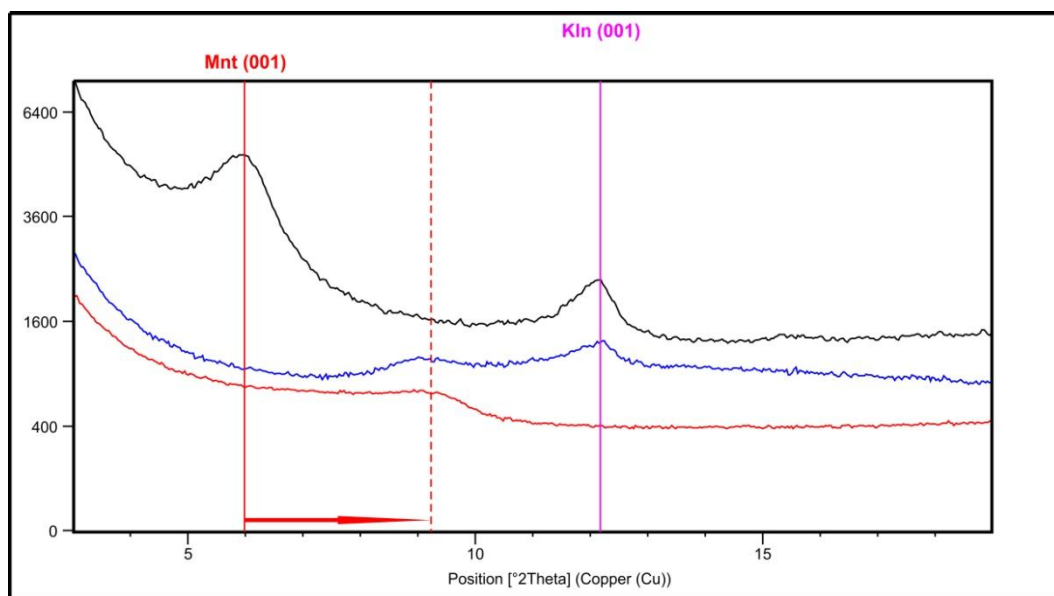


Fig.52. Diffratogrammi del campione CORN29: campione levigato (nero), campione riscaldato a 335°C (blu), campione riscaldato a 550°C (rosso). La linea di color magenta rappresenta la posizione dei riflessi hkl relativi alla caolinite, mentre le linee di color rosso sono associate alla montmorillonite; le linee rosse tratteggiate rappresentano gli spostamenti dei riflessi hkl della montmorillonite in seguito al trattamento termico.

5. CONCLUSIONI

I dissesti franosi superficiali che avvengono nei Lessini Orientali e nel Marosticano coinvolgono i depositi argilloso-limosi, prodotti dall'alterazione fisico-chimica del substrato roccioso, costituito principalmente da tufi e basalti.

Il piano di scivolamento si colloca generalmente in corrispondenza del limite tra i *depositi argilloso-limosi da molli a mediamente consistenti (B1)* e i *depositi limoso-argillosi da mediamente a molto consistenti con inclusi basaltici/tufacei (B2)*, oppure all'interno dell'orizzonte *B1*. La profondità del piano di scivolamento varia da 1.5-7.0 m nel Marosticano a 3.0-9.0 m nei Lessini Orientali.

Dal punto di vista della dinamica, i fenomeni franosi considerati nelle aree studio sono stati tutti classificati come *Scivolamenti traslazionali/rotazionali di terra* (90%) o *Colate di terra* (10%).

Dal confronto dei risultati delle prove geotecniche di laboratorio e delle analisi mineralogiche sono stati individuati una serie di orizzonti aventi peculiari caratteristiche geotecniche e mineralogiche, permettendo così di caratterizzare il deposito di frana e il piano di scivolamento dei due dissesti in esame.

I depositi coinvolti nei due dissesti considerati dal punto di vista granulometrico si presentano abbastanza simili: il deposito della frana di Fara è costituito prevalentemente da *limo sabbioso argilloso*; il deposito di Cornedo è costituito prevalentemente da *limo con sabbia debolmente argilloso*. Una sostanziale differenza si registra invece per quanto riguarda l'uniformità dei materiali: mentre il deposito di Fara mostra una notevole variabilità in termini di coefficiente di uniformità (8-467), il deposito di Cornedo si presenta molto più uniforme (9-25).

