GORTANIA - Atti Museo Friul. di Storia Nat.	24 (2002)	5-30	Udine, 30.IV.2003	ISSN: 0391-5859

G. Cancian, F. Princivalle

CARATTERISTICHE MINERALOGICHE DELLE ARGILLE DI GROTTA DEL FRIULI-VENEZIA GIULIA (PROGETTO CLAY)

MINERALOGICAL FEATURES OF THE CAVE CLAYS IN FRIULI-VENEZIA GIULIA REGION (CLAY PROJECT)

Riassunto breve - In questa ricerca - denominata Progetto Clay - sono stati esaminati 184 campioni di suoli argillosi, raccolti da vari Gruppi Speleologici della Regione, in diverse grotte ed abissi del Friuli-Venezia Giulia. I campioni sotterranei hanno composizioni abbastanza simili ai suoli argillosi che si trovano all'esterno delle grotte e rispecchiano le caratteristiche geolitologiche locali, tranne qualche eccezione, come nel caso delle argille giallastre del Carso (tipo B). I fillosilicati sono maggiormente presenti nei sedimenti argillosi delle grotte del Carso, mentre i carbonati tendono a prevalere nei limi delle grotte d'alta quota. Ne consegue che il rapporto fillosilicati/carbonati diminuisce con la quota altimetrica. Il quarzo è abbondante nelle cavità che si aprono al contatto con le arenarie del flysch, come accade nei Monti La Bernadia (24%) o in certe argille gialle del Carso (tipo B) che sono associate a livelli sabbiosi (25%), mentre è scarso nelle vaste aree carbonatiche d'alta quota, come quella del Monte Canin (5%). Tra i fillosilicati l'illite è prevalente in tutte le zone, ha composizione muscovitica ed il suo campo di variabilità è compreso tra il 77% delle Alpi Carniche ed il 49% del massiccio del Monte Canin. La clorite, invece, trova i suoi massimi nelle Prealpi Carniche (27%) e soprattutto in certe aree della Valcellina e della zona Torrente Arzino-Pradis (28%), mentre i minimi compaiono in alcune argille giallastre del Carso, tipo B e C (9%). La caolinite è abbondante nelle argille gialle del Carso (19%), tuttavia sono state trovati dei campioni abbastanza ricchi di questo fillosilicato anche in grotte del Canin. La smectite infine ha i sui massimi nelle Valli del Natisone e dello Judrio (20%) dove forma spesso anche interstratificati con illite e clorite. I minimi si trovano nelle Alpi Carniche (1%). I dati ricavati da queste analisi evidenziano che ogni zona è distinta da sedimenti pelitici di grotta con caratteristiche proprie.

Parole chiave: Progetto Clay, Friuli-Venezia Giulia, Grotte, Peliti, Argille, Fillosilicati, Mineralogia.

Abstract - *In this research - named "Progetto Clay" (Clay Project) - we have examined 184 samples of clayey soils, picked up by several Spelaeological Groups of the Region, in several caves and abysses of Friuli-Venezia Giulia. The subterranean samples have a composition enough like the clayey soils, that are in the outer surface of the caves and they reflect the local geolithological features, except some exception, as in the case of the yellowish clays of the Karst (B type). Phyllosilcates are present more in the clayey sediments of Karst caves, while carbonates tend to prevail in the muds of high height caves. Consequently the phyllosilicates/carbonates ratio decrease*

with the altitude. Quartz is abundant in the caves that develop at the contact with the sandstones of the flysch, as it occours in Mounts La Bernadia (24%) or in certain yellow clays of Karst (B type), that are associated with sandy levels (25%), while it is scarce in the wide carbonatical areas of high altitude, as that of Mount Canin (5%). Among the phyllosilicates illite is prevalent in all the zones, it has a muscovitic composition and its variability field is comprised between 77% of Carnic Alps and 49% of Mount Canin massif. Chlorite, instead, has its maxima in the Carnic pre-Alps (27%) and above all in certain areas of the Cellina valley and of the Arzino torrent-Pradis (28%), while minima appear in some yellowish clays of the Karst, B and C type (9%). Kaolinite is abundant in the yellow clays of the Karst (19%), but we have found some samples enough rich in this phillosilicate also in caves of Mount Canin. At last smectite has its maxima in the Natisone and Judrio valleys (20%) where frequently it forms also interstratified with illite and chlorite. Minima are in the Carnic Alps (1%). All the data found in these analyses point out that each zone has own features.

Key words: *Clay Project, Friuli-Venezia Giulia, Caves, Pelites, Clays, Phyllosilicates, Mineralogy.*

1. Introduzione

Lo scopo di questo lavoro è stato quello di creare una prima "mappa" mineralogica dei sedimenti pelitici nelle grotte di tutta la Regione. Quest'esigenza era particolarmente sentita poiché ogni analisi di argille, finora effettuata, non aveva dei validi termini di confronto. Ne consegue che un'altra importante funzione di questa "mappa" è quella di creare una base di riferimento per tutti i futuri studi.

Per raggiungere questo obiettivo, sono stati analizzati 184 campioni di suoli argillosi raccolti nelle grotte e negli abissi del Friuli-Venezia Giulia. Nonostante la raccolta sia stata casuale, i prelievi sono stati sempre effettuati nelle parti più interne delle cavità, onde evitare il rischio d'apporti recenti dall'esterno.

Alcuni dati sono già stati pubblicati, come appare nella Bibliografia allegata, ma la maggior parte è inedita.

L'alto numero di campioni analizzati permette per la prima volta di fare dei confronti significativi tra zone diverse, che spaziano dai "bassi carsi" presso il mare Adriatico fino agli "alti carsi" delle Alpi Carniche e Giulie, dove diverse grotte si aprono a quote attorno ai 2000 metri s.l.m.

Questa ricerca - denominata "Progetto Clay" - è iniziata nel 1993 nell'ambito della Società di Studi Carsici "Lindner", poi, col tempo si è avvalsa della collaborazione di altri Gruppi Speleologici regionali e nel 1998 ha ricevuto il patrocinio della Federazione Speleologica del Friuli-Venezia Giulia.

Hanno collaborato in varia misura le seguenti Associazioni:

- Circolo Speleologico Idrologico Friulano, Udine (UD);
- Gruppo Speleologico Forum Julii, Cividale del Friuli (UD);
- Associazione Naturalistica Friulana, Tarcento (UD);
- Gruppo Speleologico Pradis, Pradis (Clauzetto, UD);

- Gruppo Speleologico Sacile, Sacile (PN);
- Unione Speleologica Pordenonese, Pordenone (PN);
- Club Alpinistico Triestino-Gruppo Grotte, Trieste (TS);
- Gruppo Triestino Speleologi, Trieste (TS);
- Gruppo Speleologico San Giusto, Trieste (TS);
- Gruppo Grotte "C. Debeljak", Trieste (TS);
- Società di Studi Carsici "Lindner", Fogliano-Redipuglia (GO);
- Gruppo Speleologico Talpe del Carso, Doberdò del Lago (GO);
- Gruppo Speleologico Carsico, Sagrado (GO);
- Centro Ricerche Carsiche "Seppenhofer", Gorizia (GO).

2. Materiali e metodiche analitiche

Le analisi sono state effettuate tramite diffrattometria a raggi X nel Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Trieste. Allo scopo, è stato usato il diffrattometro Siemens D500, radiazione Cu Kα, 40 kV e 20 mA.

I campioni considerati erano costituiti dalla frazione pelitica dei suoli (< 63 mμ).

Eventuali sabbie sono state analizzate a parte.

Fig. 1 - Pianta della Regione Friuli-Venezia Giulia.
Le linee tratteggiate indicano le zone carsiche in cui si aprono le grotte dove sono stati raccolti i campioni.
- *Friuli-Venezia Giulia Region Map. Dotted lines indicate the karstic areas where caves, in which the samples have been collected, develop.*

Le stime quantitative del "totale" sono state eseguite secondo il metodo proposto da LAVIANO (1987), mentre quelle dei fillosilicati sono state effettuate tenendo conto delle aree dei riflessi, corrette con opportuni coefficienti, secondo i criteri esposti da BISCAYE (1965).

È stato analizzato prima il campione "tal quale" (< 63 mμ), in maniera da ricavare la composizione mineralogica totale. Successivamente, con lo scopo di studiare le caratteristiche dei fillosilicati, sono state eseguite ulteriori riprese diffrattometriche su campioni orientati su vetrino, glicolati e riscaldati a varie temperature (da 300° a 550°).

3. Mineralogia dei sedimenti

Di seguito sono riportati i risultati delle analisi mineralogiche e le elaborazioni statistiche effettuate nelle singole aree.

3a. Carso

Gli aspetti geologici del Carso sono abbastanza noti, perciò ci limitiamo a ricordare che i litotipi più comuni sono costituiti da calcari molto carsificabili e - subordinatamente - da calcari dolomitici e dolomie, il tutto di età compresa tra il Cretacico inf. e l'Eocene inf. Subito attorno sono presenti anche affioramenti di flysch Terziario.

