

SOPRA E SOTTO IL CARSO

Онлайн-журнал Исследовательского центра по карстовым явлениям «С. Сеппенхофер» aps — Гориция

НОМЕР

СПЕЦИАЛЬНЫЙ

ИЮЛЬ 2026



40

1978



Manuale per speleologi Granulometria e morfometria dei sedimenti ghiaiosi-sabbiosi



ISSN 2704-9159



9 772704 915904

АДРЕС: ВИА АСКОЛИ, 7 — 34170 ГОРИЦИЯ

seppenhof@libero.it <http://www.seppenhof.org>





АДРЕС: ВИА АСКОЛИ, 7

34170 ГОРИЦИЯ

seppenhof@libero.it
<http://www.seppenhof.org>



SOPRA E SOTTO IL CARSO

Онлайн-журнал Исследовательского центра по карстовым явлениям «C. Seppenhof»
aps — Горичия

НОМЕР

СПЕЦИАЛЬНЫЙ

ИЮЛЬ 2026

Классификация для понимания: строгие критерии в исследовании карстовых наполнений



Под редакцией Маурицио Тавагнутти

Опыт, накопленный в ходе изучения **Кадастра пещер Фриули-Венеция-Джулия** и многочисленных отчетов о спелеологических исследованиях, выявил повторяющуюся проблему: **наполнители карстовых полостей** часто описываются с помощью **общих или несоответствующих терминов**, что может исказить реальную интерпретацию отложений. Такие слова, как «глины», «пески» или «илы», иногда используются неточно как в отчетах о пещерах, так и в описаниях, сопровождающих топографические съемки, или в некоторых популяризаторских статьях.

Такая терминологическая неточность приводит к **ошибкам в оценке** и может ухудшить качество научных исследований, посвященных динамике отложений в карстовой среде. Именно из этой потребности в ясности родился настоящий том: «**Руководство для спелеологов — Гранулометрия и морфометрия гравийно-песчаных отложений**», разработанное и подготовленное геологом **Грациано Канчианом**, которому мы выражаем нашу искреннюю благодарность.

Этот специальный номер журнала «*Sopra e sotto il Carso*» восполняет значительный информационный пробел, предлагая спелеологам точный, но доступный инструмент, предназначенный для тех, кто стремится заниматься спелеологией с **научным, осознанным и не поверхностным** подходом. Автор рассматривает сложные темы простым языком, обращаясь к аудитории спелеологов, которые, несмотря на свой практический опыт и привычку к полевой работе, нуждаются в надежных технических справочных материалах.

В руководстве, прежде всего, напоминает, что **гранулометрия** описывает исключительно **размеры зерен**, составляющих сыпучий осадочный материал, независимо от их минералогического состава. Существует пять основных гранулометрических классов: **глыбы, гравий, песок, ил и глина**.

В связи с этим возникает ключевой вопрос: *какие размеры отделяют один класс от другого и почему были выбраны именно эти границы?* Например: *при каком диаметре заканчивается гравий и начинается песок?*

Границы между гранулометрическими классами являются **условными**, и с течением времени предлагались **различные классификации**, каждая со своими пороговыми значениями. Понимание этих условностей необходимо для предотвращения ошибок в интерпретации и обеспечения единообразия в описаниях отложений.

Приятного чтения!



Scintille
Notizie speleologiche
in tempo reale



ISSN 2704-9159



9 772704 915904

Нижe приведены ссылки по спелеологии

Информационный бюллетень «*Sopra e sotto il Carso*» выходит в конце каждого месяца и распространяется исключительно в электронном виде. Его можно скачать в формате PDF с сайта Исследовательского центра по карстовым исследованиям «C. Seppenhof» APS — www.seppenhof.org

Редакционный комитет: М. Тавагнутти, И. Примози, Ф. Беллио.

Авторы статей несут полную ответственность за содержание опубликованных материалов.

НадиподКарсом

Онлайн-журнал Карстового исследовательского центра «К.

Сеппенхофер» ISSN 2704-9159

Редакция: ул. Г. И. Асколи, 7, 34170

Гориция — тел.: 3297468095

Электронная почта:

seppenhof@libero.it

Ответственный редактор: Маурицио Тавагнутти



Содержание



Классификация для понимания: строгие критерии в исследовании карстовых наполнений.....	2
Содержание.....	3
Руководство для спелеологов — Гранулометрия и морфометрия гравийно-песчаных отложений.....	4
Гранулометрия: основные принципы правильной классификации сыпучих отложений.....	5
Гранулометрия: кумулятивная гранулометрическая кривая.....	10
Гранулометрия: шкала Ø, средний диаметр, медиана и стандартное отклонение.....	13
Морфометрия: округлость песчинок и гальки.....	18
Морфометрия: исследование формы гальки.....	21
Пример морфометрического исследования: гравий вдоль долины Добердо (Горцийский Карст).....	24
Приложение.....	27
Зачем изучать гравийные и песчаные отложения пещер.....	28
Гравий и песок пещеры Под Ланише: новые гранулометрические, морфометрические и минералогические исследования.....	32
Микроскопические наблюдения образца песка, отобранного в пещере над рекой Бончич 4603/2604 FR (Тайпана – Юлийские Преальпы).....	35
Некоторые книги, в которых можно найти обширную информацию о гранулометрическом и морфометрическом анализе отложений.....	40
О нас.....	41



Руководство для спелеологов

* * *

Гранулометрия и морфометрия гравийно-песчаных отложений

По идее Грациано Канчиана

- Текст и фотографии подготовлены Грациано Канчианом, если не указано иное -



Грациано Канчиан

Геолог из Изонто **Грациано Канчиан** признан одним из ведущих специалистов в области **карстовой геологии, гидрогеологии и минералогии** Карста. Его научная деятельность, отраженная в более чем ста публикациях, отличается строгим и систематическим подходом к изучению процессов, определяющих эволюцию подземного ландшафта, а его работы охватывают широкий спектр тем — от седиментологии и палеокаверн до мониторинга газов и естественной радиоактивности в подземной среде.

Его первая работа «Карстовые явления в окрестностях города Монфальконе (1968)», опубликованная в журнале «Speologia Emiliana», ознаменовала начало непрерывной научной деятельности, которая заложила интерпретационные основы, используемые до сих пор в исследованиях Карста Гориции и Триеста. Этот эпизод, ставший сегодня почти символическим, свидетельствует о дальновидности его исследований, которые со временем оказались основополагающими для понимания карстовых явлений в районе Гориции и Триеста.

С тех пор Канчиан развивал непрерывный и последовательный научный путь, внося существенным образом способствуя формированию интерпретационных моделей карста и распространению методологий исследования, применяемых при изучении природных пещер.

Основные направления деятельности

- **Карстовая гидрогеология** — Провёл основополагающие исследования подземной гидрологической системы, простирающейся от реки Изонцо до истоков Тимаво, точно определив динамику циркуляции вод в Горицко-Триестском Карсе.
- **Мониторинг окружающей среды и радон** — Считается авторитетом в области исследований наличия и динамики газа радона и CO₂ в природных полостях и городских сооружениях; проводил кампании мониторинга на различных участках Изонцкого Карста, в долинах Натизоне и в Торрионе-ди-Сан-Джорджо в Градиска-д'Изонцо.
- **Научное сотрудничество** — Постоянно сотрудничает с [Центром карстовых исследований «С. Сеппенхофер»](#), участвуя в проектах по научным исследованиям, документированию и популяризации науки.



Гранулометрия: основные принципы правильной классификации сыпучих отложений

Грациано Канчиан



Грациано Канчиан

Аннотация:

В тексте отмечается некорректное использование таких терминов, как «глины», «пески» и «илы», при проведении спелеологических обследований и в некоторых описаниях пещер, что приводит к неточностям и путанице. В связи с этим поясняется, что **гранулометрия** относится исключительно к **гранулометрическому составу** отложений, независимо от их минералогического состава. Основными гранулометрическими классами являются: **глыбы, гравий, пески, илы и глины**.

Границы классов носят **условный характер** и различаются в разных системах классификации; наиболее широко используемой геологами является **шкала Вентворта (1922)**. Однако визуально отличить илы от глин невозможно, поскольку размеры их зерен различаются всего на несколько тысячных долей миллиметра. По этой причине в полевой практике предпочтительно использовать общий термин **«грязь»** (ил + глина).

Для идентификации мелкозернистых отложений без лабораторной поддержки можно опираться на **когезию**: материалы с высоким содержанием глины в влажном состоянии легко формируются в небольшие цилиндры, тогда как мелкий песок и крупный ил не обладают достаточной когезией для сохранения таких форм.

Для тщательного седиментологического анализа требуется **репрезентативный, обильный и чистый образец**. Гравий и песок исследуются с помощью **сит**, крупные обломки — с помощью **штангенциркуля**, тогда как для анализа грязевых фракций требуются **лабораторные процедуры**. Каждая фракция по размеру взвешивается для определения **процентного распределения** гранулометрических классов.

Эти данные позволяют классифицировать отложения, например: *гравий с песком, песчаный гравий* или *гравий с слегка илисто-глинистым песком*. Хотя существуют более совершенные методы классификации, данный подход уже представляет собой значительное улучшение в точном описании пещерных отложений.

Неоднократно, участвуя в выездных обследованиях засыпок карстовых полостей вместе с другими людьми, я замечал, что такие слова, как «глины», «пески», «илы», используются произвольно, как попало. То же самое можно заметить и в некоторых описаниях, сопровождающих топографические съёмки пещер, или в отдельных статьях. Все это приводит к ошибкам и путанице. Поэтому давайте разберемся в этом вопросе, но так, чтобы это было понятно всем. Пусть же меня простят пуристы, но эти статьи адресованы прежде всего спелеологам, то есть людям, ориентированным на практику. Прежде всего, следует уточнить, что гранулометрия описывает размеры частиц (зерен), составляющих сыпучий грунт или горную породу. Таким образом, минералогические характеристики не принимаются во внимание. Существует пять гранулометрических классов: блоки-

РАЗМЕРЫ В МИЛЛИМЕТРАХ	ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЕ КЛАССЫ
более 256	блоки (<i>валуны</i>)
от 2,0 до 256	гравия (<i>gravel</i>)
от 0,0625 до 2,0	песок (<i>sand</i>)
от 0,0039 до 0,0625	ило (<i>silt</i>)
менее 0,0039	глина (<i>clay</i>)

глина, гравий, песок, ил, глина. Сразу возникает вопрос: какие размеры разделяют один класс от другого и почему были выбраны именно эти? Например: при каком размере заканчивается гравий и начинается песок? Границы между классами являются условными, более того, было предложено несколько границ, и поэтому существует несколько классификаций.



По этой причине всегда необходимо указывать, какую именно классификацию вы используете. Геологи часто используют классификацию Вентворта (1922), упрощённая версия которой приведена ниже. В скобках указаны названия на английском языке, поскольку в настоящее время эти термины часто используются и в итальянских исследованиях, поэтому лучше выучить их сразу.

Если мы посмотрим на таблицу, сразу же возникают другие вопросы: как можно определить на глаз, является ли осадочная порода илом или глиной, учитывая, что граница между ними составляет всего 0,0039 мм? На глаз это невозможно. Кто так делает, тот ошибается. Приведем пример: согласно классификации Вентворта, осадочная порода, состоящая из частиц размером 45 тысячных миллиметра, является илом, а осадочная порода, состоящая из частиц размером 30 тысячных миллиметра, — глиной. Кто способен на глаз оценить разницу всего в 15 тысячных миллиметра? Никто, разумеется.



Рис. 1 – Практическое задание по изготовлению цилиндрика пластичности. В первом случае (А) речь идет об осадке с высоким содержанием глины, и из него легко сформировать цилиндр диаметром в несколько миллиметров. Во втором случае (В) речь идет о мелком илистом песке, и сформировать цилиндр не удастся, поскольку материал сразу рассыпается. Таким образом, с помощью этого простого испытания можно получить первоначальное представление о гранулометрических характеристиках исследуемого материала.

В таких случаях прибегают к лабораторным анализам, однако, учитывая, что в пещерах мелкие отложения часто состоят из смеси глины и ила, в первом приближении мы можем использовать термин «грязь» (mud по-английски) и таким образом решить проблему. В гранулометрии, infatti, «грязь» означает ил + глина в общем смысле.

Ещё один вопрос: как понять, состоит ли отложения преимущественно из очень мелкого песка или из глины? Этот вопрос гораздо интереснее, чем кажется: ведь в карстовых районах глины часто являются остатками разложения местных пород, тогда как пески могут поступать из более отдалённых мест, переноситься водами и, возможно, происходить из пород, отличных от тех, что находятся в том месте, где мы находимся.



Рис. 2 — Сито, используемое для гранулометрического исследования песков, собранных в пещере «Норма Коссетто» 5410/5906VG (исследование опубликовано в журнале «TuttoCat», 2015 год).



В таких случаях, если нет возможности воспользоваться лабораторией, используют типичную особенность глинистых отложений: когезию, которая, проще говоря, представляет собой силу, удерживающую отдельные частицы вместе. По этой причине, если отложение состоит из большого количества глины, его легко обрабатывать пальцами, придавая ему желаемую форму. Если потереть его между ладонями, то можно сформировать цилиндрики (спагетти) диаметром до нескольких миллиметров. Если же попытаться сделать то же самое с мелким песком или крупным илом, то станет ясно, что это невозможно, поскольку в какой-то момент цилиндрик рассыпается. Разумеется, образцы, используемые для этих испытаний, должны быть влажными. В противном случае нужно добавить немного воды. Таким образом, самый простой ручной тест на месте, без инструментов, уже позволяет определить, является ли отложением мелкий песок/крупный ил или глинистый ил. Это немало. Однако как более точно изучить рыхлое отложение?

Прежде всего, необходимо отобрать образец, который действительно репрезентативен для данной ситуации, а не самый броский, самый странный или самый доступный. Кажется, что это банальное замечание, но это не так. Поэтому перед отбором всегда следует осмотреть общую картину.

Затем лучше взять достаточно большое количество. Чтобы дать примерное представление: если речь идет о гравии и песке, объем пробы должен превышать один килограмм. Для илов, напротив, достаточно половины этого количества, а для глин — еще чуть меньше.

Затем образец необходимо высушить и очистить от посторонних включений (например, органических остатков). Крупные зерна можно измерить с помощью калибра. Для зерен среднего размера (песка и гравия) используются сита. Исследование ила, напротив, проводится в лаборатории, но если этой фракции не так много, может быть достаточно просто измерить её процентное содержание.

Материал, задержанный на каждом сите, включая проход через последнее сито, затем взвешивается. Таким образом, весь образец делится на различные фракции, каждая со своим весом.

На основании полученных данных теперь можно рассчитать различные процентные доли гравия, песка и ила и, следовательно, провести классификацию. В первом приближении рассматриваются первые два гранулометрических класса, которые мы назовём А и В. Метод описан в приведённой ниже таблице.

УСЛОВИЕ	ОСАДОК		НАЗВАНИЕ ОСАДКА
	класс А	класс В	
А % больше или равно В%	да	В% от 25% до 50%	<i>А и В</i>
А% превышает В%	да	В% от 10% до 25%	<i>АВ... «особый»</i>
А% превышает В%	да	В% от 5% до 10%	<i>А слабо В... «осо»</i>

Например, если образец на 60 % состоит из гравия и на 40 % из песка, он будет определен как «гравий с песком».

Если же образец на 78 % состоит из песка и на 22 % из гравия, он будет обозначен как «песчано-гравийный песок».

Если также существует класс С с долей более 5%, применяется то же правило, что и для класса В. Например, образец, состоящий на 60 % из гравия, на 32 % из песка и на 8 % из ила (ило-глинистая смесь), будет обозначен как «гравий с песком, слабо ило-глинистый».