I limiti di Atterberg mostrano significative variazioni nei primi 5-6 m di profondità in entrambi i siti. Con l'aumentare della profondità assistiamo ad una generale omogeneizzazione dei valori. Tuttavia i valori di Fara sono mediamente maggiori dei valori di Cornedo. Da quanto emerso durante lo studio, inoltre, per entrambi i depositi dissestati, si evidenziano bassi valori del limite di plasticità e liquidità che non sembrano essere tipici di terreni a grana fine con prevalente

presenza di montmorillonite. Infatti in bibliografia scientifica il limite di liquidità della montmorillonite varia dal 300% al 700% e il limite di plasticità dal 50% al 100% (Colombo & Colleselli, 2000). Tali valori sono fortemente in contrasto con quelli emersi dalle analisi di laboratorio, compresi per il limite di liquidità tra 8% e 35% e per il limite plastico tra 1% e 8%.

Le fasi principali presenti nei due depositi sono sostanzialmente le stesse, con alcune differenze probabilmente dovute alla differente mineralogia della roccia madre. È evidente che la fase mineralogica predominante è la montmorillonite, seguita in entrambi i casi da caolinite. Nel complesso la quantità di queste due argille varia dal 63% al 97% a Fara Vicentino; a Cornedo Vicentino invece la variazione è più contenuta attestandosi tra l'83% il 97%. Tuttavia, questi due minerali delle argille presentano delle differenze cristallografiche e cristallochimiche che si riflettono, poi, nel comportamento delle stesse nei confronti dell'acqua. Mentre la montmorillonite ha un comportamento espansivo marcato, la caolinite non espande. In questo senso è importante evidenziare le differenze sostanziali, nei due depositi, in termini di rapporto tra le stesse. A Fara possiamo definire inequivocabilmente che tra 5.4 m e 6.0 m esiste un valore di tale rapporto 4 volte (22.82) superiore alla media (5.48). A Cornedo, al contrario, l'andamento è praticamente costante con valori che oscillano tra 2 e 10.

A questo punto sono evidenti delle similitudini tra le caratteristiche geotecniche e mineralogiche della frana di Fara e di quella di Cornedo. Infatti mentre per Fara emergono andamenti poco omogenei ed in generale caratterizzati dalla presenza di orizzonti fortemente anomali, per la frana di Cornedo i dati mostrano una sostanziale omogeneità. A Fara Vicentino questa disomogeneità si riflette probabilmente con un comportamento molto diverso tra i vari orizzonti individuati in presenza di acqua. Infatti, orizzonti fortemente espandibili sono alternati ad orizzonti poco espandibili. A Cornedo Vicentino invece è possibile individuare un orizzonte fino a circa 4.0 m di profondità con carattere espansivo maggiore di quanto posto sotto.

Le differenze evidenziate in precedenza tra il fenomeno di Fara e quello di Cornedo, quindi, danno una prima spiegazione del diverso tipo di movimento che si è innescato nei due depositi.

Nella stratigrafia di Fara sono presenti diversi orizzonti, tra i quali ve n'è uno molto diverso in termini di espandibilità, rispetto al resto della stratigrafia stessa. Questo punto potrebbe essere rappresentativo di una superficie che unisce punti di debolezza che si è venuta a creare in seguito all'espansione di orizzonti analoghi vicini. Su questa superficie potrebbe essersi impostato il piano di scivolamento.

A Cornedo invece siamo di fronte ad una situazione nella quale è possibile individuare due orizzonti fondamentalmente omogenei. Non essendoci dei livelli con variazioni significative sia in termini mineralogici che geotecnici, non è possibile individuare un piano di scivolamento ben definito. È possibile che l'orizzonte superiore abbia raggiunto il limite di liquidità prima di quanto posto sotto, ancora allo stato plastico.

Gli studi futuri dovranno andare ad indagare più a fondo le questioni legate alla reologia dei depositi, alla microtessitura e alle caratteristiche idrogeologiche dei versanti coinvolti.

