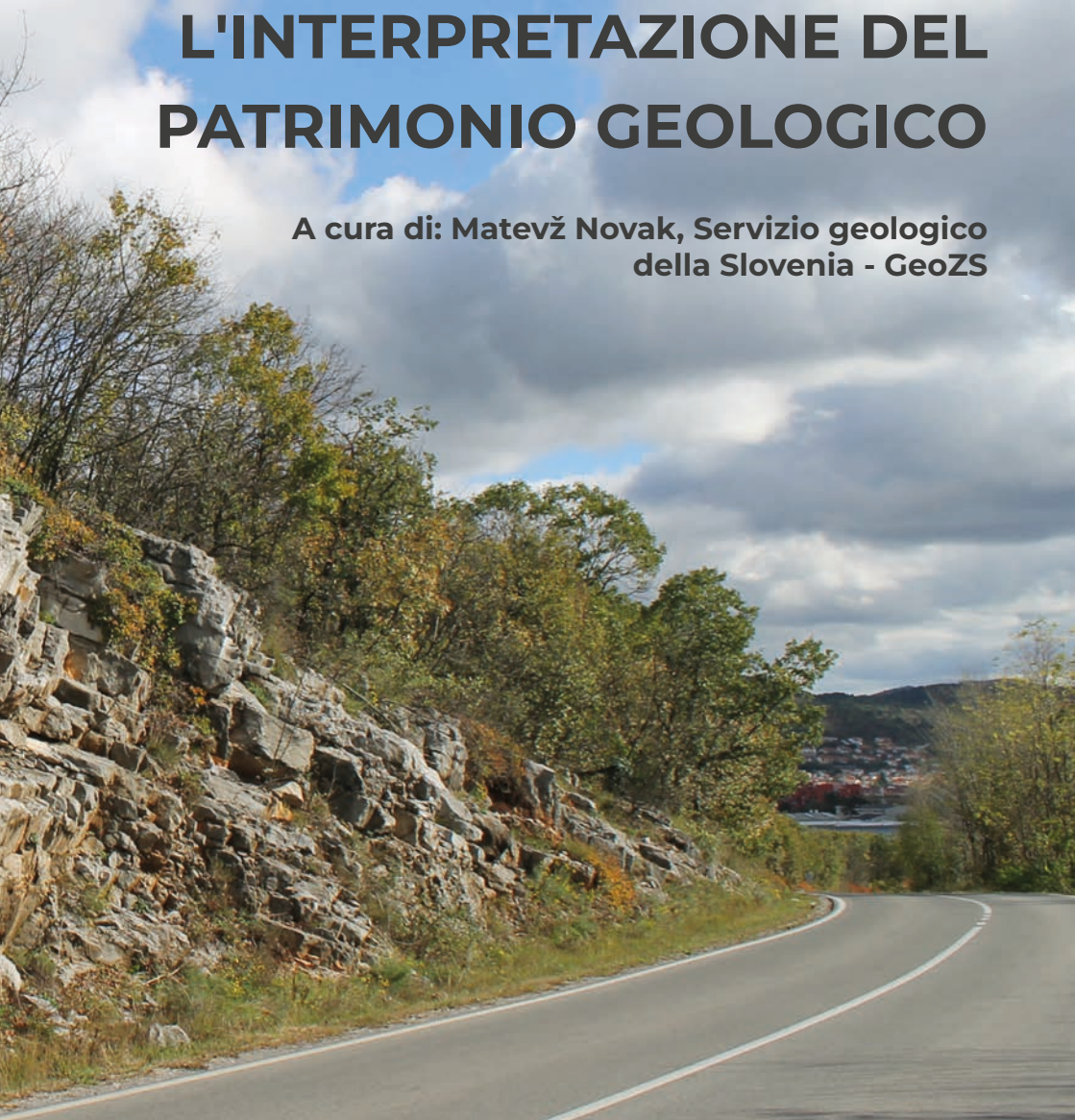


MANUALE PER L'INTERPRETAZIONE DEL PATRIMONIO GEOLOGICO

A cura di: **Matevž Novak**, Servizio geologico
della Slovenia - **GeoZS**



Autori

Matevž Novak e Bogdan Jurkovšek
Servizio geologico della Slovenia (GeoZS)

Responsabile

Matjaž Harmel, Direttore di ZaVita d.o.o.

Grafica e impaginazione digitale

Matevž Novak, Petra Gostinčar (GeoZS), Anna Tamiazzo, Lorenzo Oretti (eco&eco Economia ed Ecologia srl)

Stampa

Centro stampa regionale della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia
Trieste, maggio 2023

Autorizzazioni e vincoli

Le immagini dei Dinosauri del Villaggio del Pescatore sono utilizzate su concessione della Soprintendenza Archeologia, belle arti e paesaggio del Friuli Venezia Giulia - MiC e ne è vietata la riproduzione a scopo di lucro.

Da citare come:

Novak M. and Jurkovšek B. (2023): Il Geoparco del Carso Classico. Manuale per l'Interpretazione del Patrimonio Geologico. Ed. a cura del Servizio geologico – Direzione centrale difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile - Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 2023, Trieste

Copyright © 2023 Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia
Tutti i diritti sono riservati

Traduzione

Lorenzo Oretti (eco&eco Economia ed Ecologia srl)

Revisione della terminologia geologico-scientifica

Dott.ssa geol. Sara Bensi – Servizio geologico della Direzione centrale difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.

Foto in copertina a cura di Bogdan Jurkovšek

Il contenuto del manuale è stato realizzato nell'ambito del progetto GeoKarst (www.ita-slo.eu/geokarst), finanziato nell'ambito del Programma di Cooperazione Interreg V-A Italia-Slovenia 2014-2020 dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale. Lead partner del progetto: Občina Sežana. Altri partner del progetto: Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia - Direzione centrale difesa

dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile - Servizio geologico, Javni zavod
Park Škocjanske jame, Slovenija e Regione del Veneto - Area Tutela e sicurezza
del Territorio - Direzione Difesa del Suolo e della Costa.

Il contenuto del presente manuale non rispecchia necessariamente le posizioni
ufficiali dell'Unione Europea. La responsabilità del contenuto del presente
manuale appartiene agli autori.

INDICE

Agli utilizzatori del manuale

- 1 LA RELAZIONE TRA IL CARSO E LA GEOLOGIA** (Un esempio di discorso introduttivo ai visitatori)
- 2 STORIA GEOLOGICA DEL GEOPARCO**
 - 2.1 Il mondo ai tempi della formazione delle rocce del Carso
 - 2.2 L'ambiente in cui si sono formate le rocce del Carso
- 3 FOSSILI CARATTERISTICI DEL GEOPARCO**
 - 3.1 Molluschi (Bivalvi)
 - 3.2 Foraminiferi
 - 3.3 Vertebrati
- 4 ROCCE E UNITÀ GEOLOGICHE DEL GEOPARCO**
 - 4.1 Calcari, dolomie e brecce del Cretacico Inferiore – Superiore
 - 4.2 Calcari a rudiste del Cretacico Superiore con calcari tabulari fossiliferi
 - 4.3 Calcari del Cretacico Superiore-Paleocene, testimoni degli importanti cambiamenti al limite Cretacico/Paleogene
 - 4.4 Calcari a foraminiferi del Paleocene e dell'Eocene
 - 4.5 Flysch del bacino oceanico profondo dell'Eocene medio
- 5 QUANDO E COME IL TERRITORIO DEL GEOPARCO È DIVENTATO TERRA EMERSA**
 - 5.1 Processi tettonici che hanno sollevato le rocce della piattaforma carbonatica per farle diventare terra emersa
 - 5.2 L'odierna struttura geologica del Carso

6	CAVE E TIPOLOGIE DI PIETRA NATURALE CARSIKA
7	IDROGEOLOGIA DELL'AREA DEL GEOPARCO
7.1	L'acquifero del Carso Classico
7.2	Il Reka/Timavo
8	RIASSUNTO DELLE PRINCIPALI ECCELLENZE GEOLOGICHE DEL GEOPARCO CARSO-KRAS
9	SUPPORTO VISIVO
10	IL PATRIMONIO GEOLOGICO DEL CARSO CLASSICO SLOVENO
10.1	Le grotte di Škocjan e la Grotta Kačna (geositi 53 e 49)
10.2	La Grotta Vilenica (geosito 24)
10.3	Le valli cieche del Matarsko Podolje: valle cieca Odolina (geosito 61)
10.4	I calcari fossiliferi di Tomaj (geosito 34)
10.5	La cava nei calcari a Rudiste di Lipica (geosito 45)
10.6	La Faglia del Raša (geosito 38)
11	ITINERARIO GEOLOGICO: da flysch a flysch attraverso l'Anticlina- le del Carso lungo il Cammino di Santiago
11.1	Introduzione
11.2	L'itinerario e i punti di osservazione
12	BIBLIOGRAFIA E ALTRE FONTI UTILI
13	ELENCO E UBICAZIONE DEI GEOSITI

Agli utilizzatori del manuale

Il manuale è rivolto a tutti coloro che devono affrontare il difficile compito di presentare la geologia ai visitatori profani del Carso Classico. Si rivolge in primo luogo alle guide turistiche, ai curatori delle collezioni museali e agli insegnanti delle scuole dell'area del geoparco, ma può essere utile anche ai gestori delle attrazioni turistiche e delle cave, nonché a chiunque viva nei pressi di una delle attrazioni geologiche del Carso.

Per poter presentare il complesso materiale geologico anche senza una conoscenza approfondita della geologia, abbiamo cercato di scrivere i contenuti di questo manuale in maniera semplice e concisa. In questo modo è possibile utilizzarlo come esempio per presentare le informazioni chiave e più interessanti sulla geologia durante una visita guidata di poche ore al geoparco. Per questo motivo, il contenuto del manuale è limitato alla presentazione della geologia e dei dati ad essa strettamente correlati. Tutti gli altri contenuti, come la geomorfologia (forme carsiche), l'idrogeologia, l'archeologia e la storia, nonché la spiegazione del concetto di geoparco, sono ampiamente descritti in altre pubblicazioni sul Carso, a differenza dei contenuti geologici.

Nei riquadri sono state aggiunte alcune spiegazioni di concetti chiave e fatti interessanti relativi alla geologia del Carso. Per ottenere conoscenze geologiche di base e una spiegazione più completa dei contenuti, si consiglia di utilizzare le risorse aggiuntive elencate alla fine del manuale.

1. LA RELAZIONE TRA IL CARSO E LA GEOLOGIA

(Un esempio di discorso introduttivo ai visitatori)

Il Carso Classico deve la sua identità alla roccia, per lo più bianca o grigio chiaro, chiamata calcare, che ne rappresenta la spina dorsale. Il calcare si è formato in antichi mari a partire da circa 140 milioni di anni fa, in un arco di tempo lungo quasi 100 milioni di anni. Poiché il carbonato di calcio, sotto forma di minerali come la calcite e l'aragonite, è solubile nell'acqua dolce, quando queste rocce sono esposte al di sopra del livello del mare, l'acqua agisce come un fine scalpello creando morfologie e forme caratteristiche. La varietà e la bellezza di queste strutture sono così straordinariamente rappresentate nell'area del Carso Classico che vengono definite proprio carsiche e il fenomeno geomorfologico stesso della dissoluzione del calcare ad opera dell'acqua ha preso il nome di carsismo.

Sebbene i calcari del Carso possano apparire quasi uniformi al visitatore distratto, un occhio attento può notare differenze nello spessore degli strati, variazioni di colore e peculiari fossili. Ogni strato di queste rocce rappresenta una pagina di uno spesso libro della lunga storia geologica del Carso. La struttura interna della roccia, i minerali e i fossili sono le lettere di questa cronaca geologica.

Essi forniscono informazioni affascinanti sulla profondità, la temperatura e la salinità degli antichi mari in cui si sono formati questi calcari. Trasmettono informazioni affascinanti sull'aspetto dell'ambiente e della vita nel passato geologico e su come questi ultimi siano cambiati nel tempo.

2. STORIA GEOLOGICA DEL GEOPARCO

Gli episodi della cronistoria del Carso Classico sono avvenuti molto tempo prima dell'avvento dell'umanità, nei periodi geologici del Cretacico e del Paleogene, durante il Mesozoico e il Cenozoico. Le rocce del Carso coprono un arco temporale di quasi 100 milioni di anni, dall'inizio del Cretacico, circa 140 milioni di anni fa, fino alla metà dell'Eocene, circa 45 milioni di anni fa (Figura 1).

2.1 Il mondo ai tempi della formazione delle rocce del Carso

Quando si spiega che i calcari del Carso si sono formati nel mare, molti visitatori immaginano questo fatto in modo molto statico, cioè che l'area del Carso, così come è oggi, un tempo era sommersa dal mare. Bisognerebbe ricordare loro che la superficie terrestre cambia molto lentamente, ma costantemente, nel corso della storia geologica, e che l'area in cui si sono formate le rocce dell'attuale Carso era tutt'altro che simile a quella odierna.

Nel Cretacico, non solo l'ambiente in cui si formarono le rocce che avrebbero poi costruito l'altopiano del Carso, ma il mondo intero era molto diverso da quello odierno. Solo all'inizio del Cretacico superiore, l'Oceano Atlantico meridionale si aprì tra l'Africa e il Sud America, e l'India si separò

finalmente dall'Africa e iniziò il viaggio che l'avrebbe portata a scontrarsi con l'Asia; il Nord America era ancora legato all'Europa e l'Australia all'Antartide. Verso la fine del Cretacico, le grandi masse continentali in cui era frammentato il vecchio supercontinente Gondwana si spostarono verso l'Eurasia, provocando la formazione di numerose catene montuose che vengono dette alpino-himalayane e all'assetto odierno dei continenti (Figura 2).

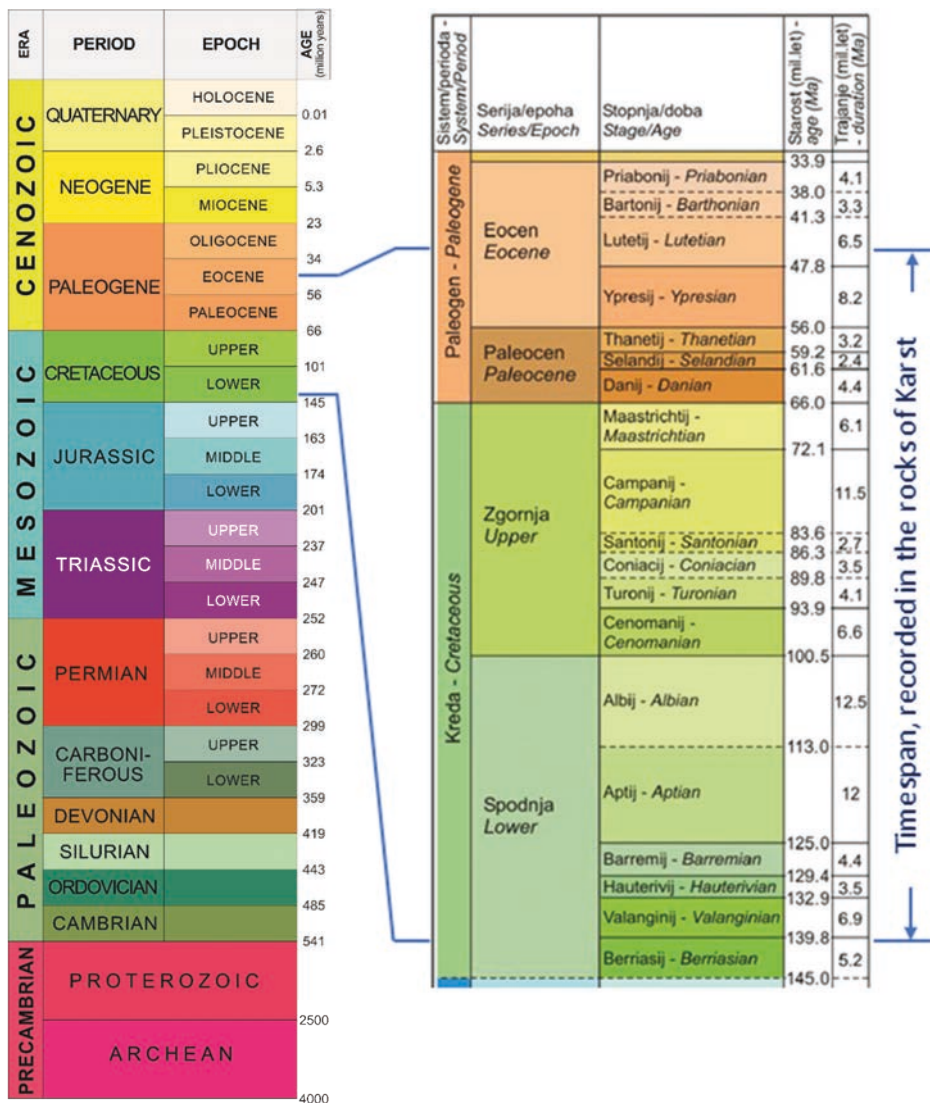
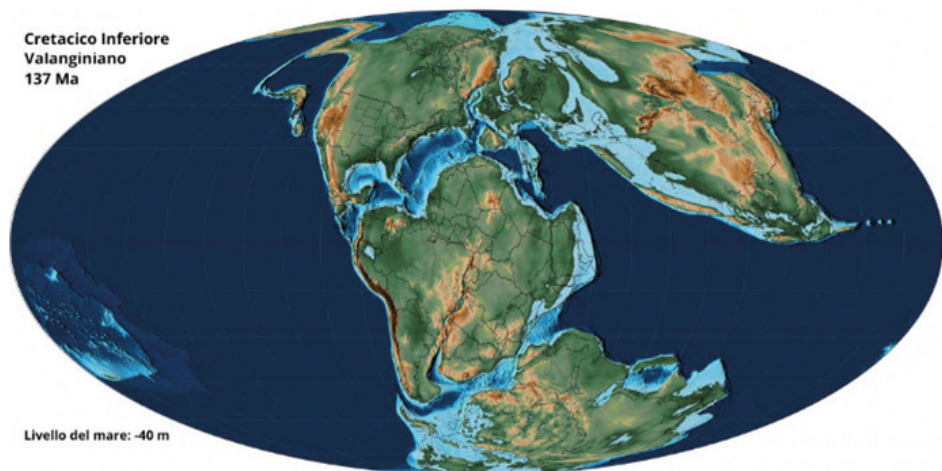


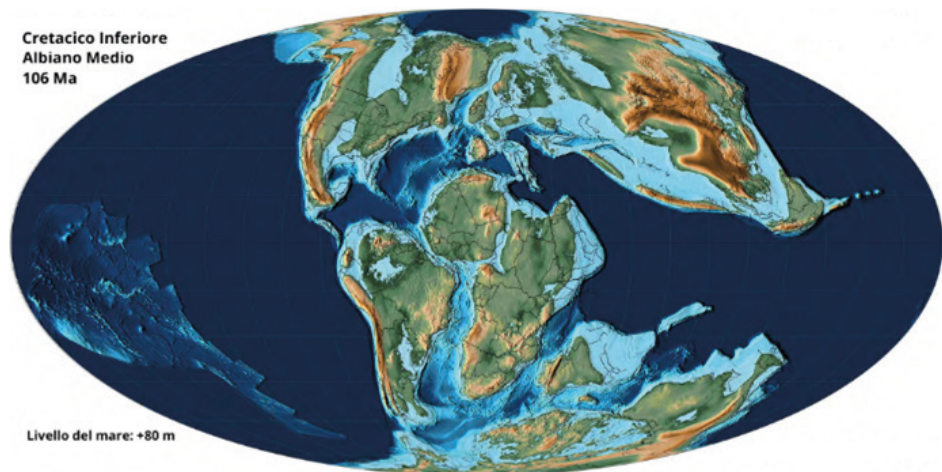
Figura 1: Un segmento di storia geologica, registrato nelle rocce del Carso.
(Modificato da: Jurkovšek et al., 2013 e Rman & Novak, 2016)

Cretacico Inferiore
Valanginiano
137 Ma



Livello del mare: -40 m

Cretacico Inferiore
Albiano Medio
106 Ma



Livello del mare: +80 m

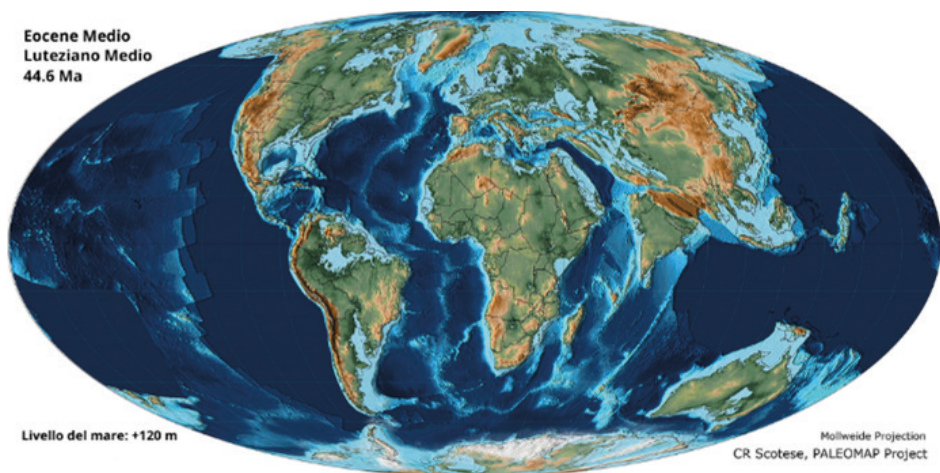
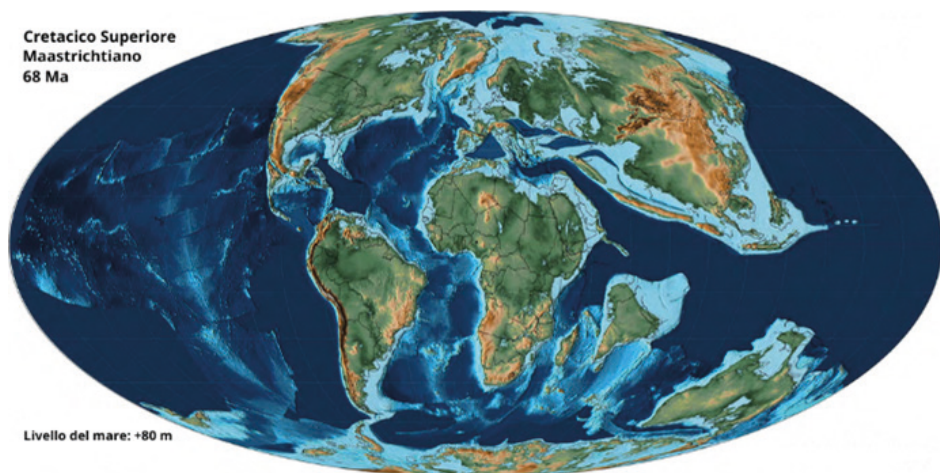


Figura 2: Il mondo che cambia dal Cretacico inferiore all'Eocene medio, nei periodi di formazione delle rocce che costituiscono il geoparco (da Scotese, 2014: Progetto PALEOMAP)

APPROFONDIMENTO

Riscaldamento globale. Quanto è caldo il clima della Terra oggi?