В седиментологии существуют и более строгие классификации, но если мы сейчас сможем справиться хотя бы с этой, это уже будет хорошим шагом вперед.



МИЛЛИМЕТРЫ	МИКРОНЫ	ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЕ КЛАССЫ	
> 256		валуны (валуны)	
256–64		галька (cobble)	ГРАВИЙ
64–4		галька (pebble)	
4–2		очень мелкий галечник (гранулы)	
2–1	2000 – 1000	очень крупный песок (очень крупный песок)	
1 – 0,5 мм	1000 – 500	крупный песок (крупнозернистый песок)	ПЕСОК
0,5 – 0,25 мм	500 – 250	песок средней фракции (medium sand)	
0,25 – 0,125	250 – 125	мелкий песок (мелкозернистый песок)	
0,125 – 0,0625	125 – 62,5	очень мелкий песок (очень мелкие песчинки)	
0,0625 – 0,0039	62,5 – 3,9	ило (ило)	
< 0,0039	< 3,9	глина (clay)	ИЛ

Гранулометрическая шкала Вентворта, широко используемая в геологии. Размеры указаны в миллиметрах и микронах. Один микрон (или микрометр) равен одной тысячной миллиметра.





На этом рисунке показаны несколько профессиональных сит различной калибровки, а также калибр, который мы используем для гранулометрического анализа.



Гранулометрия: кумулятивная гранулометрическая кривая

Аннотация:

В тексте рассматривается использование кумулятивной кривой гранулометрического состава в качестве основного инструмента для количественной характеристики неуплотненных отложений, в том числе встречающихся в подземных средах. Кривая строится путем нанесения **размеров ячеек сит** на ось x и **кумулятивного процента проходящего материала** на ось y , полученных в результате последовательного просеивания образца.

Приведенный пример иллюстрирует аналитическую процедуру: проба массой 620 г фракционируется с помощью набора из шести сит с уменьшающимся размером ячейки; для каждого уровня сита рассчитываются **масса проходящего материала** и **кумулятивный процент**, что дает данные, необходимые для построения кривой. В тексте также отмечается наличие специализированного программного обеспечения, которое автоматизирует как расчеты, так и построение графиков.

Кривая гранулометрического состава позволяет быстро оценить **доминирующие гранулометрические классы, медианный диаметр (M_d)** — 9,5 мм в данном примере — и **степень сортировки**. Анализируемая проба состоит преимущественно из **гравия** ($\approx 76\% > 2$ мм по классификации Вентворта) с плавным переходом от гравия к песку, поэтому её можно классифицировать как **песчаный гравий с хорошей сортировкой**.

Также подчеркиваются генетические последствия: **хорошо сортированные кривые**, как правило, указывают на речной транспорт и отложение, тогда как **плохо сортированные кривые** характерны для эоловых или пляжных отложений. Два реальных примера — гравийные отложения из Фонтанон-ди-Гориуда и «желтые пески» пещеры Регина-дель-Карсо — наглядно демонстрируют, как различия в сортировке отражают различные процессы отложения.

В предыдущей статье мы предложили первую классификацию сыпучих отложений, которые можно встретить и в пещерах. Однако при более глубоком изучении этой темы важно графически представить исследуемый образец, чтобы с первого взгляда сразу можно было составить представление о том, с чем имеем дело.

Существуют различные методы представления, но одним из наиболее распространенных является «кумулятивная гранулометрическая кривая». По сути, это график, на котором по оси абсцисс отложены размеры, а по оси ординат — кумулятивные доли фракций, проходящих через различные сита.

Это совсем не сложно, но для лучшего понимания рассмотрим пример.

Предположим, что мы исследуем образец весом 620 граммов и используем набор из 6 сит с уменьшающимся размером ячейки. Поместим их одно на другое, сложив в стопку, а затем тщательно встряхнем всю конструкцию. Осадок опустится, однако каждое сито, в зависимости от размера ячейки, пропустит более мелкие частицы и задержит более крупные. На этом этапе взвешиваем остаток на каждом сите, включая прошедший материал на последнем. Затем определяем процент прошедшего материала для каждого сита, как показано в приведенном ниже примере.

<i>сито (размер ячейки)</i>	<i>остаток на сите (в граммах)</i>	<i>проходящий через сито (в граммах)</i>	<i>прошедшее через сито (в %)</i>
30 мм	82	538	86,8
15 мм	140	398	64,2
5 мм	182	216	34,8
1 мм	105	111	17,9
0,4 мм	64	47	7,6
0,1 мм	38	9	1,4
с зазором 0,1 мм	9	-	



- Проход через сито — в граммах — рассчитывается путем вычитания из общей массы образца массы остатка (для первого сита) или суммы остатков (для последующих сит). Например, для первого сита получается: $620 \text{ г} - 82 \text{ г} = 538 \text{ г}$. Для второго сита получается $620 \text{ г} - (82 \text{ г} + 140 \text{ г}) = 398 \text{ г}$ и так далее.
- Проход через сито — в процентах — рассчитывается, приняв за 100 общее количество и вычислив пропорции. На практике для первого сита получается: $(538 \cdot 100) / 620 = 86,8 \%$. Для второго: $(398 \cdot 100) / 620 = 64,2 \%$ и так далее.

Я понимаю, что кому-то может показаться утомительным заниматься математическими вычислениями, а затем, возможно, рисовать график от руки. Сейчас этим почти никто не занимается. Поэтому сообщаю, что в Интернете можно найти бесплатные программы для построения гранулометрической кривой.

Одна из таких программ находится на сайте «geologi.it». Необходимо зарегистрироваться, но это бесплатно:

<https://geologi.it/download/granulometria/>

Существует также приложение для мобильных телефонов, которое можно скачать в Google Play:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.jbtapps.granulometria&hl=it>

Различные программы для гранулометрического анализа можно найти по этой ссылке:

<https://woodshole.er.usgs.gov/software/sediment-software.html>

В интернете есть и другие сайты, однако иногда они остаются активными лишь несколько лет, а затем исчезают. Поэтому рекомендуется провести небольшой поиск, например, через Google, просто введя запрос «программное обеспечение для построения гранулометрической кривой» или «grain size curve software».

Вернёмся теперь к нашему примеру. На основе полученных данных можно построить гранулометрическую кривую, приведённую ниже:

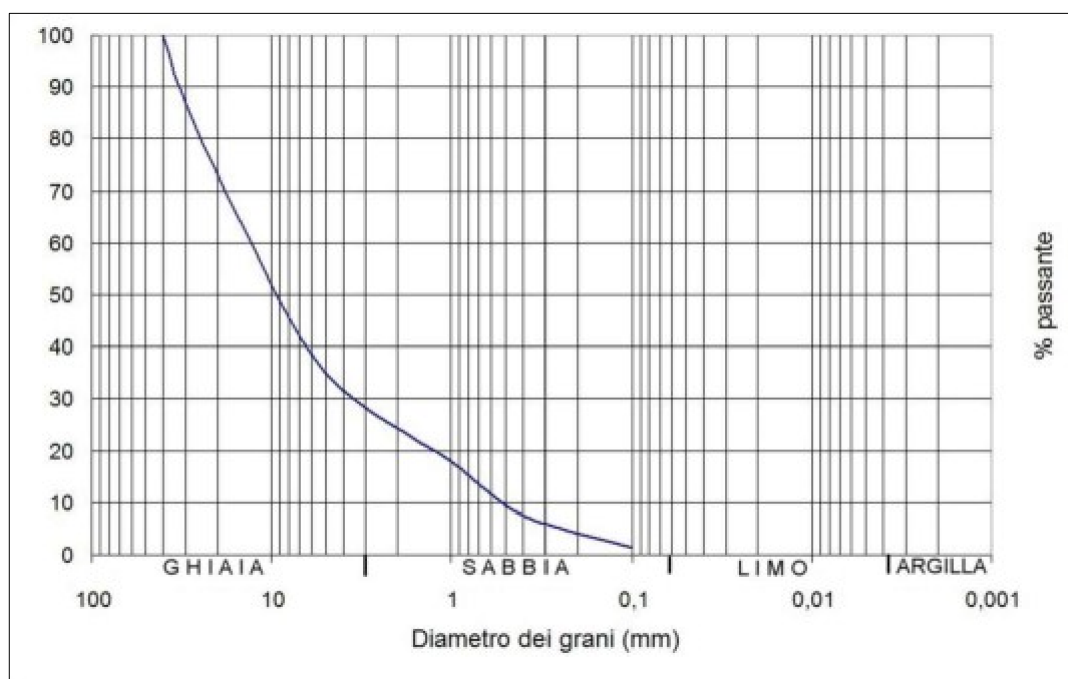


Рис. 1 — Пример кумулятивной гранулометрической кривой. Она была построена на основе данных, приведенных в данной статье. Обратите внимание, что шкала диаметров является логарифмической.

Какую информацию можно извлечь из этих кривых?

Прежде всего, сразу видно, какие фракции гранулометрического состава являются наиболее значимыми. В приведенном выше примере, учитывая, что гравий начинается с 2 мм, согласно классификации Вентворта, этот образец преимущественно состоит из гравия (около 76 %) и может быть определен как «песчаный гравий», поскольку ил (менее 0,06 мм) практически отсутствует.

Затем можно рассчитать «медиану» (Md) — диаметр, соответствующий 50 % гранулометрической кривой. В нашем случае она равна 9,5 мм.

Кроме того, отмечается хорошее гранулометрическое распределение в диапазоне гравия и песка, поэтому в первом приближении отложения можно охарактеризовать как «хорошо сортированные». Для получения точной классификации, тем не

существуют математические формулы, которые мы рассмотрим в следующей статье.



Добавим, что хорошо сортированные гранулометрические кривые (то есть с большим количеством классов) характерны для отложений, переносимых и отлагаемых водотоками. Напротив, плохо сортированные (то есть с небольшим количеством классов) характерны для отложений, переносимых ветром (эоловых), или для пляжей. Разумеется, прежде чем делать выводы, ни в коем случае не следует ограничиваться лишь наблюдением одной кривой, которая, тем не менее, остается хорошей отправной точкой.

На рисунке 2 приведены два реальных примера: кривая гравийных отложений Фонтанон-ди-Гориуда 20/1FR (Валь-Ракколана) и кривая «жёлтых песков» пещеры Регина-дель-Карсо 2328/4760VG (Горицкий Карст). В первом случае наблюдается хороший ассортимент, во втором же — ассортимент более скудный, особенно в крупнозернистой фракции. Таким образом, очевидно, что эти два материала были перенесены и отложились совершенно по-разному.

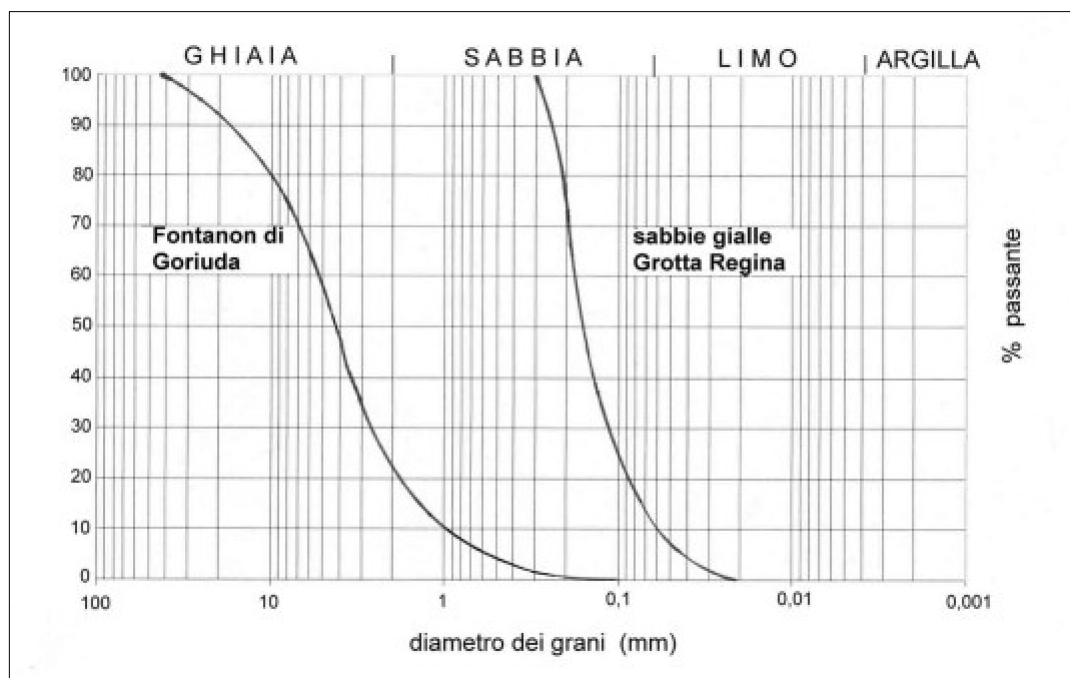


Рис. 2 — Гранулометрические кривые песчаных гравийных отложений из Фонтанона-ди-Гориуда 20/1FR и илистых песков из пещеры «Регина-дель-Карсо» 2328/4760VG. В первом случае наблюдается хороший гранулометрический ассортимент, свидетельствующий о переносе под действием проточных вод. Во втором случае сортировка менее выражена, что, вероятно, обусловлено более сложным переносом — возможно, сначала ветровым, а затем водным.

БИБЛИОГРАФИЯ:

- БОЗЕЛЛИНИ А., МУТТИ А., РИЧЧИ ЛУККИ Ф. (1989) — Гранулометрия. В: «Породы и осадочные последовательности», с. 14–22, «Науки о Земле», UTET:
- КАНЧИАН Г., КАНЧИАН Д. (2010) – Гравий Фонтанона в Гориуде (Валь-Ракколана, Фриули): гранулометрия, морфометрия и минералогия. «Mondo Sotterraneo», новая серия, т. XXXIV (1-2), с. 11–20, CSIF Удине.
- КАНЧИАН Г. (2001) – «Жёлтые илистые пески» в наполняющих отложениях карстовых пещер Триеста: гранулометрия, минералогия и геохимия. «Ipogea», № 3 (2000), с. 39–55. Gr. Spel. S. Giusto, Триест.



Гранулометрия: шкала Ø, средний диаметр, медиана и стандартное отклонение

Аннотация:

При описании отложений внутри пещеры утверждения типа «гравий мелкий», «песок крупный» или «зёрна имеют разные размеры» являются слишком расплывчатыми. В научной работе не используются прилагательные — используются числа. Только числа позволяют избежать двусмысленности. По этой причине вместо миллиметров используется более удобная и стандартизированная шкала: **шкала фи (Ø)**, которая преобразует размер зерен в логарифмические значения. Нет необходимости в сложных вычислениях: для мгновенного получения значения Ø доступны таблицы и простые инструменты.

После преобразования размеров зерен в Ø кривая гранулометрического состава позволяет извлечь три ключевых элемента информации:

- **Средний диаметр:** указывает «типичный» размер зерен в пробе.
- **Медиана:** диаметр, соответствующий 50 % совокупного проходящего материала.
- **Стандартное отклонение (сортировка):** показывает, насколько «отсортирован» осадок, то есть насколько размеры зерен похожи друг на друга.

Сортировка очень полезна для понимания того, как сформировалось отложение. **Хорошо отсортированные отложения** (все зерна одинакового размера) характерны для **пляжей** и **дюн**, где ветер и волны естественным образом «очищают» материал. С другой стороны, **плохо отсортированные отложения** указывают на более «турбулентные» среды: **ледниковые морены**, **флювиогляциальные отложения** или материалы, переносимые водой с переменной энергией.