RINGRAZIAMENTI

Desidero innanzitutto ringraziare il Dott. Mario Floris, per la disponibilità e l'aiuto fornito durante la realizzazione di questa tesi.

Un sentito ringraziamento va al Dott. Enrico Busnardo, per l'insostituibile supporto scientifico e logistico durante l'attività di campagna e per la preziosa collaborazione durante l'esecuzione delle numerose prove di laboratorio.

Ringrazio inoltre il Dott. Michele Secco, per l'elaborazione dei dati mineralogici e per gli utili consigli relativi all'interpretazione degli stessi.

Ringrazio il Dott. Federico Zorzi per l'assistenza durante le operazioni di acquisizione dei diffrattogrammi.

Ringrazio la Prof.ssa Simonetta Cola e il team del Laboratorio di Ingegneria Geotecnica, per la cortese disponibilità nel corso dell'esecuzione delle prove di laboratorio.

Un doveroso ringraziamento va alla Provincia di Vicenza, in particolare all'Ing. Giovanni Stevan e a tutto il personale dell'Ufficio Difesa del Suolo, che hanno permesso la realizzazione dello stage e la consultazione dei progetti.

Ringrazio inoltre i miei amici, perché mi hanno dato il sostegno e i consigli di cui avevo bisogno.

Un particolare ringraziamento va ad Anna Rita Bastianelli, per avermi avvicinato alle Opere di Giuseppe Verdi, che hanno allietato il mio percorso universitario in questi ultimi due anni.

Il ringraziamento più grande va ai miei genitori, che hanno creduto in me e non mi hanno mai fatto mancare il loro sostegno morale e materiale. Senza di loro non sarei diventato quello che sono e oggi non avrei raggiunto questo importante obiettivo.

ALLEGATI

5.1.1. Risultati delle prove geotecniche di laboratorio relative ai campioni FARA01-25

campione	profondità [m]	%Ghiaia	%Sabbia	%Limo	%Argilla	W _L [%]	W _p [%]	I _p [%]
FARA01	0.0-0.2	5.89	14.73	68.20	11.18	22	7	15
FARA02	0.2-0.4	9.36	18.99	61.48	10.16	21	5	16
FARA03	0.4-0.6	10.32	18.17	61.44	10.07	20	4	16
FARA04	0.6-0.8	3.01	10.60	74.25	12.14	22	3	19
FARA05	0.8-1.0	4.76	19.28	65.26	10.70	18	3	15
FARA06	1.0-1.2	3.66	13.25	69.08	14.01	16	3	13
FARA07	1.2-1.4	1.59	14.54	69.80	14.07	22	3	19
FARA08	1.4-1.6	1.52	14.48	68.15	15.85	35	3	32
FARA09	1.6-1.8	0.93	14.31	70.50	14.26	29	3	26
FARA10	1.8-2.0	2.41	13.35	65.03	19.21	33	4	29
FARA11	2.0-2.2	3.66	14.14	64.88	17.32	32	3	29
FARA12	2.2-2.4	3.06	14.76	66.39	15.79	23	3	20
FARA13	2.4-2.6	0.76	14.08	68.80	16.36	20	5	15
FARA14	2.6-2.8	0.71	19.07	64.85	15.38	22	5	17
FARA15	2.8-3.0	2.15	22.35	59.51	15.99	23	5	18
FARA16	3.0-3.2	1.62	17.20	63.03	18.15	25	5	20
FARA17	3.2-3.4	0.85	17.60	63.27	18.27	14	6	8
FARA18	3.4-3.6	0.50	13.81	63.06	22.63	12	8	4
FARA19	3.6-3.8	1.36	16.21	63.86	18.56	19	6	13
FARA20	3.8-4.0	0.45	21.69	60.46	17.40	20	5	15
FARA21	4.0-4.2	0.14	17.17	60.59	22.11	19	7	12
FARA22	4.2-4.4	0.89	19.75	61.26	18.10	18	7	11
FARA23	4.4-4.6	0.14	22.89	64.02	12.95	19	7	12
FARA24	4.6-4.8	0.15	27.48	60.17	12.20	20	6	14
FARA25	4.8-5.0	1.36	28.32	57.15	13.17	23	7	16