Oggi sentiamo spesso parlare di cambiamenti climatici, effetto serra, innalzamento del livello dei mari, emissioni di CO₂ e dei potenziali effetti di questi fenomeni sull'uomo, sulla società e sugli ecosistemi terrestri. In questa prospettiva, la storia raccontata dalle rocce del Carso Classico è particolarmente interessante.

Domandate ai visitatori: oggi viviamo in un periodo molto freddo, in un periodo molto caldo o in una via di mezzo, a seconda delle condizioni della storia geologica? Secondo la nostra esperienza, influenzata dal dibattito sopra citato, la maggior parte dei visitatori risponde che viviamo in un ambiente molto caldo.

La verità è esattamente il contrario. In tutta la storia geologica, ci sono stati solo alcuni brevissimi periodi freddi come quello attuale, mentre per tutto il resto del tempo è stato più caldo (Figura 3).

Il Tardo Cretacico è stato uno dei periodi più caldi della storia della Terra. All'epoca, la temperatura media annuale stimata nell'emisfero settentrionale durante i mesi estivi superava i 20 °C (secondo alcuni modelli arrivava addirittura a 27 °C), oltre 5 °C più alta della media degli ultimi 30 anni (che è appena sotto i 15°C), e il contenuto di CO₂ nell'atmosfera era da 6 volte superiore. Con temperature così elevate, non esistevano le calotte polari e il livello del mare era molto più alto di oggi. Alla fine del Cretacico, la temperatura scese a circa 16,2 °C, e fino a 13,9 °C nell'Eocene medio. Queste variazioni di temperatura furono accompagnate da forti oscillazioni del livello del mare, che si innalzò anche di oltre 120 m e abbassò di oltre 40 m rispetto al livello attuale. Le condizioni descritte assomigliano agli scenari peggiori che potrebbero verificarsi entro la fine di questo secolo, secondo le proiezioni dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2018).

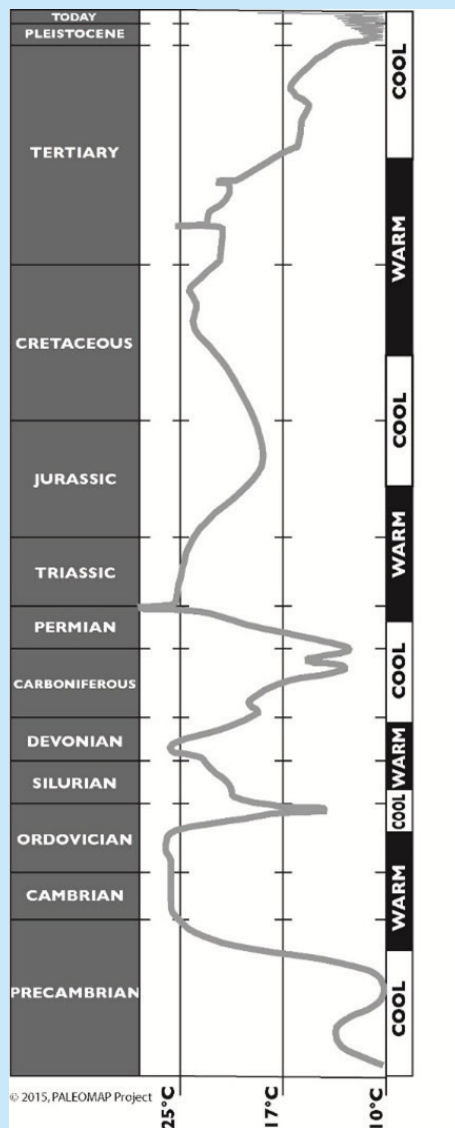


Figura 3: Negli ultimi 2 miliardi di anni il clima della Terra si è alternato tra una gelida "Casa di ghiaccio", come il mondo di oggi, e una rovente "Casa di calore", come il mondo dei dinosauri. Questo grafico mostra l'andamento del clima globale nel tempo (Scotese, 2015; PALEOMAP Project; <http://www.scotese.com/climate.htm>)

2.2 L'ambiente in cui si sono formate le rocce del Carso

L'area del Carso Classico è composta da rocce sedimentarie appartenenti a quella che viene chiamata Piattaforma Carbonatica Adriatico-Dinarica. Quest'area marina poco profonda nell'Oceano Tetide, su cui si sono depositati i sedimenti carbonatici, si è formata sulla cosiddetta microplacca Adria (Figura 4). La microplacca Adria faceva inizialmente parte della Placca Africana, ma durante il Mesozoico si è separata da quest'ultima e ha viaggiato verso nord davanti ad essa. Durante il Cretacico, la microplacca Adria era situata a circa 2.000 km a sud rispetto a dove si trova ora, all'interno della fascia climatica (sub) tropicale. A queste latitudini, le condizioni erano ideali per la formazione dei sedimenti calcarei.



Figura 4: Paleogeografia dell'Europa nel Tardo Cretacico (75 milioni di anni fa). La Piattaforma Carbonatica Adriatico-Dinarica si è sviluppata sulla microplacca Adria (da Scotese, 2014)

SPIEGAZIONE

Che cos'è una piattaforma carbonatica?

Una piattaforma carbonatica si forma quando l'accumulo di sedimenti calcarei nel mare è tale da creare un rilievo sul fondo marino. La parte più alta di questo accumulo è spesso vicina al livello del mare e piatta (da qui il termine "piattaforma") ed è occupata da acque relativamente poco profonde, come quelle che caratterizzano le lagune. Ai margini esterni di una piattaforma carbonatica, pendii più o meno ripidi uniscono la sua sommità al fondale oceanico più profondo circostante, in modo del tutto simile alle falde detritiche che si possono osservare alla base di una montagna. In alcuni casi, le piattaforme carbonatiche possono essere molto grandi. Esempi moderni sono, ad esempio, le Bahamas nel Golfo del Messico (Figura 5) o la Grande Barriera Corallina in Australia.

Figura 5: Immagine satellitare delle Bahamas, con mare poco profondo (blu chiaro) su una piattaforma carbonatica e oceano profondo circostante (blu scuro) (NASA Earth Observatory, 2009)



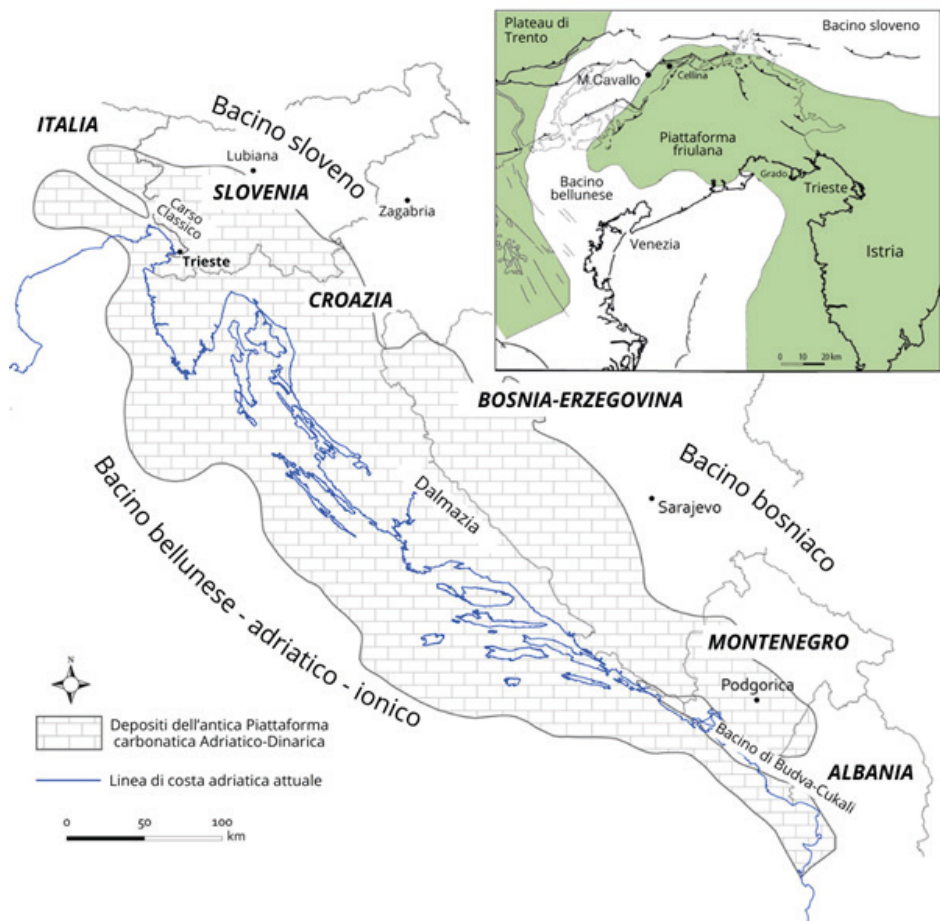


Figura 6: Carta geografica attuale con sovrapposta una mappa che mostra l'estensione della Piattaforma Carbonatica Adriatico-Dinarica (modificata da Dragičević & Velić, 2002) e un dettaglio della parte settentrionale con la Piattaforma Friulano-Adriatica (modificato da Consorti et al., 2021)

La Piattaforma Carbonatica Adriatico-Dinarica era veramente di grandi dimensioni, come dimostrato dal fatto che le rocce che la formano si possono osservare (“affiorano”, dicono i geologi) dall'Italia nord-orientale, lungo tutte le Dinaridi, fino al Montenegro (Figura 6).

La spessa successione di rocce carbonatiche della regione del Carso Classico deriva da sedimenti che si depositarono nella parte interna della Piattaforma Adriatico-Dinarica, in un'area che si potrebbe comparare alla laguna delle odierne isole Bahamas. La porzione italiana dell'area del Carso Classico è chiamata anche Piattaforma Friulana e corrisponde al lembo nord-occidentale della Piattaforma Adriatico-Dinarica che, durante il Cretacico, era delimitata da un mare profondo (Figura 6). L'ambiente che caratterizzava la piattaforma restò praticamente immutato per diversi milioni di anni durante il Cretacico. Una differenziazione più pronunciata iniziò a partire dal Tardo Cretacico, quando la piattaforma iniziò ad essere coinvolta nei movimenti tettonici legati all'orogenesi alpina.

All'inizio dell'Eocene, la collisione tra la microplacca Adria e la Placca Eurasiatica ha portato all'innalzamento delle Alpi e all'inabissamento della piattaforma negli oceani. Questo evento è testimoniato dalle arenarie del Flysch, che derivano proprio dall'erosione delle montagne in solle-

vamento e si sono depositate quando l'area in cui prima si trovava la Piattaforma Adriatico-Dinarica fu occupata da un mare profondo all'inizio del Cenozoico (66 milioni di anni fa).

3. FOSSILI CARATTERISTICI DEL GEOPARCO

In questo capitolo vengono descritti solo i gruppi di fossili molto comuni nel Carso e quelli interessanti su scala globale. Gli altri fossili sono elencati nelle descrizioni delle unità geologiche.

3.1 Molluschi (Bivalvi)

I **molluschi rudisti**, o semplicemente **rudiste**, sono un gruppo particolare di conchiglie (tecnicamente molluschi bivalvi) dalle forme molto insolite. Apparvero per la prima volta alla fine del Giurassico, ma prosperarono nel Tardo Cretacico e, insieme a molte altre piante e animali, si estinsero alla fine del Cretacico.

Durante il Tardo Cretacico tali molluschi bivalvi, perfettamente adattati a vivere attaccati a una varietà di substrati, si sono evolute in un numero incredibile di specie con forme diverse (Figura 7), che aiutano i geologi a determinare l'età relativa delle rocce in cui si trovano. Le più tipiche rudiste assomigliano a un corno di mucca. Le due valve sono completamente diverse tra loro, una più grande e una significativamente più piccola: la valva grande, di forma prevalentemente conica era di solito quella che si appoggiava al fondo marino, mentre la superiore, più piccola, a forma di berretto, fungeva da copertura. Le dimensioni delle rudiste variavano da pochi centimetri a oltre un me-

tro. Nel tardo Cretacico prosperavano nelle acque poco profonde dei mari tropicali e formavano estese praterie e scogliere di rudiste. Le loro conchiglie rappresentano un importante elemento costitutivo delle rocce carbonatiche del Cretacico e sono uno degli elementi più caratteristici delle rocce del Carso Classico. In alcuni casi, le rudiste sono in numero così elevato che le rocce appaiono quasi interamente costituite dai loro gusci o da frammenti di essi (Figura 9).

I **molluschi condrodonti** sono un altro gruppo estinto di bivalvi comuni nei calcari del Cretacico superiore. Anche queste conchiglie simili ad ostriche vissero solamente durante il Cretacico. Vivevano parzialmente sepolte nel morbido fondale marino, simili alle attuali *Pinna nobilis* (pinne comuni) (Figura 10). Potevano raggiungere una dimensione di 50 cm. La specie più caratteristica è *Chondrodonta joannae*, che ha l'aspetto di una foglia allungata o a ventaglio con nervature longitudinali ondulate (Figura 11). Nella pietra, le sezioni trasversali sono visibili come linee dentellate di spessore variabile (Figura 12).

*Figura 8: Una forma tipica di rudista
(da: Carnets de nature. Fossiles d'Europe,
Editions Milan, 1999)*

Figura 7: Diverse forme di conchiglie rudi-
ste (da: Schumann & Steuber, 1997)

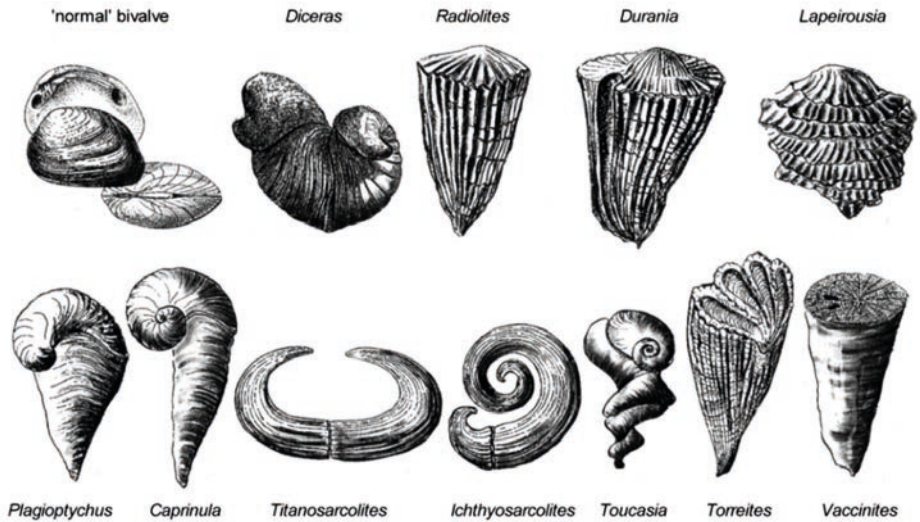


Figura 9: Campione lucidato di calcare
di Lipica con una sezione trasversale
di un cluster di rudiste
(Foto: Bogdan Jurkovšek)



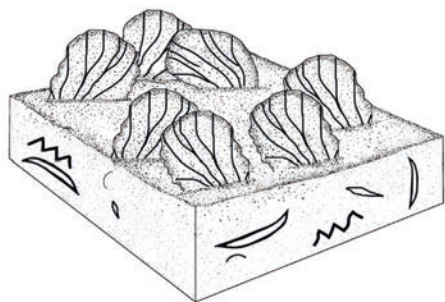
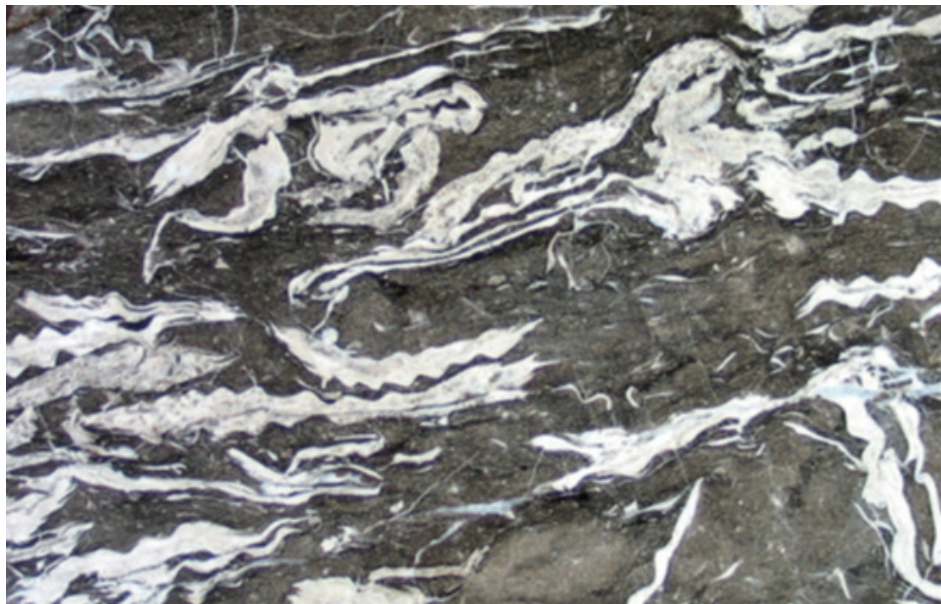


Figura 10: Ricostruzione di molluschi condrodonti sul fondale marino e delle loro caratteristiche sezioni trasversali (da: Ayoub-Hannaa & Fürsich, 2011)



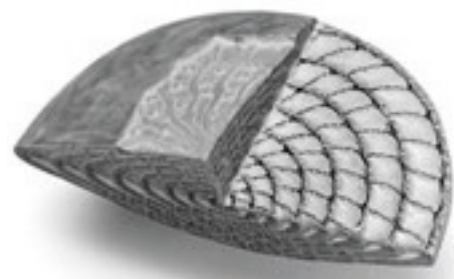
Figura 11: Calcare del Cretacico superiore con fossili di conchiglie condrodonte rinvenuto presso Coljava (Foto: Bogdan Jurkovšek)

Figura 12: Sezioni trasversali di conchiglie condrodonte nella dolomia a nord di Sežana (Foto: Bogdan Jurkovšek)



Quando si descrivono i fossili, si può far notare ai visitatori l'analogia geologica con il detto usato dagli storici secondo cui il passato è la chiave per capire il presente. In geologia è vero anche il contrario, cioè che il presente è la chiave per capire il passato. E perché? Abbiamo scritto all'inizio che la Terra è un pianeta vivente in cui tutto cambia continuamente. Tuttavia, qualcosa è costante: le leggi fisiche e chimiche. Poiché le forme di vita dipendono dalle condizioni fisico-chimiche, ciò significa che gli organismi affini nel passato geologico molto probabilmente vivevano negli stessi ambienti di oggi. Poiché oggi pinne comuni e ostriche vivono in ambienti marini poco profondi, la loro presenza in strati calcarei del Cretaceo indica che hanno avuto origine nello stesso ambiente.

Figura 13: Sezione longitudinale e trasversale di un guscio di nummulitide (da: Zittel, 1876 and del Ramo, 2015)



3.2 Foraminiferi

I foraminiferi sono organismi unicellulari con gusci di forme diverse. La maggior parte di essi è microscopica e alcuni vivono come plancton nella colonna d'acqua, altri sono più grandi e vivono come organismi bentonici sul fondale marino.

Foraminiferi bentonici di grandi dimensioni - gruppo di foraminiferi di grandi dimensioni che vivono sul fondale marino e che presentano gusci di calcite. I calcari carsici contengono molte specie diverse di grandi foraminiferi.

I nummulitidi sono un gruppo estinto di grandi foraminiferi che vivevano sul fondale marino durante il Paleocene e l'Eocene. Avevano gusci calcarei piatti o lenticolari, avvolti a spirale e divisi in piccole camere. Erano tra i più grandi organismi unicellulari della Terra, una sorta di dinosauri unicellulari. Possono essere più grandi di 3 cm e assomigliano a monete antiche, per cui sono stati chiamati Nummulitidi (dalla parola latina *nummu-*



Figura 14: Nummulitidi, simili a monete, estratti in modo naturale da rocce esposte agli agenti atmosferici (Foto: Matevž Novak)



lus che significa moneta). Nel calcare, le loro superfici longitudinali assomigliano a bottoni luminosi e le loro sezioni trasversali a sottili scalette allungate (Figura 13). Spesso si trovano anche esemplari singoli, sciolti, estratti spontaneamente dalla superficie dilavata del calcare (Figura 14).

Gli alveolinidi avevano una struttura peculiare caratterizzata dalla presenza di numerose piccole cavità (dette camere) che, osservate con una lente di ingrandimento, appaiono come piccoli fori circolari. (Figure 15 e 16). Il nome deriva dal termine latino *alveolus*, che significa piccola cavità o foro. Si trovano spesso insieme ai nummulitidi, dai quali si distinguono per il colore bianco del guscio porcellanato e per la forma più convessa e lenticolare; alcuni sono quasi sferici.

3.3 Vertebrati

Pesci, granchi, tartarughe, coccodrilli, dinosauri - In condizioni particolari, vertebrati terrestri altrimenti raramente fossilizzati o con scheletri più fragili si sono conservati in rocce formatesi durante la sedimentazione in ambienti tranquilli e a bassa ossigenazione. Presso il sito del Villaggio del Pescatore, oltre ai resti di coccodrilli, granchi, pesci ossei e pterosauri, sono stati rinvenuti due scheletri di dinosauro, tra i più completi e meglio conservati al mondo. Inoltre, nei calcari neri e tabulari dell'area di Komen e Tomaj sono stati trovati così tanti fossili di pesci eccezionalmente ben conservati che gli strati sono stati chiamati scisti ittici. Oltre ai pesci, è stato trovato anche uno scheletro di tartaruga.