В примере, рассматриваемом в тексте, рассчитанное стандартное отклонение составляет **1,58 Ø**, что относится к категории **плохо сортированных отложений**. Это указывает на происхождение, связанное со смешанной переноской или неравномерным течением воды — условиями, часто встречающимися в пещерных отложениях.

Одним словом, использование шкалы Ø и кривой гранулометрического состава позволяет спелеологам описывать отложения **чётко, объективно и конструктивно**, не полагаясь на субъективные впечатления. Это небольшой шаг на пути к более обоснованной и научно обоснованной спелеологии.

Во всех предыдущих статьях мы придерживались одного правила: быть простыми, очень простыми, даже если это вызывает недовольство у «специалистов». На этот раз, однако, нам предстоит углубиться в тему, казалось бы, более сложную, но мы сделаем это с привычной простотой.

Начнём с предпосылки. В научном мире, как правило, различные параметры, определяющие состояние вещества, обозначаются не «прилагательными», а «числами». Например, в научном отчёте я не могу написать, что вода из источника «холодная». Что значит «холодная»? Этот термин неоднозначен, потому что то, что для меня холодное, может оказаться приятным для другого человека. По этой причине я измеряю температуру, а затем, возможно, напишу, что она составляла 14,2 градуса. Таким образом, данное значение однозначно, то есть на него не влияют эмоции или индивидуальные ощущения. То же самое относится и к гранулометрии. Если в пещере я вижу отложения гальки, я, конечно, могу

сказать, что «они разного размера», но при таком подходе мы остаемся в сфере неопределённости. Если же хотеть быть точным, то и в этом случае нужно «указать цифры». На этот раз, однако,

чтобы получить эти самые цифры, вместо гранулометрической шкалы в миллиметрах используется «шкала Ø» (шкала фи), предложенная Крумбейном ещё в 1934 году.

Зависимость, связывающая параметр Ø с миллиметрами, имеет вид:

$$\Phi(\text{фи}) = -\log_2 \text{mm}$$

Упрощение, позволяющее работать с более простым логарифмом по основанию 10, который легко найти в калькуляторах, выглядит следующим образом:

$$\Phi(\text{фи}) = -3,3219 * \log_{10} D(\text{мм})$$



Рис. 1 — Галька, найденная в пещере Карсо-Гориниано.



Существуют, однако, также таблицы, позволяющие оценить значение Φ без проведения вычислений. В конце статьи мы приводим один из примеров, чтобы сразу упростить задачу.

Теперь, когда мы знаем, как определить Φ , можем рассчитать три важных параметра по гранулометрической кривой: средний диаметр (D_m), медиану (M_d) и стандартное отклонение (σ).

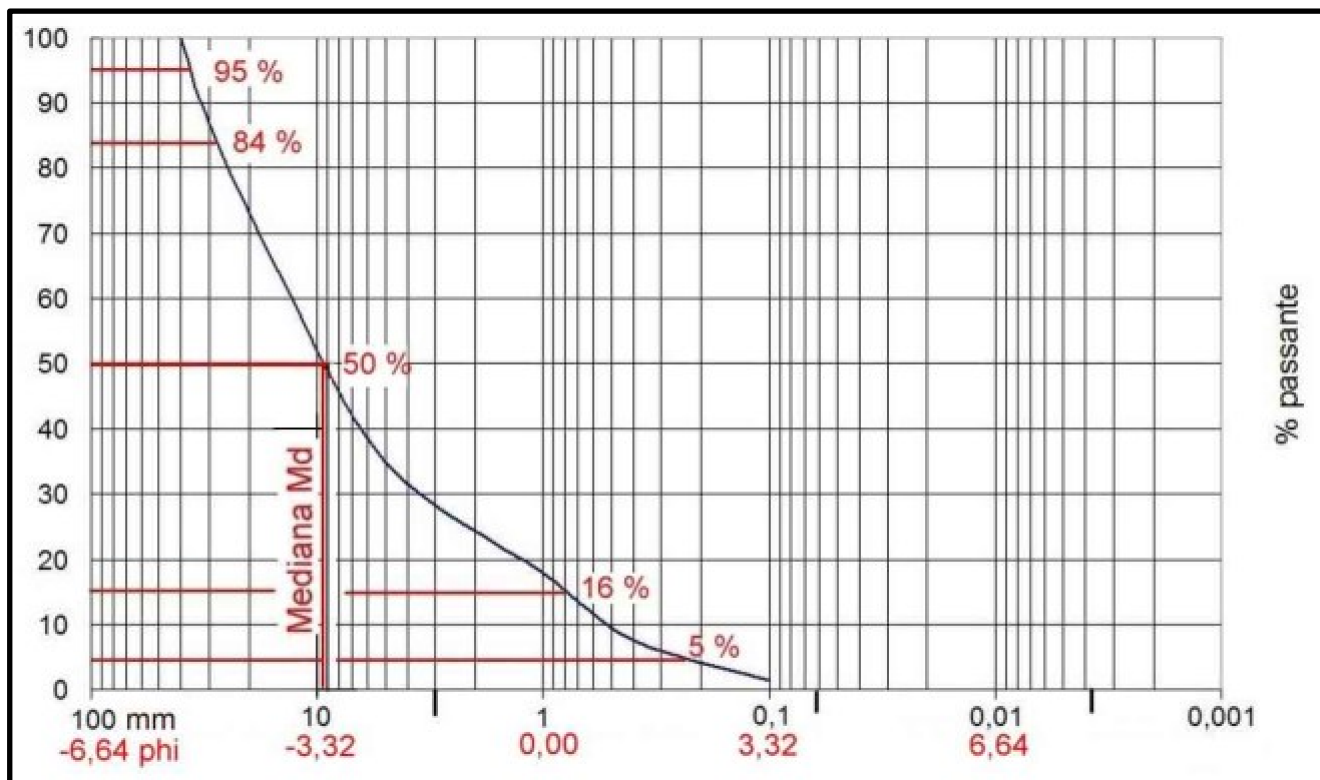


Рис. 2 — Пример кумулятивной кривой осадка. Шкала диаметров указана в миллиметрах, а красным цветом — в единицах Φ (фи). Также красным цветом обозначены проценты, соответствующие 95 %, 84 %, 16 % и 5 %. 50 % соответствует медиане M_d и равна 9,5 миллиметра (или -3,25 в единицах Φ).

СРЕДНИЙ ДИАМЕТР И МЕДИАНА:

Как следует из самого названия, это средний диаметр зерен. Формула для его вычисления:

$$D_m = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}) / 3$$

где Φ_{16} , Φ_{50} и Φ_{84} — размеры, пересчитанные в Φ , фракций, проходящих через 16 %, 50 % и 84 % на гранулометрической кривой.

По той же кривой можно определить также «медиану» (M_d), которая представляет собой диаметр, соответствующий 50 % проходящего материала, и которая может быть выражена также в миллиметрах.

Средний диаметр и медиана могут быть близки по значению, но, как правило, не совпадают.

СОРТИРОВКА ИЛИ СТАНДАРТНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ (σ):

Отражает изменчивость размеров образца, то есть его классификацию (или сортировку). Формула выглядит следующим образом:

$$\sigma = (\Phi_{84} - \Phi_{16}) / 4 + (\Phi_{95} - \Phi_5) / 6,6$$

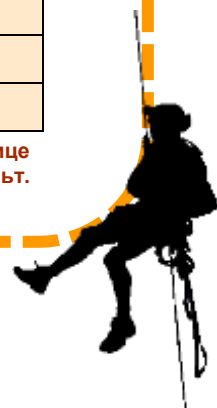
Этот параметр очень важен, поскольку может дать полезную информацию о происхождении, степени переработки, которой подвергся осадок, и о характеристиках возможного переноса водными потоками. В зависимости от полученного значения осадок классифицируется следующим образом:

- Очень хорошо отсортированный: менее 0,35 Φ
- Хорошо отсортированный: от 0,35 до 0,50 Φ
- Умеренно хорошо отсортированный: от 0,50 до 0,80 Φ
- Умеренно отсортированный: от 0,80 до 1,40 Φ
- Слабо отсортированный: от 1,40 до 2,00 Φ
- Очень плохо отсортирован: от 2,00 до 4,00 Φ
- Крайне плохо отсортированный: более 4,00 Φ



миллиметров	микрон	шкала Ø	класс зернистости (Вентворт)
4096	-	- 12	блоков
256	-	- 8	<i>мелких камней</i>
64	.	- 6	
4,00	-	-2	
3,36	-	- 1,75	
2,83	-	- 1,50	<i>гранулы</i>
2,38	-	- 1,25	
2,00	2000	- 1,00	
1,68	1680	- 0,75	<i>очень крупный песок</i>
1,41	1410	- 0,50	
1,19	1190	- 0,25	
1,00	1000	0,00	
0,84	840	0,25	
0,71	710	0,50	<i>крупный песок</i>
0,59	590	0,75	
0,50	500	1,00	
0,42	420	1,25	<i>песок средней фракции</i>
0,35	350	1,50	
0,30	300	1,75	
0,25	250	2,00	
0,210	210	2,25	
0,177	177	2,50	<i>мелкий песок</i>
0,149	149	2,75	
0,125	125	3,00	
0,105	105	3,24	
0,088	88	3,50	<i>очень мелкий песок</i>
0,074	74	3,75	
0,0625	62,5	4,00	
0,053	53	4,25	
0,044	44	4,50	
0,037	37	4,75	<i>крупный ил</i>
0,031	31	5,00	
0,0156	15,6	6,00	
0,078	7,8	7,00	<i>очень мелкий ил</i>
0,039	3,9	8,00	<i>глина</i>

Табл. 1 — Гранулометрическая шкала с размерами в миллиметрах, микронах и шкалой Ø. По этой таблице можно сделать первоначальную оценку параметра Ø, если известны размеры в миллиметрах. Ил = сilt.



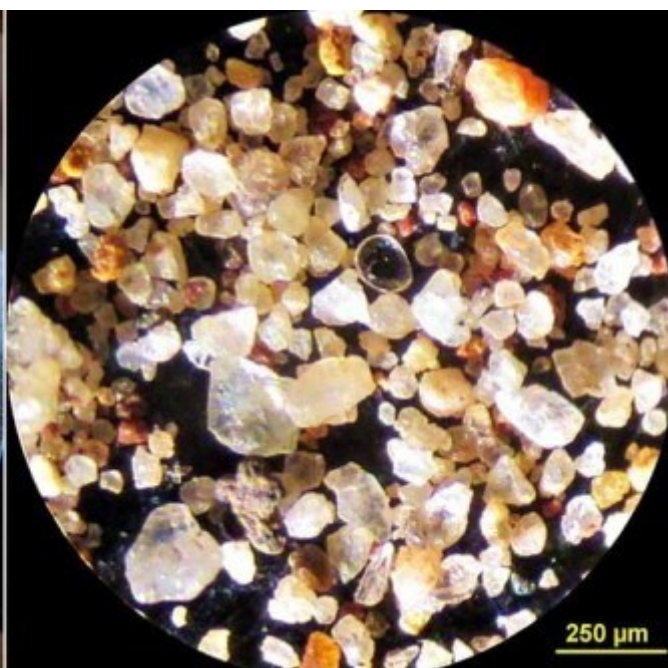
В природе *очень хорошо сортированные* отложения характерны для дюнных и пляжных песков. На другом конце спектра находятся *крайне плохо сортированные* отложения со стандартным отклонением 5–8, характерные для морен. Среди *плохо сортированных* отложений, в свою очередь, встречаются флювио-гляциальные (переносимые сначала ледниками, а затем водотоками) и речные отложения.

В примере на *рисунке 2* стандартное отклонение составляет:

$(28 \text{ мм} - 0,8 \text{ мм}) / 4 + (38 \text{ мм} - 0,22 \text{ мм}) / 6,6$, что в пересчёте на единицы Φ даёт: $(4,80 - 0,32) / 4 + (5,24 - 2,18) / 6,6 = 1,12 + 0,46 = 1,58$

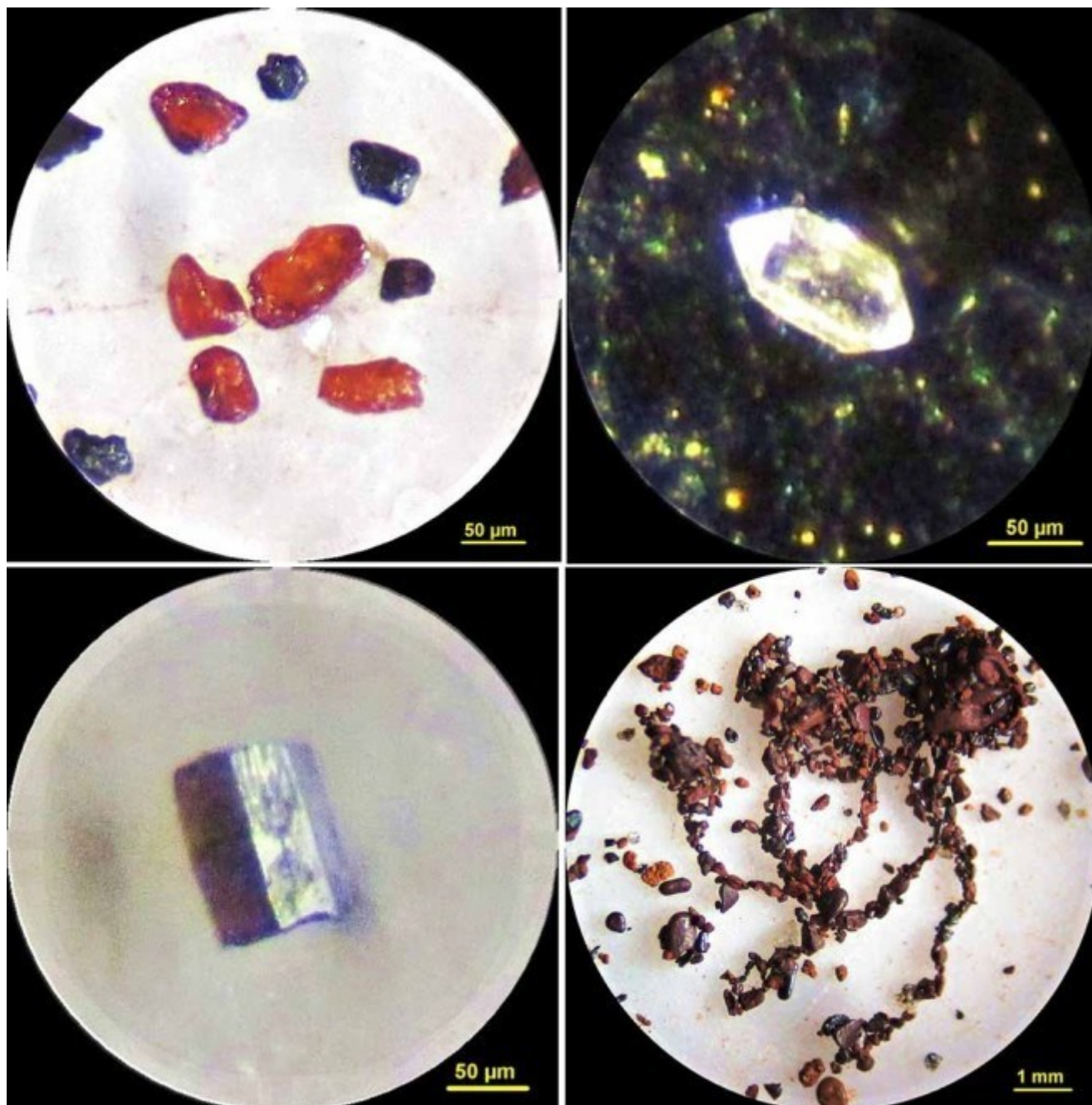
Таким образом, отложения можно правильно классифицировать как «*слабоотсортированные*».