Gli studi mineralogici finora effettuati nelle grotte della zona hanno rivelato la situazione più complessa di tutte le aree della Regione. Recentemente, infatti, sono stati distinti tre tipi di sedimenti argillosi (CANCIAN & PRINCIVALLE, 1999):

- A : più abbondante e simile alla "terra rossa" di superficie;
- B : argille giallastre associate alle "sabbie siltose";
- C : argille formate da altissime quantità di fillosilicati e scarso quarzo.

In uno studio statistico, effettuato su dati inediti e su dati ricavati da lavori pubblicati, per un totale di 35 campioni di sedimenti argillosi del tipo A, si ottiene la composizione media riportata in tab. I.

I feldspati sono rappresentati da Na-plagioclasio prevalente e da K-feldspato subordinato.

Tra le principali grotte in cui sono stati prelevati i campioni, ricordiamo le seguenti: abisso di Trebiciano 17 VG, abisso Martel 144 VG, grotta Noè 90 VG, abisso di Fernetti 88 VG, grotta dell'Elmo 2696 VG, grotta dell'Alce 62 VG, grotta Nemez 89 VG, grotta GAG 5487 VG, grotta delle Margherite 5269 VG, abisso Samar 5540 VG, grotta Due Piani 4253 VG, abisso Bonetti 765 VG, grotta Andrea 4804 VG.

È stata presa poi in considerazione la frazione pelitica associata alle "sabbie siltose gialle" (tipo B), che si rinvengono nel "2° livello" dei depositi di riempimento delle grotte del Carso Triestino (ANDREOLOTTI, 1966). In totale sono stati analizzati 21 campioni provenienti da 11 grotte: abisso di Gabrovizza 73 VG, grotta di Ternovizza 242 VG, grotta Nemez 89 VG, grotta Omar 5737 VG, grotta del Maestro 5300 VG, grotta Skilan 5720 VG, caverna Pocala 91 VG, grotta Regina 4760 VG, grotta Due Piani 4253 VG, grotta delle Bambole 3710 VG, cavernetta della Croce 5438 VG.

TIPO A	Fillosilicati	Quarzo	Feldspati	Calcite	altro
Media	76.3	17.2	2.3	3.6	0.6
Dev. stand.	8.04	4.79	1.92	5.98	1.35
Mediana	76	18	2	0	0
Min.-Max.	60-90	10-27	0-8	0-20	0-6
	Illite	**Clorite**	**Caolinite**	**Smectite**	**Interstrat. Il/Sm-Cl/Sm**
Media	72.7	12.3	8.2	5.1	1.7
Dev. stand.	8.29	6.10	3.03	4.71	2.62
Mediana	72	11.5	8.0	5	0
Min.-Max.	52-84	5-26	4-15	0-17	0-8

Tab. I - Caratteristiche mineralogiche dei sedimenti argillosi più comuni (tipo A) nelle grotte del Carso. L'analisi statistica è stata effettuata su 35 campioni provenienti da 25 grotte. Altro: gibbsite, goethite, fosfati, gesso.
- *Mineralogical features of the most common clayey sediments (A type) in Karst caves. Statistic analyses has been made on 35 samples coming from 25 caves. Other: gibbsite, goethite, phosphates, gypsum.*

Per una corretta interpretazione dei dati va specificato che il quarzo è particolarmente abbondante nella frazione limosa dove può raggiungere percentuali attorno al 40% e più, mentre è molto più scarso nella frazione argillosa dove scende generalmente a percentuali del 10%-5% o ancora più basse.

Da notare che in questo caso i feldspati sono praticamente assenti e così gli "altri minerali" come gibbsite e goethite, spesso presenti nei sedimenti del tipo A.

Inoltre, l'analisi dei fillosilicati dimostra che in questi fanghi giallastri la percentuale di caolinite è più alta di quella del tipo precedente (tipo A), anche se il campo di variabilità è molto vasto, passando dal 5% di un campione della "Grotta Due Piani" al 67% dell'Abisso di Gabrovizza.

Da aggiungere poi che soltanto in queste argille del Carso talvolta si trovano palygorskite e meta-halloysite in piccole percentuali.

Il terzo tipo di sedimenti argillosi riscontrati nelle grotte del Carso è piuttosto scarso ed è stato rinvenuto solo in 6 campioni, raccolti nell'abisso dei Cristalli 3960 VG, nella grotta Noè 90 VG, nella grotta Andrea 4804 VG, nell'abisso del Quarantennale 5469 VG,

TIPO B	Fillosilicati	Quarzo	Feldspati	Calcite	Altro
Media	70.3	25.0	0.1	4.6	0
Dev. stand.	13.54	14.02	0.30	7.82	0
Mediana	68	22	0	1	0
Min.-Max.	49-92	7-51	0-1	0-34	0
	Illite	Clorite	Caolinite	Smectite	Interstr. Il/Sm-Cl/Sm
Media	59.0	9.1	19.1	5.6	7.2
Dev. stand.	17.01	4.5	16.91	3.89	4.86
Mediana	65	9	11	6	6
Min.-Max.	16-81	3-19	5-67	1-15	0-16

Tab. II - Caratteristiche mineralogiche delle argille e dei limi argillosi giallastri associati al livello delle "sabbie siltose" (21 campioni).
- *Mineralogical features of the clays and the yellowish clayey silts associated with "silty sands" level (21 samples).*

TIPO C	Fillosilicati	Quarzo	Feldspati	Calcite	Altro
Media	93.3	2.7	0.2	3.8	tracce
Dev. stand.	8.07	1.21	0.45	8.45	
Mediana	96.5	2	0	0	
Min.-Max.	77-98	1-4	0-1	0-21	
	Illite	Clorite	Caolinite	Smectite	Interstr. Il/Sm-Cl/Sm
Media	52.3	8.7	10.5	14.7	13.8
Dev. stand.	14.10	3.72	2.17	13.09	9.62
Mediana	56	8	10	9.5	11.5
Min.-Max.	28-67	5-14	8-14	7-41	7-33

Tab. III - Caratteristiche mineralogiche delle argille del "tipo C" nelle grotte del Carso (6 campioni). Altro: tracce di gibbsite e di goethite.
- *Mineralogical features of the "C type" clays in Karst caves (6 samples). Other: gibbsite and goethite traces.*

nell'abisso Tullio Sidotti 5594 VG e nella grotta dei Protei presso Sagrado 4112 VG. In questo caso le argille sono caratterizzate da abbondanti fillosilicati, scarso quarzo, feldspati assenti e calcite variabile. Eventuali "altri minerali" (gibbsite e goethite) sono presenti in tre casi ma solo in tracce.

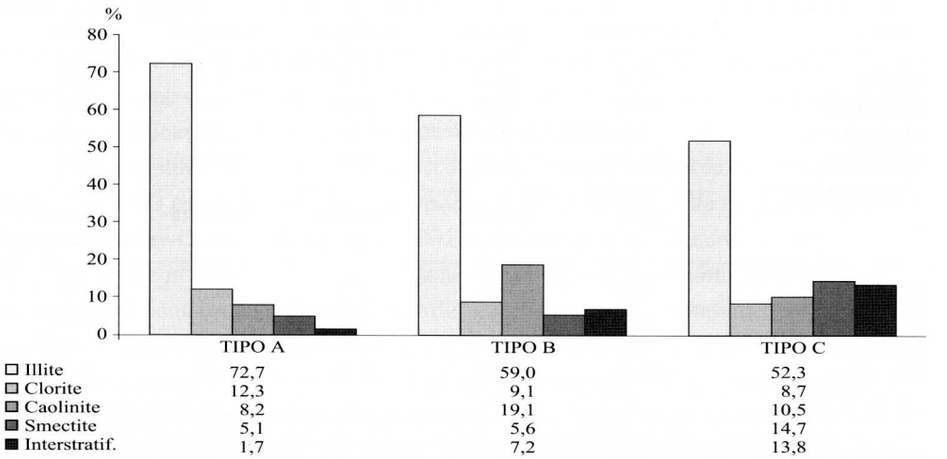

Fig. 2 - Composizione mineralogica % dei fillosilicati dei tre tipi di argille (A, B, C) presenti nelle grotte del Carso.
- *Per cent mineralogical composition of phyllosylicates of the three types of the clays (A, B, C) from Karst caves.*

L'analisi dei fillosilicati dimostra un calo dell'illite ed un considerevole aumento della smectite.

3b. Valli del Natisone e dello Judrio

In queste zone affiorano in prevalenza le formazioni torbiditiche del Cretacico sup.-Terziario in facies di flysch, spesso con intercalazioni di importanti banchi carbonatici. Nelle aree più alte del M. Matajur, del M. Mia e di Montefosca affiorano invece calcari, calcari dolomitici e dolomie del Mesozoico.