Figura 15: Sezione longitudinale e trasversale di un guscio di alveolinide (Da: Checchia-Rispoli, 1905)

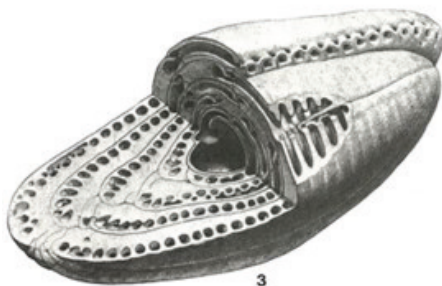




Figura 16: Foraminifero Alveolinide visto al microscopio (Foto: Matevž Novak)

ATTENZIONE!

La legge sulla conservazione della natura della Slovenia prevede una protezione generale per tutti i fossili, i minerali e i loro siti di affioramento, in modo che non vengano danneggiati o distrutti. Una protezione più rigorosa è prevista per i siti protetti, per i beni naturalistici e per le specie eccezionali o rare di minerali e fossili, come i vertebrati fossili del Carso.

E una richiesta alle guide.

Secondo la nostra esperienza, la protezione formale attraverso regolamenti e divieti tende a essere inefficace se la gente non sa perché essa si rende necessaria. Il modo più efficace per prevenire o almeno limitare il prelievo di fossili e minerali è quello di educare le persone al loro grande valore. Pertanto, spiegate ai visitatori che i fossili, come i minerali e le rocce, sono importanti testimoni del passato della Terra. La loro conoscenza permette di comprendere i processi geologici e di capire i segreti dell'origine e dello sviluppo della vita sulla Terra. La loro rimozione o danneggiamento è approssimativamente paragonabile alla cancellazione di lettere e parole nell'unica copia di un libro storico molto antico. Tutto ciò che sappiamo oggi sull'origine e sull'evoluzione della vita sul nostro pianeta si basa sui resti fossili.

APPROFONDIMENTO

Il mondo microscopico della pietra carsica

Un mondo completamente nuovo di microfossili di sorprendente bellezza si apre a noi quando osserviamo al microscopio le sezioni sottili, fino alla trasparenza, di campioni di calcare carsico.

I microfossili sono i resti di vari gruppi di organismi, solitamente di dimensioni inferiori a 0,5 millimetri. Poiché le definizioni del limite superiore delle dimensioni variano, è meglio dire che i microfossili sono tutti quei fossili che dobbiamo osservare al microscopio per vedere come sono strutturati e per determinare a quale specie appartengono.

Alcuni rari rappresentanti di gruppi di organismi fossili molto piccoli, altrimenti classificati come microfossili, superano notevolmente le dimensioni dei loro parenti, raggiungendo dimensioni di diversi millimetri o addirittura centimetri. Tali "microfossili", come i grandi foraminiferi bentonici, possono essere osservati nella roccia ad occhio nudo. Per osservarli è molto utile una lente portatile con un ingrandimento di 5 o 10 volte.

I microfossili sono il gruppo di fossili più importante per lo studio della storia della Terra. Infatti presentano molteplici vantaggi: sono spesso presenti in gran numero, si trovano in quasi tutti i sedimenti e le rocce sedimentarie, costituiscono forme molto diverse che sono cambiate rapidamente nel corso dell'evoluzione, e molti di essi sono stati in fase planctonica durante almeno un periodo di sviluppo e sono quindi ampiamente distribuiti. Per questo motivo, sono di grande importanza nella determinazione delle età relative, nella correlazione delle sequenze sedimentarie e rocciose, nella ricostruzione dei paleoambienti, nello studio del paleoclima e della tettonica a placche, nell'industria petrolifera, nella ricerca e localizzazione di giacimenti di risorse minerarie, ecc. I microrganismi più utili sono i foraminiferi, i radiolari, le diatomee, i cianobatteri, le spicole (aghi) delle spugne, i briozoi, gli ostracodi, le parti dei vertebrati (conodonti, denti, ossa, scaglie di pesce), le alghe rosse e verdi, le spore e i pollini delle piante. Di seguito alcune foto al microscopio di microfossili caratteristici in lastre levigate di campioni di roccia carsica (Figure 17–20).

Figura 17: Grandi foraminiferi bentonici (alveolinidi e nummulitidi) rinvenuti a Dutovlje (Foto: Matevž Novak)



Figura 18: Piccoli foraminiferi miliolidi rinvenuti a Kreplje (Foto: Bogdan Jurkovšek)

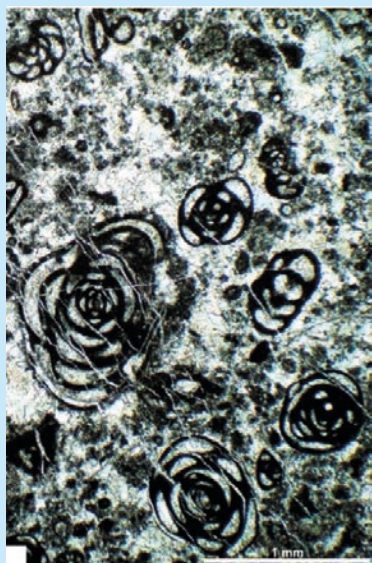
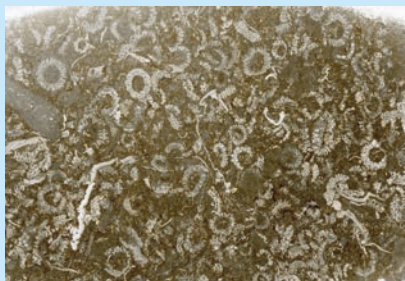


Figura 19: Alghe verdi del genere Clypeina rinvenute a Rakitovec (Foto: Matevž Novak)



4. ROCCE E UNITÀ GEOLOGICHE DEL GEOPARCO

Grazie alla prolungata stabilità dell'ambiente sedimentario, in tutta la Piattaforma Adriatico-Dinarica si è depositato un notevole spessore di sedimenti carbonatici. Da essi si è formata una successione di rocce sedimentarie carbonatiche spessa quasi 1.500 metri, che costituisce il territorio del Carso Classico.

La successione di rocce del Carso Classico è stata suddivisa in numerose unità geologiche. In questo libro è stato adottato uno schema semplificato in cui le rocce del Carso Classico sono suddivise nelle unità più distintive. La descrizione che segue le presenta in ordine stratigrafico, cioè dalla più antica alla più recente. La loro distribuzione areale è riportata nella carta geologica (Figura 46).

4.1 Calcarei, dolomie e brecce del Cretacico Inferiore – Superiore

Le rocce carbonatiche più antiche dell'altopiano del Carso si sono depositate durante il Cretacico Inferiore, approssimativamente tra 140 e 90 milioni di anni fa, per lo più in un ambiente lagunare calmo e poco profondo che assomigliava a quello delle attuali isole tropicali. La maggior parte di queste rocce è costituita da calcari, ma è presente anche la dolomia. Mentre il calcare è composto

principalmente dal minerale calcite, la dolomia è una roccia costituita in gran parte da dolomite, un minerale strettamente imparentato con la calcite (entrambi sono minerali carbonatici), ma con una composizione chimica e una struttura diverse. Pertanto, la dolomia è meno solubile in acqua rispetto al calcare. La dolomia grigio scura si trova spesso negli strati rocciosi più antichi del Carso.

Nei periodi in cui il livello del mare si abbassò, ampie porzioni della Piattaforma Adriatico-Dinarica emersero esponendo il calcare alla dissoluzione dovuta alle piogge, alla circolazione d'acque dolci e agli agenti atmosferici con la formazione di strutture carsiche del tutto simili a quelle attuali. I fenomeni che indicano questa antica degradazione carsica nel passato geologico, come le cavità carsiche riempite di sedimenti e concrezioni calcitiche, sono detti **paleocarsici**. Un episodio particolarmente prolungato di esposizione subaerea si verificò circa 110 milioni di anni fa e si pensa che rappresenti un evento di abbassamento globale del livello dei mari (chiamato dai geologi abbassamento *eustatico* del livello del mare).

Nel Carso, è evidenziato da uno **strato di breccia**, una roccia sedimentaria clastica a grana grossa costituita

da clasti o frammenti angolari in cui le rocce più antiche sono state frantumate dagli agenti atmosferici e dall'erosione. Questa breccia, che affiora in una stretta fascia che attraversa il territorio del Carso Classico, che si formò probabilmente perché le rocce della piattaforma, una volta esposte, furono erose e frammentate all'interno cavità prodotte dalla dissoluzione carsica causata dall'emersione (Figura 21).

Dopo questo periodo di emersione, il livello dell'oceano si alzò di nuovo e questo portò al ristabilimento di condizioni marine. I calcari formati in questo periodo contengono numerosi fossili come foraminiferi e alghe verdi. Si possono trovare anche frammenti di gusci di rudiste, talvolta concentrati in straterelli che si sono depositati durante le tempeste (detti tempestiti), ma non sono così abbondanti.

Figura 21: Breccia che testimonia gli importanti episodi di emersione che la piattaforma carbonatica ha subito (a Brestoviški dol) (Foto: Bogdan Jurkovšek)



SPIEGAZIONE

Che cosa sono i sedimenti e che cosa sono le rocce sedimentarie?

Le rocce sedimentarie si formano per litificazione di **sedimenti**, formati da granuli sedimentari accumulati. Tali accumuli si verificano quando il vento, l'acqua o la gravità non riescono più a spostare i granuli. Ciò avviene solitamente ai piedi dei ghiacciai, nelle valli fluviali, nei laghi, nei deserti e soprattutto nei mari e negli oceani.

Subito dopo la deposizione, il sedimento (ad esempio, il fango carbonatico) è ancora morbido e non legato, dopodiché si consolida nel processo di compattazione e aderisce alla roccia dura tramite un legante (di solito il cemento calcareo). Questo processo è chiamato **diagenesi**. Si riferisce a tutti i cambiamenti che avvengono nel sedimento dalla sua deposizione all'indurimento (litificazione) in **roccia sedimentaria**, nonché a tutti i cambiamenti successivi nella roccia già solida dovuti a variazioni di temperatura e/o pressione.

I granuli sedimentari si formano in due modi. Il primo modo è attraverso gli agenti atmosferici e l'erosione di rocce più antiche. Le rocce composte da tali frammenti (o clasti) sono chiamate **rocce sedimentarie clastiche**. Un altro modo in cui si formano i granuli sedimentari è per precipitazione direttamente da una soluzione acquosa. Tali rocce sono chiamate **rocce sedimentarie chimiche**. La maggior parte dei grani sono in realtà scheletri di vari organismi (ad esempio, gusci di conchiglie), per cui queste rocce sono chiamate **rocce sedimentarie biochimiche**. Gli scheletri mineralizzati sono costituiti quasi interamente da carbonato di calcio (il minerale calcite o aragonite). Quando un sedimento di questo tipo litifica, forma una roccia chiamata calcare.

APPROFONDIMENTO

Oscillazioni del livello del mare

L'ambiente marino in cui si sono formate le rocce del Carso non è mutato significativamente durante il Cretacico. Tuttavia, a causa della bassa profondità del mare, alcune parti della piattaforma sono temporaneamente emerse, quando il livello del mare si è abbassato. I geologi si riferiscono a tali fasi, durante le quali il fondale marino diventa terraferma, anche con il termine "emersioni". È importante qui ricordare, infatti, che il livello marino può cambiare e lo può fare su scale temporali diverse e per motivi diversi. Tutti conosciamo le maree, oscillazioni del livello del mare che si verificano ogni giorno e sono causate dall'attrazione gravitazionale della Luna. Tuttavia, esistono fenomeni che avvengono in tempi molto più lunghi che possono causare queste variazioni. Ad esempio, la formazione o lo scioglimento delle calotte di ghiaccio ai poli, o i movimenti verso l'alto o verso il basso della crosta terrestre, come quelli che causano la crescita di una catena montuosa. Le piattaforme carbonatiche sono ambienti particolarmente sensibili alle oscillazioni del livello marino dal momento che la maggior parte della loro superficie si trova a profondità molto basse e quindi una modesta oscillazione del livello del mare può causarne l'emersione o la sommersione di vaste porzioni.

SPIEGAZIONE

Colonna geologica o litostratigrafica

Le unità geologiche che raggruppano rocce geneticamente correlate, cioè che si sono formate in condizioni simili, sono chiamate dai geologi *formazioni* - a volte ulteriormente suddivise in parti più piccole chiamate membri. Un modo per rappresentare tali unità in una determinata area è la **colonna geologica o litostratigrafica** (Figura 20). In una colonna litostratigrafica (il termine litostratigrafia deriva dalle parole greche *lithos*, che significa roccia, e *strata*, che significa strati), le formazioni sono rappresentate dalla più antica in basso alla più giovane in alto, così come si sono formate nel corso della storia geologica. Questa rappresentazione delle unità geologiche del Carso evidenzia le principali fasi dell'evoluzione dell'ambiente in quest'area nell'arco di quasi 100 milioni di anni. Per alcune di queste unità, i geologi sloveni e italiani utilizzano nomi diversi e anche alcune parti della successione sono suddivise in modo dissimile.

Figura 20: Colonna litostratigrafica, raffigurante le unità geologiche a cui appartengono le rocce affioranti nel geoparco, una suddivisione più dettagliata in unità litostratigrafiche (formazioni) e ambienti sedimentari (Br – breccia, K – Calcare di Komen, T – Calcare di Tomaj) (Da Jurkovšek et al., 2016 e Consorti et al., 2021)

Età		Litologia	Unità lito-stratigrafiche		Colonna litologica	Ambiente sedimentario	Spessore [m]
PALEOGENE	EOCENE	Alternanza di marne e arenarie (flysch)	Flysch			Bacino di avanfossa	>400
			Stati transizionali			pro-delta	
	PALEOGENE	Calcarei a foraminiferi	Calcarei a miliolidi e alveoline-nummuliti			Plattaforma esterna	80-450
		Calcarei	Formazione liburnica			Paralico marino	30-450
	CRETACICO SUPERIORE	Calcarei a rudiste	Formazione di Lipica	Calcarei di Aurisina		paleo carsismo	
			Formazione di Sežana			Plattaforma esterna	
Formazione di Repen			m. di Zolla		Plattaforma peritidale	500-1000	
CRETACICO INFERIORE		Calcarei, dolomie e brecce	Formazione di Povir	Calcarei di Monte Coste m. di Repen		Paleo carsismo sopratidale	
			Formazione di Brje			Laguna interna	350-1100

4.2 Calcare a rudiste del Cretacico Superiore con calcari tabulari fossiliferi

La maggior parte della sequenza del Cretacico Superiore presente nel Carso è costituita da calcare di colore grigio chiaro o bianco, che di solito si presenta o in strati spessi alcuni decimetri, oppure in strati non distinguibili. Una delle caratteristiche più evidenti di questa roccia è la presenza di conchiglie di rudiste, che possono essere più o meno numerose, interamente conservate o disgrega-

te in frammenti di varie dimensioni (Figura 22). Abbondanti accumuli di conchiglie di *Chondrodonta ioannae* si trovano vicino a Sežana e nei pressi di della Rocca di Monrupino-Repentabor.

Nell'area del Carso Classico si trovano estesi depositi di calcare a rudiste, ad esempio nei pressi di Lipica, Kazlje, Vrhovlje, Povir, Gorjansko, Aurisina-Nabrežina e Borgo Grotta Gigante-Briščiki. Grazie alla struttura e alla tessitura omogenea, alcuni calcari appartenenti a questa unità rappre-

Figura 22: Calcare a rudiste nel taglio stradale di Divača (Foto: Bogdan Jurkovšek)





Figura 23: Lastre di calcare di Lipica con sezione trasversale di un cluster di rudiste nella pavimentazione del Centro di Accoglienza del Parco delle Grotte di Škocjan (Foto: Matevž Novak)

sentano le rocce di maggior valore commerciale dell'area del Carso Classico. Queste rocce vengono estratte in molte cave come preziosa pietra ornamentale. La Cava Romana di Aurisina-Nabrežina, in Italia, risale al I secolo a.C.

La più grande cava di calcare di Lipica (che appartiene alla stessa unità del calcare di Aurisina in Italia) è oggi Lipica 1 in Slovenia, dove si estraggono grandi blocchi di calcare a rudiste massivo (Figura 23; si veda anche il capitolo Cave e tipologie di pietra na-

turale del Carso). Oltre al calcare di Lipica, sono preziosi anche i calcari di Repen, Kopriva e Granitello.

La particolarità di questa unità geologica è la presenza di alcune tra le rocce più interessanti e ricche di fossili del geoparco, i calcari tabulari e laminati. Questi calcari a strati sottili e laminati, di colore grigio scuro o nero, contengono strati sottili o lenti di selce color grigio scuro o nera, e quando vengono rotti possono emanare un forte odore di bitume (Figure 24 e 25). Questo accade perché tali calcari

contengono un'alta concentrazione di materia organica la cui conservazione è stata favorita dal fatto che si depositavano in acque poco ossigenate. Quest'ultima caratteristica favorisce inoltre il processo di fossilizzazione e può consentire un'eccellente conservazione anche delle strutture più delicate degli organismi. Si tratta di calcari che si presentano come singoli pacchetti di un certo spessore all'interno di calcari a strati più spessi (i geologi direbbero più potenti) di colore chiaro, che appartengono a di-

verse formazioni del Cretacico Superiore di età compresa tra i 95 e gli 80 milioni di anni.

Uno dei calcari tabulari, denominato Calcare di Komen dal nome del paese di Komen (conosciuta anche come "scisti di Komen" e persino chiamata "scisti a pesci" dal famoso paleontologo croato Gorjanović-Kramberger nel 1895) contiene resti di pesci, vari rettili e piante in eccezionale stato di conservazione (Figura 26).

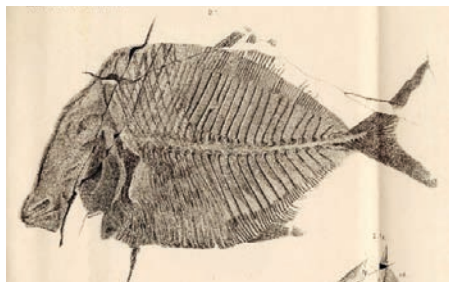
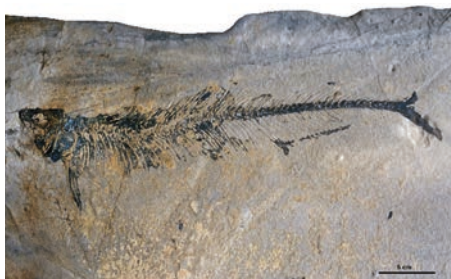
Figura 24: Calcare tabulare e laminato di Komen sul Mrtvaški hrib ("Il Colle dei Morti") lungo la strada Komen-Škrbina (Foto: Matevž Novak)





Figura 25: Caratteristico calcare laminato di Komen con uno strato di selce nera sul Mrtvaški hrib lungo la strada Komen-Škrbina (Foto: Matevž Novak)

Figura 26: Fossile di pesce nel calcare laminato di Komen (Foto: Bogdan Jurkovšek) e il disegno dell'olotipo (il primo esemplare descritto) di un pesce fossile *Coelodus vetteri* dalla monografia sui pesci fossili di Gorjanovč-Kramberger, pubblicata nel 1895.



Un altro calcare lastriforme laminato, leggermente più giovane, con sottili lenti o strati di selce è il Calcare di Tomaj. Questa unità contiene numerosi e ben conservati fossili di pesci (Figura 27), tartarughe, ammoniti (cefalopodi, parenti estinti dei calamari con guscio calcareo a spirale, che furono i dominatori dei mari nell'era mesozoica), crinoidi planctonici e altri organismi di mare aperto. La presenza di piante fossili con prevalenza di conifere (Figura 28) indica la vicinanza della terraferma a sud della laguna

(Figura 29). Una delle località con presenza di fossili più importanti del Carso è la cava abbandonata di calcare di Tomaj a Kazlje (vedi Capitolo 10).

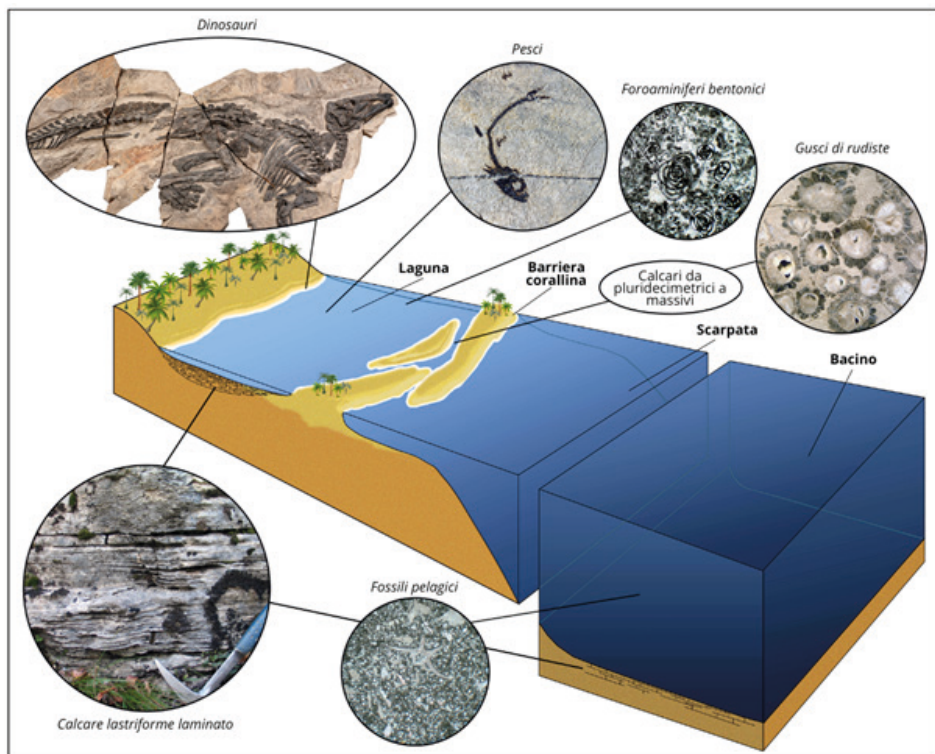
Figura 27: I due lati di un fossile di pesce rinvenuto nelle lastre spaccate del calcare di Tomaj a Križ (Foto: Bogdan Jurkovšek)





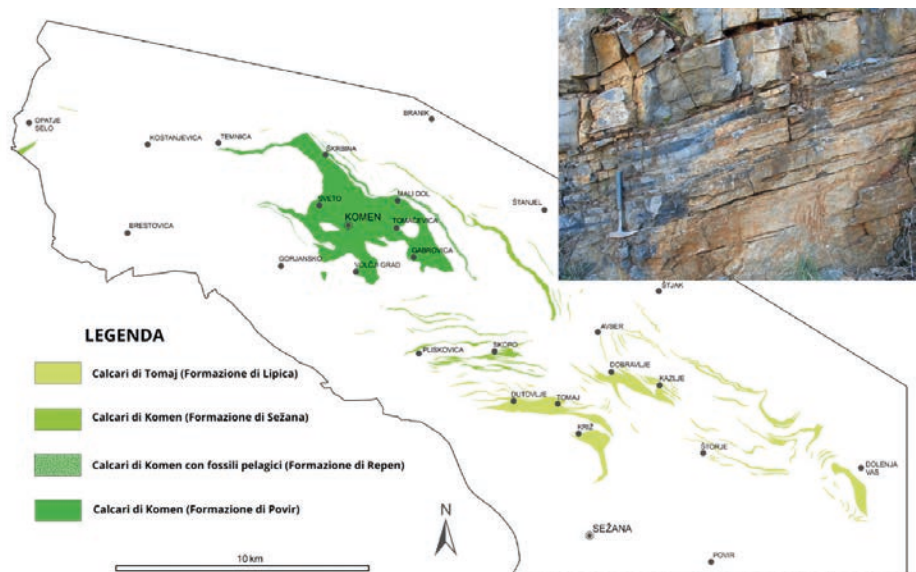
Figura 28: Fossile vegetale di conifera, rinvenuto nel calcare di Tomaj a Kazlje
(Foto: Bogdan Jurkovšek)

Figura 29: Ricostruzione dell'ambiente deposizionale di una piattaforma carbonatica di età cretacea dalla terraferma verso il mare aperto. Si possono osservare gli ambienti di deposizione dei calcari tabulari, di quelli a stratificazione pluridecimetrica e i calcari massivi (non stratificati), ovvero gli ambienti di laguna, del margine della piattaforma (barriera), delle scarpate adiacenti e del bacino marino profondo. (Modello di Vlatko Brčić; Foto: Bogdan Jurkovšek e Marino Ierman, Museo Civico di Storia Naturale di Trieste. L'immagine del dinosauro viene utilizzata su concessione della Soprintendenza ABAP FVG – MiC e ne è vietata l'ulteriore riproduzione a fini di lucro.)