* * *



При изучении песков важное значение имеет микроскопическое исследование. На этом снимке рассматривается образец кремниевых песков, взятый из пещеры Claudio Skilan 5070 / 5720 VG (муниципалитет Триеста).





При микроскопическом исследовании песков часто возникают неожиданные находки. Например, в песках карстовых пещер после обработки разбавленной HCl с целью удаления карбонатов, помимо кварца, который всегда присутствует в изобилии, могут появляться другие крошечные кристаллы или их фрагменты. В ряде случаев наблюдались рутил, циркон, турмалин и другие «тяжелые минералы».

На изображении внизу справа, напротив, видны зернышки магемита — магнитного оксида железа.

По этой причине зёрна притягиваются друг к другу, как магниты, образуя цепочки.

Все эти минералы могут дать информацию о происхождении пород и отложений, из которых они образовались.



Морфометрия: округлость песчинок и галечей ()

Аннотация:

В тексте представлена **морфометрия**, то есть изучение формы зерен в неуплотнённых отложениях, как фундаментальный элемент, дополняющий анализ гранулометрического состава. Помимо размера частиц, их **форма** и **округлость** влияют на их перенос и отложение в пещерах.

Морфометрия в основном касается **галечки**, которую легче измерить, но её также можно применять к **песчинкам** с помощью сравнительных таблиц. Округлость показывает, насколько сглажены края и углы частицы; её не следует путать со сферичностью, поскольку даже уплощённое зерно может быть очень округлым. Этот параметр помогает определить, является ли обломок **свежим** (недавно отколовшимся от материнской породы) или **зрелым**, то есть перенесенным и подвергшимся абразивному износу в течение длительного времени.

Минералогический состав влияет на степень округлости: мягкие породы сглаживаются быстрее, чем твёрдые. Бозеллини (1989) отмечает, что сглаживание песчинок — чрезвычайно медленный процесс: кварцевый песок теряет менее 1 % своей массы после переноса на расстояние **20 000 км**. По этой причине сильно округленные пески часто являются результатом **многократных осадочных циклов**. Следовательно, изучение округлости **галечки** является более информативным, поскольку она более подвержена воздействию переноса даже на короткие расстояния.

Для получения статистически достоверных результатов Бозеллини рекомендует проанализировать не менее **50 обломков** одной и той же литологии и размера. Хотя существуют формулы для расчета индекса округлости, на практике используются **таблицы визуального сравнения**, где значения варьируются от **0,1** (очень угловатые) до **1,0** (полностью округлые).

В заключение в тексте отмечается, что **гравийные отложения** широко распространены в альпийских и преальпийских пещерах Фриули, тогда как **отложения кварцевого песка** встречаются во многих пещерах Карста, особенно в субгоризонтальных ходах. Это обеспечивает обильный и легкодоступный материал для всех, кто желает заниматься морфометрическим анализом.

До сих пор мы научились классифицировать сыпучие отложения в зависимости от различных процентных долей их размеров и вычислять некоторые важные параметры. Если же мы хотим изучить эти материалы ещё более полно, нам не хватает одного существенного параметра: их формы!

Морфометрия — это наука, которая занимается именно этим аспектом. В первую очередь она касается галечки, поскольку её легко измерить, однако с помощью специальных сравнительных таблиц можно изучать и песчинки.

	0,15	0,20	0,30	0,40	0,60	0,85
alta sfericità						
bassa sfericità						
	molto angoloso	angoloso	sub-angoloso	sub-arrotondato	arrotondato	molto arrotondato

Рис. 1 — Таблица визуального сравнения для оценки степени округлости песчинок (по Powers, 1953).

Перенос фрагмента горной породы водой и его отложение зависят прежде всего от веса и формы. Существуют, infatti, зерна округлые, уплощенные, удлинённые, но об этом мы поговорим позже. Второй, чрезвычайно важный параметр — это степень округлости, которая на практике представляет собой меру остроты или сглаженности краев и углов частицы. Внимание: этот параметр не



следует путать со сферичностью. Например, даже уплощенная частица может быть скруглена. Скругление, по сути, помогает нам понять, является ли зерно свежим, то есть недавно отделившимся от материнской породы, или же оно «зрелое» и, возможно, прошло долгий путь. Время и износ, infatti, приводят к скруглению зерен.

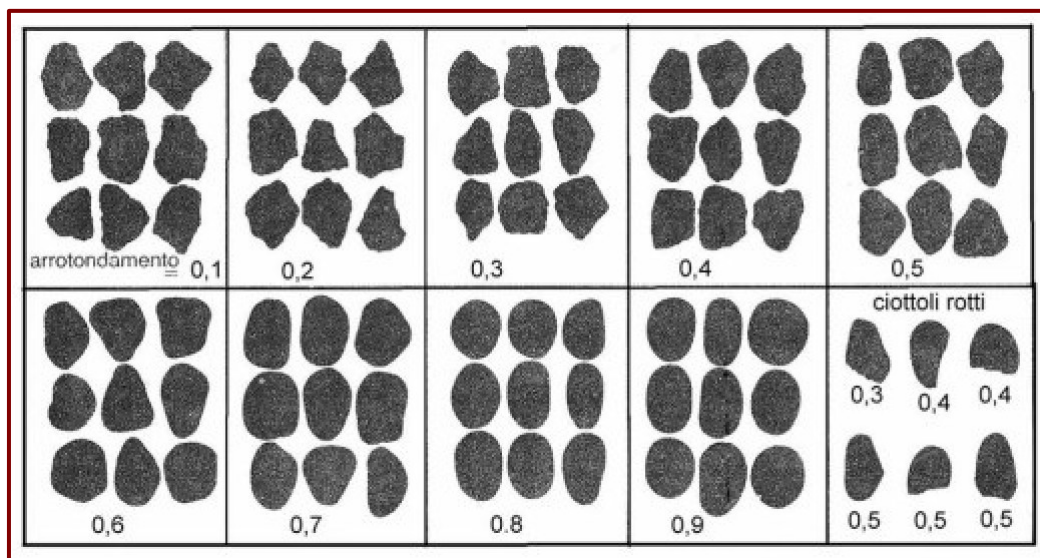


Рис. 2 — Таблица визуального сравнения для оценки округлости гальки (по Pettijohn, 1975).

Очевидно, что сглаживание неровностей, приводящее к их постепенному скруглению, зависит также от минералогического состава; ведь интуитивно понятно, что мягкая порода скругляется раньше, чем твердая. В этой связи Бозеллини (1989) отмечает, что скругление песчинок — чрезвычайно медленный процесс, и некоторые эксперименты показали, что потеря веса кварцевого песка не превышает 1 % после 20 000 км переноса. По этой причине пески с сильно скругленными зернами часто являются результатом нескольких осадочных циклов. Из всего этого следует, что более полезным является изучение скругленности гальки, которая более чувствительна к переносу даже на короткие расстояния.

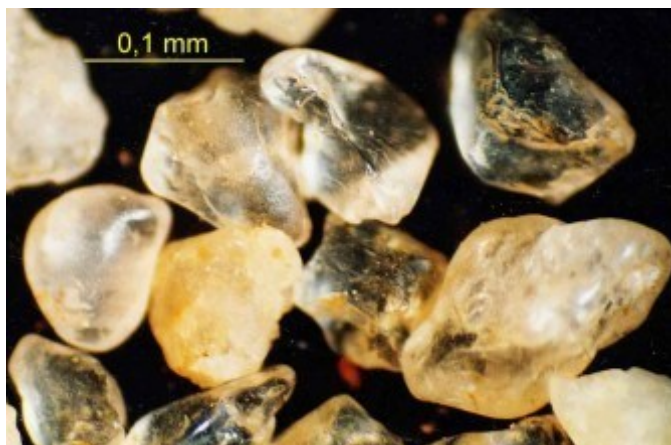


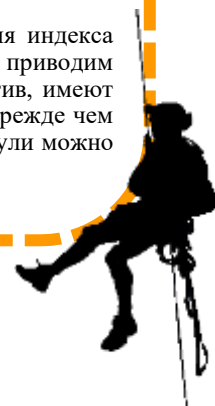
Рис. 3 — Зерна кварцевого песка из пещеры «Гротта Регина» 2328/4760VG (Горицианский карст), вид под микроскопом. В данном образце степень округлости зерен находится между «полуокруглыми» и «округлыми».

Бозеллини также отмечает, что для получения статистически достоверных результатов необходимо исследовать как минимум

50 элементов того же литологического состава и того же размера. Существуют формулы для вычисления индекса округлости, но на практике предпочтительнее использовать таблицы визуального сравнения, которые мы приводим здесь. Теоретический максимум округлости соответствует индексу 1,0. Очень угловатые элементы, напротив, имеют индекс около 0,1. Промежуточные классы имеют значения, лежащие между этими крайними значениями. Прежде чем сделать завершить, следует напомнить, что в различных пещерах альпийских и преальпийских районов Фриули можно найти



Рис. 4 — Конгломерат из гальки и кварцевого песка в глинисто-кальцевой матрице (заполнение остатка полости в Монфальконском карсте). Степень округлости гальки хорошая (оценивается в диапазоне от 0,7 до 0,9). По всей вероятности, эти камни древние и подверглись длительной переноске и нескольким циклам осадкообразования.



отложения гравия, тогда как в ряде пещер Карста, особенно в суборizzontali, можно найти отложения кварцевого песка. Таким образом, материала для исследования хватает, и он доступен всем.

Библиография:

Бозеллини А., Мутти А., Риччи Лукки Ф. (1989) — *Морфометрия*. В: «Породы и осадочные последовательности», стр. 22–26, «Науки о Земле», UTET:

Риччи Лукки Ф. (1980). — *Форма зерен*. В: «Седиментология», часть I, с. 149–166, Coop. Libr. Univ. Ed. Bologna.

* * *



На изображении слева показано русло реки Изонцо в период маловодья (апрель 2026 г.). Хорошо виден обширный гравийный отложения. С минералогической точки зрения эти материалы состоят преимущественно из различных карбонатных литотипов, от известняков до доломитов.

Даже город Гориция в значительной степени возвышается над изонцким гравием позднеплейстоценового возраста. Действительно, при геотехнических раскопках часто встречается первый слой сельскохозяйственной почвы — илисто-глинистый, коричневого цвета, толщина которого обычно варьируется от нескольких дециметров до нескольких метров, за которым следует мощное изонцкое гравийно-песчаное отложение.



Морфометрия: изучение формы гальки

Аннотация:

В тексте рассматривается исследование формы гальки в гравийных отложениях — фундаментальный аспект морфометрии, поскольку он позволяет интерпретировать процессы переноса и способы осаждения. Каждый обломок описывается с помощью трёх основных измерений: длинной оси (L), промежуточной оси (I) и короткой оси (S), измеряемых с помощью штангенциркуля и условно обозначаемых как a, b и c.

На основе этих осей гальку можно разделить на четыре основные морфологические категории (сплюснутая, равномерная, лопатовидная и стержневидная), хотя такое деление является чрезмерно упрощенным. Для более точной классификации используется **треугольная диаграмма Снида и Фолка**, которая выделяет **10 морфологических классов**. Параметры, необходимые для построения диаграммы: c/a , b/a и $(a-b)/(a-c)$.

Сложность расчётов устраняется благодаря бесплатному программному обеспечению **TriPlot**, которое автоматически генерирует диаграмму и предоставляет процентное распределение различных морфологических классов при условии, что для обеспечения статистической достоверности анализируется не менее **50 галек** одной и той же литологии и размера.

Пример показывает, что галька с размерами $a = 42$ мм, $b = 34$ мм, $c = 24$ мм относится к классу **СВ** — «компактные лопатовидные» — согласно классификации Снида и Фолка. Статистически в речных гравиях преобладают **сферические и лопатовидные формы**, тогда как **дисковидные формы** чаще встречаются в прибрежных гравиях.

В заключение авторы призывают расширить эти исследования на гравийные пещерные отложения, морфометрия которых до сих пор изучена недостаточно — это область исследований, доступная каждому, поскольку единственный необходимый инструмент — это простой штангенциркуль.

Мы оставили эту тему на последнее место, однако на самом деле она является одной из самых важных и поэтому требует особого внимания.

Исследования «формы» обычно проводятся на гальке, то есть на гравиях, и они полезны, поскольку, помимо того, что позволяют провести классификацию, но и дают представление о факторах и способах переноса.

Если бы галечные камни были все сферическими, достаточно было бы измерить их диаметр. На самом деле это не так, поэтому каждая частица характеризуется тремя измерениями:

L = длинная ось (long)

I = промежуточная ось (intermediate)

S = короткая ось (short)

Измерения можно удобно проводить с помощью штангенциркуля. Очевидно, что L больше I, а I больше S, то есть: $L > I > S$.

Оси L, I, S также называются a, b, c (см. рис. 1).

В зависимости от этих размеров гальку можно разделить на четыре категории: сплюснутую (таблитчатую или дисковидную), равномерную (кубическую или сферическую), лезвиевидную (удлиненную и плоскую) и палочковидную (удлиненную и тонкую). Разумеется, существуют и все промежуточные формы.

Однако деление на четыре класса является слишком жёстким, поэтому предпочтительнее использовать треугольную диаграмму Снида и Фолка, которая позволяет выделить 10 классов.

В этом случае для каждого гальки указываются три параметра: c/a , b/a , $(a-b)/(a-c)$.

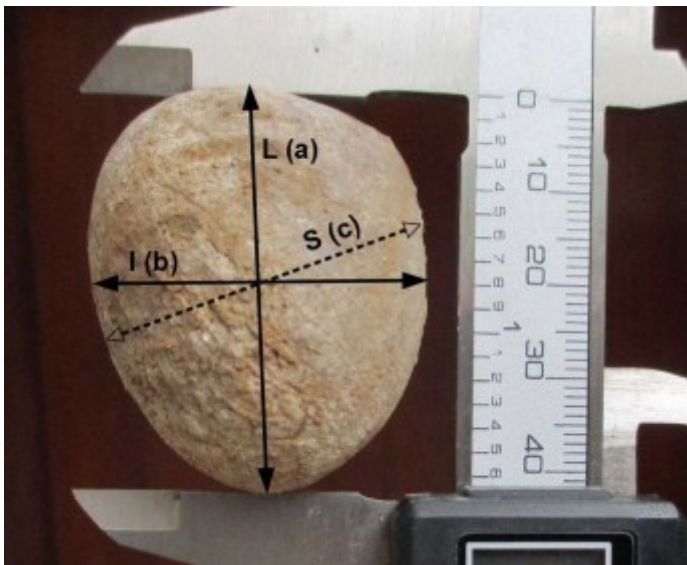


Рис. 1 — Для изучения размеров и формы галек необходимо измерить три основные оси каждого отдельного элемента. L — длинная ось, I — промежуточная ось, а S — короткая ось. Оси L, I, S также обозначаются как a, b, c.

Сложно? Совсем нет, потому что, к счастью, расчёты и чертежи выполняет бесплатная программа TriPlot, которую можно скачать из Интернета по следующим адресам:

<http://www.lboro.ac.uk/microsites/research/phys-geog/tri-plot/index.html> <http://triplot.software.informer.com/Scarica/>



В качестве альтернативы достаточно зайти в поисковую систему Google и ввести слова: «triplot software». Появятся несколько ссылок, по которым можно скачать программу. Программа работает в Excel и представляет собой треугольную диаграмму, пригодную также для различных других целей. Для изучения формы мы выберем опцию «Shape» (Sneed и Folk).