5.1.2. Risultati delle prove geotecniche di laboratorio relative ai campioni FARA26-50

campione	profondità [m]	%Ghiaia	%Sabbia	%Limo	%Argilla	W _L [%]	W _p [%]	I _p [%]
FARA26	5.0-5.2	3.00	19.04	66.62	11.34	17	6	11
FARA27	5.2-5.4	2.15	16.04	69.88	11.93	20	7	13
FARA28	5.4-5.6	0.19	29.35	61.60	8.86	19	6	13
FARA29	5.6-5.8	0.00	11.75	71.95	16.31	16	7	9
FARA30	5.8-6.0	0.06	26.77	62.52	10.64	18	6	12
FARA31	6.0-6.2	4.18	16.37	68.15	11.30	12	4	8
FARA32	6.2-6.4	0.05	31.64	58.60	9.72	15	3	12
FARA33	6.4-6.6	0.00	32.46	56.60	10.94	14	4	10
FARA34	6.6-6.8	0.08	30.12	57.11	12.68	15	4	11
FARA35	6.8-7.0	0.04	34.95	54.48	10.53	13	3	10
FARA36	7.0-7.2	11.10	33.35	49.40	6.15	13	3	10
FARA37	7.2-7.4	0.04	32.42	60.09	7.45	12	4	8
FARA38	7.4-7.6	0.05	27.83	64.14	7.98	18	3	15
FARA39	7.6-7.8	0.19	27.82	66.88	5.12	13	2	11
FARA40	7.8-8.0	0.08	35.12	60.19	4.61	14	2	12
FARA41	8.0-8.2	20.25	24.97	50.68	4.11	13	4	9
FARA42	8.2-8.4	26.58	34.38	36.12	2.93	13	2	11
FARA43	8.4-8.6	45.39	17.81	32.59	4.22	12	2	10
FARA44	8.6-8.8	38.63	24.86	33.77	2.74	10	1	9
FARA45	8.8-9.0	4.05	41.56	50.31	4.08	13	3	10
FARA46	9.0-9.2	26.30	38.11	32.92	2.67	13	2	11
FARA47	9.2-9.4	13.56	46.09	37.32	3.03	18	3	15
FARA48	9.4-9.6	8.20	45.75	42.59	3.46	12	3	9
FARA49	9.6-9.8	13.45	43.13	40.16	3.26	13	3	10
FARA50	9.8-10.0	20.52	38.40	37.18	3.89	12	2	10

5.1.3. Risultati delle prove geotecniche di laboratorio relative ai campioni CORN01-30

campione	profondità [m]	%Ghiaia	%Sabbia	%Limo	%Argilla	W _L [%]	W _p [%]	I _p [%]
CORN01	0.0-0.2	3.14	24.88	64.59	7.39	8	3	5
CORN02	0.2-0.4	0.25	22.68	69.15	7.92	8	3	5
CORN03	0.4-0.6	7.08	23.27	62.50	7.15	8	3	5
CORN04	0.6-0.8	0.05	18.77	72.84	8.34	11	3	8
CORN05	0.8-1.0	0.10	24.46	67.69	7.75	11	3	8
CORN06	1.0-1.2	0.00	21.49	70.45	8.06	15	3	12
CORN07	1.2-1.4	0.05	30.68	62.70	6.57	13	2	11
CORN08	1.4-1.6	0.00	15.12	75.16	9.73	14	3	11
CORN09	1.6-1.8	0.04	27.60	65.49	6.86	15	2	13
CORN10	1.8-2.0	0.00	30.27	63.12	6.61	15	3	12
CORN11	2.0-2.2	0.00	35.44	58.44	6.12	14	3	11
CORN12	2.2-2.4	0.04	35.53	58.31	6.11	11	3	8
CORN13	2.4-2.6	0.08	45.55	49.42	4.94	13	4	9
CORN14	2.6-2.8	0.00	38.94	55.51	5.55	13	3	10
CORN15	2.8-3.0	0.00	37.61	56.72	5.67	10	4	6
CORN16	3.0-3.2	0.19	39.70	54.65	5.46	12	3	9
CORN17	3.2-3.4	0.00	38.83	55.61	5.56	22	3	19
CORN18	3.4-3.6	0.00	42.32	52.44	5.24	11	4	7
CORN19	3.6-3.8	0.00	46.49	49.49	4.02	10	3	7
CORN20	3.8-4.0	0.00	46.42	49.55	4.02	9	2	7
CORN21	4.0-4.2	0.12	44.15	50.45	5.28	8	3	5
CORN22	4.2-4.4	0.00	43.38	52.37	4.25	12	3	9
CORN23	4.4-4.6	0.16	48.94	47.08	3.82	16	2	14
CORN24	4.6-4.8	0.04	47.31	48.70	3.95	10	2	8
CORN25	4.8-5.0	0.04	53.73	42.39	3.84	11	2	9
CORN26	5.0-6.0	0.04	43.09	52.16	4.72	13	2	11
CORN27	6.0-7.0	0.00	49.66	46.16	4.18	13	2	11
CORN28	7.0-8.0	0.19	50.78	46.90	2.13	9	2	7
CORN29	8.0-9.0	0.47	47.21	47.98	4.34	11	2	9
CORN30	9.0-10.0	0.04	50.09	45.73	4.14	11	2	9