I Calcari di Komen e Tomaj si trovano principalmente nelle aree centrali e settentrionali del Carso Classico (Figura 30). Sono senza dubbio uno dei materiali da costruzione più antichi utilizzati nella zona. Anche alla fine del XIX e all'inizio del XX secolo, la popolazione locale raccoglieva lastre di queste rocce per pavimentare e coprire i tetti.

Figura 30: Aree di affioramento dei calcari lastriformi del Cretacico Superiore nella parte in Slovenia del Carso Classico (modificato da Jurkovšek et al., 2013). In alto a destra: Calcari laminati di Komen con lenti di selce a Škrbina (Foto: Bogdan Jurkovšek)



APPROFONDIMENTO

Perché la maggior parte dei calcari del Carso sono di colore chiaro, ma alcuni sono di colore scuro o addirittura neri?

Durante il Cretacico, a causa del clima caldo e dell'alto livello del mare, gran parte dei continenti che oggi sono terraferma erano coperti da estesi mari epicontinentali poco profondi (mari sui continenti). Questo ha permesso alla vita marina di prosperare. Nelle acque poco profonde e ben aerate si formano spessi strati di calcare chiaro. Tuttavia, all'epoca i poli terrestri erano privi di ghiacci, la circolazione dell'acqua era più lenta e le concentrazioni di ossigeno erano più basse. Nelle zone più riparate e leggermente più profonde della laguna della Piattaforma Carbonatica Adriatico-Dinarica, questo ha portato di tanto in tanto all'accumulo di sedimenti neri e ricchi di sostanze organiche sul fondale marino. Da questi sedimenti si sono formati calcari neri a strati molto sottili.

APPROFONDIMENTO

Terra rossa

Quando i calcari tabulari scuri con la selce sono esposti agli agenti atmosferici, si può formare uno spesso strato di terreno marrone-rossastro chiamato "terra rossa". Il caratteristico colore rosso di questo terreno è dovuto agli ossidi di ferro, che si trovano soprattutto sotto forma di grani di un minerale chiamato ematite. Le viti prosperano molto bene in questi terreni.

4.3 Calcari del Cretacico Superiore-Paleocene, testimoni degli importanti cambiamenti al limite Cretacico/Paleogene

Alla fine del Cretacico si verificarono importanti cambiamenti ambientali. In seguito alla collisione tra la microplacca Adria e la placca Euroasiatica, la crosta terrestre cominciò a sollevarsi, portando alla formazione delle Alpi. Come conseguenza del sollevamento, l'ambiente della Piattaforma Carbonatica Adriatico-Dinarica divenne caratterizzato da acque meno profonde che potevano diventare salmastre grazie all'apporto di acqua dolce dalle precipitazioni e dalla vicina terra ferma. Questo cambiamento ambientale si è riflesso nelle rocce e nel loro contenuto di fossili. Predomina un calcare stratificato di colore grigio-grigio scuro con intercalazioni di strati di calcare marnoso da bruno a nero. I fossili sono molto vari e includono fossili animali e vegetali indicativi di ambienti che potevano essere terrestri o acquatici con acqua marina salmastra o salata.

Nel mare dominavano molluschi rudisti e foraminiferi (il più comune è la grande *Rhapydionina liburnica*), mentre sulla terraferma prevalevano specie vegetali (conifere, alghe caracee), conchiglie dal guscio sottile e lumache (Figura 31).

Alcune parti della Piattaforma Carbonatica Adriatico-Dinarica emer-



Figura 31: Calcare scuro del Cretacico Superiore della Formazione Liburnica a ovest di Rodik con una lumaca del genere *Stomatopsis* (Foto: Bogdan Jurkovšek)

sero dal mare e furono per questo soggette a un intenso carsismo. Si verificarono fenomeni carsici sia superficiali che sotterranei (Figura 32). La vegetazione era così abbondante nelle parti emerse della piattaforma che in queste rocce si trovano depositi di carbone a Vremski Britof, Rodik e nelle aree vaste di Lipica e Štorje. Il carbone fu estratto per essere usato come combustibile nel XIX e all'inizio del XX secolo.

L'espansione delle aree emerse rese possibile la vita per molti anfibi e per animali terrestri anche di grandi dimensioni. Lo testimoniano i ritrovamenti di resti fossili di coccodrilli, ossa e denti di dinosauri vegetariani appartenenti a diverse famiglie (*Hadrosauridae*, *Iguanodontidae* e *Dromosauridae*).



I fossili più straordinari ed eccezionalmente conservati sono stati trovati in calcari scuri finemente laminati che affiorano presso il Villaggio del Pescatore vicino a Trieste (Figure 33). Nel sito paleontologico sono stati rinvenuti due scheletri completi di hadrosauroide della specie *Tethysaurus insularis*. Oltre agli adrosauri, nelle laminitis sono stati scoperti resti di pterosauro, coccodilli, pesci e altri vertebrati. (vedi Capitolo 10).

La cava abbandonata di Slivia-Slivno espone una breccia composta da blocchi di calcare disorganizzati (Figura 36). Questa breccia di crollo in-

Figura 32: Superficie paleocarsica evidenziata da una piccola depressione in un taglio stradale a Kozina. Si noti il contrasto cromatico tra il calcare di ambiente marino poco profondo grigio chiaro e il calcare di ambiente continentale palustre grigio scuro (Foto: Bojan Otoničar)

dica anche un episodio di emersione più lungo, accompagnato dallo sviluppo di un esteso sistema paleocarsico. La **Breccia di Slivia**, conosciuta a livello commerciale anche come “Slivia di Napoleone” o “Marmo di Breccia Carsica”, era ampiamente utilizzata come pietra da costruzione ornamentale.



Figura 33: Calcari laminati nei pressi del Villaggio del Pescatore-Ribiško naselje, in cui sono stati trovati fossili di dinosauro (Foto: Sara Biolchi)

Figura 36: Fronte della cava abbandonata di Slivia-Slivno che espone la breccia paleo-carsica (da Consorti et al., 2021)



APPROFONDIMENTO

Sono stati rinvenuti fossili di dinosauro anche nella parte slovena del Carso?

Resti fossili di vertebrati del Cretacico Superiore, in particolare denti e ossa di dinosauro, sono stati trovati anche nella breccia calcarea della cavità paleocarsica vicino a Kozina. (Figure 34 e 35).

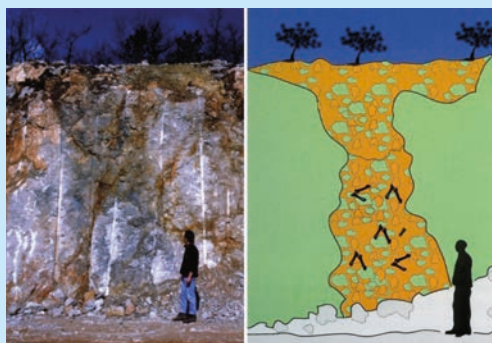


Figura 34: Il sito in cui si trovano le ossa di dinosauro nella breccia con clasti calcarei della Formazione Liburnica che riempie la cavità paleocarsica nei calcari nella Formazione di Lipica nel taglio stradale presso Kozina (da Košir et al., 1999).

Figura 35: Le ossa di dinosauri, coccodrilli e altri vertebrati terrestri nella breccia paleocarsica (a sinistra) (Foto: Matevž Novak) e la struttura delle ossa di dinosauro al microscopio (5x e 40x) (a destra) (da Košir et al., 1999).



APPROFONDIMENTO

Estinzione di massa al limite Cretacico-Paleogene

All'interno dei Calcari del Cretacico Superiore-Paleocene è inoltre registrato un momento molto importante della storia geologica della Terra: il limite Cretacico-Paleogene (dai geologi detto Limite K-Pg), dove si è verificata una delle più devastanti estinzioni di massa avvenute su pianeta. È coincisa con l'impatto di un grande asteroide nell'area attualmente occupata dalla Penisola dello Yucatan nel Golfo del Messico. I cambiamenti avvenuti al confine K-Pg sono così drammatici e visibili a scala globale che i geologi hanno collocato qui la transizione tra l'era mesozoica e l'era cenozoica. Questo evento cambiò drasticamente la vita sulla Terra, spazzando via il 73% delle specie viventi (Figura 37), tra cui dinosauri, ammoniti, rudiste e molti altri organismi che avevano prosperato sui continenti e negli oceani per milioni di anni. Nel Carso in Slovenia, il limite K-Pg è stato studiato in una sequenza di strati calcarei lungo la strada vicino a Dolenja vas.

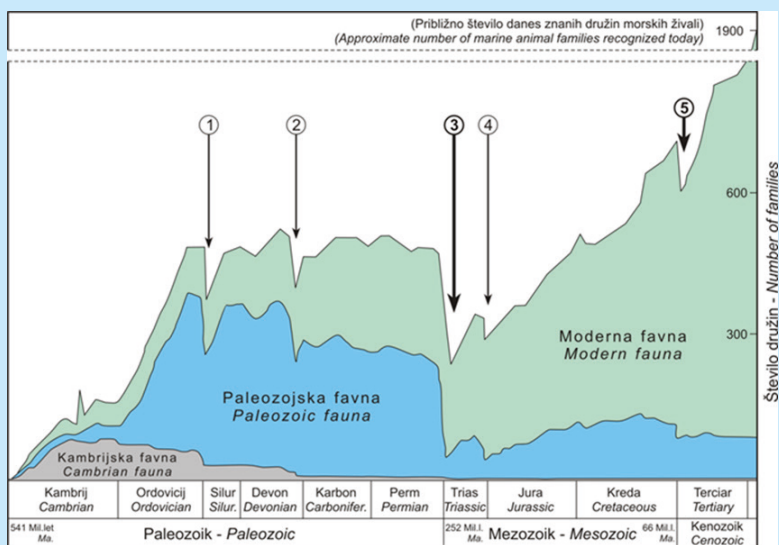


Figura 37: L'ultima delle cinque grandi estinzioni di massa della storia della Terra si è verificata al limite Cretacico-Paleogene (Jurkovšek et al., 2013).

4.4 Calcarei a foraminiferi del Paleocene e dell'Eocene

Alla fine del Paleocene, il livello del mare iniziò lentamente a salire e questo portò al ristabilirsi di condizioni marine. Una nuova successione di calcare massiccio grigio-grigio chiaro, a stratificazione indistinta, documenta questa fase della storia del Carso. Nelle rocce del Paleocene e dell'Eocene si rinvennero molte forme di alghe e foraminiferi notevolmente diverse da quelle che si possono osservare nelle rocce del Cretacico. Tra i foraminiferi, in particolare, compaiono molte nuove specie e si osserva come questi organismi siano divenuti progressivamente più grandi, tanto che

nelle parti più recenti di queste rocce, possono essere visti anche a occhio nudo. Grazie alla presenza di foraminiferi bentonici di grandi dimensioni che in alcuni strati sono accumulati in gran numero, questi calcari sono facilmente identificabili (Figura 38). I più diffusi sono gli strati con alveoline nummuliti, che formano **l'unità dei Calcarei ad Alveoline Nummuliti**.

Figura 38: Calcare a foraminiferi con Nummuliti e Alveoline rinvenuto ad ovest di Kozina (Foto: Matevž Novak)





Figura 39: Alternanza di strati di marna e di arenaria che compongono una sequenza di flysch a sud di Gora (Foto: Bogdan Jurkovšek)

4.5 Flysch del bacino oceanico profondo dell'Eocene medio

Le rocce più giovani che caratterizzano l'area del Carso Classico sono completamente diverse da quelle di età precedente. A differenza dei calcari che costituiscono la maggior parte dell'altopiano carsico, infatti, queste rocce sono costituite principalmente da arenarie e da rocce più o meno argillose (dette siltiti, argilliti e marne), che si alternano in una sequenza di sottili strati ben nota ai geologi con il termine flysch (Figura 39).

Ai visitatori dovrebbe essere ricordato che il flysch non è una roccia, ma una caratteristica successione di rocce diverse.

I sedimenti che compongono il flysch derivano dall'erosione di rocce più antiche e la loro presenza rivela che le Alpi, a seguito della collisione tra la Placca Africana e la Placca Europea si stavano sollevando. Mentre le montagne crescevano, rocce più antiche erano esposte alla pioggia, ai venti e a tutti gli agenti atmosferici. I sedimenti derivanti da questi processi venivano quindi trasportati negli oceani dai fiumi. Una volta giunte in mare, a volte queste sabbie e argille, quando non erano ancora litificate (cioè, trasformate in rocce), potevano scivolare lungo le scarpate continentali sotto forma di frane sottomarine nel bacino oceanico profondo.

Tali frane generano densi flussi carichi di sedimenti, chiamati dai geologi **correnti di torbida**. Dopo essere scivolato nelle zone più profonde dei mari, questi flussi perdono velocità e quindi rilasciano il loro carico di sedimenti. I depositi sottomarini generati da una corrente di torbida sono chiamati torbiditi. Il flysch eocenico è costituito principalmente da torbiditi, organizzate in strati prevalentemente sottili (Figure 40).

Sulla superficie di alcuni strati sono visibili le tracce del movimento di organismi sul fondale sabbioso (Figure

41). Tali tracce fossili sono chiamate **icnofossili** e a volte non è nota con certezza la natura degli organismi responsabili della loro formazione. Inoltre, queste rocce possono contenere abbondanti frammenti di piante, che rivelano la presenza di un'estesa copertura vegetale sulle vicine terre emerse.

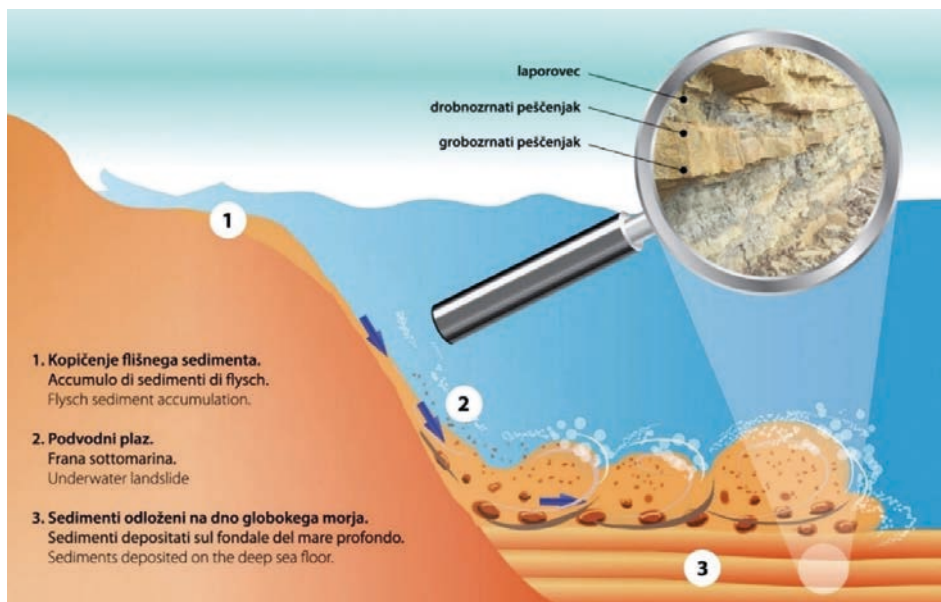


Figura 40: Schema di formazione degli strati di flysch (<https://parkstrunjan.si/presezniki/klif/>)

Figure 41: Tracce fossili di attività di strisciamento di antichi organismi nell'arenaria flysch della costa di Strunjan (Foto: Matevž Novak, Staša Čertalič)



APPROFONDIMENTO

Su quale superficie dello strato si trovano più spesso le tracce di fossili?

Senza pensarci, probabilmente tutti penserebbero che le tracce di fossili si trovino sulla superficie superiore degli strati rocciosi. Ma è davvero così? No. Le tracce di strisciamento sono più spesso conservate nella roccia come "impronte" sulla superficie inferiore dello strato che ha coperto la traccia sullo strato più vecchio (Figura 42). Pertanto, gli icnofossili ci aiutano a determinare la posizione iniziale degli strati verticali.

*Figura 42: Diversi tipi di tracce fossili sulla superficie inferiore dell'arenaria di flysch a Punta Kane presso Izola
(Foto: Matevž Novak)*



5. QUANDO E COME IL TERRITORIO DEL GEOPARCO È DIVENTATO TERRA EMERSA

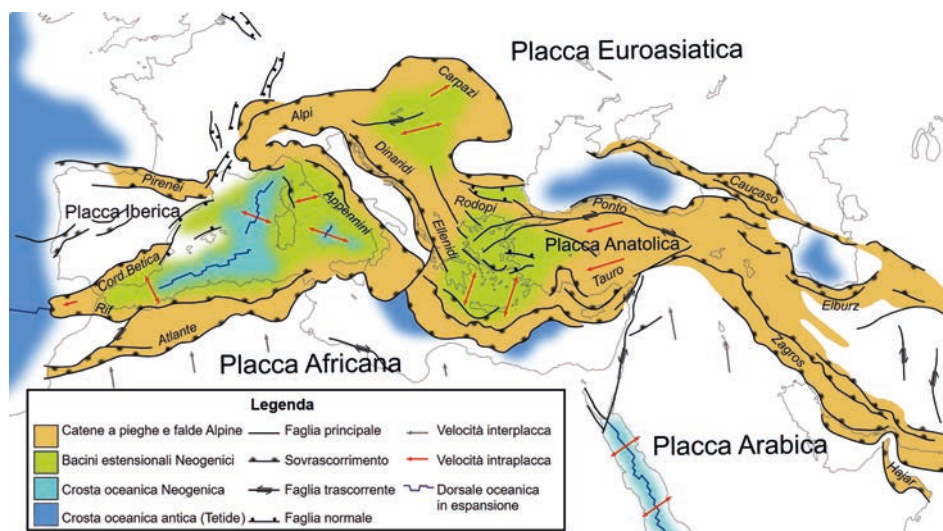
5.1 Processi tettonici che hanno sollevato le rocce della piattaforma carbonatica per farle diventare terra emersa

La morfologia odierna del Carso Clasico deriva da una lunghissima storia di deformazione tettonica avvenuta tramite numerose fasi di formazione delle montagne (dette orogenetiche) che ha coinvolto l'area nel corso degli ultimi 70-80 milioni di anni, a partire dal Cretacico. L'**orogenesi** è un processo dal quale si formano le montagne dovuto alla convergenza di due

placche guidata dalla tettonica delle placche. Queste due placche erano l'Adria (il promontorio settentrionale della placca africana) e la Placca Euroasiatica.

Durante l'**orogenesi dinarica** si è formata la catena montuosa dinarica, la parte meridionale delle Alpi europee, che inizia al confine tra Italia e Slovenia e termina al confine tra Albania e Grecia (Figura 43).

Figura 43: Carta tettonica dell'Europa
(Fonte: Wikipedia)



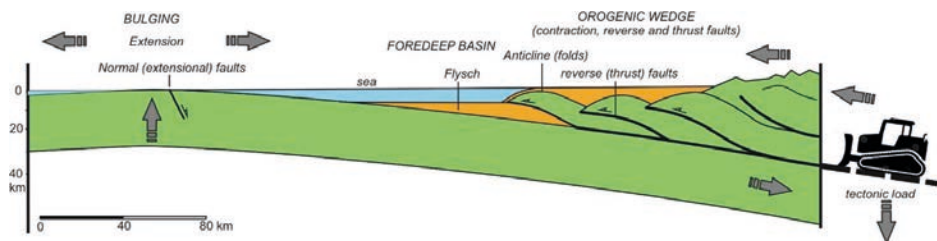


Figura 44: Schema semplificato dell'evoluzione dell'orogenesi dinarica (Schema: Lorenzo Bonini)

L'area del Carso Classico si trova nel settore settentrionale delle Dinaridi. Come accennato in precedenza, le Dinaridi sono il risultato della convergenza tra due placche, durante la quale le rocce della crosta oceanica della Placca Adriatica iniziarono a infilarsi (subdurre) sotto la crosta continentale della Placca Eurasiatica. Si noti che le rocce oceaniche sono più dense delle rocce delle placche continentali. Il processo di creazione di una fascia montuosa raggiunge l'apice quando tutte le rocce oceaniche sono state consumate dalla subduzione e le due placche continentali, ugualmente dense, si scontrano. Ha inizio il processo di incollaggio (accrezione) di porzioni delle placche tettoniche, dove si può immaginare la placca superiore come un bulldozer o uno spazzaneve che strappa alcune

porzioni delle rocce della placca inferiore e le accumula nella sua parte anteriore. Questo fronte è più spesso in prossimità del "bulldozer", cioè in prossimità della placca sovrastante, o placca superiore, e più sottile verso la placca inferiore, raffigurante una sorta di cuneo. I geologi chiamano l'area in cui lavora il bulldozer come "hinterland" e "correlando" il settore in cui si sta dirigendo il cuneo (Figura 44).