После ввода трёх размеров (a, b, c) для каждого элемента (обратите внимание: не менее 50 галек) программа в итоге выдаст процентные доли для каждого класса. Таким образом, гравийный осадок будет правильно классифицирован.

Рассмотрим пример. Предположим, что галечник на рис. 1 имеет следующие размеры: a = 42 мм, b = 34 мм, c = 24 мм. Если мы введем эти значения в график Снида и Фолка, то есть в треугольную диаграмму TriPlot, которую мы скачали из Интернета, галька попадает в область СВ — compact bladed (сферическая пластинчатая). См. рис. 2 и 3.

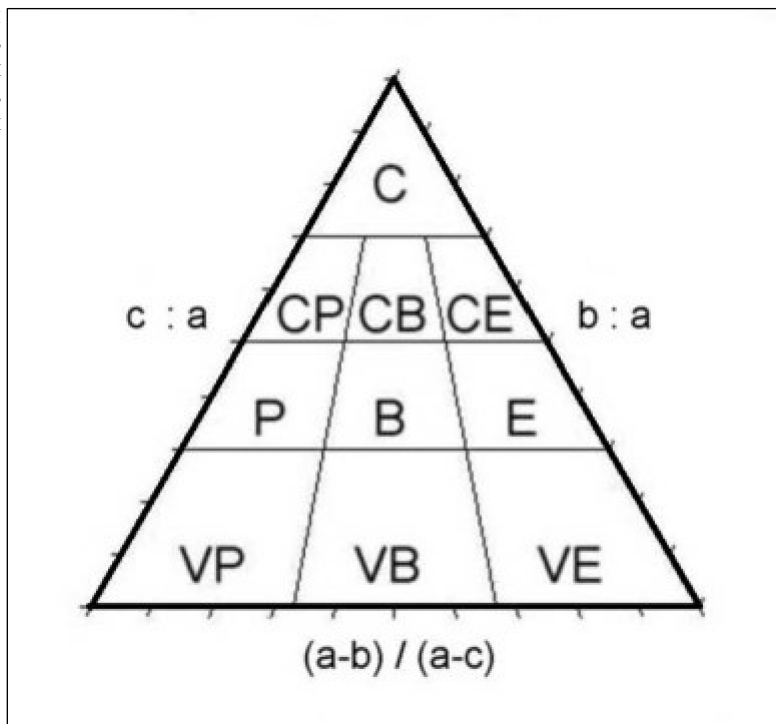


Рис. 2 — Диаграмма Снида и Фолка для классификации формы. C: compact (сферическая или компактная), CP: compact platy (сферическая дисковидная), CB: compact bladed (сферическая ламеллярная), CE: compact elongate (сферическая удлиненная), P: platy (дисковидная или уплощенная), B: блейд (ламеллярная), E: элонгированная (удлиненная), VP: очень пластинчатая (очень уплощенная), VB: очень блейд (очень ламеллярная), VE: очень элонгированная (очень удлиненная).

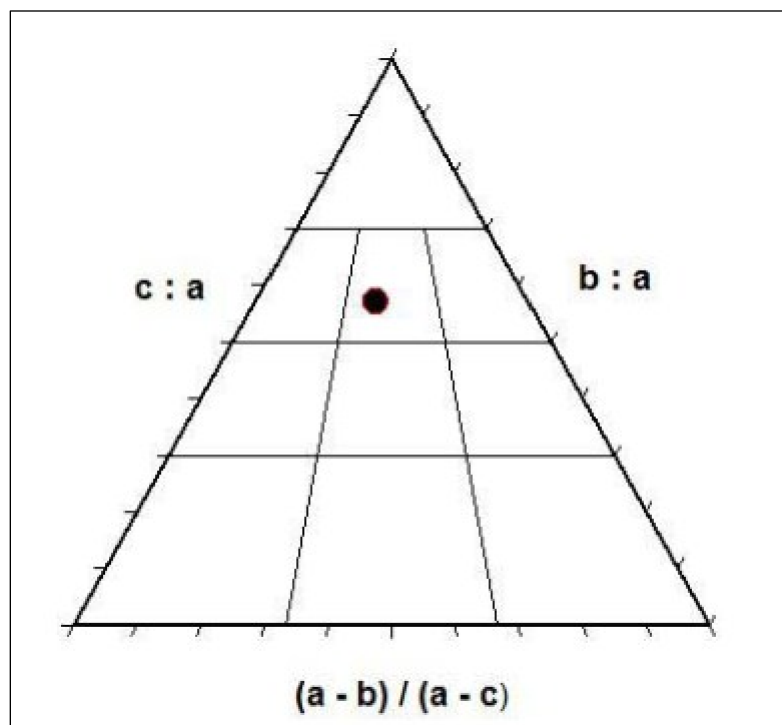
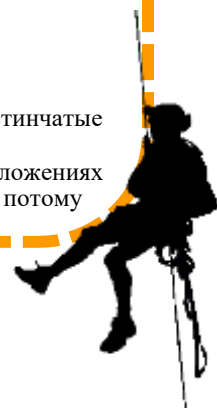


Рис. 3 — Пример ввода параметров гальки (a = 42 мм, b = 34 мм, c = 24 мм). Классификация: СВ, то есть «сферическая ламеллярная» (см. рис. 2).

С статистической точки зрения в речных гравиях преобладают сферические формы (C – CP – CB – CE) и пластинчатые (B – VB), тогда как в пляжных гравиях преобладают дисковидные формы (P – VP).

В этой связи становится интересно задать вопрос: какие формы преобладают в гравийных отложениях пещер, которые мы посещаем? Если вы хотите дать ответ, начните и вы проводить исследования, потому что



нечто известно, но пока еще очень мало. Такого рода исследования доступны каждому, ведь в качестве оборудования нужен лишь калибр.

Библиография:

Снид Э., Фолк Р. (1958) — «Галька в нижнем течении реки Колорадо, Техас: исследование морфогенеза частиц». *Journal of Geology* 66(2), стр. 114–150.

* * *



В парке Изонцо (Кампаньуцца, С. Андреа) в Гориции в конгломерате песчаного гравия реки Изонцо открываются пещеры. Они также были изучены с точки зрения гранулометрии.

Подробный отчет можно найти также в статье: «Геологические аспекты природного парка Кампаньуцца — С. Андреа (Гориция)», автор Грациано Канчиан, опубликованной в специальном выпуске онлайн-журнала «Sopra e sotto il Carso» за апрель 2022 года (<https://www.seppenhofen.org/sopra-e-sotto-il-carso/#>).



Пример морфометрического исследования: гравийные отложения вдоль долины Добердо (Карс Гориция)

Аннотация:

В описанном исследовании принципы морфометрии непосредственно применяются к гравийным отложениям долины Валлоне-ди-Добердо в Горицком Карсте. Исследование вытекает из историко-геологической проблемы: многие ученые высказывали предположение, что Валлоне представляет собой древнее русло реки Изонцо или Випакко, однако вдоль палеорусел Триестского и Горицкого карста **гравий и песок отсутствуют**, хотя река обычно отлагала бы такие материалы. Одно из объяснений, предложенных Д'Амбрози (1963), заключается в том, что известковые гравии были полностью растворены карстовыми процессами; однако в случае Валлоне многие обломки имеют **доломитовый или известково-доломитовый состав**, а значит, более устойчивы, а также содержат **кремнезем**, который не должен был исчезнуть.

Для проверки наличия древних отложений были проведены исследования на вспаханных сельскохозяйственных полях вблизи **Габрии и Миколи**, где было собрано соответственно 50 и 52 гальки. Их средние размеры (около 3,7–3,8 см) и хорошая округлость (0,6–0,8) указывают на зрелые обломки. Петрографические характеристики однородны: серые известняки, кремнистые известняки, отдельные темные известняки и редкие песчаники, а также фрагменты кремня. Форма обломков анализировалась путем измерения осей а-б-с с помощью **штангенциркуля** и классификации по **диаграмме Снида и Фолка**. Полученные формы соответствуют типичным для **гравия реки Изонцо**, что указывает на возможное речное происхождение.

Тем не менее, долина Валлоне подверглась значительным изменениям во время **Первой мировой войны**, а также в результате последующих сельскохозяйственных и гражданских работ, что затрудняет определение того, являются ли эти гравии естественными или были занесены в результате человеческой деятельности. Для решения этой проблемы в статье спелеологам предлагается провести поиск **естественных отложений гравия или песка внутри пещер, полостей и более широких трещин** Валлоне: любые подобные находки станут важными научными доказательствами и помогут прояснить происхождение и эволюцию карстовой системы Добердо.

До сих пор мы рассматривали теоретические основы морфометрии, применимые к сыпучим отложениям. Поэтому настало время применить на практике знания, полученные из предыдущих статей. На этот раз мы описываем исследование, посвященное гравию, обнаруженному вдоль долины Валлоне-ди-Добердо (Горицкий карст).

Чтобы хорошо понять эту тему, необходимо сделать небольшое введение. Многие считают, что эта впадина была сформирована течением древнего водотока, которым, по их мнению, была река Изонцо, река Випакко или обе эти реки.

Однако, как мы знаем, обычно водоток переносит и отлагает гравий и песок. Почему же этих отложений нет вдоль палеорусел Триестского и Горицкого Карста? Эти сомнения существовали всегда, поэтому ещё в 1963 году Д'Амбрози утверждал, что их отсутствие обусловлено тем, что эти материалы, будучи известковыми, были полностью «изношены» карстовым растворением.

Несмотря на то, что эта гипотеза принимается, следует отметить, что в случае с долиной Добердо некоторые сомнения всё же остаются: ведь гравий реки Изонцо состоит не только из чистых известняков, легко подверженных растворению, но и из известняково-доломитовых, доломитовых

-известняковых и доломитов, то есть пород, обладающих несколько более высокой степенью устойчивости к процессам растворения. Кроме того, некоторые гальки содержат



Рис. 1 — Обозначение точек отбора проб (Габрия и Миколи).



включения кремня, которые весьма устойчивы к разрушению и, следовательно, не должны исчезать.

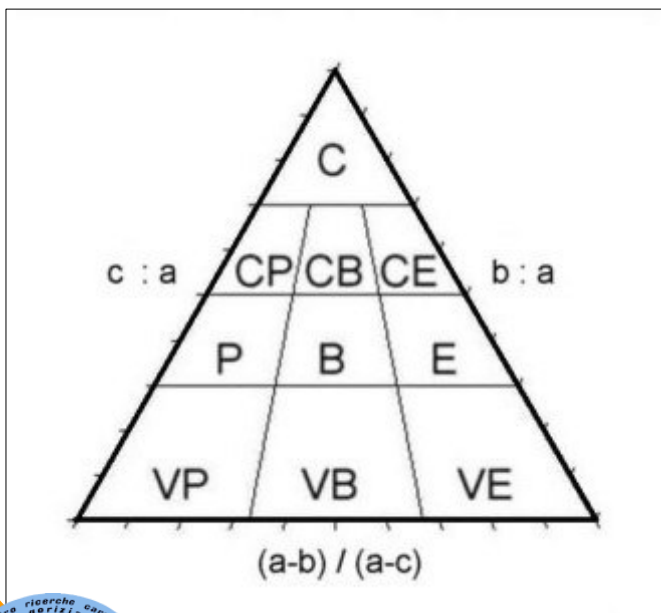
Исходя из этих соображений, были проведены разведочные работы вдоль долины Валлоне, с особым вниманием к возделываемым полям, вспаханным сельскохозяйственной техникой, поскольку таким образом обнажился лежащий ниже грунт. Это удалось сделать в двух точках: в Габрии, то есть в северной части долины Валлоне, и затем в Миколи, примерно в 6 км южнее.

В этих двух местах было собрано 50 экземпляров в Габрии (размеры от 1,8 до 7,1 см, средний размер 3,7 см) и 52 — в Миколи (размеры от 1,3 до 8,7 см, средний размер 3,8 см). Следует отметить, что эти гальки были разбросаны по обширным участкам местности. В обоих случаях степень округлости достаточно высокая и оценивается в диапазоне от 0,6 до 0,8.



Рис. 2 — Галька из карбонатного гравия, найденная вдоль долины Добердо (Горицианский Карст).

Кроме того, петрографические характеристики у них одинаковы: галечные камни представляют собой карбонатные породы темно-серого или светло-серого цвета, иногда с прожилками белого кальцита. Часто встречаются также кремнистые известняки. Реже встречаются тёмные известняки, а ещё реже — песчаники. Были найдены также фрагменты кремня, которые, по всей вероятности, были включены в карбонатные гравии.



Далее было проведено исследование формы: с помощью штангенциркуля были измерены три оси отдельных галек, а затем использована классификация Снида и Фолка, описанная в предыдущей статье и которую для удобства мы вновь приводим на рис. 3.

Рис. 3 — Диаграмма классификации формы по Сниду и Фолку
C = compact (сферическая или компактная) — **CP** = compact platy (сферическая дисковидная) — **CB** = compact bladed (сферическая ламеллярная) — **CE** = compact elongated (сферическая удлиненная) — **P** = platy (дисковидная или уплощенная) — **B** = bladed (ламеллярная) — **E** = удлиненная (elongated) — **VP** = очень плоская (very platy) — **VB** = очень пластинчатая (very bladed) — **VE** = очень удлиненная (very elongated).



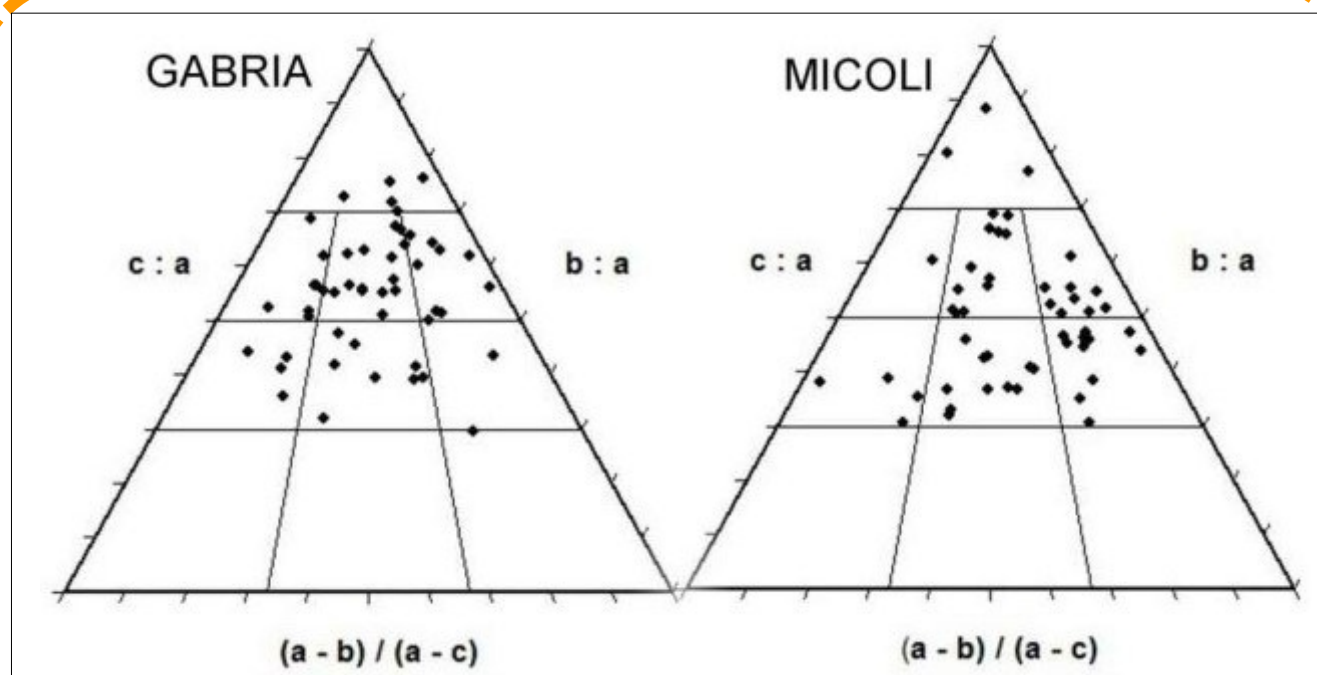


Рис. 4 — Морфометрическая классификация гальки, найденной в Габрии и Миколи.