5.1.4. Risultati delle analisi mineralogiche relative ai campioni FARA01-25

Campione	R _{wp}	%Qtz	%Agt	%Snd	%And	%Msc	%Mgn	%Gth	%Ant	%Ilm	%Emt	%Cln	%Mnt
FARA01	2.73	1.53	8.03	6.67	0.00	2.55	2.01	1.36	1.01	0.37	0.44	15.71	60.34
FARA02	2.64	1.35	8.06	6.65	0.00	1.32	1.65	0.84	1.04	0.25	0.44	13.94	64.44
FARA03	2.67	1.39	6.76	6.41	0.00	2.39	2.07	0.87	0.94	0.31	0.41	14.09	64.34
FARA04	2.53	2.23	6.09	5.67	0.00	1.76	2.19	1.60	0.97	0.35	0.36	17.62	61.13
FARA05	2.60	1.11	6.15	4.78	0.00	1.69	1.41	1.41	0.69	0.24	0.28	10.51	71.74
FARA06	2.57	2.25	5.85	6.05	0.00	2.52	1.82	1.82	1.14	0.33	0.50	17.91	59.83
FARA07	2.36	1.52	2.59	3.00	0.00	1.55	1.33	2.42	0.50	0.07	0.28	10.07	76.26
FARA08	2.36	4.82	0.04	3.92	0.00	2.49	1.45	3.43	1.38	0.67	0.68	17.31	63.84
FARA09	2.63	4.12	0.73	3.31	0.00	6.01	2.25	3.01	0.72	0.98	0.71	15.52	62.69
FARA10	2.72	4.99	0.99	4.11	0.00	5.01	2.38	3.03	0.87	1.02	0.82	15.56	61.31
FARA11	2.76	4.09	1.01	3.29	0.00	3.64	2.32	3.59	0.82	0.64	0.85	13.29	66.42
FARA12	2.57	4.78	1.98	3.46	0.00	3.01	2.13	2.64	0.83	0.86	0.84	14.10	65.44
FARA13	2.36	7.09	0.62	4.57	0.00	6.03	3.15	3.98	1.16	0.94	1.12	19.95	51.52
FARA14	2.37	5.78	0.86	3.48	0.00	4.82	2.68	3.37	1.07	0.81	0.96	15.30	60.87
FARA15	2.51	5.01	0.55	3.99	0.00	5.11	2.27	3.18	1.37	0.75	0.85	16.12	60.84
FARA16	2.49	4.95	1.13	3.59	0.00	4.42	2.07	3.32	1.21	0.46	1.16	17.99	59.67
FARA17	2.55	3.38	0.69	1.90	0.00	1.85	0.49	2.87	1.23	0.63	0.52	12.55	73.89
FARA18	2.63	2.47	1.11	2.75	0.00	3.07	1.45	1.46	0.60	0.11	0.61	11.28	74.99
FARA19	2.63	5.17	1.61	3.11	0.00	4.37	1.54	3.43	1.20	1.27	0.78	20.85	56.71
FARA20	2.72	3.30	0.41	4.51	0.00	1.63	1.26	3.29	1.24	0.74	0.62	10.56	72.21
FARA21	2.82	2.83	1.01	4.34	0.00	1.63	0.84	3.85	1.19	0.50	0.62	12.20	70.65
FARA22	2.90	3.65	0.56	5.24	0.00	3.78	1.15	4.38	0.86	1.00	0.39	15.11	63.83
FARA23	2.90	1.39	2.43	15.99	0.00	0.96	0.15	4.30	1.20	0.66	0.74	14.96	57.00
FARA24	2.97	1.15	0.73	9.51	0.00	1.92	1.12	4.22	1.08	0.50	0.90	10.41	67.99
FARA25	2.79	0.32	0.83	6.91	0.00	1.05	0.66	3.35	1.12	0.98	0.56	12.27	71.86