In uno studio effettuato nella vasta area delle Valli del Natisone, CANCIAN & PRINCIVALLE (1997) mettono a confronto 8 campioni di superficie con 21 di grotta. Successivamente, nell'ambito del "Progetto Judrio 2000", promosso dal Centro Ricerche Carsiche "Seppenhofer", gli stessi autori analizzano altri 18 campioni di argille provenienti da grotte della Valle dello Judrio.

I carbonati sono rappresentati prevalentemente da calcite, mentre la dolomite è stata trovata in percentuali apprezzabili (1% e 3%) soltanto in due campioni della Suosteriowa Jama 300 Fr.

I feldspati più comuni sono Na-plagioclasi, mentre i K-feldspati sono più scarsi.

Tra gli "altri minerali" va menzionata l'idrossiapatite, associata a gesso, che compare nel suolo di due grotte di interesse preistorico: la Velika Jama 13 Fr e la Grotta del Monte Brischis 1739 Fr. Gibbsite e lepidocrocite compaiono talvolta solo in tracce.

	Fillosilicati	Quarzo	Feldspati	Carbonati	Altro
Media	77.2	12.5	1.4	8.7	0.2
Dev. stand.	9.69	5.05	0.91	9.8	0.8
Mediana	79	12	1	6	0
Min.-Max	54 -79	5-23	0-4	0-36	0-3
	Illite	Clorite	Caolinite	Smectite	Interstr. Il/Sm-Cl/Sm
Media	52.6	15.0	5.7	20.2	6.5
Dev. stand.	8.97	6.38	3.33	10.42	5.28
Mediana	53	15	6	21	6
Min.-Max	38-75	4-34	0-12	2-35	0-20

Tab. IV - Composizione mineralogica % di 39 campioni raccolti nelle grotte delle Valli del Natisone e dello Judrio. Altro: idrossiapatite e gesso. I carbonati sono rappresentati in netta prevalenza da calcite.
- *Per cent mineralogical composition of 39 samples from Natisone and Judrio Valleys caves. Other: hydroxyl-apatite and gypsum. Carbonates are mainly represented by calcite.*

	Fillosilicati	Quarzo	Feldspati	Carbonati	Altro
Media	65.5	24.0	1.7	8.6	0.2
Dev. stand.	12.46	12.51	1.21	10.87	0.83
Mediana	69	20	1	5	0
Min.-Max.	42-85	6-50	0-4	0-48	0-4
	Illite	Clorite	Caolinite	Smectite	Interstr. Il/Sm-Cl/Sm
Media	55.1	20.0	9.6	13.0	2.3
Dev. stand.	11.12	3.71	3.11	9.49	7.12
Mediana	59	20	9	9	0
Min.-Max.	27-70	12-27	6-16	0-43	0-33

Tab. V - Composizione mineralogica % di 23 campioni provenienti da grotte dei Monti La Bernadia. Altro: gesso (solo nella Grotta Doviza). I carbonati sono rappresentati quasi esclusivamente da calcite.
- *Per cent mineralogical composition of 23 samples from La Bernadia Mts caves. Other: gypsum (only in Doviza cave). Carbonates are represented almost exclusively by calcite.*

Tra le principali altre grotte oggetto di indagini si ricordano: abisso a SO del Matajur 389 Fr, grotta di Canebola 1080 Fr, risorgiva di Starcedat 483 Fr, grotta del Faet 2567 Fr, Ta Pot Celan Jama 12 Fr, voragine a S di Prepotischis 1025 Fr, grotta di Mulinvecchio 1213 Fr, pozzo a S di Prepotischis 3391 Fr e pozzo II° di Scriò 3387 Fr.

3c. Monti La Bernadia

I principali litotipi della zona sono costituiti da calcari (Giurassico sup.-Cretacico) e dal flysch (Paleocene sup.-Eocene inf.). Nel flysch si trovano anche intercalazioni di calcareniti, brecciole, conglomerati e talvolta anche potenti banchi calcarei.

Un primo studio sui sedimenti argillosi di grotta è stato effettuato da CANCIAN (1996) che ha analizzato 23 campioni raccolti nelle principali cavità naturali della zona (Doviza 70 Fr, Viganti 66 Fr, Pre-Oreak 65 Fr, Elicottero 700 Fr e Grotta Nuova di Villanova 323 Fr).

Da notare in questo caso un netto aumento del quarzo, soprattutto nelle grotte che si sviluppano al contatto tra calcari ed arenarie. I carbonati sono rappresentati soprattutto da calcite ma ogni tanto compaiono anche modestissime percentuali (max. 1% o meno) di dolomite. Come nei casi precedenti tra i feldspati prevalgono gli Na-plagioclasi mentre i K-feldspati sono più scarsi.

Gli "altri minerali" sono rappresentati dal gesso che è stato trovato in alcuni campioni della Grotta Doviza.

3d. Prealpi Carniche

Quest'area è molto vasta ed è delimitata a Nord e ad Est dal fiume Tagliamento ed a Sud dalla pianura friulana. Nel nostro studio il limite Ovest è rappresentato invece dal confine tra Veneto e Friuli-Venezia Giulia.

In questo settore la successione stratigrafica va dal Trias sup. al Miocene sup. ed i principali litotipi delle aree carsiche sono rappresentati dal Calcare del Dachstein e dalla

	Fillosilicati	Quarzo	Feldspati	Carbonati	Altro
Media	59.7	12.4	1.7	26.2	0
Dev. stand.	25.11	7.43	1.21	29.11	0
Mediana	58.5	8	1	27	0
Min.-Max.	8-84	2-33	0-5	0-85	0
	Illite	Clorite	Caolinite	Smectite	Interstr. Il/Sm-Cl/Sm
Media	57.6	26.8	8.5	4.9	2.2
Dev. stand.	8.05	7.25	4.61	4.81	3.51
Mediana	58	26	9	5	0
Min.-Max.	43-76	11-43	0-15	0-15	0-11

Tab. VI - Composizione mineralogica % di 36 campioni raccolti in grotte delle Prealpi Carniche. I carbonati sono rappresentati da dolomite e calcite in rapporto 2:1.
- *Per cent mineralogical composition of 36 samples from Carnic Prealps caves. Carbonates are represented by dolomite and calcite in 2:1 ratio.*

Dolomia Principale (Retico-Norico) nonché dai calcari del Cretacico. Subordinatamente sono presenti anche varie formazioni carbonatiche del Giurassico. Alcune note geologiche recenti sono riportate da PONTON (2001).

In questa zona sono stati raccolti 36 campioni, così distribuiti: 6 nella grotta di Chialduis 297 Fr (Verzegnis), 8 nella risorgiva di Eolo 658 Fr (Avasinis), 9 in grotte presso Clauzetto-Pradis-Campone, 5 nella Buca Mongana 3198 Fr (Cimolais), 8 nelle grotte della Val Cellina 327 Fr ed 1 in una grotta non catastata.

Le analisi dei campioni "tal quale" dimostrano in questo caso alte quantità di carbonati che sono costituiti da dolomite prevalente e calcite subordinata, spesso in rapporto 2:1.

I campioni con più alto contenuto in carbonati provengono dalla Buca Mongana.

Tra i feldspati prevalgono gli Na-plagioclasi.

Nell'analisi dei fillosilicati assume una particolare importanza la clorite che qui raggiunge le più alte percentuali tra le aree carsiche della Regione.

3e. Massiccio carsico del Monte Canin (Alpi Giulie)

Nell'area del Monte Canin affiorano in prevalenza litotipi carbonatici del Mesozoico e soprattutto il Calcare del Dachstein, molto carsificabile, che in alcune aree presenta anche potenti intercalazioni dolomitiche e calcareo-dolomitiche.

Finora sono stati analizzati 22 campioni di grotta e 4 esterni. I campioni ipogei sono stati raccolti nell'abisso 3° del Picut 1964 Fr, nell'abisso Gortani 585 Fr, nella grotta a N del M. Ursich 2996 Fr e nel pozzo IV a NE del Col Sclaf 2128 Fr. Altri però provengono da grotte in corso di esplorazione, e quindi momentaneamente prive di numero di catasto:

	Fillosilicati	Quarzo	Feldspati	Carbonati	Altro
Media	58.7	5.1	0.2	36.0	0
Deviaz. stand.	29.1	3.7	0.5	30.9	0
Mediana	68.0	4.5	0.0	27.0	0
Min.-Max.	6-97	0-11	0-2	0-93	0
	Illite	Clorite	Caolinite	Smectite	Interstr. Il/Sm-Cl/Sm
Media	48.8	21.4	14.4	11.2	4.2
Dev. stand.	16.6	8.5	10.5	12.2	4.4
Mediana	54.0	19.5	11.5	8.0	4.0
Min.-Max.	10-73	8-43	0-43	0-45	0-12

Tab. VII - Composizione mineralogica % di 22 campioni raccolti nelle grotte del massiccio carsico del M. Canin (Alpi Giulie). Il carbonati sono costituiti dall'82 % di calcite e dal 18% di dolomite.
- *Per cent mineralogical composition of 22 samples from Canin Mt caves.*

Dobra P., abisso Procopio, K2, MK2, H13, M43, ecc. In questo caso, diversi campioni sono stati raccolti da Mauro Kraus del Gruppo Grotte Club Alpinistico Triestino e da Gianni Benedetti del Gruppo Triestino Speleologi.