Таким образом, было установлено, что наиболее распространёнными являются следующие формы:

	Габрия %	Миколи %
СР (сферическая)	14,3	1,9
СВ (сферическая ламеллярная)	30,6	23,1
СЕ (удлиненная сферическая)	16,3	17,3
В (ламеллярная)	16,3	21,1
Е (удлиненная)	4,1	23,1

В конечном итоге эти элементы обладают теми же петрографическими и морфометрическими характеристиками, что и гравий И-сонзо.

На этом этапе читатель может задаться вопросом, почему до сих пор не было опубликовано в каком-либо авторитетном журнале исследование по столь важному вопросу. Причина проста: вся долина Добердо была сильно нарушена во время Первой мировой войны в связи со строительством различных сооружений, а затем, в последующие эпохи вплоть до наших дней, здесь проводились перепланировки и насыпки грунта. Поэтому трудно с уверенностью установить, были ли эти гравийные отложения перенесены сюда древним водотоком или завезены людьми в ходе различных работ. Итак, именно спелеологам предстоит разрешить эту загадку. Как? Путем поиска в пещерах, полостях и наиболее широких скальных расщелинах возможных отложений гравия и песка, образовавшихся естественным путём. Любые находки подобных отложений имели бы огромное научное значение и позволили бы пролить свет на происхождение и эволюцию долины Добердо.

БИБЛИОГРАФИЯ:

Д'АМБРОЗИ К. (1963) — Об отсутствии палеоречных гравийных отложений на карстовых поверхностях Венеции-Джулии. Труды Городского музея естественных наук — т. XXIII, вып. 2, № 2-3, Триест.



Приложение

Дополнительная информация по теме «Гранулометрия и
морфометрия
гравийно-песчаных отложений

Под редакцией Маурицио Тавагнутти

* * *



Зачем изучать гравийно-песчаные отложения пещер

Аннотация:

Карстовый исследовательский центр имени К. Сеппенхофера, по инициативе геолога **Грациано Канчиана**, с самого начала осознавал, что геологическое исследование районов **Кампо-ди-Бонис** и **Монтепрато** не может обойтись без тщательного анализа **гравийных и песчаных отложений**, обнаруженных в местных пещерах. Эти отложения, широко распространенные в карстовых полостях, тесно связаны с **циркуляцией подземных вод**, которая варьируется в зависимости от того, функционируют ли пещеры как источники, карстовые воронки или ископаемые ходы.

Несмотря на их важность для понимания эволюции **региональных карстовых процессов**, гранулометрические и морфометрические исследования в пещерах Фриули-Венеция-Джулия по-прежнему остаются редкими. Описания, содержащиеся в спелеологических отчетах или кадастровых документах, часто опираются на общие и порой неточные обозначения, такие как «гравий» или «песок». Среди немногих доступных всесторонних исследований следует отметить работы, посвященные **Рисоржива-дель-Гиро**, **Фонтанон-ди-Гориуда** и **Каверна-Покала**.

В тексте подчеркивается, что надлежащие анализы невозможно провести «на глаз»: они требуют отбора проб, сушки, **просеивания через сита с постепенно уменьшающейся ячейей**, взвешивания удержанных фракций и построения **кумулятивной кривой гранулометрического состава**, а также изучения формы зерен с помощью штангенциркулей или микроскопов. Следуя этим методам, члены ассоциации «Сеппенхофер» провели первые систематические анализы образцов из **пещеры Под Ланише**, которые первоначально хранились в доме члена ассоциации Жарко Фурлана, а затем — в штаб-квартире ассоциации.

Эти мероприятия позволили членам ассоциации приобрести технические навыки, научиться пользоваться специализированным программным обеспечением и создать полноценную **внутреннюю программу обучения** с целью достижения самостоятельности в проведении будущих анализов. Данная инициатива также направлена на формирование более внимательного подхода к спелеологии, поощряя тщательное наблюдение за подземной средой и сбор образцов для исследования — всегда с полным уважением к подземному миру.

Приступив к геологическим исследованиям как в Кампо-ди-Бонис (Тайпана), так и в районе Монтепрато (Нимис), Центр карстовых исследований «С. Сеппенхофер» под руководством геолога Грациано Канчиана с самого начала понял, что проводимые исследования не могут обходиться без тщательного анализа гравийных и песчаных отложений, присутствующих в пещерах этого района. Уже с самого начала стало очевидно, что пещеры, расположенные в этих карстовых районах, обладали характеристиками, связанными с циркуляцией подземных вод. Эти характеристики могли варьироваться в зависимости от того, являлись ли полости родниковыми, поглощающими или просто ископаемыми.



Гориция, филиал «Сеппенхофер». Сначала проводится визуальное отделение более крупных гравийных зерен.



Гориция, филиал «Сеппенхофер». Затем гравий и песок просеиваются через сита.

Наличие гравия и песка, по сути, могло служить общим знаменателем, присутствующим практически во всех пещерах этого района. Изучение этих отложений, таким образом, могло оказаться весьма важным для понимания эволюции местного карстового процесса. Единственным недостатком было недостаточное количество исследований в этой области!

Гранулометрические и морфометрические исследования в пещерах нашего региона, включая минералогический анализ, по-прежнему весьма скудны, несмотря на широкое распространение гравия и песка, особенно в



альпийских и преальпийских пещерах. Часто, если мы обращаемся к различным отчётам или описаниям, составленным в прошлом, или просматриваем кадастровые карты, там в общем упоминаются «гравий» или «песок», но без подробностей, а иногда даже с некоторыми ошибками. Среди наиболее полных исследований мы считаем целесообразным отметить три, хотя некоторые данные можно найти и в других статьях: первое касается источника «Рисоржива-дель-Гиро» 6643/3873FR (С. Росси и А. Моккютти, 2000), второе — «Фонтанон-ди-Гориуда» 20/1FR (Г. Канчиан и Д.



Билье (Словения). Гравий и песок тщательно просеиваются.



Билье (Словения). Самые крупные галечные камни тщательно измеряются с помощью штангенциркуля.



Гориция, филиал «Сеппенхофер». Для проведения точного анализа важна командная работа.

Канчиан, 2010), а третьим — пещера Покала 173/91VG (А. Петроньо, 2015).

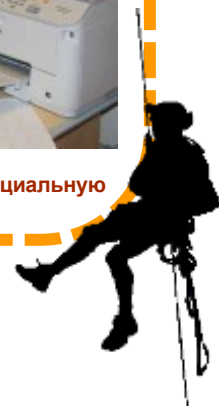
Только прочитав вышеупомянутые статьи, можно понять, что исследования гравийных и песчаных отложений пещер могут дать полезную информацию об эволюции карстовых процессов и о характеристиках подземных водных потоков, которые часто меняются со временем. Кроме того, благодаря этим исследованиям можно сформулировать более достоверные гипотезы относительно происхождения и эволюционной истории этих материалов.

Однако всё это невозможно сделать «на глаз» или с помощью импровизированных методов, то есть просто взглянув, пусть даже внимательно, на отложения. Для более точной классификации необходимо собрать материал, дать ему хорошо высохнуть, а затем просеять его через сита с ячейками уменьшающегося размера. Для каждого сита

взвешивается осадок. На основе этих данных затем очень просто строится «кумулятивная гранулометрическая кривая». Это позволяет точно классифицировать отложения.



Гориция, филиал «Сеппенхофер». После освоения метода работы приступают к вводу данных в специальную компьютерную программу — очень простая работа, которую члены клуба освоили очень быстро.



Однако всего этого недостаточно: необходимо также изучить «форму» отдельных зерен. Для этого с помощью штангенциркуля измеряют оси значительного количества гальки (не менее 75), а для более мелких зерен, таких как мелкий песок, прибегают к наблюдениям под микроскопом и использованию сравнительных таблиц. Подробное описание методов работы уже подробно излагалось в предыдущих номерах нашего журнала, с которыми мы рекомендуем ознакомиться. Таким образом, с целью усовершенствования наших исследований в ходе полевых изысканий были собраны несколько образцов гравия и песка из пещеры Под Ланише (см. номер 6/2017 журнала «Sopra e sotto il Carso»), которые впоследствии под руководством Грациано Канчиана были проанализированы членами С.Р.С. «С. Сеппенхофер», причём такие анализы, кстати, никогда ранее не проводились. Это свидетельствует о том, что такие анализы можно проводить даже с минимальным набором оборудования и большим желанием! Разумеется, для проведения этих анализов необходимо иметь достаточно места и соблюдать осторожность, поскольку просеивание песка может сопровождаться образованием значительного количества пыли. По этой причине для первого опыта мы воспользовались гостеприимством дома нашего члена Жарко Фурлана в Билье (Словения), а затем — нашим штаб-квартирой.

Таким образом, благодаря простым шагам наши члены довольно быстро научились не только правильно интерпретировать гравийные и песчаные отложения в пещерах, но и обрабатывать данные на компьютере с помощью специального программного обеспечения. Важно подчеркнуть, что таким образом мы не только получили очень полезные данные, но и создали своего рода «внутреннюю школу», направленную на обогащение культурной подготовки членов клуба, которые в будущем смогут самостоятельно проводить подобные анализы.

Наконец, этими инициативами мы стремились сформировать более всесторонний подход к спелеологии, заключающийся в том, чтобы внимательно наблюдать за окружающей средой при посещении пещер и выносить оттуда образцы для анализа — разумеется, всегда с полным уважением к этому чудесному подземному миру. Ведь поход в пещеру всегда должен приносить пользу.

БИБЛИОГРАФИЯ:

РОССИИ С. и МОККИУТТИ А., (2000) – *Минералогическое и гранулометрическое исследование песчаных отложений у источника Гиро (массив горы Канин, Юлийские Альпы, Италия)*. Mondo Sotterraneo, новая серия, т. XXIV (1-2), с. 35–45, Удине

КАНЧИАН Г. и КАНЧИАН Д., (2010) – *Гравий Фонтанона в Гориуде (долина Ракколана, Фриули): гранулометрия, морфометрия и минералогия*. Mondo Sotterraneo, новая серия, т. XXXIV, № 1-2, с. 11–20, Удине.

КАНЧИАН Г., (2025) – *Гравий и песок в «Пещере над рекой Бончич» (4603, 2604 Fr, Предальпы): гранулометрия, морфометрия и минералогия*. «Mondo Sotterraneo», новая серия, т. XLIX (1-2). 2025, с. 55–62, Удине.

ПЕТРОНЬО А., (2015) – *U/Th-датировка спелеотем пещеры Покала (Триестинский Карст)*. Труды и мемуары Комиссии по пещерам им. Э. Богана, т. 45 (2014), с. 25–38, Триест.





При анализе отложений полезно предоставить информацию о минералогии. Простая обработка разбавленной соляной кислотой — той самой соляной кислотой, которую можно найти в супермаркетах и аптеках, — уже может дать некоторые подсказки. На фотографии известковый образец вызывает сильное и мгновенное шипение, тогда как доломитовый образец — гораздо более слабое. Реакции, напротив, не происходят при анализе кремниевых образцов, которым в данном случае является фрагмент кварца.



Гравий и песок пещеры Под Ланише: новые гранулометрические, морфометрические и минералогические исследования

Аннотация:

Пещера Под Ланише, расположенная в муниципалитете Тайпана, является одной из самых известных и значимых карстовых полостей в Фриули: это субгоризонтальная система длиной около двух километров, по всей протяжённости которой наблюдается непрерывный водоток. На протяжении времени она была предметом различных исследований, в том числе работы **Маурицио Понтон** по морфогенезу (1984) и подробного исследования **Паоло Форти**, посвящённого железным конкрециям (1987). Центр **научных исследований имени Сеппенхофера (CRC Seppenhofer)** также внес вклад в научное изучение пещеры, проведя минералогический анализ её илово-глинистых отложений (Канчиан и Принчивалле, 2012), который выявил неожиданный результат: **высокое содержание доломита**. Это подняло интригующий вопрос о его происхождении — связано ли оно с материнской породой, с конкретными участками пещеры или с близлежащим **горным массивом Гран-Монте**, в основном состоящим из Доломии Принципале и в сторону которого, по-видимому, простирается пещера, возможно, с неисследованными продолжениями.

Для более глубокого изучения этих вопросов CRC недавно возобновила исследования, собрав три значительных образца **гравия и песка**. Два из них были проанализированы членами ассоциации вручную посредством просеивания, построения **кумулятивной кривой гранулометрического** состава и классификации материала: один образец оказался *гравием с слегка илесто-глинистым песком, очень плохо сортированным*, а другой — *песчаным гравием, плохо сортированным*. Морфометрический анализ, проведенный на 75–80 гальках с использованием штангенциркуля и диаграммы **Снида и Фолка**, показал преобладание формы **типа В (лопатовидной, пластинчатой)**, а также такие параметры, как сортировка, асимметрия и эксцесс. Наконец, минералогические анализы, проведенные в Триестском университете с использованием **рентгеновской дифрактометрии** на фракциях 300 и 100 микрон, вновь подтвердили наличие **высокого содержания доломита**, как это уже наблюдалось в 2012 году. Этот результат еще больше усиливает научный интерес к происхождению и динамике отложений в пещере Под Ланише.

Пещера Под Ланише, без сомнения, является одной из самых известных и интересных пещер Фриули. Её исчерпывающее описание было опубликовано в предыдущем номере журнала

«Sopra e Sotto il Carso», поэтому сейчас мы не будем вновь останавливаться на этих аспектах.

Скажем лишь, что это длинная пещера с суборизонтальным или слегка восходящим ходом, протяженностью около двух километров, по которой постоянно течет вода. Она расположена в коммуне Тайпана (UD). В прошлом она была предметом научных исследований и наблюдений, и среди них мы хотели бы особо отметить два: отличное исследование по морфогенезу, проведенное Маурицио Понтоном (1984), которое также содержит важные геологические сведения, и очень подробное исследование железных конкреций, проведенное Паоло Форти (1987). Однако и CRC Сеппенхофера внес небольшой вклад в изучение этой пещеры, охарактеризовав с минералогической точки зрения некоторые илесто-глинистые отложения (Канчиан и Принчивалле, 2012).