Qtz = Quarzo, Agt = Augite, Snd = Sanidino, And = Andesina, Msc = Muscovite, Mgn = Magnetite, Gth = Goethite, Ant = Anatasio, Ilm = Ilmenite, Emt = Ematite, Cln = Caolinite, Mnt = Montmorillonite.

5.1.5. Risultati delle analisi mineralogiche relative ai campioni FARA25-45

campione	R _{wp}	%Qtz	%Agt	%Snd	%And	%Msc	%Mgn	%Gth	%Ant	%Ilm	%Emt	%Cln	%Mnt
FARA26	2.43	4.82	1.27	2.35	0.00	6.38	2.78	3.06	1.67	0.97	0.32	28.20	48.20
FARA27	2.61	1.86	0.12	0.75	0.00	1.80	1.71	3.12	1.31	0.44	0.26	15.20	73.41
FARA28	3.03	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	0.83	0.46	0.04	0.22	4.09	93.29
FARA29	2.62	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	2.59	3.26	1.88	0.08	0.34	7.17	83.88
FARA30	2.76	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	2.65	1.46	0.12	0.53	7.94	86.22
FARA31	2.49	1.40	0.00	1.45	0.00	1.14	1.10	1.74	0.92	0.20	0.22	12.29	79.72
FARA32	2.49	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13	4.09	2.50	0.37	0.42	31.54	58.98
FARA33	2.41	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	5.33	2.36	0.46	0.30	30.30	58.63
FARA34	2.15	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	1.46	6.77	2.19	0.98	0.34	29.18	58.84
FARA35	2.37	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	3.71	1.74	0.19	0.04	24.95	67.01
FARA36	2.37	0.51	0.00	1.97	0.00	0.78	0.49	1.82	1.50	0.18	0.27	15.76	76.73
FARA37	2.47	0.62	0.00	1.76	0.00	0.00	2.06	1.14	1.32	0.00	0.00	15.32	77.96
FARA38	2.69	0.14	0.00	3.94	0.00	0.00	2.27	1.34	1.12	0.00	0.15	18.22	73.01
FARA39	2.79	0.00	0.00	5.31	0.00	0.00	1.52	1.17	0.66	0.17	0.36	9.75	81.13
FARA40	2.65	0.00	0.53	9.01	0.00	1.61	1.84	0.00	0.66	0.89	0.94	7.24	77.34
FARA41	2.80	0.00	1.30	5.54	0.00	0.00	0.73	1.17	0.59	0.40	0.65	11.68	78.14
FARA42	2.76	0.11	5.84	10.92	0.00	1.00	0.90	0.41	0.65	0.24	0.37	13.69	66.05
FARA43	2.68	0.00	6.66	9.79	3.11	2.22	1.46	0.00	0.79	0.00	0.45	14.09	61.61
FARA44	3.15	0.40	12.53	11.91	9.36	0.81	0.69	0.00	1.02	0.00	0.74	7.09	55.62
FARA45	2.77	0.00	2.82	14.29	1.89	0.21	1.52	0.00	0.55	0.35	0.35	11.74	66.46

Qtz = Quarzo, Agt = Augite, Snd = Sanidino, And = Andesina, Msc = Muscovite, Mgn = Magnetite, Gth = Goethite, Ant = Anatasio, Ilm = Ilmenite, Emt = Ematite, Cln = Caolinite, Mnt = Montmorillonite.