Tornando all'area del Carso Classico, possiamo immaginare che un bulldozer inizi a comprimere, piegare e rompere le rocce da nord-est a sud-ovest, creando un cuneo in avanzamento con la sua parte più esterna che è il Carso Classico. Questo bulldozer naturale si muoveva sopra una placca in subduzione a una velocità di pochi millimetri all'anno, ma ha

funzionato per milioni di anni creando la cintura orogenica dinarica.

Nella parte anteriore del cuneo in avanzamento, la placca inferiore si è piegata a causa del carico del bulldozer creando un bacino per i sedimenti derivati dall'erosione di questo enorme cuneo per formare il flysch. Questo processo è terminato 20 milioni di anni fa. Dunque, la struttura geologica dell'area carsica è sostanzialmente la stessa da 20 milioni di anni ad oggi, raffigurante una grande piega asimmetrica, ovvero un'anticlinale (una piega a forma di A).

5.2 L'odierna struttura geologica del Carso

Immaginando di tagliare verticalmente l'area del Carso Classico, se ne può osservare la struttura interna, ovvero l'Anticlinale del Carso (Figura 45).

L'**Anticlinale del Carso** è asimmetrica e significa che un fianco è più ripido dell'altro. Il fianco che immerge verso sud-ovest è più inclinato del

fianco che immerge verso nord-est. La ragione di questa asimmetria è che le rocce sono state spinte da nord-est a sud-ovest. Per comprendere questo processo, si può immaginare di spingere un asciugamano su un tavolo (Figura 46). Quando l'asciugamano viene spinto, le pieghe sono asimmetriche perché la mano spinge in una direzione.

Tornando alle rocce odierne affioranti nell'area del Carso Classico, la **carta geologica** (Figura 47) mostra come al centro dell'altopiano del Carso affiorano le rocce più antiche, ovvero i calcari a rudiste del Cretacico Inferiore e Superiore con livelli di calcari fossiliferi (aree verdi in Figura 47) e spostandosi verso il confine dell'area carsica sono presenti le rocce più giovani (aree arancioni in Figura 47).

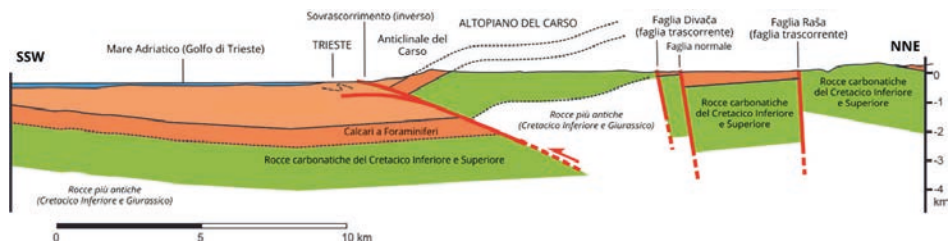




Figura 46: Il meccanismo di formazione di una piega che deforma l'asciugamano

La carta geologica mostra anche delle linee rosse che attraversano l'area. Queste linee rosse sono le faglie principali. In generale le **faglie** rappresentano fratture nelle rocce che si formano in conseguenza di fasi tettoniche compressive o estensionali durante l'evoluzione geologica di un'area.

La carta geologica e la sezione trasversale mostrano una faglia inversa nell'area sud-occidentale che ritaglia la superficie topografica nell'area di Trieste. Questa faglia inversa è anche nota come sovrascorrimento, ovvero una faglia inversa di basso angolo, formata durante l'ultima fase di contrazione dell'orogenesi dinarica insieme all'Anticlinale carsico. Entrambe

queste strutture derivano dalla contrazione delle rocce. Spostandosi verso nord ci sono due faglie principali: le faglie di Divača e del Raša (Figura 49; vedi Capitolo 10). Sono faglie trascorrenti nate però durante una fase tettonica più giovane e tutt'oggi sono ancora attive.

*Figura 45: Sezione geologica del Carso Classico che mostra le principali strutture tettoniche (pieghe e faglie)
(Schema: Lorenzo Bonini)*

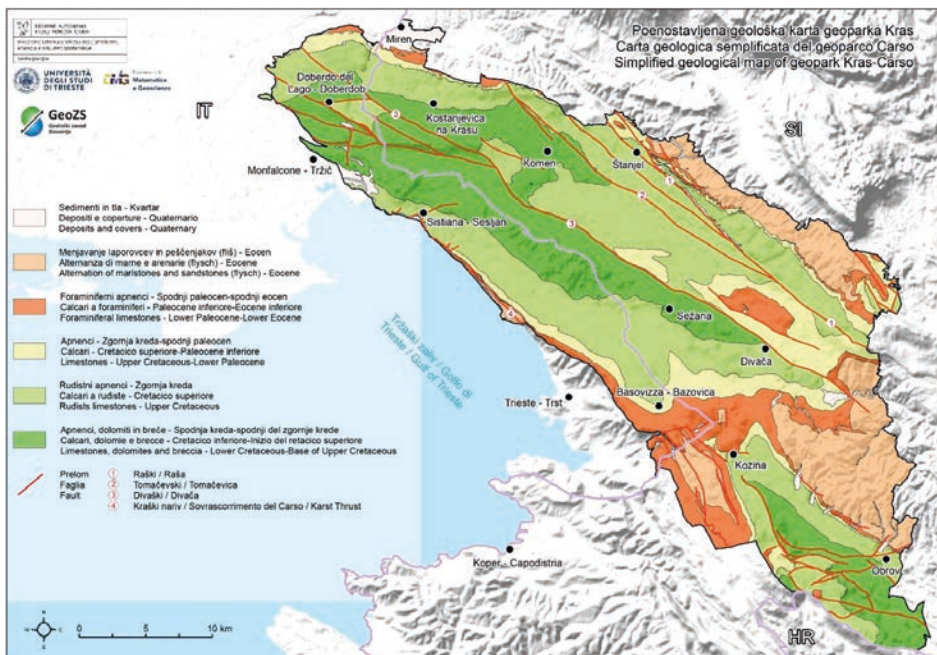


Figura 47: Carta geologica semplificata del Carso Classico (Dati: Geološki Zavod Slovenije (GeoZS), Servizio Geologico RAFVG (SGEO), Dipartimento di Matematica Informatica e Geoscienze - Università degli Studi di Trieste (UNITS))



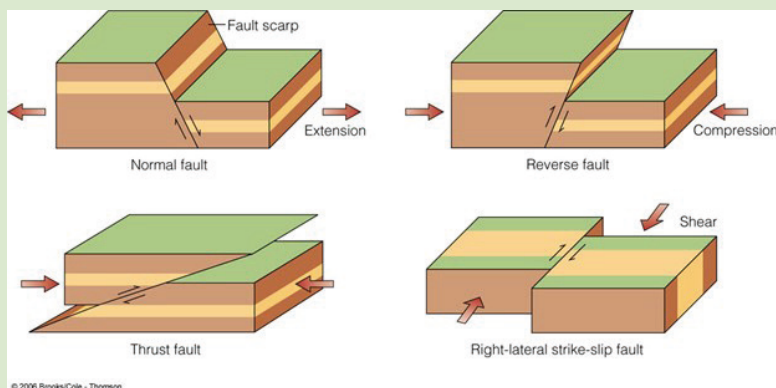
Figura 49: La valle del fiume Raša segue la linea dritta della Faglia del Raša (Foto: Matevž Novak)

SPIEGAZIONE

Tipologie di faglie

Nelle faglie inverse, il blocco roccioso superiore, al di sopra del piano di faglia, si sposta verso l'alto e sopra il blocco inferiore durante la compressione; nelle faglie normali, il blocco al di sopra del piano di faglia si sposta verso il basso rispetto al blocco inferiore durante l'estensione; nelle faglie trascorrenti, due blocchi rocciosi si muovono lateralmente uno rispetto all'altro, lungo il piano di faglia. Una faglia di sovrascorrimento (o, più semplicemente, un sovrascorrimento) è una faglia inversa di basso angolo. Nell'area del Carso Classico esistono tutti e quattro i tipi di faglie (Figura 48).

Figura 48: Tipi di faglie presenti con direzioni di pressione diversamente orientate (Brooks/Cole - Thomson, 2006).



6. CAVE E TIPOLOGIE DI PIETRA NATURALE CARSICA

Le rocce calcaree del Carso sono in genere considerate eccellenti pietre da costruzione e ornamentali. Possiedono ottime proprietà geomeccaniche e la varietà di colorazioni ne consente un uso diversificato in architettura. Mura di pietra, chiese, edifici semplici o imponenti, torri, ponti, lastricati, coperture, statue in pietra calcarea sono quindi alcuni tra gli elementi più riconoscibili del paesaggio culturale del Carso. La compattezza, l'omogeneità, la lavorabilità, consentono inoltre ad artisti e ad artigiani la creazione di opere d'arte "povera" o "ricca", che vanno ad adornare edifici o a valorizzare piazze e case.

In alcune aree del Carso Classico, i processi sedimentari hanno favorito la formazione di rocce particolarmente compatte, omogenee, compatte e poco suddivise dalle quali è stato ed è possibile ricavare blocchi, anche imponenti, adatti a fungere da architravi, colonne portanti, edifici. Così come si ricavavano e si ricavano tutt'ora blocchi, da cui estrarre elementi e oggetti da dedicare ai più svariati usi. Tanto da essere definiti un tempo "marmi" del Carso.

APPROFONDIMENTO

Proprietà mineralogiche e geomeccaniche delle rocce calcaree del Carso

La composizione chimica delle rocce calcaree del Carso vede una percentuale di carbonato di calcio (CaCO_3) maggiore del 98% e una percentuale di carbonato di magnesio (MgCO_3) inferiore all'1% con residuo insolubile in tracce. Il range del peso specifico del calcare può arrivare fino a 2.65 kg/dm^3 , il coefficiente di imbibizione è basso e quello di dilatazione termica è insignificante, i valori di resistenza alla compressione, alla flessione, agli urti, all'usura sono ottimi.

SPIEGAZIONE

La roccia estratta nella cava di Lipica dalla ditta Marmor (che significa marmo) Sežana è davvero marmo?

Il marmo è una roccia metamorfica massiccia che si origina dalla trasformazione di calcare o dolomia ad alte temperature e alte pressioni nella crosta terrestre. Ma abbiamo scritto che il Carso Classico è costituito solo da rocce sedimentarie. Pertanto, il nome Marmor Sežana può essere fuorviante, perché il calcare di Lipica è una roccia sedimentaria carbonatica. Il punto è che il marmo è spesso un nome commerciale usato dagli scalpellini per diversi tipi di roccia. Un esempio simile in Slovenia è il Marmo di Hotavlje, anch'esso una roccia calcarea.

Oggi, diversi tipi di calcare sono sfruttati con nomi commerciali differenti: l'Aurisina Chiara, l'Aurisina Fiorita, l'Aurisina Granitello, il Roman Stone, il Fior di Mare, il Lipica unito, il Lipica fiorito, il Repen, il Repen Classico Chiaro, il Repen Classico Zolla, il Kopriva. Accanto a questi, molti ancora in produzione, si cavavano i calcari tabulari di Komen (Figura 50) la Breccia carsica, la Stalattite, il Nero Gabria.

Dai riscontri sul terreno, dalle fonti scritte e dalla tradizione orale, è apparso che nel 18° e 19° secolo erano più di 400 le cave aperte nel Carso Classico. Le tracce più antiche di estrazione della pietra possono essere trovate nel bacino di Aurisina/Nabrežina, nella parte superiore delle mure della *Cava Romana* (Figure 51 e 52).



Figura 50: Area locale di estrazione ormai abbandonata presso Gaborovica (Slovenia), dove si estraevano i calcari tabulari che venivano utilizzati per le coperture dei tetti e per la pavimentazione (Foto: Bogdan Jurkovšek)



Fin dai primi insediamenti, quasi l'intera popolazione del Carso è stata coinvolta in qualche modo nel processo di estrazione della pietra. La popolazione locale si specializzò nel lavoro nelle cave o nel taglio della pietra, organizzandosi in diversi laboratori di scalpellini. In questa area, fino all'inizio del '900, praticamente ogni famiglia aveva almeno un membro coinvolto in una delle attività e ne ricavava modesti guadagni.

Figura 51: La Cava Romana di Aurisina-Nabrežina in un'immagine d'epoca.

Figura 52: La Cava Romana di Aurisina-Nabrežina: a sinistra gli scavi su versante, in destra gli scavi in galleria (non più attivi) (Foto: Giancarlo Massari)



In quei tempi, nelle cave si lavorava sia al coperto che allo scoperto: si tagliavano i blocchi scavando solchi con i picconi e gli scalpelli, distaccandoli con cunei di legno poi bagnati o con cunei di ferro poi battuti o forzando con lunghe leve di ferro. Per spostare le pietre si usavano bastoni cilindrici, mentre per sollevarli venivano usati dispositivi speciali con diverse pulegge. Per traslarle a distanza, invece, venivano impiegati dei verricelli.

A partire dalla seconda metà del 19° secolo, furono utilizzati esplosivi e polvere da sparo. Agli inizi del 20° secolo, entrarono in uso le perforatrici ad aria compressa e il filo elicoidale, ampiamente utilizzati fino agli anni '80. Negli ultimi decenni, le tecniche più moderne hanno previsto l'uso di fili diamantati o tagliatrici diamantate a catena.

Dopo l'inaugurazione della *Südbahn* o Ferrovia del Sud, la linea che a partire dal 1857 collegava Vienna con Trieste, iniziò il periodo di grande prosperità per le cave del Carso. Aurisina/Nabrežina diventò il più importante centro di lavorazione e distribuzione della pietra proveniente dall'intera area del Carso e anche dalla regione istriana. La cava di Aurisina/Nabrežina fornì la pietra per diversi monumenti famosi, inclusi numerosi palazzi prestigiosi a Trieste (la Chiesa di San Nicolò dei Greci, il Palazzo della Borsa Vecchia, il Castello di Miramare), a Vienna (il Burgthe-

ater, l'Opera di Stato, il Parlamento e il Palazzo Imperiale), la stazione ferroviaria di Milano (1930), di Budapest e di altre città europee, così come l'ingresso del Canale di Suez.

Oggi, nella parte slovena del Carso, due sole società possiedono le concessioni per l'estrazione del calcare. La prima estrae blocchi di pietra in diverse località: Kopriva (*varietà Kopriva*), Doline (*varietà Repen*) e Lipica (*varietà Lipica unito e Lipica fiorito*). L'altra è una piccola azienda che ha una cava a Debella Griža pri Povirju ed estrae la varietà Repen (Figure 54 e 55).

APPROFONDIMENTO

Il Mausoleo di Teodorico con il blocco di pietra di Aurisina/Nabrežina

Fra i blocchi estratti dalla Cava di Aurisina/Nabrežina, quello più famoso è l'*ingens saxum*, la copertura monolitica del Mausoleo di Teodorico a Ravenna (Figura 53), Patrimonio dell'Umanità dell'UNESCO dal 1996. È un unico blocco circolare, con un diametro di 10,76 metri e uno spessore di 3,09 metri, il che significa quasi 300 tonnellate di roccia! Resta un mito della nostra cultura come siano riusciti le operazioni di isolamento del blocco, la movimentazione fino a Ravenna e il posizionamento (intorno al 520 d.C.) sulla struttura decagonale – circolare del mausoleo, anch'essa in pietra di Aurisina e alta una quindicina di metri.

*Figura 53: La parte sommitale del Mausoleo di Teodorico a Ravenna
(Foto: Franco Cucchi)*



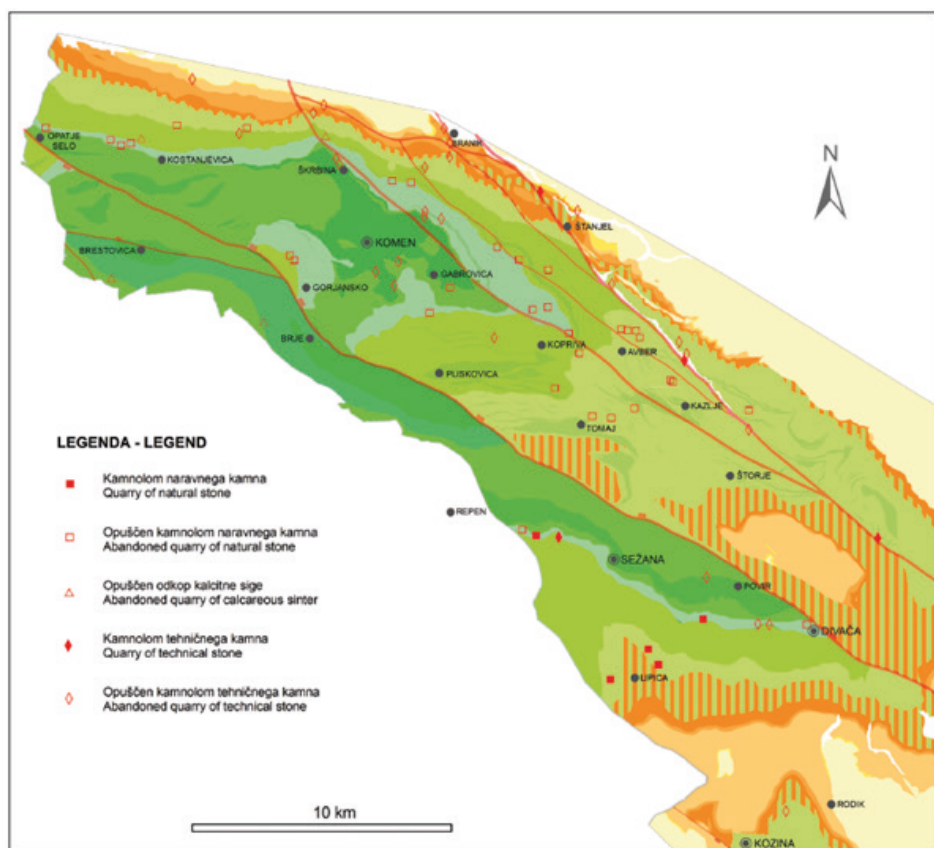


Figura 54: Carta geologica semplificata del Carso con una selezione di cave in funzione e abbandonate (da Jurkovšek et al., 2013)

Per quanto riguarda la parte italiana del Carso, nel bacino di Aurisina c'è una piccola azienda e un consorzio che comprende alcune imprese che sfruttano diverse cave. Il materiale estratto è prettamente locale: *Aurisina chiara*, *Aurisina Roman Stone*, *Aurisina fiorito* e *Aurisina granitello*. Nell'area di Col e Repen una terza azienda estrae le varietà *Repen classico* e *Fior di Mare*.

Figura 55: Alcuni campioni di Lipica fiorito (in alto a sinistra) e di Lipica unito (in basso a sinistra), tratti dalla cava di Lipica (denominati Aurisina Fiorita e Aurisina Chiara), di Repen (in alto a destra) e di Kopriva (in basso a destra) provenienti dalla cava "Doline" (Repen Classico Zolla e Repen Classico Chiaro) e il nero scuro Kazlje (Foto: Matevž Novak, Bogdan Jurkovšek)



Una richiesta per le guide

Poiché oggi, a causa delle tematiche ambientali, l'atteggiamento negativo delle persone nei confronti delle cave è fortemente prevalente, è necessario spiegare ai visitatori che le cave del Carso sono state importanti e devono essere preservate, in quanto l'estrazione fa parte della tradizione e dell'identità della zona. Tuttavia, è necessario tenere conto dell'estetica e della vulnerabilità ambientale dell'area. Le cave abbandonate sono spesso un elemento impressionante del paesaggio culturale, soprattutto quando l'estrazione e la lavorazione della pietra erano l'attività economica principale di un'intera area. Le cave sono spesso percepite come "ferite" nell'ambiente naturale, ma oggi offrono altre possibilità di utilizzo. In tutte le cave in attività e nei depositi potenzialmente interessanti di pietra da taglio e tecnica, l'estrazione dovrebbe essere possibile solo se vengono rispettati elevati standard ambientali. Le cave più piccole dovrebbero essere preservate per consentire un'estrazione limitata di quelle varietà di pietra carsica autoctona adatte al restauro dell'autentica architettura carsica.

7. IDROGEOLOGIA DELL'AREA DEL GEOPARCO

7.1 L'acquifero del Carso Classico

Nelle aree carsiche, l'acqua rimane solo per brevi periodi in superficie. L'estesa rete discontinuità geologiche (fratture, piani di stato, faglie...), allargate e ampliate dal fenomeno carsico, permette una facile infiltrazione e un veloce accumulo delle acque in profondità, dando vita ad uno degli acquiferi più importanti e produttivi dell'intera area mediterranea (un **acquifero** è una formazione geologica permeabile sufficientemente estesa da consentire l'accumulo e il trasferimento di consistenti masse d'acqua).

Simbolo di questo acquifero sono le Grotte di Škocjan e le sorgenti del Timavo, che con la loro portata media di 30 m³/s rappresentano la più importante sorgente dell'area del geoparco.

Come già descritto nei capitoli precedenti, sul Carso Classico sono presenti due diverse litologie: le rocce carbonatiche (calcari e in parte dolomie) e quelle silico-clastiche, qui rappresentate dal flysch (alternanza di marne e arenarie in cui prevale la componente silicatica su quella carbonatica). Queste due unità litologiche hanno proprietà idrogeologiche differenti che influenzano le modalità

di ricarica e di deflusso nell'acquifero. Le prime infatti sono estremamente carsificate, e facilitano l'infiltrazione e il drenaggio ipogeo (alta permeabilità), le seconde invece non sono carsificate, favoriscono la circolazione superficiale e rappresentano una barriera al deflusso sotterraneo (bassa permeabilità).

Osservando la carta geologica (Figura 47), si nota come il flysch sia presente in modo quasi continuo tanto nel settore settentrionale quanto in quello orientale del Carso Classico, quasi circondandolo. La sua presenza è una barriera idrogeologica che favorisce l'accumulo delle acque nei calcari e il deflusso ipogeo verso nord ovest fino al settore in corrispondenza dell'area compresa tra Aurisina-Nabrežina e Monfalcone dove la barriera viene a mancare e le acque sotterranee possono riemergere in numerose sorgenti e riversarsi a mare.