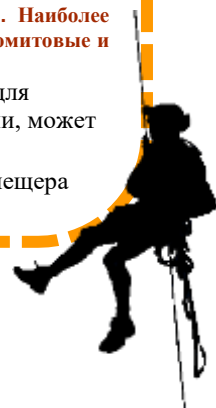
Тогда было сделано довольно интересное открытие: было установлено, что образцы содержали высокий и неожиданный процент доломита. В связи с этим возник интересный вопрос

Возник вопрос: откуда взялся весь этот доломит? Возможно, это было лишь локальное явление, характерное для отдельных участков пещеры? Возможно, он происходил из той же породы, в которой развивается пещера? Или, может быть, он поступал из горного массива Гран

Монте, которая в значительной степени состоит из Главной доломитовой формации и к которой пещера направляется с



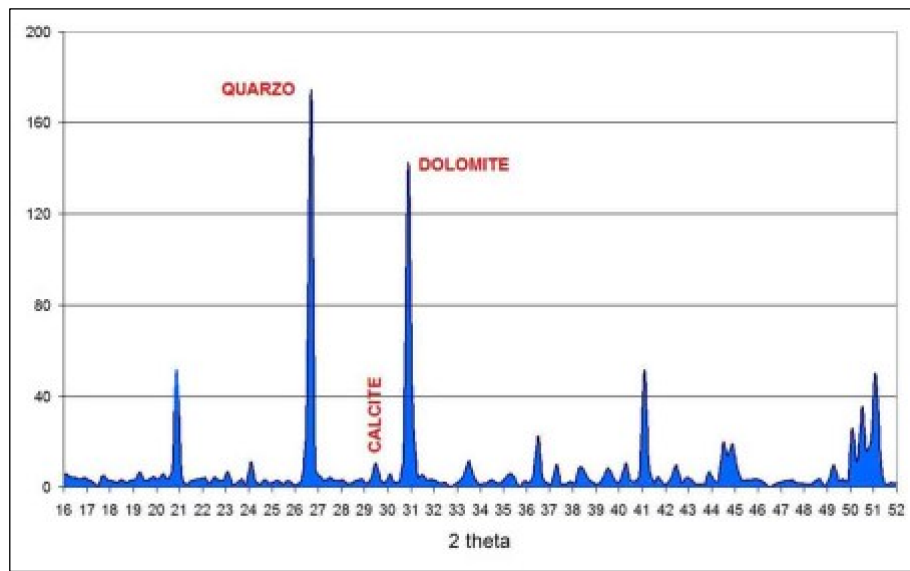
В гравии присутствуют хорошо округленные формы (в третьем строке) наряду с формами слабо или умеренно округлыми. Наиболее округлые формы часто состоят из кремня. Остальные — доломитовые и известняковые.



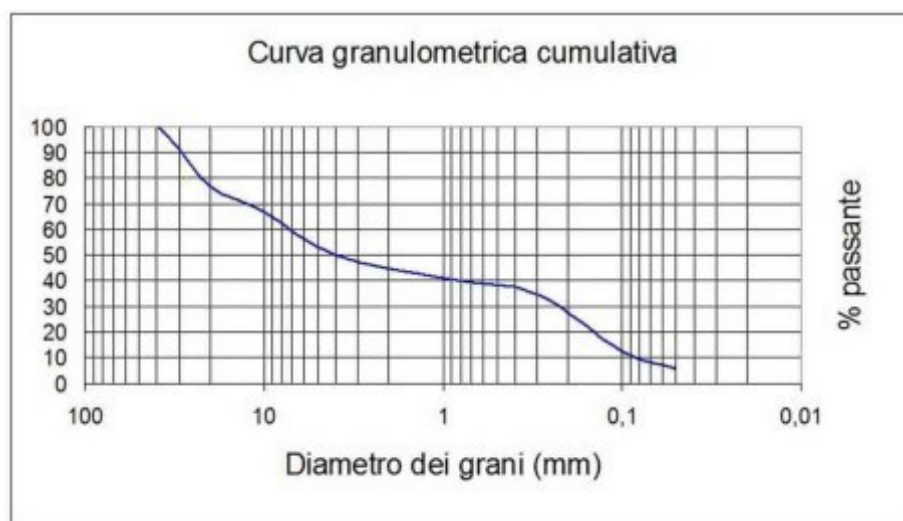
Возможные варианты развития событий, которые ещё не исследовались?

Воображение разыгралось...

Прошло время, но некоторые мысли и вопросы оставались в голове. Отчасти именно по этой причине недавно CRC Serpenhofer решил возобновить и продолжить исследования отложений в пещере Под Ланише. В ходе этой экспедиции были собраны три обильных образца гравия и песка, которые затем были изучены с точки зрения гранулометрии, морфометрии и минералогии.



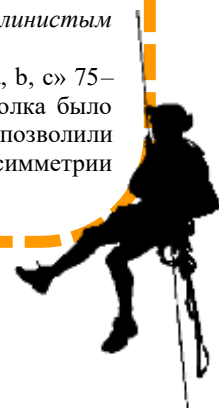
Дифрактограмма (рентгеновская) образца мелкого песка, отобранного в пещере Под Ланише. Выделены основные отражения трёх обнаруженных минералов: кварца, доломита и кальцита. Обратите внимание на преобладание доломита по сравнению с кальцитом.



Кумулятивная гранулометрическая кривая первого исследованного образца.

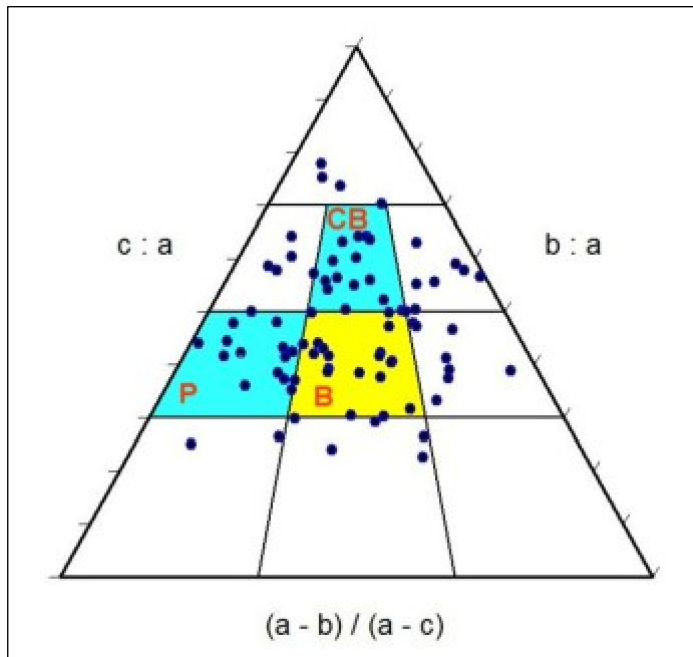
Мы с удовольствием отмечаем, что два образца были исследованы вручную именно некоторыми членами CRC Serpenhofer под руководством автора данной статьи. В ходе этой работы был проведён гранулометрический анализ путем просеивания, а затем на компьютере была построена кумулятивная кривая. Это позволило правильно классифицировать материал. Первый образец оказался «гравием со слабоилово-глинистым песком, очень слабо отсортированным», а второй — «песчаным гравием, слабо отсортированным».

Затем был проведен морфометрический анализ: с помощью штангенциркуля были измерены три размера «a, b, c» 75–80 галек, после чего данные вновь были обработаны на компьютере. С помощью диаграммы Снида и Фолка было установлено, что преобладающей формой является В (*bladed, пластинчатая*). Собранные данные позволили определить также другие параметры: среднее значение, коэффициент сортировки (sorting), коэффициент асимметрии (skewness) и коэффициент заостренности (kurtosis).



Наконец, в Триестском университете были проведены минералогические анализы с помощью рентгеновской дифрактометрии.

Для каждого из трёх образцов был проанализирован «фракционный диапазон 300 микрон», а затем «фракционный диапазон 100 микрон». Было решено исследовать мелкий и очень мелкий песок именно потому, что эти фракции состоят из огромного количества зёрен, что позволяет получить достоверные статистические данные о минералогическом составе. Итак, и на этот раз, как и в случае с илисто-глинистыми отложениями, исследованными в 2012 году, был обнаружен высокий процент доломита.



Исследование формы с помощью диаграммы Снида и Фолка. Основной формой оказалась В (bladed, пластинчатая). На диаграмме эта область выделена желтым цветом. За ней следуют формы СВ (compact bladed, сферически-пластинчатая) и Р (platy, дисковидная или уплощенная). Их области обозначены голубым цветом.

Примечание: Следует отметить, что по теме гранулометрических, морфометрических и минералогических исследований пещеры Под Ланише было опубликовано очень подробное исследование в журнале «Mondo Sotterraneo», издаваемом Фриульским спелеологическим и гидрологическим кружком (CSIF) в Удине.

Библиография:

- КАНЧИАН Г., ПРИНЧИВАЛЛЕ Ф.** (2012) – *Минералогическая характеристика пелитовых отложений пещер «Прессо Сталла Скурч», «Тайпана» и «Под Ланише» (Юлийские Преальпы).* Карстовая территория Тайпана, с. 157–163. Центр карстовых исследований «C. Serpenhofer», Гориция.
- КАНЧИАН Г.** (2018) – *Гравийные и песчаные отложения в пещере Под Ланише (1456/573 Fr, Юлийские Преальпы): минералогия, гранулометрия, морфометрия.* Mondo Sotterraneo, новая серия, т. XLII (1-2), с. 22–34.
- ФОРТИ П.** (1987) – *Минералогическое и эволюционное исследование железных конкреций пещеры Под Ланише (Фриули).* «Mondo Sotterraneo», новая серия, т. XI (1-2), с. 15–29, Фриульское спелеологическое и гидрогеологическое общество.
- ПОНТОН М.** (1984) – *Морфогенез пещеры в карбонатном флише (пещера Под Ланише, FR. 573 – Восточный Фриули).* «Гортания» – Труды Фриульского музея естественной истории, т. 6, с. 59–82, Удине.

* * *



Микроскопические наблюдения образца песка, отобранного в пещере над рекой Бончич 4603/2604 FR (Тайпана – Юлийские Преальпы)

Аннотация:

В течение этих месяцев чрезвычайной ситуации в области общественного здравоохранения (отчет относится к 2020 году, в разгар кризиса, вызванного Covid) никому из нас не удалось проводить привычные спелеологические или полевые исследования. Тем не менее многим всё же удалось проделать полезную работу, не выходя из дома. Ведь те, кто во время предыдущих экспедиций делал фотографии, измерения, записи или собирал образцы, наконец получили возможность их изучить и обработать. В этой связи я хотел бы вспомнить фразу — с которой я полностью согласен — написанную нашим другом Рино Семераро в статье, опубликованной в мартовском номере: «...у того, у кого нет накопленных данных, просто не было спелеологии, а были лишь приятные прогулки под землёй...»

Во время прошлых исследований в пещере «Гротта-сопра-иль-Рио-Бончич» (муниципалитет Тайпана) Памела Пегораро, Томмазо Монтанари и Стефано Рейч проявили дальновидность и собрали образец песка, который передали мне. Некоторые анализы начались сразу же в лаборатории, но после введения ограничений на передвижение большая часть работы перешла в режим наблюдений с помощью бинокулярного микроскопа, проводимых дома.

Пещера по-прежнему является объектом продолжающихся гидрологических и геологических исследований, результаты которых будут представлены в свое время. А пока мы приводим здесь несколько снимков самых «изящных» или любопытных зерен. Эта статья не претендует на научную значимость; скорее, она призвана показать, что даже в, казалось бы, обычном образце песка микроскоп открывает увлекательный мир.

Каждый фрагмент данных ценен для исследования, поскольку любой пещерный осадок может содержать полезную информацию об эволюции местных карстовых процессов, а также о многих других геологических аспектах.

В эти месяцы чрезвычайной ситуации в области здравоохранения (отчет относится к 2020 году, когда разразилась пандемия Covid, прим. ред.) никому из нас не удалось заниматься привычными спелеологическими или полевыми исследованиями, однако многие всё же сделали что-то полезное, не выходя из дома. Ведь во время предыдущих экспедиций те, кто делал фотографии, проводил измерения, вел записи и собирал образцы, получили возможность их изучить и обработать. В этой связи мне хотелось бы вспомнить фразу — с которой я полностью согласен — написанную моим другом Рино Семераро в статье, опубликованной в мартовском номере: «...у кого нет накопившихся данных, тот занимался не спелеологией, а просто походами в пещеры...»

Итак, во время прошлых исследований в пещере над рекой Бончич (муниципалитет Тайпана) Памела Пегораро, Томмазо Монтанари и Стефано Рейч проявили предусмотрительность и собрали образец песка, а также...



Рис. 1: Пещера над Рио Бончич. Из Регионального спелеологического кадастра Фриули-Венеция-Джулия. Протяжённость пещеры составляет 103 метра, а образец был взят в её концевой части.

отметить это. В лаборатории сразу же начались некоторые анализы, но затем, в связи с введением ограничений на передвижение, в основном проводились наблюдения под бинокулярным микроскопом в домашних условиях.



Пещера до сих пор является объектом гидрологических и геологических исследований, результаты которых будут представлены в надлежащее время. А пока мы приводим здесь несколько снимков самых «изящных» или самых любопытных песчинок. Статья не претендует на научную значимость, однако она призвана показать, что даже в, казалось бы, банальном образце песка под микроскопом можно открыть для себя увлекательный мир. В любом случае, любая информация всегда ценна для исследований, поскольку любой пещерный осадок может дать полезные сведения об эволюции местного карстового рельефа, а также о многих других геологических аспектах.

БИБЛИОГРАФИЯ

- БОЗЕЛЛИНИ А., МУТТИ Э., РИЧЧИ ЛУККИ Ф., 1989. – *Состав и текстура терригенных силиклатических пород*. В: «Породы и осадочные последовательности», с. 11–47, UTET, Турин.
- СЕМЕРАРО Р., 2020 – *Коронавирус и спелеология*. «Sopra e Sotto il Carso», онлайн-журнал CRC Seppenhof, с. 12–14.



Рис. 2 — Первые наблюдения проводились на промытом образце с целью удаления илово-глинистой фракции. Интересно отметить, что отдельные элементы достаточно сильно отличаются друг от друга, прежде всего по цвету, хотя минералогический анализ показал, что они состоят преимущественно из SiO_2 (кварц и кремнезем).

Исходя из этого, с помощью сит было проведено разделение на несколько гранулометрических классов. В заключение были тщательно изучены отдельные зерна.



Рис. 3 — В данном случае были отделены только зерна с полированными поверхностями. Все они состоят из кремня и некоторых разновидностей кварца. Эксперименты Кюнена (1959) показали, что потеря веса песка с угловатыми зернами кварца не превышает 1 % после переноса на расстояние 20 000 км (Bosellini et al. 1989). Как правило, пески с такими округлыми и гладкими зернами происходят из отдаленных мест и претерпели больше осадочных циклов. В данном случае они образовались в результате размывания флиша, поэтому, по всей вероятности, осадочные циклы начались еще до образования этих литотипов и продолжались вплоть до наших дней.



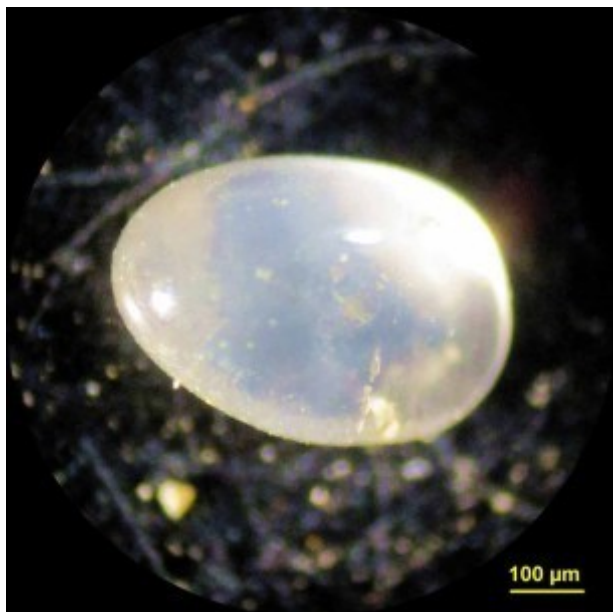


Рис. 4 — Явление адуляресценции с характерным молочно-белым оттенком и перламутровыми и голубоватыми отблесками. Этот эффект обусловлен явлениями интерференции, отражения и преломления света на крошечных кристаллах с одинаковой ориентацией. Он характерен для ортоклаза (полевого шпата) и, прежде всего, для разновидности «лунный камень». Действительно, наши анализы песка с помощью рентгеновской дифрактометрии подтвердили наличие полевых шпатов.