5.1.6. Risultati delle analisi mineralogiche relative ai campioni CORN01-30

campione	R _{wp}	%Qtz	%Agt	%Snd	%Msc	%Chm	%Mgn	%Ant	%Ilm	%Emt	%Cln	%Mnt
CORN01	3.12	4.18	0.00	1.11	3.31	0.29	1.62	0.48	0.22	0.61	10.35	77.84
CORN02	3.16	5.71	0.00	1.97	3.77	1.09	1.84	0.74	0.30	0.68	11.18	72.73
CORN03	3.22	5.25	0.00	1.20	3.55	0.45	1.32	0.56	0.40	0.57	9.82	76.89
CORN04	3.28	2.82	0.00	0.69	1.53	0.00	0.74	0.75	0.07	0.43	9.59	83.38
CORN05	3.23	1.78	0.00	1.03	0.00	0.00	1.80	0.84	0.13	0.55	10.01	83.86
CORN06	3.12	0.83	0.00	0.92	0.00	0.00	1.73	0.99	0.17	0.58	10.92	83.86
CORN07	3.18	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07	0.78	0.06	0.57	10.60	86.61
CORN08	3.34	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16	0.91	0.12	0.73	8.64	88.23
CORN09	3.01	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	2.45	1.02	0.14	0.58	8.12	87.55
CORN10	3.07	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09	1.06	0.08	0.34	9.52	87.88
CORN11	2.94	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	1.30	0.20	0.32	11.67	85.14
CORN12	2.83	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	1.34	0.04	0.29	10.61	86.35
CORN13	2.77	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67	1.58	0.15	0.41	14.71	81.42
CORN14	2.87	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	1.49	1.63	0.08	0.29	13.08	83.38
CORN15	2.90	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	1.64	1.42	0.13	0.24	11.97	84.49
CORN16	2.97	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	1.83	1.55	0.14	0.35	13.86	82.14
CORN17	2.80	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	1.93	1.44	0.08	0.32	14.77	81.35
CORN18	2.94	0.17	0.00	1.17	0.00	0.00	1.49	1.41	0.07	0.38	13.50	81.80
CORN19	2.98	0.13	0.00	1.51	0.00	0.00	1.40	1.22	0.05	0.44	11.79	83.46
CORN20	3.11	0.18	0.00	1.95	0.00	0.00	1.69	1.60	0.27	0.55	17.12	76.65
CORN21	3.06	0.50	1.79	1.24	0.00	0.00	0.71	1.45	0.29	0.19	25.40	68.43
CORN22	2.95	0.17	0.00	3.62	0.00	0.00	1.86	1.66	0.31	0.49	15.10	76.80
CORN23	3.03	0.18	0.00	3.88	0.00	0.00	1.68	1.62	0.48	0.74	13.25	78.17
CORN24	3.10	0.16	0.00	4.61	0.00	0.00	1.28	1.40	0.13	0.57	13.60	78.26
CORN25	3.21	0.00	2.48	5.54	0.00	0.00	1.19	1.31	0.00	0.76	13.85	74.87
CORN26	3.13	0.00	1.50	4.95	0.00	0.00	1.49	1.27	0.25	0.66	13.60	76.29
CORN27	3.13	0.29	1.87	3.87	0.00	0.00	1.47	1.22	0.51	0.45	13.32	77.00
CORN28	3.11	0.29	2.27	7.38	0.00	0.00	1.09	1.05	1.02	0.62	10.48	75.81
CORN29	3.09	0.16	2.31	7.01	0.00	0.00	1.27	0.88	1.10	0.62	7.53	79.13
CORN30	2.92	0.10	1.16	3.81	0.00	0.00	1.26	1.25	0.45	0.67	10.17	81.14

Qtz = Quarzo, Agt = Augite, Snd = Sanidino, Msc = Muscovite, Chm = Chamosite Mgn = Magnetite, Ant = Anatasio, Ilm = Ilmenite, Emt = Ematite, Cln = Caolinite, Mnt = Montmorillonite.