Alcune notizie preliminari si trovano anche in CANCIAN et al. (1996; 1998).

I carbonati sono costituiti da calcite (82%) e da dolomite (18%).

Da segnalare che nell'abisso 3° del Picut sono state trovate delle piccole quantità di "idrossiapatite", il che ha rappresentato la prima segnalazione certa di un fosfato entro le grotte del massiccio del Canin. Nel Pozzo IV a NE del Col Sclaf è stato analizzato invece un ciottolo che è risultato costituito da abbondante quarzo ed ematite.

3f. Alpi Carniche

Le Alpi Carniche presentano una notevole varietà di litotipi, che comprendono anche le rocce più antiche della Regione, da cui il nome di Catena Paleocarnica. Tra queste si segnalano le argilliti, siltiti ed arenarie dell'Ordoviciano. Seguono, nel Devoniano, le piattaforme carbonatiche del Volaia, Coglians, Pizzo di Timau e Monte Cavallo di Pontebba. Sempre tra i litotipi carbonatici vanno ricordati i "calcari del Trogkofel" appartenenti alla sequenza Permo-Carbonifera e bene affioranti nella Creta d'Aip. La sedimentazione paleozoica è chiusa infine dai "calcari a Bellerophon" in cui si trovano litozone con gessi, argilliti, marne e dolomie cariate.

Tra i litotipi mesozoici va segnalata infine la "dolomia dello Schlern (Sciliar)", che può raggiungere uno spessore di 600 metri e che si trova nelle pendici meridionali dei Monti Pricot, Cervo, Malvueric e nei Monti Brizza e Bruca.

	Fillosilicati	Quarzo	Feldspati	Carbonati	Altro
Media	55.6	10.5	0.8	33.1	0
Dev. stand.	27.6	8.0	0.8	29.6	0
Mediana	64.0	8.0	1.0	16.0	0
Min.-Max.	14-87	2-32	0-3	5-81	0
	Illite	Clorite	Caolinite	Smectite	Interstrat. Il/Sm-Cl/Sm
Media	76.9	10.6	10.1	1.4	0.9
Dev. stand.	4.2	4.8	5.3	2.2	2.2
Mediana	78.0	11.0	10.0	0.0	0.0
Min.-Max.	68-84	6-22	0-17	0-7	0-6

Tab. VIII - Composizione mineralogica % di 13 campioni raccolti nelle grotte delle Alpi Carniche. I carbonati sono costituiti dal 28% di calcite e dal 72% di dolomite.
- *Per cent mineralogical composition of 13 samples from Carnic Alps caves. 28% of calcite and 72% of dolomite represents carbonates.*

Per notizie più dettagliate sulla geologia della Catena Carnica si rimanda a MARTINIS (1993) e VENTURINI (1990).

Purtroppo in questa zona le ricerche speleologiche non sono così frequenti come lo sono in altre aree d'alta quota, come quelle del Monte Canin. Di conseguenza sono stati qui raccolti solo 13 campioni, che a nostro avviso non raggiungono la significatività statistica, anche a causa della varietà delle rocce della zona.

Sette campioni provengono dall'abisso degli Incubi 2393 Fr e dalla risorgiva Da Rio 3633 Fr, che si aprono nella zona tra il M. Cavallo di Pontebba e Rio Pricotic. Gli altri sei sono stati raccolti rispettivamente nella grotta a N del M. Cavallo di Pontebba (CANCIAN, 1994), nella caverna sulla mulattiera del Pal Piccolo 829 Fr (Passo di M. Croce Carnico) ed in una nuova grotta, non catastata, presso l'Abisso degli Incubi.

I carbonati sono rappresentati sia da calcite (molto spesso presente) sia da dolomite (talora assente), in proporzioni molto variabili.

4. Caratteristiche mineralogiche e cristallochimiche dei fillosilicati

4a. Illite/Muscovite

L'illite/muscovite non presenta marcate differenze nelle diverse zone carsiche della Regione. Si tratta di un fillosilicato diottaedrico, alluminifero, appartenente nella maggior parte dei casi ai politipi 2M, molto spesso al $2M_1$, e solo talvolta anche all'associazione $2M_1$ + 1M.

È abbondante nelle Alpi Carniche (77%) e nelle "terre rosse" del Carso (74%) e scarsa nel massiccio del Canin (49%).

Dal punto di vista statistico l'indice di cristallinità è medio o medio-buono. La migliore cristallinità è stata riscontrata nelle illiti dei Monti La Bernadia e la più bassa in alcune argille del Carso (tipi B e C). Confrontando l'indice di cristallinità con il rapporto I(002)/I(001), nel diagramma di Esquevin e Dunoyer de Segonzac in THOREZ (1976), si nota che le illiti della Regione si collocano al passaggio tra l'epizona e l'anchizona (fig. 3).

I valori di ½ c sin β dell'illite $2M_1$ si aggirano sempre attorno a 10.0 Å, indicando uno scarso grado paragonitico (GUIDOTTI, 1984) (fig. 4).

4b. Clorite

Normalmente si tratta di specie triottaedriche, con riflesso (060) attorno a 1.54 Å-1.55 Å, di solito poco o male cristallizzate. Il grado di cristallinità è stato dedotto in base a prove di riscaldamento a varie temperature (300°-550°) e per diverso tempo (30 min.-180 min.). Si è visto così che nelle cloriti con un basso grado di cristallinità, il riscaldamento a 350° C per 40 minuti

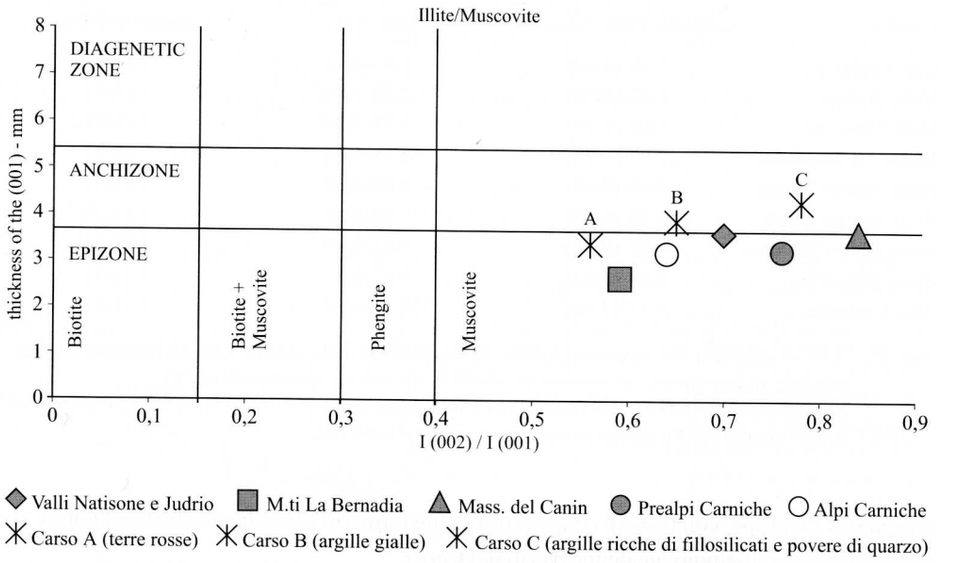

Fig. 3 - Caratterizzazione dell'illite tramite l'indice di cristallinità ed il rapporto I(002)/I(001).
- *Illite characterisation: cristallinity index (thickness of the 001) and I(002)/I(001) ratio. Symbols: Natisone and Judrio Valleys; La Bernadia Mts; Canin Mt; Carnic pre-Alps; Carso A ("terre rosse"); Carso B (yellow clays); Carso C (clays rich in phyllosilicates and poor in quartz).*

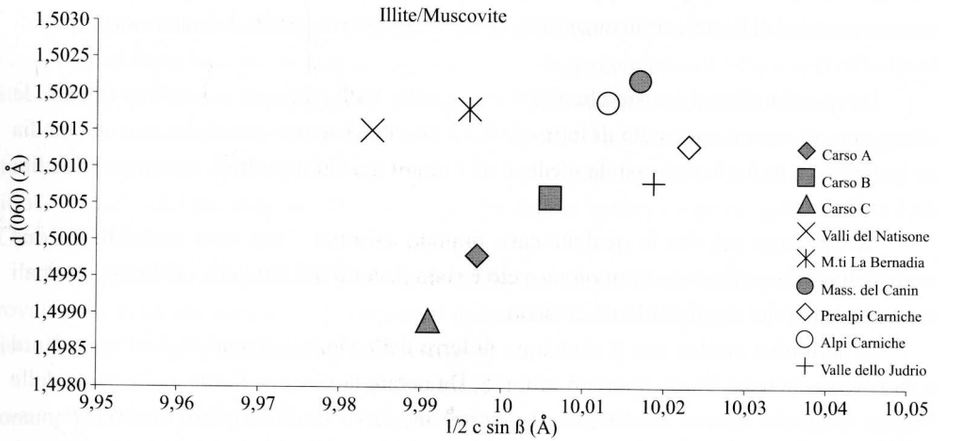

Fig. 4 - Rapporto tra 1/2 c sin β e posizione del riflesso (060) dell'illite/muscovite $2M_1$.
- *1/2 c sin β and (060) reflection ratio of illite/muscovite $2M_1$.*