7.2 Il Reka/Timavo

Il fiume Notranjska Reka, chiamato Timavo Superiore in italiano, nasce alle pendici del monte Dletvo al confine tra Slovenia e Croazia. Scorre per oltre 50 km su terreni in flysch finché passa sui calcari circa 7 km ad est delle Grotte di Škocjan. In questo tratto del fiume il carsismo è già sviluppato e il Reka perde parte delle acque che si infiltrano in subalveo, fenomeno particolarmente eclatante nei pressi di Gornje Vreme dove nei periodi di magra tutte le acque del Reka si inabissano e l'alveo a valle è secco.

Quando la portata è superiore a circa $1 \text{ m}^3/\text{s}$ l'inghiottitoio di Vreme non riesce a catturare tutte le acque del fiume e il Fiume Reka prosegue il suo corso verso le Grotte di Škocjan.

Il Reka entra nelle Grotte di Škocjan (sistema ipogeo lungo più di 6 km) a 317 metri s.l.m., attraversa alcune doline di crollo molto profonde e, dopo aver percorso i circa 3,5 chilometri di una gigantesca forra ipogea, scompare nel sifone del Lago Morto a 212 metri s.l.m.

Gli speleologi hanno scoperto ed esplorato numerose cavità, raggiungendo i condotti sotterranei della Reka/Timavo, tra cui le più famose sono il sistema di grotte di Brezno treh generacij (Abisso delle tre generazioni) - Kačna jama (Abisso dei Serpenti), Jama 1 v Kanjaducah (Grot-

ta di Kanjaduce), l'Abisso Trebiciano-Labodnica e la Grotta meravigliosa Lazzaro Jerko.

Lungo la linea di costa da Aurisina-Nabrežina fino all'abitato di Monfalcone, dove il contatto calcari/flysch si trova a quote topograficamente poco elevate e spesso sotto il livello del mare, si osserva la presenza di numerose sorgenti che drenano le acque dell'acquifero del Carso Classico. La principale di queste sorgenti è posta sotto il livello del mare a Ovest della Baia di Sistiana-Sesljan. Nell'area più occidentale tra Doberdò-Doberdob e Monfalcone si osserva un articolato sistema di sorgenti, laghi carsici ed inghiottitoi, che danno vita a un sistema idrogeologico e un ecosistema unico.

Le sorgenti del Timavo rappresentano lo snodo centrale dell'idrogeologia di tutto il Carso Classico, in quanto drenano la maggior parte delle acque che alimentano l'acquifero. In questo punto confluiscono con regimi differenti sia le acque del Reka, sia quelle che provengono dai fiumi Isonzo-Soča e Vipacco-Vipava, sia quelle legate alle precipitazioni dell'intero Carso Classico.

8. RIASSUNTO DELLE PRINCIPALI ECCELLENZE GEOLOGICHE DEL GEOPARCO CARSO-KRAS

Ciascun geoparco dispone e conserva un patrimonio geologico di rilevanza internazionale e valorizza i processi geologici significativi, le caratteristiche, i periodi relativi alle ere geologiche, i temi storici legati alla geologia o le bellezze geologiche eccezionali.

Le principali eccellenze geologiche del Geoparco del Carso-Kras:

- La geomorfologia del Carso, caratterizzata da tutti i tipi di fenomeni carsici superficiali e sotterranei e da una particolare rete idrogeologica, attraverso la quale il Carso Classico ha contribuito alla nascita e allo sviluppo della carsologia, della speleologia e della speleobiologia come discipline scientifiche nel XIX secolo. Infatti, la speleologia moderna (esplorazione e mappatura sistematica delle grotte) ha avuto origine in quest'area, a partire dalla ricerca di un nuovo approvvigionamento idrico per Trieste. Nel 1841 fu raggiunto il corso d'acqua sotterraneo del fiume Reka-Timavo sul fondo dell'Abisso di Trebiciano-Labadnica, a 326 metri di profondità. A causa delle forme distintive del rilievo, i termini locali per i fenomeni carsici, come le parole "Kras", "Carso" e "Karst", così come dolina e polje sono entrati nella terminologia scientifica internazionale.
- L'evoluzione geologica del geoparco si riflette al meglio nelle grotte carsiche formatesi nel sistema idrogeologico del fiume Reka-Timavo. Qui si sono formate le Grotte di Škocjan, un eccezionale sistema carsico con uno dei più grandi canyon sotterranei conosciuti al mondo. Esempi da manuale di doline, ponti naturali, gole, marmitte, doline di crollo, abissi, un canyon sotterraneo, sorgenti e passaggi ricoperti da depositi di pietra fluviale conferiscono a questa piccola area un'importanza mondiale nello studio delle caratteristiche e dei processi carsici. Per la loro importanza naturale e culturale, le Grotte di Škocjan sono state inserite nella lista del Patrimonio mondiale dell'UNESCO dal 1986. Sul versante italiano è notevole, per l'aspetto e le dimensioni anche la Grotta Gigante-Briškovska jama, con la più grande sala naturale di una grotta turistica del mondo.

- La successione sedimentaria, che copre un arco di tempo di quasi 100 milioni di anni: dall'inizio del Cretacico, circa 140 milioni di anni fa (mya), alla metà dell'Eocene, circa 45 mya. Registra il cambiamento delle caratteristiche geologiche su una piattaforma carbonatica marina poco profonda, influenzata dai cambiamenti climatici, dalle variazioni eustatiche del livello del mare e dai movimenti tettonici globali e locali.
- Uno dei dinosauri più completi e meglio conservati al mondo, rinvenuto al Villaggio del Pescatore-Ribiško naselje, e altri vertebrati fossili eccezionalmente ben conservati si trovano nei calcari tabulari delle aree di Komen e Tomaj, insieme a un inventario fossile molto ricco e diversificato di diversi elementi faunistici e floreali.
- L'evento di estinzione di massa Cretacico-Paleogene (Mesozoico-Cenozoico), una delle più devastanti estinzioni di massa avvenute sul pianeta, è registrato in diversi profili nell'area.
- Il paesaggio culturale carsico, fortemente caratterizzato dalla superficie rocciosa e dall'uso della pietra come materiale da costruzione. L'arte dei muri a secco, le conoscenze e le tecniche sono state classificate dall'UNESCO nel 2018 come Patrimonio Culturale immateriale dell'Umanità.

9. SUPPORTO VISIVO

Aggiungiamo un supporto visivo per le guide, basato sulla nostra esperienza in merito alle domande più frequenti che vengono poste dai visitatori curiosi durante le visite geologiche.

Che cosa sono gli anelli presenti in una roccia?

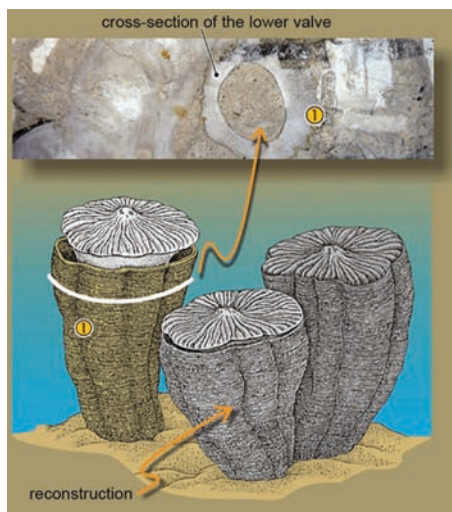
Si tratta di **conchiglie rudiste**. I loro gusci spessi hanno la forma di grandi lettere V o U in sezione longitudinale e di anelli in sezione trasversale. Spesso la superficie esterna è ornata da nervature o sporgenze che danno alle sezioni trasversali la forma di stelle o fiori. Tali sezioni trasversali sono tra le strutture calcaree più riconoscibili del Carso e si trovano anche sulle spiagge della costa orientale dell'Adriatico.

A ovest di Štjak (Foto: Matevž Novak)





Sulla costa adriatica dell'Istria croata (Foto: Matevž Novak)



Ricostruzione di una conchiglia rudista e della sua sezione trasversale nella pietra (Fonte: www.paleourbana.com)

Che cosa sono le strutture reticolari nella roccia?

Anche in questo caso si tratta di **sezioni di conchiglie rudiste**. Una disposizione reticolare dei pori nel guscio della conchiglia è caratteristica di alcuni gruppi di rudiste.

*Lungo la strada Griže-Sela
(Foto: Matevž Novak)*



*Lungo la strada Griže-Sela
(Foto: Matevž Novak)*



Che cosa sono le formazioni di colore scuro nel calcare?

Si tratta di **selci**. La selce è una roccia sedimentaria da micro a criptocristallina (amorfa) composta da biossido di silicio (SiO_2), cioè un tipo di quarzo. Si differenzia dal calcare, in cui si presenta spesso sotto forma di noduli, corpi lenticolari o strati di vario spessore, per l'aspetto vetroso, la frattura a spigoli vivi e, naturalmente, la durezza. Grazie alla sua migliore resistenza agli agenti atmosferici, la selce si distingue solitamente dalla superficie del calcare. Le selci si presentano in diverse colorazioni: bianco, grigio, nero, rosso, ecc. Nel Carso, il grigio e il nero sono i colori più comuni. Molte persone conoscono la selce perché, in epoca preistorica, veniva utilizzata dall'uomo per produrre fuoco e, a causa dei suoi bordi molto affilati, per lame e punte di freccia.

*Veliki dol presso Kazlje
(Foto: Bogdan Jurkovšek)*



*Gabrovica presso Komno
(Foto: Bogdan Jurkovšek)*



Che cosa sono le formazioni cristalline sulla superficie di una pietra?

Si tratta di **cristalli di calcite**, molto comuni nel Carso, così come in altre zone della Slovenia. Essi riempiono discontinuità tettoniche, cavità carsiche o grotte. I rivestimenti di uno o più strati di questi cristalli allungati e prismatici o le formazioni più grandi (speleotemi, come stalattiti, cortine calcitiche ecc.) vi sono probabilmente noti con il nome di **concrezioni calcitiche**. Esse possono formare strati spessi diversi metri. I cristalli sono colorati a causa di varie impurità e della loro concentrazione nella

soluzione acquosa supersatura da cui i cristalli stessi sono precipitati. Nel Carso, la stalattite è stata persino estratta come pietra decorativa in alcune cave, ad esempio a Rusa jama, vicino a Gorjansko. Bellissimi esempi del suo utilizzo sono le lastre superiori della recinzione in pietra del giardino superiore del Castello di Bled e il rivestimento parietale di uno dei piani dell'edificio del Parlamento di Lubiana.

Cava di Lipica (Foto: Matevž Novak)



Cosa sono le superfici striate a gradini di alcune superfici rocciose?

Si tratta di **slickenside (strie cinematiche di faglia)**. Su alcune superfici rocciose sono visibili rivestimenti a strisce bianche o brunastre. Questi rivestimenti minerali, tipicamente a gradini, si formano sui piani di faglia, cioè sulle superfici lungo le quali si verificano spostamenti di blocchi tettonici adiacenti. A causa dell'attrito tra i due blocchi, le superfici sono levigate e spesso ricoperte da un rivestimento di fibre minerali (solitamente

calcite) che si sviluppano durante il movimento. Le slickenside a gradini indicano la direzione relativa del movimento lungo la faglia. Un blocco tettonico che scivola su una superficie di questo tipo scivola parallelamente alle linee, scendendo lungo i gradini.

Cava presso Griža (Foto: Staša Čertalič)



Che cosa sono le linee a zigzag nella pietra?

Le sottili superfici dentellate all'interno degli strati rocciosi sono **suture di stiloliti**. Sono presenti quasi esclusivamente in rocce omogenee a grana molto fine. Si formano in rocce già solide a causa della pressione. Quando i sedimenti più giovani si depositano sullo strato, lo comprimono con il loro peso e lo dissolvono parzialmente. I cristalli di calcite disciolti vengono rimossi dallo strato tramite soluzioni e il residuo insolubile di minerali più duri (ad esempio, minerali di argilla, pirite e vari ossidi), mescolato alla roccia in piccole quantità, forma una superficie bianca o variamente colorata. In sezione trasversale, tale superficie ha l'aspetto di un filo. Nel caso descritto, in cui la forza di compressione agisce perpendicolarmente allo strato, si formano suture di stiloliti parallele ai piani di strato. Tuttavia, la pressione può anche essere il risultato di forze tettoniche che possono comprimere gli strati rocciosi in direzioni diverse. Le suture che si formano in questo modo sono orientate con angoli diversi rispetto ai piani di strato.

*Lungo la strada Griže–Sela
(Foto: Matevž Novak)*

*Cava di Lipica
(Foto: Matevž Novak)*



10. IL PATRIMONIO GEOLOGICO DEL CARSO CLASSICO SLOVENO

Aggiungiamo un supporto visivo per le guide, basato sulla nostra esperienza in merito alle domande più frequenti che vengono poste dai visitatori curiosi durante le visite geologiche.

Il patrimonio geologico è rappresentato da quei luoghi che hanno un interesse scientifico e che permettono di comprendere la storia o l'evoluzione di un territorio. Questi luoghi, chiamati geositi, sono meritevoli di conservazione e valorizzazione e fanno parte di quello che chiamiamo patrimonio naturale cioè di quell'insieme di aspetti biotici e abiotici che contraddistinguono un territorio. Sono stati selezionati sette geositi da una lista molto lunga di particolarità naturali per il loro valore geologico e geomorfologico, presenti all'interno di un registro curato dall'Istituto della Repubblica di Slovenia per la Conservazione della Natura e sono protette dalla legge della Repubblica di Slovenia sulla Conservazione della Natura.

Si tratta di luoghi iconici dove la geodiversità dell'area e il suo valore scientifico vengono esaltati, dove è possibile comprendere i fenomeni carsici e i processi geologici che li hanno formati.

Nel Capitolo 13, viene presentata la mappa e la lista dei geositi presenti all'interno del Carso Classico Sloveno.

10.1 Le grotte di Škocjan e la Grotta Kačna (geositi 53 e 49)

L'evoluzione geologica del geoparco si riflette al meglio nelle grotte carsiche formatesi nel sistema idrogeologico del Reka/Timavo. Esso rappresenta uno dei più grandi spazi ipogei conosciuti, non solo in Europa, ma anche nel mondo.

Le Grotte di Škocjan sono un sistema di grotte lungo 6.550 m e profondo 223 m, composto da undici grotte carsiche, quattro delle quali hanno ingressi separati (Figura 10.1).

Questo sistema carsico è collegato con la superficie attraverso due doline di crollo: la Mala Dolina e la Velika Dolina. La maggior parte delle cavità si sviluppano nei calcari massivi del Cretacico, solo una piccola parte nei calcari stratificati del Paleocene. Le Grotte di Škocjan sono cavità attive, visto che al loro interno scorre tuttora il Reka/Timavo che qui si inabissa. Le grotte sono suddivise in due parti: una parte in cui ancora oggi scorre l'acqua (Šumeča Jama – in italiano grotta “rumorosa”) e una parte in cui l'acqua non scorre più (Tiha Jama – ovvero “silenziosa”). Il fiume, dopo

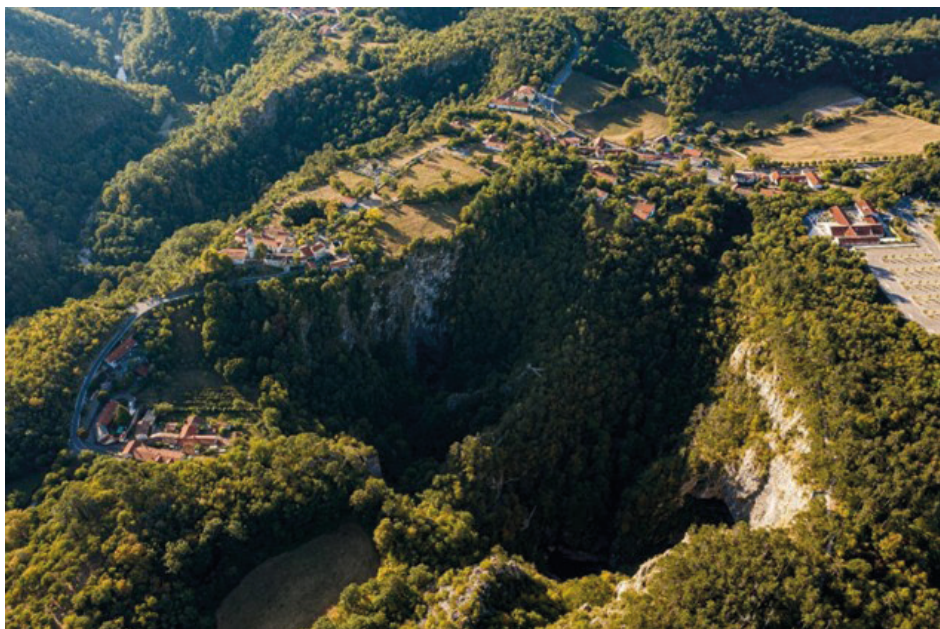


Figura 10.1 – Il fiume Notranjska Reka (Timavo superiore) si inabissa nelle grotte di Škocjan presso i paesi di Škocjan e Matavun. Prima di scomparire all'interno dell'idrostruttura carsica, il fiume è visibile per l'ultima volta sul fondo di due doline di crollo: la Mala e la Velika Dolina (Foto: Matej Blatnik)

aver attraversato le grotte Mariničeva e Mahorčičeva, 80 m al di sotto dell'abitato di Škocjan (317 m s.l.m.), scorre sul fondo della Mala Dolina, passa attraverso un ponte naturale (chiamato Okno = finestra in sloveno) e finalmente si inabissa al di sotto di un punto panoramico sotto la parete della Velika Dolina, profonda 160 m (265 m s.l.m.). Nella parte centrale delle grotte, il fiume scorre attraverso numerose sale e successivamente nel Canale Hanke, che è la galleria più lunga delle grotte di Škocjan.

Ha infatti una lunghezza di circa un chilometro, una larghezza di 10-15 m ed un'altezza che raggiunge i 90 m. È quindi la galleria a canyon ipogeo più grande d'Europa (Figura 10.2).

A valle del Canale Hanke si trovano due grandi caverne. Quella dedicata a Martel (Figura 10.3) è la caverna più grande della Slovenia e la seconda in Europa: è lunga 308 m, larga e alta rispettivamente in media 89 e 106 m, mentre la larghezza e l'altezza massima sono rispettivamente di 123

e 146 m. Complessivamente occupa un volume di 2.550.000 m³. Alla fine della sala Martel, nel lago omonimo, il punto più basso della grotta si trova a quota 214 m s.l.m. La Caverna Martel è collegata da un breve passaggio lungo 9 m e alto 1,5 m con la Caverna Marchesetti, occupata da un lago che termina con un sifone, oltre il quale, negli ultimi 20 anni sono stati scoperti 620 m di gallerie. Nel 2020, in corrispondenza del soffitto della Caverna Martel è stata scoperta una galleria fossile lunga 350 m, collegata direttamente alla superficie mediante l'allargamento di una fessura.

La Grotta Tiha è una parte delle Grotte di Škocjan perennemente asciutta. A causa del difficile accesso dalla Grotta Šumeča, la cavità è stata esplorata relativamente tardi. Ha una lunghezza di 525 m, e si sviluppa tra 340 e 350 m di quota s.l.m. Il pavimento è spesso ricoperto da sedimenti. Attualmente vi si accede da un tunnel artificiale scavato a partire dal fondo della dolina di crollo chiamata Globočak, mentre il passaggio al Canale Hanke avviene attraverso l'omonimo ponte.

Solo 800 m di passaggi non ancora esplorati separano le grotte di Škocjan dalla Grotta Kačna: un'importante cavità che si apre ad ovest di Divača, con l'ingresso posto alla quota di 435 m (Figura 10.4). Ha una profondità massima di 280 m ed uno sviluppo complessivo di 20,5 km su due rami principali che arrivano alle quote di

154 e 290 m s.l.m. Per il suo sviluppo risulta la terza grotta più estesa della Slovenia dopo la grotta Migovec e il sistema della Grotte di Postojna.

La prima esplorazione della grotta è legata sia all'identificazione del percorso sotterraneo del Reka/Timavo che alla ricerca di acqua per approvvigionare la città di Trieste. Il fondo del pozzo di accesso venne raggiunto da Anton Hanke nel 1891, con l'aiuto di esploratori provenienti dai villaggi locali. Va segnalato che già nel 1895, sotto la direzione di Josip Marinitsch, attraverso il pozzo d'ingresso, fu costruito un sentiero per rendere più facile l'accesso alla grotta.

L'ingresso della grotta è sito in corrispondenza del fondo di una grande dolina, della quale si apre un sistema di pozzi paralleli profondi 186 metri che alla fine si riuniscono in corrispondenza del soffitto, alto 60 m, della caverna iniziale. La Grotta Kačna ha due sistemi di gallerie distinte per quota e orientazione. In condizioni idrologiche normali il fiume compare in un sifone vicino alla dolina di crollo "Risnik" alla quota di circa 200 m s.l.m. e scompare in un altro sifone a quota 154 m. In funzione della situazione idrologica, la grotta può essere divisa in tre parti: 1) la galleria sempre attiva, 2) le gallerie che si allagano solo durante le piene, 3) altre gallerie, formatesi seguendo strutture geologiche diverse, che drenano occasionalmente le acque di piena. Durante le piene il livello delle acque nella



Figura 10.2 – Il Canale Handke alto fino a 90 m, il più grande canyon sotterraneo d'Europa, attraversato dal ponte omonimo (Foto: Matej Blatnik)

grotta sale anche di 126 m. La questione del perché le gallerie della Grotta Kačna, se confrontate con quelle delle Grotte di Škocjan, mostrino un'evoluzione differente rimane ancora aperta. Le grotte di Škocjan sono formate da una singola ampia galleria, a sezione ovale, che si allarga e biforca fino a formare un canyon profondo 90 m, mentre la Grotta Kačna è caratterizzata da due livelli di gallerie distinti, che si sono sviluppati a quote diverse. Tutte le cavità in cui si intercettano le acque del Reka/Timavo sono estre-



Figura 10.3 – Con un più di 2,5 milioni di m³ la Caverna Martel è la più grande sala sotterranea della Slovenia e la seconda in Europa (Foto: Matej Blatnik)

mante importanti del punto di vista scientifico e sono chiamate anche le “finestre” sul Timavo perché permettono di vedere e studiare l'acquifero carsico “in situ”. Senza la presenza di queste ed altre finestre, non saremo in grado di conoscere almeno parzialmente i percorsi e le caratteristiche delle acque nei settori intermedi dell'idrostruttura.