BIBLIOGRAFIA

- Antonelli R., Barbieri G., Dal Piaz G.V., Dal Pra' A., De Zanche V., Grandesso P., Mietto P., Sedeo R. & Zanferrari A. (1990) Carta geologica del Veneto. Scala 1:250000 e relative Note Illustrative, S. E. L. C. A., Firenze.
- Arcaro F. & Cocco M. (2002) Geologia della Provincia di Vicenza, 23-25.
- Barbieri G., De Zanche V., Medizza F. & Sedeo R. (1982) Considerazioni sul vulcanismo terziario del Veneto occidentale e del Trentino meridionale. *Rendiconti della Società Geologica Italiana*, 4: 267-270.
- Barbieri G. & Zampieri D. (1992) Deformazioni sinsedimentarie eoceniche con stile a domino e relativo campo di paleo stress (Monti Lessini). *Atti Ticinensi di Scienze della Terra*, 35: 25-31.
- Bellieni G., Fioretti A. M., Marzoli A., Visonà D (2010) Permo-Paleogene magmatism in the eastern Alps. *Rendiconti Lincei, Volume 21, Supplement*: 51-71.
- Bosellini A., Carraro F., Corsi M., De Vecchi G.P., Gatto G.O., Malaroda R., Sturiani C., Ungaro S. & Zanettin B. (1967) Note illustrative della Carta geologica d'Italia: Foglio 49, Verona. Ministero dell'Industria e del Commercio, Servizio Geologico d'Italia, 61 pp.
- Bosellini A. (1989) Dynamics of Tethyan Carbonate Platform. In: P. D. Crevello, L.W. James, J.F. Sarg, and J.F. Read. (eds.), Controls on carbonate Platform and Basin Platform. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 44*: 3-13.
- Bosellini A. (2004) The Western passive margin of Adria and its carbonate Platform. *Special Volume of Italian Geological Society for the IGC 32 Florence*: 79-92.
- Buschi A. & Cippa F., A. (2012) Prove geotecniche di laboratorio: Guida pratica per la soluzione delle problematiche interpretative e di previsione geotecnica. Ed. Dario Flaccovio, Palermo: 136 pp.
- Castiglioni G.B. (1979) Geomorfologia. UTET, Torino: 93-94.
- Colombo P. & Colleselli F. (2000) Elementi di geotecnica. Ed. Zanichelli, Bologna: 13.
- De Boer, J. (1963) The Geology of the Vicentinian Alps (NE-Italy). *Geologica Ultraiectina*, 11: 1-178.

- Deer W.A., Howie R.A., Zussmann J. (1994) Introduzione ai minerali che costituiscono le rocce. Ed. Zanichelli, Bologna: 335-340, 347-354.
- Klein C. (2004) Mineralogia. Ed Zanichelli, Bologna: 294-305, 493-495.
- Lancellotta R., (1987) Geotecnica. Ed. Zanichelli, Bologna: 2-18.
- Le Bail A., Duroy H. & Fourquet J.L. (1988) Ab-initio structure determination of LiSbWO₆ by X-ray powder diffraction. *Materials Research Bulletin* 23: 447-452.
- Lombardi G. & Mattias P. (1987) The kaolin deposits of Italy. *L'Industria Mineraria*, 38/6: 1-34.
- Moore D.M. & Reynolds R.C. Jr. (1997) X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals, 2nd ed. Oxford, New York: 378 pp.
- Piccoli G. (1966) Subaqueous and Subaerial Basic Volcanic Eruptions in the Paleogene of the Lessinian Alps. *Bulletin Volcanologique*, 29: 253-266.
- Rietveld H. M. (1969) A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *Journal of Applied Crystallography*, 2: 65-71.
- Varnes D.J. (1978) Slope movements, type and process. Schuster R.L., Krizel R.J., eds., *Landslides analysis and control*. Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., Special Report 76: 11-33.
- Zampieri D. (1995) Tertiary extension in the southern Trento Platform, Southern Alps, Italy. *Tectonics*, 14/3: 645-657.
- Zampieri D. (2000) Segmentation and linkage of the Lessini Mountains normal faults, Southern Alps, Italy. *Tectonophysics*, 319: 19-34.