Località	Media (Dev. Stand.)	Min.-Max.	Y medio (min.-max)
Carso (tipo A)	3.30 (0.94)	1.76-4.61	1 (0-2)
Valle Judrio	3.42 (0.82)	2.20-4.80	1 (0-2)
Valli Natisone	3.69 (0.70)	2.75-5.80	1 (0-2)
Monti La Bernadia	4.09 (0.77)	2.78-5.40	2 (1-3)
Zona Arzino-Pradis	4.46 (0.85)	3.60-6.60	2 (1-3)
Zona Monte Canin	4.79 (1.10)	3.00-7.00	2 (1-3)
Zona Eolo-Chialduis	4.85 (0.85)	3.56-6.40	2 (1-3)
Zona Valcellina	4.94 (1.02)	3.57-6.37	2 (1-3)
Alpi Carniche	5.31 (1.04)	4.00-6.60	2 (1-3)

Tab. IX- Analisi statistica del rapporto [I(002)+I(004)]/I(003) della clorite. Questo rapporto è direttamente proporzionale al numero di atomi di Fe nei sei siti ottaedrici (Y).
- *Statistic analysis of chlorite [I(002)+I(004)]/I(003) ratio. This ratio is directly proportional to the number of Fe atoms in the six octahedral sites (Y).*

era già sufficiente per collassare il riflesso (001) e trasformarlo in una banda di diffrazione. Ciò si è verificato, ad esempio, in alcune cloriti del Carso.

Le cloriti con maggior grado di cristallinità sono state trovate invece nelle aree carsiche della destra Tagliamento (zona Torrente Arzino e Valcellina) e nelle Alpi Carniche. In alcuni casi il riscaldamento a 500° per 1 ora o 1 ora e 30 minuti ha provocato una netta diminuzione di intensità del riflesso (001), ma senza farlo collassare.

In definitiva si tratta delle varietà "soil chlorites". Nella destra Tagliamento il grado di cristallinità sembra aumentare dove la clorite compare in maggiori percentuali.

È stato determinato poi il rapporto [I(002)+I(004)]/I(003), che è in diretta proporzione col numero di atomi di Fe nei sei siti ottaedrici (Moore & Reynolds, 1989). I risultati sono riportati in tab. IX.

Da quest'analisi si è visto che nel Carso e nelle Valli Natisone e Judrio si trovano le cloriti con più scarso contenuto di ferro: da 0 a 2 atomi nei sei siti ottaedrici, con una media di 1 atomo. In tutti gli altri casi, la media è di 2 atomi nei siti ottaedrici, con una variabilità da 1 a 3.

Va aggiunto poi che in qualche caso limitato esistono - con tutta probabilità - due varietà di clorite nello stesso campione e ciò è stato dedotto dal fatto che i riflessi principali erano in realtà dei doppietti bene evidenti.

In definitiva sembra che il contenuto di ferro delle cloriti aumenti da Sud verso Nord e da Est verso Ovest, come riportato in fig. 5. Da notare inoltre che l'area molto vasta delle Prealpi Carniche è stata suddivisa in tre sottozone (area Pradis-Arzino, area Verzegnis-Trasaghis e area Valcellina) e ciò ha permesso di constatare che le cloriti più ricche di ferro si trovano nel settore carsico della Valcellina.

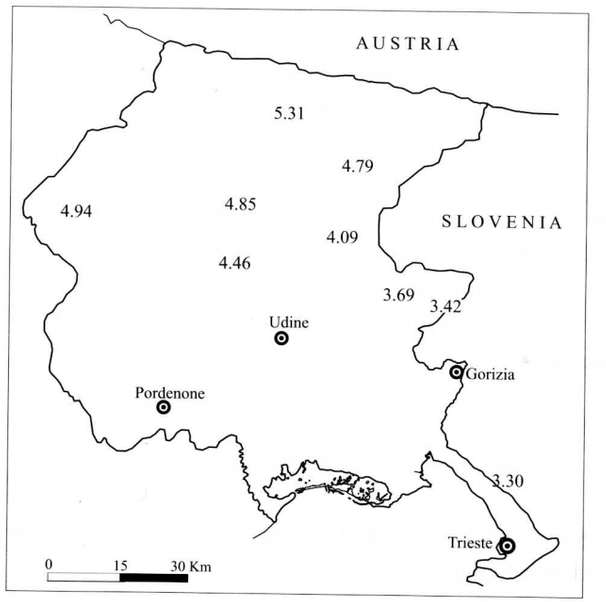

Fig. 5 - In ogni zona carsica è stato calcolato il rapporto medio [I(002)+I(004)]/I(003) della clorite. Questo rapporto è in funzione del numero di atomi di Fe nei sei siti ottaedrici.
- *Chlorite [I(002)+I(004)] /I(003) mean ratio in each karstic zone. This ratio is function of the number of Fe atoms in the six octahedral sites.*

4c. Caolinite

Di solito la caolinite è scarsa, con percentuali inferiori al 10%, o addirittura assente, come è stato rilevato in certi campioni delle Prealpi Carniche. Vi sono però due eccezioni in cui invece è abbondante: nel livello delle "sabbie siltose gialle" del Carso (Cancian & Princivalle, 1999) ed in alcune grotte del Monte Canin.

Nel primo caso ricordiamo che nell'Abisso di Gabrovizza 73 VG sono stati analizzati due campioni dove la caolinite raggiungeva addirittura le percentuali del 57% e del 67% tra i fillosilicati. Nell'Abisso Dobra P. (Canin) invece la massima percentuale è stata del 39%.

Le alte concentrazioni di caolinite nelle argille gialle del Carso sono ancora oggetto di studio e discussione, tuttavia è accertato che questi sedimenti sono associati alle "sabbie siltose gialle", che provengono dall'esterno e che hanno subito trasporti eolici e fluviali (Cancian, 2000).

Nel massiccio carsico del Monte Canin le alte percentuali di caolinite, per il momento trovate solo in alcuni casi, sono da imputarsi invece alla presenza della pirite, la cui alterazione ha dato luogo a soluzioni acide (Cancian et al., 1997).

Normalmente si tratta di "kaolinite sensu stricto" con un grado di cristallinità medio, come evidenziato dalla risoluzione di alcuni doppietti tipici (Brindley, 1961). Soltanto nelle argille gialle del Carso, e soprattutto nella Grotta Regina 2328 VG, sono state trovate anche delle piccole quantità di meta-halloysite associate a caolinite (Cancian & Princivalle, 2000).

4d. Smectite

La smectite raggiunge le più alte concentrazioni nelle grotte delle Valli Natisone e Judrio, con una media del 20%. Il campo di variabilità però è ampio e si estende da un minimo del 2% ad un massimo del 35%. È più scarsa invece nelle "terre rosse" del Carso (4%) e nelle Prealpi Carniche (5%).

La posizione dei riflessi principali indica che con tutta probabilità si tratta di "montmorillonite", fatto del resto abbastanza logico dato che il catione di scambio di questo fillosilicato è il Ca^{++}, che è molto abbondante in tutte le grotte carsiche.

Il rapporto v/p, calcolato sul campione dopo glicolazione, indica che si tratta spesso di montmorillonite mediamente cristallina.

4e. Strati misti

Dove la smectite è abbondante si trovano molto facilmente anche dei fillosilicati a strati misti.

I più frequenti sono gli "illite-smectite", seguiti dai "clorite-smectite". Spesso sono disordinati e la percentuale di strati espandibili è variabile.

5. Correlazioni statistiche tra i fillosilicati

a) Carso. Tipo A

Sono state evidenziate delle ottime correlazioni tra l'illite e la clorite e tra l'illite e la smectite.

	Clorite	Caolinite	Smectite
Illite	r: -0.588 p: 0.0007 extr. signif.	r: -0.192 p: 0.2834 not signif.	r: -0.721 p < 0.0001 extr. signif.
Clorite		r: 0.248 p: 0.1451 not signific.	r: -0.297 p: 0.0783 not q. signif.
Caolinite			r: -0.164 p: 0.3401 not signif.

b) Carso. Tipo B

L'illite è ottimamente correlata con la caolinite (estremamente significativa) e subordinatamente anche con la clorite (significativa).