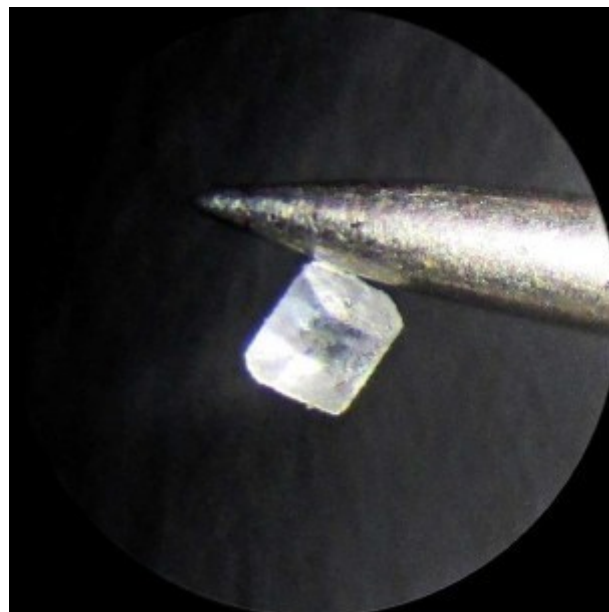


Рис. 5 — Крошечный кристалл на кончике иглы. Пока что точная классификация невозможна.



Рис. 6 — Два яичных желтка? Нет... это два кремниевых песчинки.

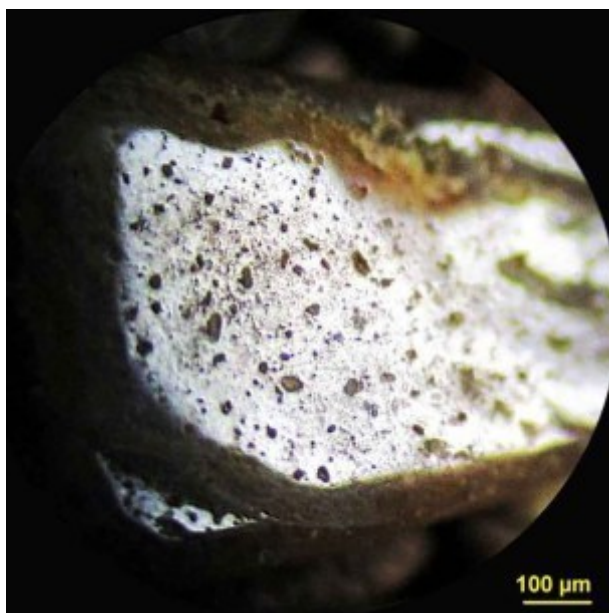
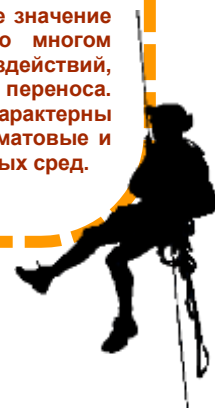


Рис. 7 — Изучение отпечатков на поверхности песчинок, особенно на тех, которые наиболее устойчивы к выветриванию, имеет большое значение в седиментологии. Их форма, infatti, во многом зависит от физических и химических воздействий, которым они подвергались во время переноса. Например, V-образные отпечатки ударов характерны для речных или пляжных зерен, тогда как матовые и изрытые поверхности типичны для пустынных сред.



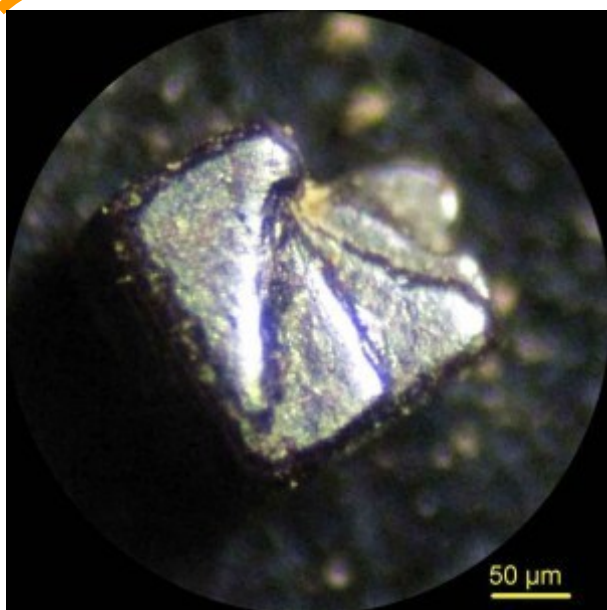


Рис. 8 — Увеличенный вид кристалла кубической формы. Обратите внимание на металлический блеск.

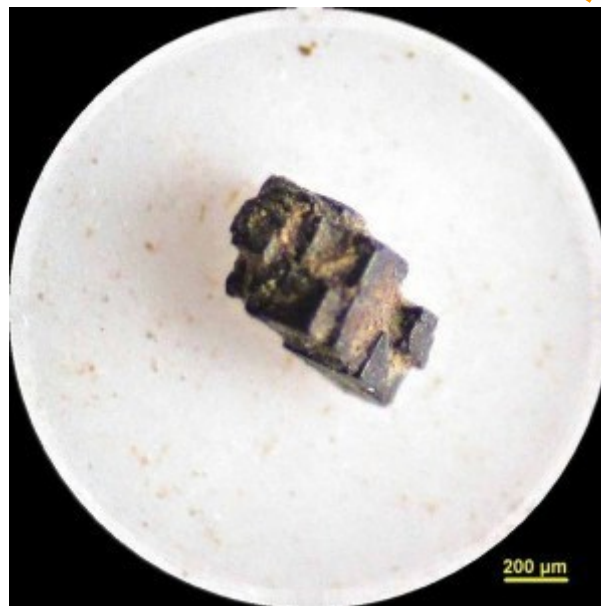


Рис. 10 — Тёмные кристаллы кубической формы. Вероятно, это лимонитизированный пирит. Интересно отметить, что, в отличие от предыдущих гранул, эти сохранили свой угловатый вид. Поэтому предполагается, что они подверглись ограниченной переноске. По всей вероятности, они происходят из окружающего флиша. Известно, что в флише Юлийских Преальп в определённых локальных участках также встречаются кристаллы или кусочки пирита.



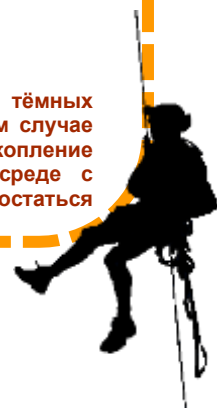
Рис. 9 — Крошечные кремниевые зёрна, округлые и с хорошо отполированной поверхностью.



Рис. 12 — Кремнеземная песчинка несколько причудливой формы.



Рис. 11 — Причудливое скопление тёмных кристаллов, вероятно, железистых. И в этом случае особенности формы указывают на то, что скопление подверглось ограниченному переносу в среде с низкой энергией, что позволило ему остаться нетронутым.



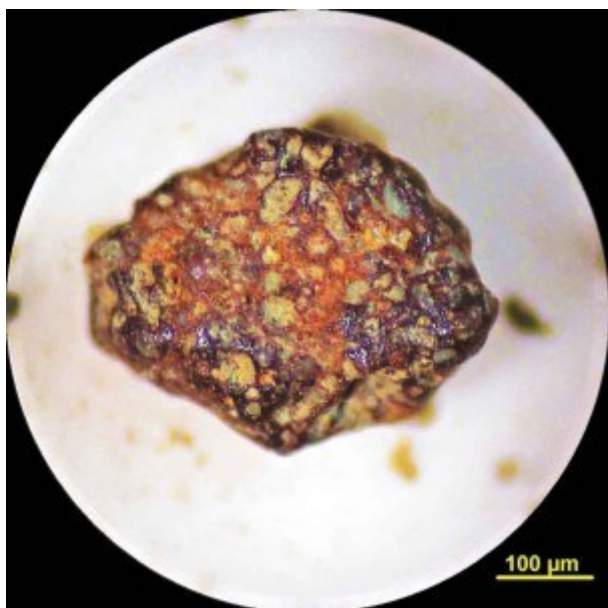


Рис. 13 — Разноцветная крошечная крупинка. Она состоит из множества мелких фрагментов горной породы различного происхождения, скрепленных глинистым и железистым материалом.



Рис. 14 — Зернышко песчаника в форме сердца.



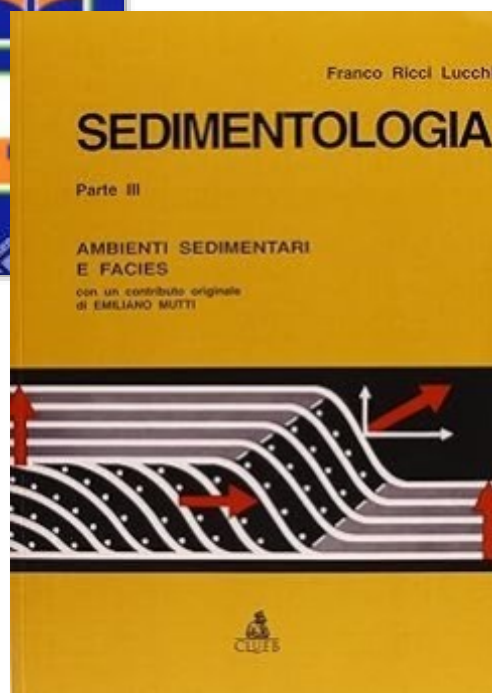
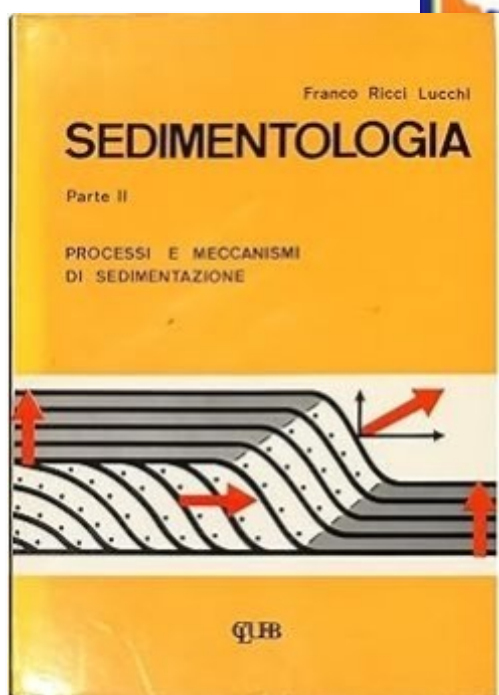
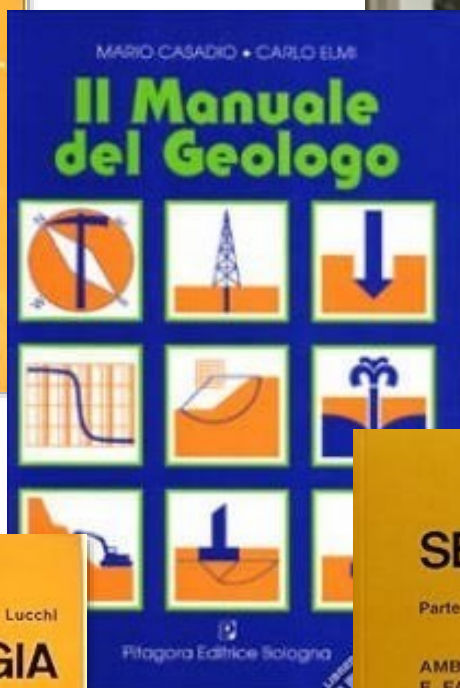
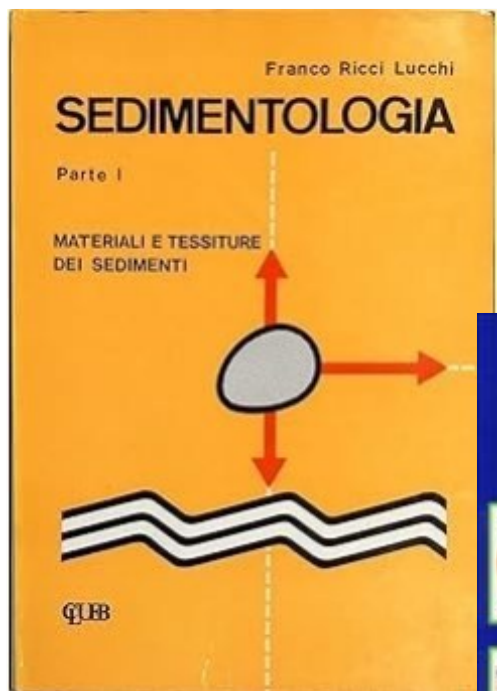
Рис. 15 — Кристалл, вероятно, полевого шпата.



Рис. 16 — Эти песчинки не так «элегантны», как , но они интересны тем, что, в отличие от остальных, легко притягиваются магнитом.



Некоторые книги, в которых можно найти обширную информацию о гранулометрическом и морфометрическом анализе отложений



НАД И ПОД КАРСТОМ

Онлайн-журнал
C.R.C. «С. Сеппенхофер» aps

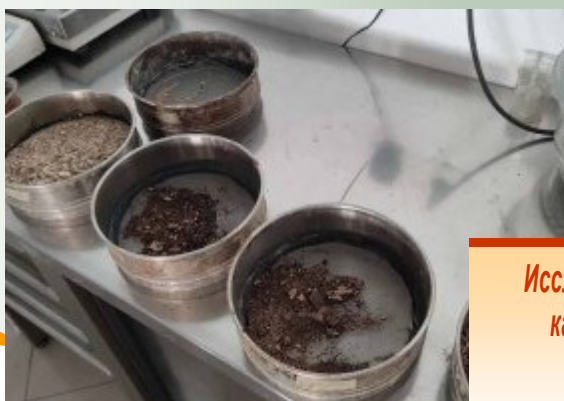
ул. Асколи, 7

34170 ГОРИЦИЯ

Тел.: 3297468095

Электронная почта: seppenhofer@libero.it

Веб-сайт: <http://www.seppenhofer.org>



Исследовательский центр по
карстовым явлениям «С.
Seppenhofer» aps
является некоммерческой
коммерческой цели

КТО МЫ



Центр карстовых исследований «С. Seppenhofer» aps (www.seppenhofer.org) — это некоммерческая ассоциация, официально основанная в Гориции 25 ноября 1978 года. Она занимается спелеологией во всех её многообразных формах: от исследования пещер до охраны карстовой среды и популяризации её природных ценностей. Он является одним из учредителей [Изонтской спелеологической федерации](#), активно сотрудничает с различными спелеологическими и природоохранными ассоциациями Фриули-Венеция-Джулия. Ассоциация также выступила в качестве одного из учредителей [Региональной спелеологической федерации Фриули-Венеция-Джулия](#) и является членом Итальянского спелеологического общества. Наш офис находится в Гориции по адресу: [via Ascoli, 7](#).



С.Р.С. «С. Сеппенхофер» aps имеет в своём активе многочисленные публикации, в том числе несколько тематических монографий, среди которых «Артиллерийские галереи Монте-Фортина», «Артиллерийские галереи Монте-Саботино», «Долина Юдрио», «ALCADI 2002», «Карстовая территория Тайпана», «Монтепрато-ди-Нимис»; кроме того, он издаёт настоящий онлайн-журнал «Над и под Карсом». На протяжении многих лет он организовывал в Гориции различные спелеологические симпозиумы международного уровня.



ВЫШЕ И НИЖЕ ВЕБ-САЙТ CARSO