Figura 10.4 – Il pozzo d'ingresso della Kačna Jama, profondo 186 metri, che in basso si allarga in una caverna alta 60 m (Foto: Matej Blatník)

10.2 La Grotta Vilenica (geosito 24)

Per lo studio dell'evoluzione geologica (tettonica) e geomorfologica dell'area, le grotte relitte o fossili e quelle senza soffitto (*unroofed caves*) sono di particolare importanza. Esse sono più antiche e si trovano più in alto (nella zona idrogeologica vadosa) rispetto alle grotte in cui ancora scorrono le acque sotterranee. Tra gli abitati di Divača e Sežana si trovano diverse grotte relitte/fossili piuttosto grandi che rappresentano l'antico reticolo di drenaggio dell'acquifero carsico formatosi nella zona idrogeologica allagata, ossia freatica. Durante

il recente innalzamento tettonico del Carso queste cavità si sono trovate "sospese" in zona vadosa e possono, in un certo senso, indicarci l'andamento dell'antico corso sotterraneo del Reka/Timavo, ora abbandonato. Una delle più interessanti grotte di questo tipo è la Grotta Vilenica (Figura 10.5), presso Sežana, una delle più lunghe (841 m) e più profonde grotte del Carso Classico. Ha una profondità di 190 m e il fondo si trova a 227 m al di sopra del livello del mare. Vista la sua posizione tra la Kačna Jama e due nuove grotte "finestra" (Jama 1 v Kanjaducah, Brezno v Stršinkni Dolini), è verosimile che, in corri-

Figura 10.5 – Grotta Vilenica, la più antica grotta turistica in Europa. I turisti hanno potuto ammirare le sue bellezze fin dal 17° secolo (Foto: Matej Blatnik)



spondenza dei suoi rami più profondi, possano tuttora scorrere le acque del Reka/Timavo. Le gallerie adattate per le visite turistiche sono ampie e decorate da bellissime concrezioni.

Infatti la Vilenica è considerata la più antica grotta turistica in Europa e probabilmente nel mondo. Ci sono dei documenti che dimostrano che dal 1633 il Conte Petazzi, proprietario dei terreni, concesse la caverna come feudo alla parrocchia di Corgnale (Lokev), concordando che i guadagni sarebbero stati spartiti tra lui e la parrocchia. La grotta era considerata la più bella e ampia grotta del Carso e il flusso turistico aumentò fino a metà del 19° secolo. A partire dal 1980 la grande sala è stata utilizzata per eventi letterari e a partire dal 1986 è stato istituito il Festival Letterario Internazionale di Vilenica, un incontro di poeti e letterati di tutta Europa, collegato ad un Premio dato ad un autore dell'Europa centrale che abbia ottenuto risultati eccezionali nei campi della letteratura e della saggistica.

10.3 Le valli cieche del Matarsko Podolje: valle cieca Odolina (geosito 61)

Oltre alla particolare valle cieca dove il Timavo superiore si inabissa nelle Grotte di Škocjan, la caratteristica geologica più interessante del carsismo di contatto è la depressione del Matarsko Podolje (Depressione di Materija) situata presso il limite SE del geoparco (Figura 10.6 e Figura 10.7).

I 17 corsi d'acqua superficiali ad andamento parallelo, che scorrono sul flysch che forma i Colli Brkini, in corrispondenza del contatto con i litotipi carbonatici vengono assorbiti da inghiottitoi siti in un'area di circa una ventina di km di lunghezza. Quest'area è la superficie carsificata del Matarsko Podolje, ampia dai 2 ai 5 km. Si tratta di una piana carsica, caratterizzata da bassa pendenza trasversale e longitudinale, la cui genesi è dovuta alla rotazione antioraria della penisola istriana e alla sottospinta che quest'ultima ha dato alla zona in cui è oggi presente la depressione. A causa del sollevamento irregolare dell'area, le valli cieche più profonde si trovano in corrispondenza del margine SE del Matarsko Podolje. Quella di Brezovica è la meno profonda, solo 50 m, mentre quella più profonda, la Brdanska Dana, si approfondisce di ben 250 m al di sotto delle colline calcaree. Il suo fondo si trova 120 m al di sotto delle superficie del Matarsko Podolje. Anche in corrispondenza delle piene, il livello delle

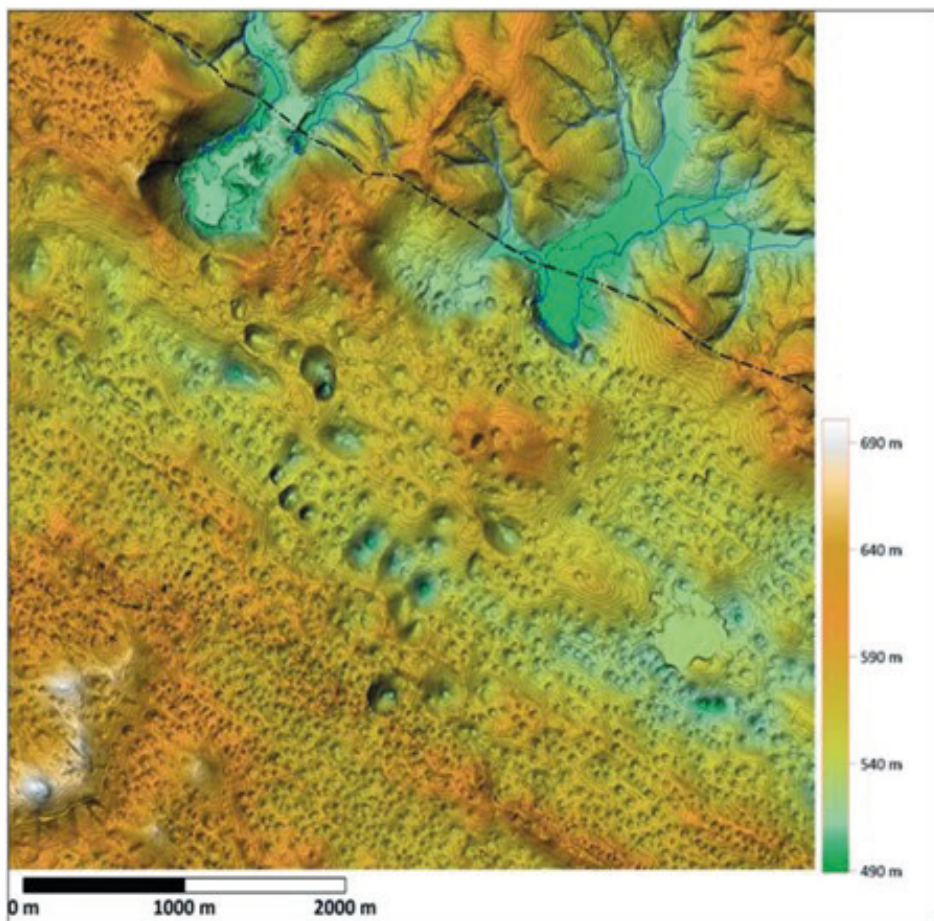


Figura 10.6 – Carso di contatto con le tipiche valli cieche. I corsi d'acqua scorrono in superficie dall'area dei Colli Brkini a NE, su cui affiora la roccia impermeabile del flysch verso le superfici carsiche sub orizzontali del Matarsko Podolje (archivio IZRK ZRC SAZU)



Figura 10.7 – La valle cieca Brezovica è la valle più nord-occidentale, e quindi anche quella più piatta del Matarsko podolje. A sinistra: visione verso NE, verso i Colli Brkini, incisi da corsi d'acqua che scorrono in superficie (Foto: Matej Blatnik); a destra: visione verso SW delle superfici pianeggianti carsificate del Matarsko podolje (Foto: Matej Blatnik)



Figura 10.8 – Il fondo della valle cieca di Odolina è ricoperto da sedimenti quaternari silicoclastici grossolani, derivati dal flysch. Il corso d'acqua viene assorbito con da una cascata in un inghiottitoio profondo 117 m (Foto: Matej Blatnik)

acque carsiche è stato identificato ad elevate profondità, ben al di sotto delle valli cieche. I depositi di superficie, scarsamente consolidati, in queste particolari condizioni, possono dare luogo ad importanti fenomeni di suffusione.

La valle cieca di Odolina (Figura 10.8) è una delle tipiche valli cieche del Matarsko Podolje e una delle due situate all'interno della parte slovena del geoparco. Il corso d'acqua che viene assorbito nella valle drena una superficie di 4,3 km². Nelle vicinanze del contatto con i calcari, la stretta valle fluviale si allarga a formare una valle cieca lunga circa 1 km, ampia 300 m e profonda 60 m. Il fondo della valle è ricoperto da sedimenti silicoclastici grossolani di età quaternaria che derivano dall'alterazione del flysch. In morbida, le acque vengono assorbite immediatamente dopo aver raggiunto i calcari, mentre durante i periodi di piena le acque vengono inghiottite all'interno della grotta Ponikve v Odolini, una cavità profonda 177 m, che raggiunge la zona freatica.

Nella grotta-inghiottitoio della valle cieca di Jezerina non sono stati registrati depositi significativi di sedimenti clastici negli ultimi 12.000 anni, data certa visto che sono state datate le concrezioni calcitiche formatesi al di sopra dei sedimenti alluvionali. Attualmente i sedimenti sono incisi dall'erosione fluviale e doline alluvionali e sinkhole profondi fino a 25 m si sono formati sul fondo della valle cieca.

10.4 I calcari fossiliferi di Tomaj (geosito 34)

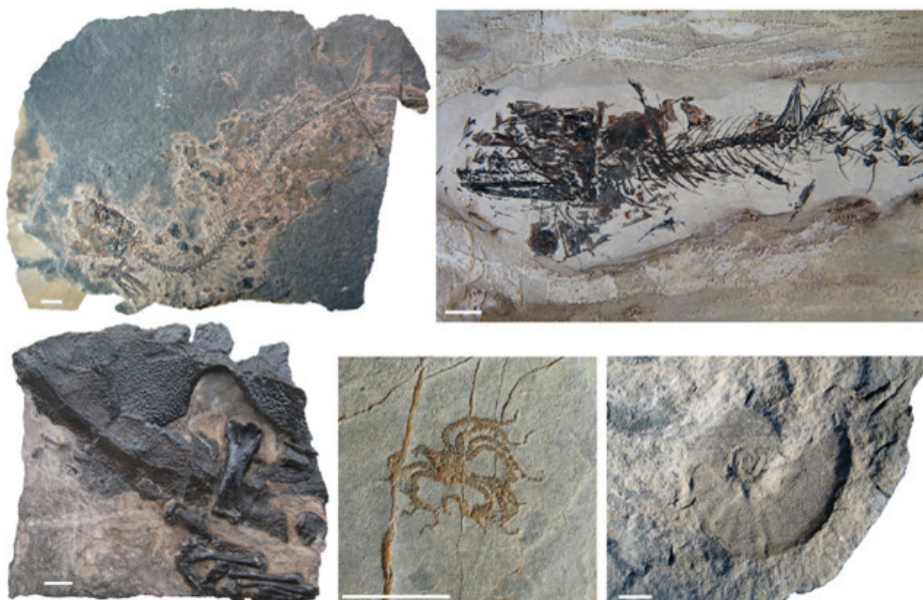
La cava abbandonata di Kazlje, che si apre nei calcari di Tomaj è uno dei più importanti siti con fossili di vertebrati, invertebrati e piante della parte settentrionale della Piattaforma Carbonatica Adriatico-Dinarica della fine del Cretacico. I ritrovamenti paleontologici di questo sito sono stati pubblicati su numerose riviste scientifiche.

Il geosito è situato in una zona boschiva circa 400 m a sud est dal centro dell'abitato di Kazlje. I calcari di Tomaj sono calcari laminati da fittamente stratificati a tabulari di colore scuro, anticamente utilizzati in edilizia, per le pavimentazioni e per la copertura dei tetti. Sono intercalati all'interno dei potenti strati di calcari a Rudiste del Cretacico Superiore che formano le pareti verticali della cava, alte fino a 4 m. Tra gli strati sono presenti noduli e lenti di selce. La presenza di fossili pelagici insieme a piante terrestri dimostra una buona connessione tra il mare aperto e la laguna dove questa roccia si è formata circa 84 milioni di anni fa. In un'area più vasta, sempre all'interno dei calcari di Tomaj, sono stati trovati e descritti nella letteratura scientifica un gran numero e un'ampia varietà di fossili ben conservati, che include piante, ammoniti, pesci, tartarughe, ricci, ofiure, e perfino le impronte dei tessuti molli di meduse (Figura 10.9 e Figura 10.10).



Figura 10.9 – Resti fossili di vegetali rinvenuti nei Calcari di Tomaj. Da sinistra a destra le conifere *Brachyphyllum*, *Araucarites* e *Magnoliaphyllum*. Scala grafica 1 cm (Foto: Bogdan Jurkovšek)

Figura 10.10 – Resti fossili animali nei Calcari di Tomaj. Da sinistra a destra: i pesci *Chirocentrites* e *Enchonodus*, una tartaruga, un'ofiura e un guscio di *Ammonite*. Scala grafica 1 cm (Foto: Bogdan Jurkovšek)



10.5 La cava nei calcari a Rudiste di Lipica (geosito 45)

I calcari di Lipica, una delle tipologie di calcari a rudiste del Cretacico Superiore, contengono numerose varietà di calcari, che differiscono tra loro sia nel colore che nella struttura petrografica. Situata nel settore economicamente più promettente dell'area di affioramento dei calcari di Lipica, sul lato settentrionale della sinclinale omonima, un'ampia piega convessa con l'asse debolmente inclinato verso SE, la cava Lipica 1 (Figura 10.11) si trova a NE del noto allevamento dei cavalli lipizzani. Sia i calcari che la pietra da costruzione derivano il loro nome dal villaggio di Lipica.

Le rocce della Formazione di Lipica si sono formate 85 milioni di anni fa, nelle immediate vicinanze di colonie di rudiste, un tipo di bivalvi che vivevano nelle aree di piattaforma e ai margini del Tetide durante il periodo Cretacico.

Nei pressi del margine occidentale della cava affiorano strati calcarei più recenti e meno corrodibili del Cretacico Superiore–Paleocene Inferiore. Di conseguenza il territorio verso Lipica è meno carsificabile. In questi calcari si trovano intercalati frequenti livelli di carbone, che venne estratto durante il 19° secolo e fino all'inizio del '900.

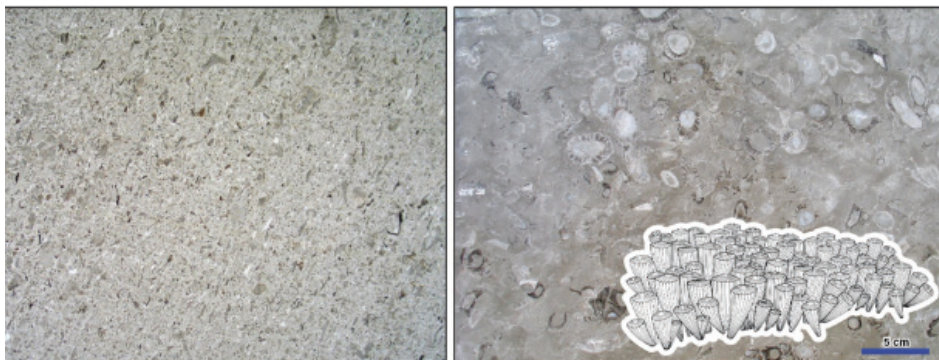
10.6 La Faglia del Raša (geosito 38)

Nella Slovenia sud occidentale, lungo le Dinaridi esterne, sono presenti faglie di interesse regionale con direzione NW-SE. Una di queste è la Faglia del Raša (Figura 10.13) che prende il nome dal fiume omonimo che scorre lungo il bordo settentrionale dell'altopiano del Carso Classico. La faglia ha un andamento pressoché rettilineo a partire dal bordo delle "Alpi meridionali" presso Gemona fino ad Illirska Bistrica e ancora più a sud a raggiungere la catena dei monti Velebit. È una delle faglie lungo cui la microplacca adriatica si sposta lateralmente e verso settentrione al di sotto delle "Alpi meridionali". Sulla base della distribuzione degli epicentri dei terremoti è possibile dedurre che la Faglia del Raša, a sud est del monte Vremščica sia attualmente attiva, mentre la sua attività è meno certa nella zona del Carso Classico e verso il Friuli.

Figura 10.11 – La cava Lipica 1 si trova a NE della nota scuderia di Lipica. In questa cava vengono estratti grandi blocchi di calcare massiccio del Cretacico (Foto: Matevž Novak)



Figura 10.12 – Attualmente nella cava Lipica 1 vengono estratte due tipologie di calcare. La prima, denominata commercialmente “Lipica unito” è un calcare verde oliva chiaro, omogeneo e a grana sia fine che grossolana con fossili o frammenti di fossili di pochi millimetri (a sinistra nell’immagine). Il secondo tipo è composto da una matrice a grana fine che contiene principalmente gusci di rudiste e altri resti fossili di varie dimensioni. Visto il suo aspetto in sezione che ricorda dei fiori il nome commerciale è “Lipica fiorito” (a destra). Oltre alle rudiste tutti e due i tipi di calcare contengono foraminiferi, spicole di spugne e altre parti scheletriche degli organismi dell’ambiente marino caldo e bene ossigenato dell’antica Piattaforma Carbonatica Adriatico-Dinarica (fotografie e disegno di Bogdan Jurkovšek)



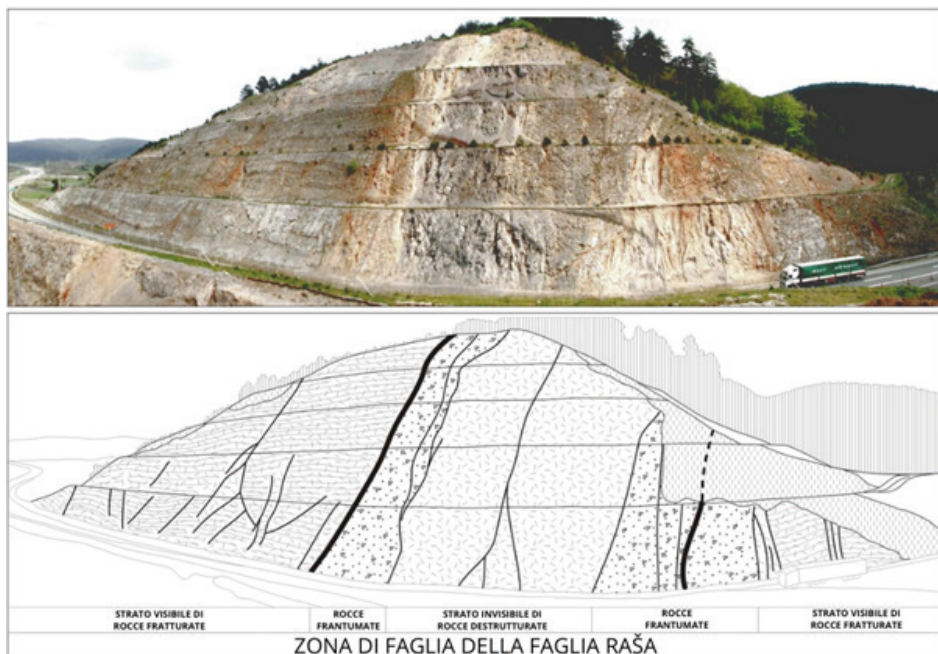


Figura 10.13 – Alle pendici del monte Zajčica, lungo l'autostrada nei pressi di Senožeče è possibile vedere una sezione della zona di faglia ampia almeno 100 m. Dal punto di osservazione lungo il lato opposto dell'autostrada, dove c'è un cartello esplicativo, è possibile notare la tipica zonazione nella deformazione delle rocce tra zona di faglia interna ed esterna. Nella zona interna è presente una fascia di rocce estremamente frantumate (fascia cataclastica seguita da una fascia in cui la roccia è destrutturata e non è più possibile riconoscere la stratificazione). Nella zona di faglia esterna la roccia è frantumata, ma la stratificazione è ancora identificabile. Il blocco tettonico nordorientale (a sinistra) consiste in Calcari a Rudiste del Cretacico Superiore, mentre il blocco sudoccidentale è composto da calcari stratificati del Cretacico Superiore-Paleocene Inferiore (Foto: Ladislav Placer, Bogomir Celarc. Disegno: Ladislav Placer)