	Clorite	Caolinite	Smectite
Illite	r : -0.536 p: 0.0322 significant	r: -0.934 p: < 0.0001 extr. signif.	r: 0.203 p: 0.4517 not signif.
Clorite		r: 0.344 p: 0.1922 not signif.	r: 0.027 p: 0.9198 not signif.
Caolinite			r: -0.275 p: 0.3033 not signif.

c) Carso. Tipo C

In questo caso l'illite sembra bene correlata con la smectite, mentre la clorite sembra esserlo con la caolinite. Questi dati vanno presi infatti con cautela poiché il numero di campioni esaminati è ancora troppo scarso.

	Clorite	Caolinite	Smectite
Illite	r : 0.087 p: 0.8690 not signif.	r: 0.338 p: 0.5116 not signif.	r: -0.926 p: 0.0080 very signif.
Clorite		r: 0.935 p: 0.0062 very signif.	r: -0.389 p: 0.4456 not signif.
Caolinite			r: -0.636 p: 0.1750 not signif.

d) Valli del Natisone e dello Judrio

Si hanno due correlazioni "estremamente significative" tra illite e smectite e tra clorite e smectite. Una correlazione "significativa" si verifica invece tra clorite e caolinite.

	Clorite	Caolinite	Smectite
Illite	r: 0.033 p: 0.8436 not signif.	r: -0.252 p: 0.1220 not signif.	r: -0.701 p: <0.0001 extr. signif.
Clorite		r: 0.331 p: 0.0388 significant	r: -0.507 p: 0.0010 extr. signif.
Caolinite			r: -0.242 p: 0.1378 not signif.

e) Monti La Bernadia

L'illite è bene correlata con caolinite e smectite.

	Clorite	Caolinite	Smectite
Illite	r: -0.102 p: 0.6421 not signif.	r: -0.5331 p: 0.0088 very signif.	r: -0.751 p: < 0.0001 extr. signif.
Clorite		r: 0.136 p: 0.5358 not signif.	r: -0.121 p: 0.5815 not signif.
Caolinite			r: 0.385 p: 0.0696 not q. signif.

f) Prealpi Carniche

Si hanno due correlazioni "molto significative" tra illite e clorite e tra illite e smectite.

	Clorite	Caolinite	Smectite
Illite	r: -0.502 p: 0.0029 very signif.	r: -0.288 p: 0.1041 not signif.	r: -0.516 p: 0.0021 very signif.
Clorite		r: -0.266 p: 0.1343 not signif.	r: -0.055 p: 0.7599 not signif.
Caolinite			r: -0.106 p: 0.5558 not signif.

g) Massiccio del M. Canin

L'illite è bene correlata con caolinite e smectite. Una correlazione significativa si ha poi tra clorite e smectite.

	Clorite	Caolinite	Smectite
Illite	r: -0.030 p: 0.8947 not signif.	r: -0.732 p: 0.0001 extr. signif.	r: -0.603 p: 0.0029 very signif.
Clorite		r: -0.08 p: 0.9725 not signif.	r: -0.471 p: 0.0270 significant
Caolinite			r: -0.074 p: 0.7426 not signif.

6. Minerali accessori

Sono riportati ora i minerali accessori trovati nei campioni esaminati nel corso del Progetto Clay.

a) Carso

Il Carso presenta una buona varietà di minerali di grotta ed un elenco è dato da CANCIAN (1996).

Gli idrossidi di ferro e di alluminio si trovano abbastanza facilmente nei depositi argillosi, però spesso compaiono solo in tracce. I più frequenti sono gibbsite e goethite. Talvolta sono state trovate anche modeste quantità di ematite-Fe_2O_3. Più scarsi sono gli ossidi ed idrossidi di manganese.

Nelle grotte dove sono avvenuti fenomeni di decomposizione di resti organici (es.: guano di pipistrelli) è facile trovare dei fosfati e tra questi i più comuni sono brushite, idrossiapatite e taranakite. Talvolta sono stati trovati anche dei fosfati ancora rari, come francoanellite (grotta Due Piani 4253 VG) o poco conosciuti nelle grotte, come crandallite (abisso Bonetti 765 VG) e leucofosfite (abisso di Fernetti 88 VG). In alcuni casi, associato ai fosfati, compare il gesso (grotta Due Piani 4253 VG, caverna Pocala 91 VG, abisso di Fernetti 88 VG, grotta Azzurra di Samatorza 257 VG).

Tra i carbonati non comuni merita ricordare la kutnahorite (caverna Pocala 91 VG) e tra i silicati l'allofanite (grotta Due Piani 4253 VG).

b) Valli del Natisone e dello Judrio

L'idrossiapatite è stata identificata nella Velika Jama 13 Fr, nella Grotta del M. Brischis 1739 Fr ed in una piccola caverna presso Pulfero. In tutti e tre i casi è di origine organica, trovandosi in cavità frequentate dall'uomo preistorico. Nelle prime due grotte sono associate anche piccole quantità di gesso.

Nei suoli è facile trovare poi delle sabbie o dei noduletti scuri, che risultano costituiti da varie associazioni di minerali di ferro, come goethite, lepidocrocite ed ematite. In alcuni casi più limitati si rinvengono anche degli idrossidi di alluminio, come gibbsite, boehmite e diasporo.

c) La Bernadia

Tra i minerali accessori va ricordato soltanto il gesso della Grotta Doviza, la cui origine non è però organica, come nei casi precedenti, ma sembra collegata alla presenza di solfuri.

Sicuramente nelle grotte di questa zona esistono altri minerali accessori, segnalati da altri Autori (MOCCHIUTTI, 1991), anche se non sono stati trovati nei campioni raccolti per questo progetto.

d) Prealpi Carniche

Anche in questo caso sono stati trovati dei granuli sabbiosi e dei piccoli noduli costituiti dai soliti minerali di ferro: goethite, lepidocrocite ed ematite.

Come nel caso precedente, va aggiunto che sicuramente esistono altri minerali, considerata la vastità dell'area e la varietà litologica, ma non sono stati rinvenuti nei campioni raccolti per il Progetto Clay.

e) Massiccio del Canin

Nonostante le nostre ricerche fossero orientate soprattutto all'identificazione dei minerali argillosi, non sono mancate le sorprese. Ad esempio entro le argille della grotta Dobra P. è stata individuata con sicurezza la pirite, sia al microscopio, sia tramite diffrattometria di raggi X. In seguito all'ossidazione di questo solfuro si sono formate delle soluzioni acide che hanno causato un arricchimento di caolinite nel suolo e la formazione del gesso, trovato nell'abisso Procopio (CANCIAN et al., 1997).

La nordstrandite, un insolito ossido-idrossido di alluminio, è stata identificata invece nella grotta a N del M. Ursich 2996 Fr (CANCIAN & KRAUS, 1999). Altrettanto insolito è stato il ritrovamento di un fosfato, la carbonato-idrossiapatite nell'abisso 3° del Picut 1964 Fr, la cui origine presenta tuttora degli interrogativi.

Anche in questo caso non mancano i consueti noduli e noduletti ferrosi, formati da goethite, lepidocrocite ed ematite. Tra i silicati va segnalata la presenza di silice amorfa.

f) Alpi Carniche

Di particolare interesse è stato il riconoscimento del gesso nel suolo della grotta a N del M. Cavallo (CANCIAN, 1994). Questo minerale proviene però dal disfacimento di alcune

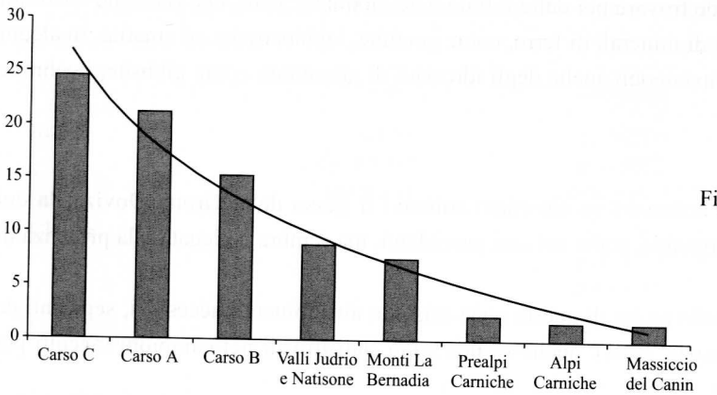

Fig. 6 - Rapporto fillosilicati/carbonati nelle zone esaminate.
- *Phyllosilicates/carbonates ratio in studied areas.*

incrostazioni parietali dovute alla presenza di pirite nella roccia. Dall'alterazione della pirite si è originata anche la goethite, che talvolta compare sotto forma di piccoli granuli sabbiosi.

Alcune ricerche preliminari nell'abisso degli Incubi 2393 Fr e nella risorgiva da Rio hanno portato al ritrovamento di alcuni noduli ferrosi e di piccole concrezioni formate da aragonite associata a calcite, fluorescenti sul colore arancione.

7. Discussione e conclusioni

Gli ambienti in cui sono stati raccolti i campioni sono molto vari. Si passa infatti dalle modeste grotte di un Carso maturo, di bassa quota, prossimo al mare Adriatico, fino ai freddi e grandi abissi del massiccio del M. Canin. I sedimenti pelitici inoltre spaziano dalle classiche "terre rosse" del Carso, ricche di argilla, fino ai fanghi carbonatici delle grotte di montagna.

La prima osservazione che emerge dalle analisi mineralogiche riguarda proprio le percentuali dei fillosilicati e dei carbonati. Si è visto infatti che il rapporto fillosilicati/carbonati è controllato dalla quota altimetrica in cui si aprono le grotte e questa relazione è bene evidente in fig. 6.

Ciò è facilmente spiegabile col fatto che nel Carso classico le argille, ricche di fillosilicati, sono più frequenti a causa del clima temperato e della maturità dei processi carsici, iniziati già nel Terziario. Queste stesse caratteristiche hanno favorito la dissoluzione dei carbonati, che in effetti sono scarsi - e spesso assenti - nei depositi argillosi delle grotte.

Viceversa, i climi freddi delle cavità d'alta quota rallentano i fenomeni dissolutivi, con conseguente deposito di limo carbonatico nel suolo, che in alcuni casi raggiunge percentuali dell'80%-90% o addirittura oltre. L'attività idrica inoltre è più intensa ed i sedimenti più fini - come le argille - sono facilmente convogliati via.

Tra i vari parametri, che possono dare informazioni sull'origine dei sedimenti pelitici, è utile poi il rapporto fillosilicati/quarzo.

Una netta differenziazione si ha già nei tre tipi di sedimenti (A, B, C) distinti nelle grotte del Carso, come appare in tab. X:

	Rapporto fillosilicati/quarzo
Carso A	4.4
Carso B	2.8
Carso C	34.6

Tab. X - Rapporto fillosilicati/quarzo nei sedimenti argillosi di grotte del Carso.
- *Phyllosilicates/quartz ratio in the clayey sediments of the caves of Karst.*

Area di provenienza	Rapporto fillosilicati/quarzo
M. La Bernadia	2.7
Zona Torr. Arzino-Pradis	3.9
Grotta di Chialduis (Verzegnis)	4.3
Carso (tipo A)	4.4
Alpi Carniche	5.3
Valle Judrio	5.9
Valli Natisone	6.3
Risorgiva Eolo (Trasaghis)	7.0
Zona Valcellina	7.9
M. Canin	11.5
media	5.9

Tab. XI - Rapporto fillosilicati/quarzo (in ordine crescente) nei sedimenti argillosi di varie zone della Regione.
- *Phyllosilicates/quartz ratio in the clayey sediments of different Region areas.*

Il valore più basso del tipo B è facilmente spiegabile col fatto che questi sedimenti argillosi sono associati al livello delle "sabbie siltose gialle", costituite in netta prevalenza da quarzo. Al contrario il tipo C sembra essere costituito soprattutto dal "residuo insolubile" dei calcari di grotta, dove il quarzo è scarso ed i minerali argillosi più abbondanti.

Altre considerazioni si possono dedurre dall'esame dello stesso rapporto nelle altre aree carsiche (tab. XI).

Il dato più evidente di questa tabella è l'alto valore relativo alle grotte del Monte Canin. Ciò è spiegabile dal fatto che i litotipi locali sono di origine carbonatica e quindi molto poveri di quarzo. Inoltre, questa è una zona carsica d'alta quota, che dal punto di vista altimetrico spesso sovrasta i territori circostanti, quindi qui non arrivano ora sedimenti fini provenienti da altre zone, se non limitatamente per via eolica.

Al contrario il basso valore dei Monti La Bernadia dipende dal fatto che qui diverse grotte si aprono proprio al contatto tra grossi banchi calcarei e litotipi marnoso arenacei ricchi di quarzo (flysch). Da notare che questo valore (2.7) è molto vicino a quello che compare nei suoli argillosi del tipo B del Carso (2.8).

Tutti gli altri casi presentano situazioni intermedie, nel senso che i sedimenti pelitici derivano sia dal residuo insolubile dei calcari locali sia dall'alterazione di rocce circostanti di tipo flyschoide o para-flyschoide.

Altre interessanti indicazioni si possono ricavare poi dall'esame del contenuto in ferro nelle cloriti. Questo parametro si può stimare dai diffrattogrammi tramite il rapporto tra le intensità I di alcuni riflessi principali.

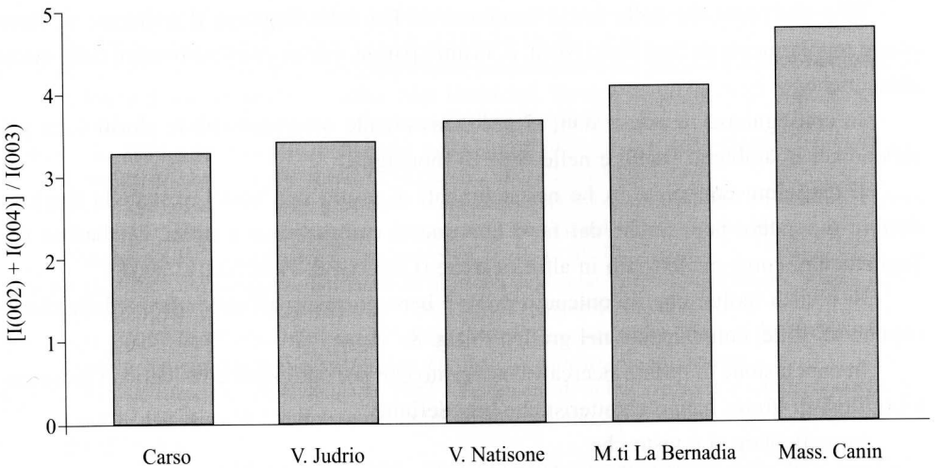

Fig. 7 - Rapporto [I(002)+I(004)]/I(003) nelle cloriti. Questo rapporto, ricavato dalle intensità di alcun riflessi tipici nei diffrattogrammi, è proporzionale al contenuto in ferro.
- *Chlorites [I(002)+I(004)]/I(003) ratio. This ratio, that is drawn from the intensities of some typical reflections on the difractograms, is proportional to the Fe contents.*

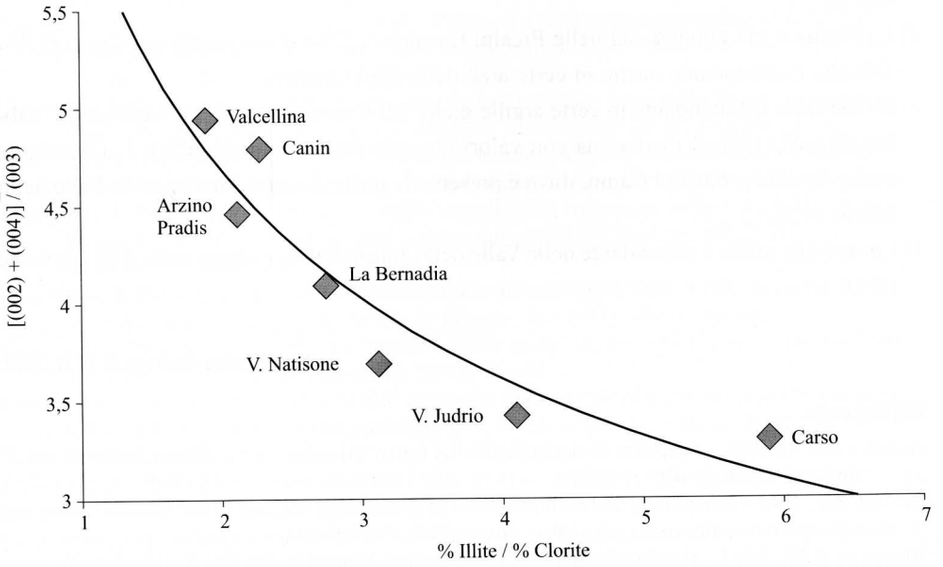

Fig. 8 - Rapporto tra contenuto in Fe nelle cloriti e loro abbondanza rispetto all'illite.
- *Ratio between Fe contents in the chlorites and their abundance in respect of illite.*

Si è visto così che nella fascia montuosa ad Est della Regione, il contenuto in ferro cresce regolarmente da Sud verso Nord, o, in altre parole, cresce con l'aumentare delle quote altimetriche.

In conseguenza di questi dati, si può nuovamente osservare che le cloriti sono più abbondanti in ambienti freddi e nelle zone di montagna.

Il maggiore contenuto in Fe nei sedimenti di grotta nell'area Ovest della Regione sembra dipendere però anche dal fatto che questa caratteristica è tipica del bacino del Tagliamento, come evidenziato in altre ricerche (CANCIAN & PRINCIVALLE, 2001).

Si è visto inoltre che il contenuto in Fe è bene correlato all'abbondanza delle cloriti rispetto all'illite, come appare nel grafico di fig. 8.

In conclusione di questa ricerca va osservato che per ogni zona considerata i sedimenti argillosi di grotta hanno caratteristiche ben definite.

In particolare si è visto che:

a) I carbonati sono più abbondanti nelle grotte di alta quota e molto scarsi nel Carso. Nel Canin prevale la calcite, mentre nelle Prealpi Carniche è abbondante anche la dolomite che spesso raggiunge percentuali uguali o superiori a quelle della calcite.

b) Il quarzo è più abbondante nelle zone caratterizzate dal flysch (Monti La Bernadia, 24%) e nel Carso (17%). È scarso invece nel Canin (5%).

c) L'illite/muscovite è più abbondante nelle Alpi Carniche (77%) e più scarsa nel Canin (49%).

d) La clorite è più abbondante nelle Prealpi Carniche (27%) e più scarsa nel Carso (13%) Talvolta è abbondante anche in certe aree delle Alpi Carniche.

e) La caolinite è abbondante in certe argille gialle del Carso, associate al livello delle "sabbie siltose" (19% di media, ma con valori che talvolta superano il 50%). È abbondante anche in certe grotte del Canin, dove è presente la pirite. È scarsa invece nella Valle dello Judrio (4%).

f) La smectite infine è abbondante nella Valle dello Judrio (24%) e scarsa nelle Alpi Carniche (1%).

Manoscritto ricevuto il 21.II.2002.

Bibliografia

ANDREOLOTTI S., 1966 - I depositi di riempimento del Carso Triestino. *Atti e Mem. Comm. Grotte E. Boegan*, 5 (1965): 49-71, Trieste.

BISCAYE P.E., 1965 - Mineralogy and Sedimentation of recent deep sea clay in the Atlantic Ocean and adiacent seas and oceans. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 76: 803-832.

BRINDLEY G.W., 1961 - Kaolin, Serpentine and Kindred Minerals. In: The X-ray identification and crystal structures of clay minerals. *Mineral. Society, Brown G. ed.*: 208-241, London.

CANCIAN G., 1993 - Aspetti mineralogici delle terre rosse superficiali e sotterranee del Carso Triestino-Goriziano. *Mondo Sotterraneo, C.S.I.F.*, 17 (1-2): 15-25, Udine.

CANCIAN G., 1994 - Osservazioni su un fenomeno di concrezionamento gessoso-calcitico in una grotta calcarea d'alta quota (M. Cavallo, Alpi Carniche). *Studi e Ricerche della Soc. St. Carsici "Lindner"*, num. unico: 15-27, Fogliano Redipuglia (GO).

CANCIAN G., 1995 - Ricerche mineralogiche nella Grotta di Pogrize e nella Grotta Regina (Carso Goriziano). *Mondo Sotterraneo, C.S.I.F.*, n.s., 19 (1-2): 23-30, Udine.

CANCIAN G., 1996 - Le argille delle grotte che si aprono nel massiccio dei Monti La Bernadia (Prealpi Giulie). In: MUSCIO G. (a cura di) - Il fenomeno carsico del Massiccio dei Monti La Bernadia (Prealpi Giulie - Friuli). *Mem. Ist. Ital. Spel.*, s. II, 8: 65-70, Udine.

CANCIAN G., 1996 - Primo elenco dei minerali di grotta del Carso Triestino-Goriziano. *Studi e Ricerche della Soc. St. Carsici "Lindner"*, 3: 11-23, Fogliano Redipuglia (GO)

CANCIAN G., 2001 - The "yellow silty sands" in the cave-fill deposits of the Trieste Karst: granulometry, mineralogy and geochemistry. *Ipogea, Gr. Spel. S. Giusto*: 39-55, Trieste.

CANCIAN G., BENEDETTI G. & KRAUS M., 1997 - Fenomeni di solfatizzazione e caolinizzazione nei suoli di due abissi del Monte Canin (Alpi Giulie). *Mondo Sotterraneo, C.S.I.F.*, n.s., 21 (1-2): 29-42, Udine.

CANCIAN G., CHIORBOLI S. & LENZI G., 1986 - Studio mineralogico preliminare delle "terre rosse" del Carso goriziano, monfalconese e triestino. *Univ. degli Studi di Ferrara, Ist. di Mineralogia, S.A.T.E.*: 1-24, Ferrara.

CANCIAN G. & COMAR M., 1996 - Mineralogia dei sedimenti superficiali della piana delle Mucille (Monfalcone). *Studi e Ricerche della Soc. St. Carsici "Lindner"*, 3: 134-142, Fogliano Redipuglia (GO).

CANCIAN G. & KRAUS M., 1999 - Prima segnalazione della Nordstrandite - $Al(OH)_3$ - nel massiccio carsico del M. Canin (Alpi Giulie). *Atti VIII Conv. Reg. di Speleol. del Fr. Ven. Giulia, Fed. Spel. Reg. del Fr. Ven. Giulia*: 61-66.

CANCIAN G., LENAZ D. & SCOZIERO U., 1996 - Prima caratterizzazione mineralogica delle argille di grotta e di superficie del Monte Canin (Alpi Giulie). *Studi e Ricerche, Soc. Studi Carsici "Lindner"*, 3: 24-34, Fogliano Redipuglia (GO).

CANCIAN G. & PRINCIVALLE F., 1994 - L'allofanite della Grotta Due Piani 4253 VG (Carso Goriziano). *Studi e Ricerche, Soc. Studi Carsici "Lindner"*, num. unico: 28-35, Fogliano (GO).

CANCIAN G. & PRINCIVALLE F., 1994 - Mineralogia e stratigrafia del deposito di riempimento della "Grotta Due Piani" (Carso Goriziano). *Studi Trent. Sc. Nat., Acta Geol.*, 71: 79-90, Trento.

CANCIAN G. & PRINCIVALLE F., 1997 - Le argille superficiali e sotterranee delle Valli del Natisone. In: MUSCIO G. (a cura di) - Il fenomeno carsico delle Valli del Natisone (Prealpi Giulie - Friuli). *Mem. Ist. Ital. Spel.*, s. II, 9: 57-64.

CANCIAN G. & PRINCIVALLE F., 1999 - Caratteristiche mineralogiche delle argille di grotta del Carso Triestino. *Atti e Mem. Comm. Grotte E. Boegan*, 36 (1998): 75-90, Trieste.

CANCIAN G. & PRINCIVALLE F., 2000 - Le "argille e sabbie gialle" della Grotta Regina (Carso Goriziano). *Atti Mus. Civ. St. Nat. di Trieste*, 48: 59-68, Trieste.

CANCIAN G., PRINCIVALLE F., 2001 - Sabbie ed argille delle Grotta di Chialduis e della Risorgiva di Eolo (Prealpi Carniche). Aspetti mineralogici. In: MUSCIO G. (a cura di) - Il fenomeno carsico delle Prealpi Carniche Orientali. *Mem. Ist. Ital. Spel.*, s. II, 12: 65-73.

GUIDOTTI C.V., 1984 - Micas in metamorphic rocks. In: BAILEY S.W ed. - Micas, reviews in mineralogy. *Min. Soc. of America*, 13: 357-467.

LAVIANO R., 1987 - Analisi mineralogica quantitativa di argille mediante diffrattometria di raggi X. In: Procedure di analisi di materiali argillosi. *ENEA*: 215-234.

MARTINIS B., 1993 - Storia geologica del Friuli. *Editrice La Nuova Base*, Udine.

MOCCHIUTTI A., 1991 - Segnalazione di mineralizzazioni gessose e noduli ferrosi all'interno della Grotta

Doviza (Monti La Bernadia, Friuli). *Mondo Sotterraneo*, n.s., a. 15 (1-2): 11-16, Udine.

MOORE M.D., REYNOLDS R.C., 1989 - X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. *Oxford University Press*, New York.

PONTON M., 2001 - Note geologiche sulle Prealpi Carniche Orientali. In: MUSCIO G. (a cura di) - Il fenomeno carsico delle Prealpi Carniche Orientali (Friuli). *Mem. Ist. Ital. Spel.*, s. II, 12: 39-57, Udine.

THOREZ J., 1976 - Pratical identification of Clay Minerals. A handbook for teachers and students in clay mineralogy. *Lelotte Ed.*, Dison, Belgique.

VENTURINI C., 1990 - Geologia delle Alpi Carniche Centro Orientali. *Pubbl. del Mus. Friul. St. Nat.*, 36, Udine.

Indirizzi degli Autori - Authors' addresses:
- dott. Graziano CANCIAN
  Federazione Speleologica Regionale del Friuli Venezia Giulia
  via Valentinis 134, I-34074 MONFALCONE (GO)
- prof. Francesco PRINCIVALLE
  Dipartimento di Scienze della Terra
  dell'Università degli Studi
  via E. Weiss 8, I-34127 TRIESTE
  princiva@univ.trieste.it