11. ITINERARIO GEOLOGICO: da flysch a flysch attraverso l'Anticlinale del Carso lungo il Cammino di Santiago

A cura di: Matevž Novak e Bogdan Jurkovšek

Consulenti esperti: Jernej Jež, Petra Žvab Rožič

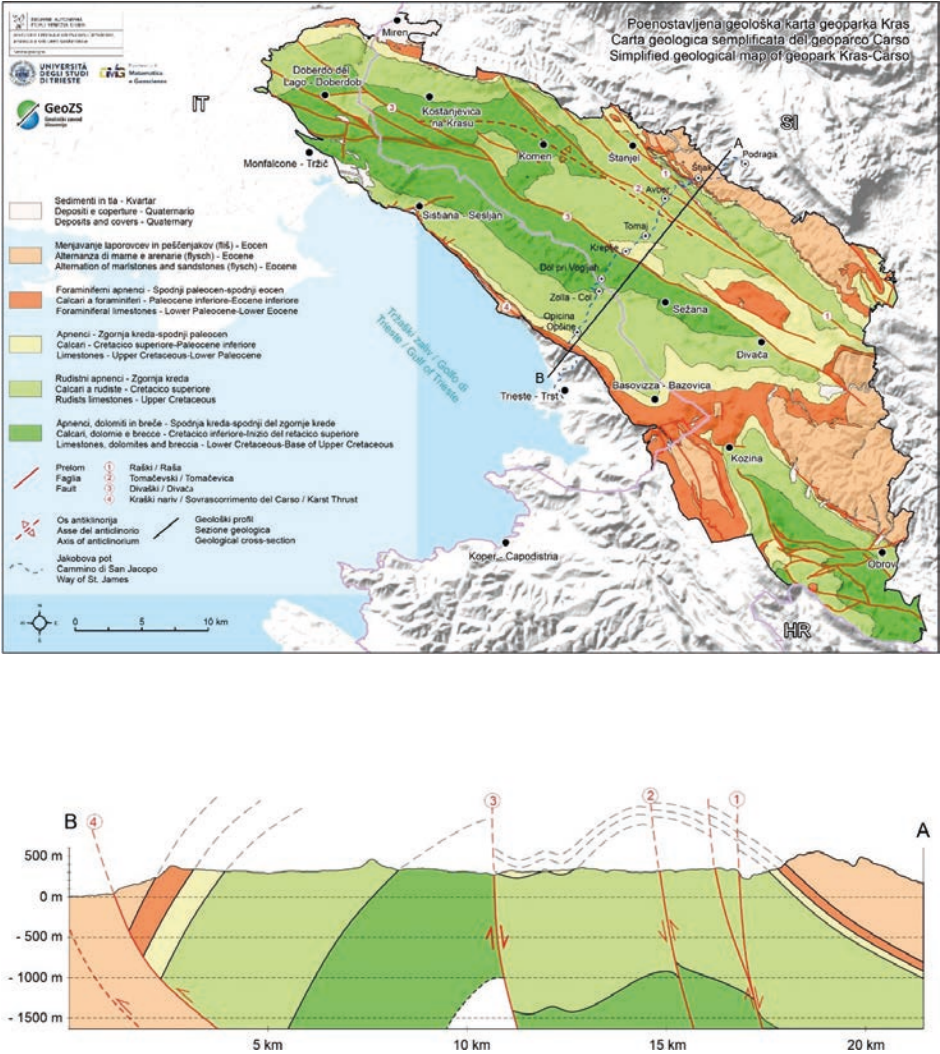
11.1 Introduzione

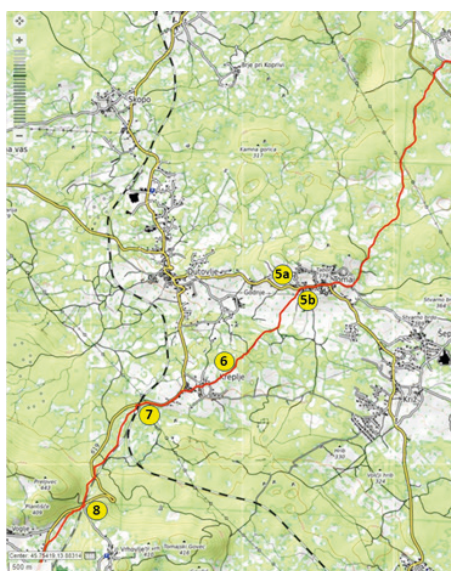
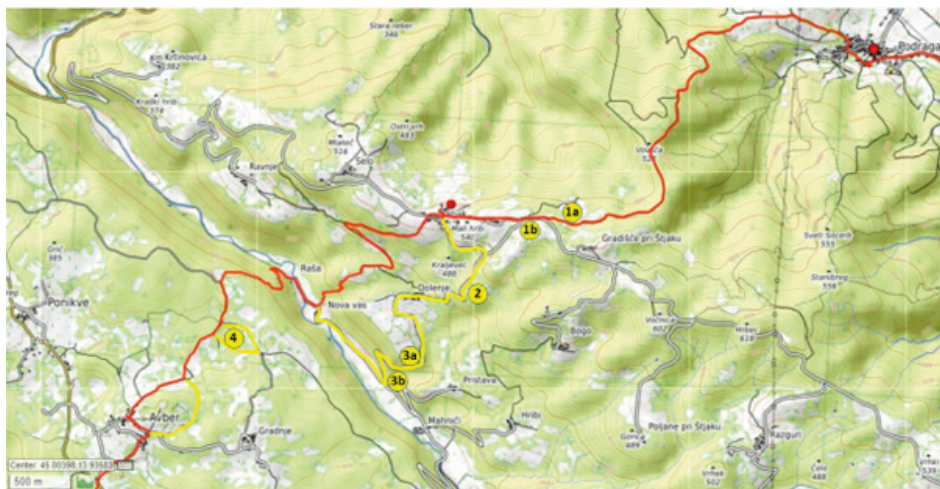
L'obiettivo principale di questo itinerario è quello di far conoscere ai visitatori la struttura geologica su ampia scala del geoparco attraversando l'Anticlinale del Carso dal flysch della Valle del Vipacco al flysch costiero di Trieste. Il modo migliore per offrire ai visitatori una panoramica della simmetria che caratterizza le pieghe anticlinali è attraversare l'anticlinale perpendicolarmente al suo asse. L'itinerario esistente che soddisfa perfettamente questa condizione è il Cammino di Santiago. Il tratto litoraneo (Primorska) di questo sentiero conduce dalle rocce più giovani del flysch che si trovano sul fianco nord-orientale della piega, attraverso le rocce carbonatiche più antiche dell'altopiano carsico al centro della piega, per poi tornare alle rocce più giovani del flysch che si trovano sul fianco sud-occidentale (si veda il percorso tracciato sulla carta geologica in Figura 11.1). Sebbene questo sentiero non attraversi molti dei geositi del geoparco, presenta chiaramente tutte le principali unità geologiche

e molti altri fenomeni legati alla geologia.

Il Cammino di Santiago ha anche altri vantaggi: è un percorso escursionistico transfrontaliero di fama internazionale, è ben segnalato nei tratti in ambiente naturale tramite frecce gialle e segnava con una conchiglia, e nelle Open Street Maps dove i suoi tracciati e i suoi profili sono disponibili online (Figura 11.2 <http://www.jakobova-pot.si/jakobs-way-slovenia/>; <http://www.jakobova-pot.si/jakobova-pot-slovenija-na-zemljevidu/>; http://www.geopedia.si/#T1973_x413196_y66220_s12_b4).

Figura 11.1: Il Cammino di Santiago riportato sulla carta geologica semplificata del Carso Classico e la sezione trasversale geologica. Si noti che la scala della sezione trasversale è esagerata verticalmente di un fattore 2 per mostrare meglio la struttura anticlinale (Mappa adattata da Bensi et al., 2022; sezione trasversale disegnata da M. Novak).





*Dati della mappa da OpenTopoMap.org.
La linea gialla indica le deviazioni dal
percorso del Cammino di Santiago.*



*Il segnavia del Cammino di Santiago con
una conchiglia gialla*

Figura 11.2 L'itinerario con le tappe

Il tratto litoraneo (Primorska) del Cammino di Santiago, che si estende dal villaggio di Štjak a Trieste, copre una distanza di quasi 25 km. Condurre una visita guidata con osservazioni e spiegazioni percorrendo nella sua interezza in un solo giorno potrebbe essere piuttosto impegnativo, se non impossibile. Tuttavia, ogni segmento più breve del sentiero possiede attrazioni geologiche uniche che possono essere esplorate individualmente. In ogni caso, per raggiungere l'obiettivo di presentare ai visitatori la struttura geologica su ampia scala del Carso, è necessario spiegarla nel contesto dell'Anticlinale del Carso. Per aiutare le guide, ecco alcuni supporti visivi con semplici spiegazioni. Per informazioni più dettagliate sui processi tettonici che hanno formato l'Anticlinale del Carso, si veda il Paragrafo 5.2- L'odierna struttura geologica del Carso.

Il modo più semplice per descrivere la formazione di una struttura anticlinale è quello di usare i modelli della Figura 11.3. In questo processo, gli strati geologici, inizialmente depositati orizzontalmente (1), sono sottoposti a forze tettoniche compressive durante l'orogenesi e gradualmente si verifica una deformazione plastica che genera una piega. La piega verticale (convessa) che ne risulta è nota come anticlinale (2), mentre il suo opposto, la piega verso il basso (concava), è definita sinclinale. L'erosione superficiale rimuove gradualmente il "rigonfiamento" e rivela strati più profondi, progressivamente più vecchi dai lembi (fianchi) verso il centro dell'anticlinale (3).

L'intero Altopiano del Carsico Classico è un'enorme piega anticlinale, con l'asse lungo che corre in direzione NW-SE. Questo è il modo più semplice per descrivere ciò che i visitatori potranno osservare durante questo itinerario.

Tuttavia, per un'introduzione più complessa, confrontate la superficie erosa del modello 3 nella Figura 11.3 con la carta geologica semplificata del geoparco nella Figura 11.2. Le unità geologi-

che nella mappa non sono allineate in modo così parallelo e preciso come nel modello semplificato per diverse ragioni. La prima ragione è che l'anticlinale è asimmetrica, il che significa che il piano assiale non è verticale, ma inclinato, con il risultato che un lembo è più ripido dell'altro (Figura 11.4). Nel caso dell'Anticlinale del Carso, il lembo che degrada verso sud-ovest è più inclinato di quello che degrada verso nord-est.

Un'ulteriore asimmetria è dovuta alla linea di cerniera che si immerge, il che significa che la cresta dell'anticlinale è inclinata rispetto alla posizione orizzontale (Figura 11.5). Nel caso dell'Anticlinale del Carso, la linea di cerniera immerge verso sud-est con un leggero angolo. Di conseguenza, le unità geologiche più antiche sono esposte a causa dell'erosione verso nord-ovest.

Tuttavia, il maggior danno alla perfetta simmetria è dovuto al fatto che l'Anticlinale del Carso non è una semplice piega, ma un anticlinorio, denominato anticlinorio di Trieste-Komen. Un anticlinorio è una grande anticlinale ripiegata internamente in pieghe minori, anticlinali e sinclinali. Inoltre, l'intero anticlinorio è sezionato in blocchi tettonici più piccoli con molte faglie ripide, dominate dalle faglie di Divača, Tomačevica e Raša lungo la direzione NW-SE della catena dinarica (vedi Figura 11.1).

Infine, l'Anticlinale del Carso non è qualcosa che è possibile vedere ad occhio nudo, nemmeno da lontano, come da un aereo o da immagini satellitari. Può essere visibile solo attraverso misure strutturali dell'orientamento dello strato roccioso e conoscendo l'età di ogni unità geologica al momento della visualizzazione sulla carta geologica. Pertanto, non dimenticate di avere con voi una copia della carta geologica mentre svolgete la visita.

Figura 11.3: Il processo di formazione dell'anticlinale erosa: 1. Strati rocciosi orizzontali prima della deformazione; 2. Le forze compressive piegano gli strati e si forma un'anticlinale; 3. L'erosione superficiale dell'anticlinale espone rocce più antiche al suo nucleo, mentre rocce più giovani si trovano ai suoi fianchi. Adattato da <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Folds.png>

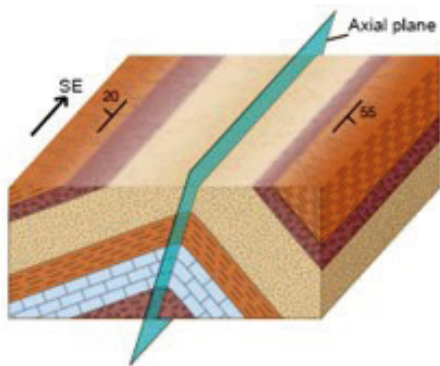
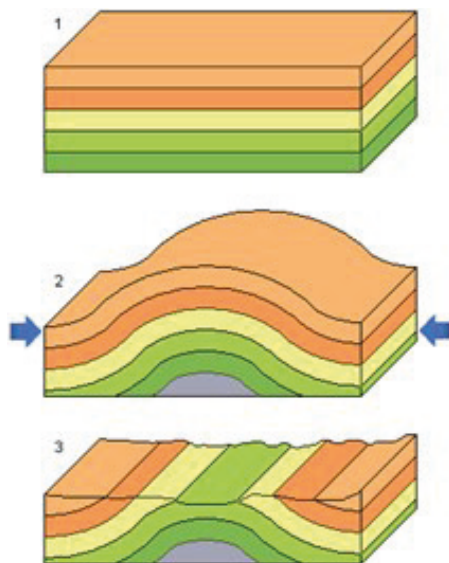
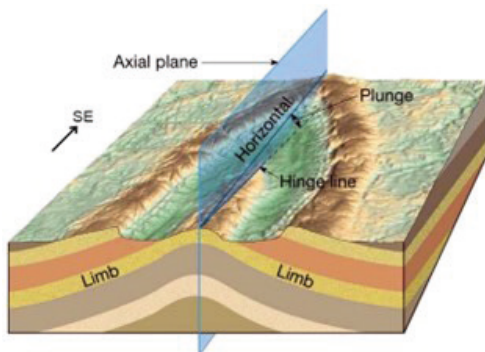


Figura 11.4: Anticlinale inclinata (Thompson Higher Education, 2007)

Figura 11.5: Anticlinale che si inabissa (adattato da Pearson Prentice Hall, Inc., 2005)



11.2 L'itinerario e i punti di osservazione

Il tratto litoraneo (Primorska) del Cammino di Santiago entra nel territorio del geoparco sulla collina di Vovšča (526 m s.l.m.) tra i villaggi di Podraga nella valle di Vipava e Štjak sulla cresta chiamata Vrhé.

Tappa 1 - Flysch presso Štjak

L'intero crinale di Vrhé è costituito da strati di flysch, che su questo versante dell'altopiano del Carso viene chiamato Flysch del Vipava. Il flysch non è una roccia, ma una caratteristica sequenza di alternanza di rocce diverse (si veda il Capitolo 4.5 per la spiegazione della formazione del flysch). In corrispondenza della Tappa 1a (Figura 11.8), si può osservare l'alternanza di sottili strati di marna grigio-brunastra e di arenaria. Gli strati di arenaria sono più duri e di solito sporgono come stretti scaffali di libri, mentre la marna più morbida è quasi ovunque disgregata. Il flysch è tipicamente molto incline all'erosione e spesso forma una spessa copertura del suolo, ideale per vigneti, frutteti e altri tipi di terreni agricoli. Questo si può osservare in tutta la zona di Štjak. Ma questo ha anche degli svantaggi su pendii più ripidi, dove i residui degli agenti atmosferici scivolano facilmente verso il basso. Un resoconto dettagliato di una famosa frana del pendio sopra il villaggio di Podraga, avvenuta nel febbraio 1969, è riportato da D. Radinja (1971). Sotto l'azione

di forze tettoniche compressive, i sottili strati di flysch possono essere piegati plasticamente in strette pieghe su piccola scala o essere completamente frantumati. Tale deformazione è visibile appena sopra la strada principale in corrispondenza della Tappa 1b. (Figura 11.9).

Si noti che gli strati di flysch sono leggermente inclinati verso NE, in quanto costituiscono l'unità più esterna sul lembo nord-orientale dell'Anticlinale del Carso. Il flysch risale all'inizio dell'Eocene, circa 50 mya, ed è quindi la più giovane delle unità geologiche del geoparco, a parte i detriti di falda e i depositi alluvionali del Quaternario. Da qui, il nostro itinerario ci condurrà innanzitutto in un viaggio nel tempo geologico "lungo la colonna geologica" (Figura 11.10) attraverso le rocce sempre più antiche verso il centro dell'Anticlinale del Carso. È anche un viaggio dalle profondità del bacino oceanico verso il mare poco profondo e piacevolmente caldo della Piattaforma Carbonatica Adriatico-Dinarica, ricca di vita.

Da Štjak, il Cammino di Santiago ha due percorsi alternativi per raggiungere la valle del Raša, un sentiero che scende lungo il pendio fino a Nova vas e, per i ciclisti, la strada che attraversa il villaggio di Dolenje. Tutte le unità descritte possono essere osservate su entrambi i percorsi, ma si consiglia di scegliere la strada con rocce meglio esposte nei tagli stradali.

UNA RACCOMANDAZIONE PER LE GUIDE

L'utilizzo di attrezzatura geologica di base

La maggior parte delle rocce carsiche che si trovano sul ciglio della strada non hanno un aspetto particolarmente interessante: calcari piuttosto privi di caratteristiche, con ben poco da mostrare all'osservatore casuale. Per molti geologi, il ricordo dello shock e dell'emozione della piccola scoperta quando hanno guardato per la prima volta attraverso una lente manuale la superficie fresca e umida di un campione di calcare è ancora fresco. Questi tesori non dovrebbero essere tenuti nascosti ai visitatori. Per rendere la loro esperienza geologica più emozionante e le vostre spiegazioni più convincenti, raccomandiamo vivamente l'uso di tre attrezzature geologiche di base: un martello geologico, una lente manuale e una soluzione di acido cloridrico diluito (Figura 11.6).

Il **martello geologico** più comune è chiamato anche martello da roccia o piccone da roccia. La testa smussata del martello viene utilizzata per rompere le rocce e tagliare piccoli campioni per ottenere una superficie fresca da esaminare. L'estremità appuntita del piccone serve solo per fare leggermente leva e scavare in rocce sciolte o esposte agli agenti atmosferici.

Attenzione: il metallo utilizzato per la fabbricazione dei martelli ordinari è troppo fragile e le schegge taglienti possono volare via (un buon motivo per indossare gli occhiali di sicurezza). I martelli geologici sono realizzati in acciaio appositamente temprato.

La **lente manuale**, detta anche *loupe*, consente ai geologi di esaminare le rocce da vicino per identificare piccoli fossili e minerali. Le più comuni sono costituite da una piccola lente d'ingrandimento 10x ripiegata in una custodia di metallo o di plastica. Per usare correttamente la lente manuale, tenetela vicino all'occhio e poi muovete il campione di roccia verso la lente fino ad ottenere una buona messa a fuoco della superficie (Figura 11.7).

Consiglio: Le rocce dovrebbero essere esaminate su una superficie fresca di un campione ottenuto rompendo la roccia con un martello geologico. Bagnare la superficie permette alle strutture fossili e minerali di risaltare chiaramente, anziché perdersi nella sfocatura di una superficie asciutta. La maggior parte dei geologi è abituata a leccare le rocce, ma

in un gruppo di visitatori questo sarebbe un metodo poco appropriato. Si consiglia quindi di utilizzare l'acqua da una bottiglia o, meglio ancora, da un piccolo spruzzino di plastica.

La **soluzione con acido cloridrico diluito (10% HCl)** viene utilizzata per eseguire il cosiddetto test dell'acido per distinguere le rocce carbonatiche più comuni, la dolomia e il calcare. Utilizzando un piccolo flacone dosatore (una bottiglia con contagocce), si applica una goccia di HCl al 10% sulla superficie di una roccia fresca e si osserva il rilascio di bolle di anidride carbonica. Le bolle indicano la presenza di minerali carbonatici come la calcite e la dolomite. La reazione vigorosa distingue il calcare dalla dolomia, che reagisce molto debolmente o non reagisce affatto. Ecco un suggerimento: l'aceto domestico può essere un "acido" sicuro, economico e facilmente ottenibile per identificare calcite e dolomite. L'aceto è un acido acetico diluito (dal 5% al 10% circa) che produce una debole reazione con la calcite nel calcare.



Figura 11.6: Attrezzatura geologica di base (Foto: M. Novak)

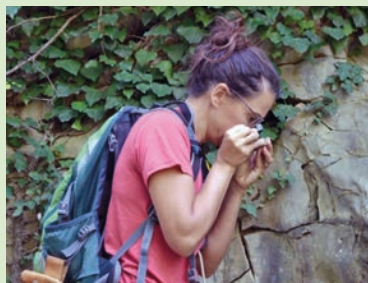


Figura 11.7: Il modo corretto di utilizzare una lente manuale (Foto: M. Novak)



Figura 11.8: Strati di flysch in leggermente inclinati, costituiti da alternanza di arenarie e marne, in corrispondenza della Tappa 1a. (Foto: M. Novak)

Figura 11.9: Strati di flysch intensamente piegati e frantumati in corrispondenza della Tappa 1b (Foto: M. Novak)



Il passaggio dall'ambiente sedimentario marino poco profondo al bacino profondo del flysch è stato graduale e quindi, dopo aver lasciato Štjak, è possibile osservare l'alternanza di orizzonti di strati calcarei spessi, calcari marnosi e strati di flysch. Questa unità litostratigrafica viene chiamata "Strati transizionali".

Tappa 2 – Calcarei a foraminiferi presso Dolenje

Dall'ultima curva a gomito sulla strada che precede Dolenje, fino al villaggio, si può osservare un calcare grigio chiaro o grigio, per lo più a strati indistinti. Spesso è possibile scorgere molti piccoli fossili sulla superficie erosa dagli agenti atmosferici, anche a occhio nudo. Tuttavia, per esaminare questi microfossili nel loro pieno splendore, dobbiamo iniziare ad utilizzare l'attrezzatura geologica descritta in precedenza. Staccate un piccolo pezzo dallo strato di calcare o dalla roccia sciolta, bagnate la superficie fresca e guardate attraverso la lente. Nella maggior parte degli esemplari saranno visibili numerose strutture di grande bellezza. La maggior parte di queste sono gusci calcarei di foraminiferi (si veda il Paragrafo 3.2). Appartengono o ai piccolissimi miliolidi, che assomigliano a piccoli fiori di rosa bianchi (Figura 11.11), o a uno dei gruppi di foraminiferi più grandi, gli alveolinidi, che assomigliano a piccoli palloni da pallavolo bianchi (Figura 11.12), o ai nummulitidi, che assomigliano a piccole labbra (Fi-

gura 11.13) (si veda il loro aspetto al microscopio nelle Figure 17 e 18).

Su una superficie rocciosa esposta agli agenti atmosferici, i nummulitidi hanno un rilievo positivo (emergono dalla superficie), mentre gli alveolinidi e i miliolidi hanno un rilievo infossato (sono incisi al di sotto del livello di superficie). Ciò è dovuto alla diversa composizione dei loro gusci. Gli alveolinidi e i miliolidi hanno gusci calcarei porcellanati (parete a tre strati di calcite ad alto contenuto di magnesio con cristalli di calcite aghiformi orientati in modo casuale che formano uno spesso strato centrale, la "porcellana"), mentre i nummulitidi hanno gusci ialini formati da piccolissimi granuli di calcite a basso o alto contenuto di magnesio che si incastrano tra loro. Poiché l'intervallo stratigrafico di molte specie di foraminiferi è molto breve, esse vengono utilizzate per dare un'età relativa alle rocce in cui si trovano. Sulla base dei foraminiferi osservati, questi calcari sono caratterizzati da assemblaggi globulari dominati da alveolinidi, che rappresentano i livelli inferiori (più vecchi) dell'unità calcarea foraminifera del tardo Paleocene-inizio Eocene.

Con un po' di fortuna, nello stesso taglio stradale si possono trovare blocchi di altri piccoli fossili come coralli ramificati, briozoi e corallinacei (alghe rosse), dasycladacei (alghe verdi). Lungo il margine NE del Carso, questi organismi, insieme a bivalvi, gasteropodi ed echinodermi, formano corpi

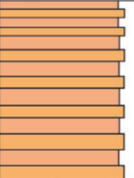
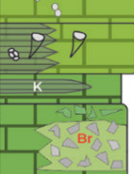
Età		Litologia	Tappe Itinerario	Unità lito-stratigrafiche	Colonna litologica	Ambiente sedimentario	Spessore [m]		
PALEOGENE	EOCENE	Alternanza di marne e arenarie (flysch)	①	Flysch		Bacino di avanfossa	>400		
			⑫	Stati transizionali		pro-delta			
	PALEOCENE	Calcarei a foraminiferi	②	Calcarei a milioliti e alveoline-nummuliti		Piattaforma esterna	80-450		
		Calcarei	⑥	Formazione liburnica		Paralico marino	30-450		
CRETACICO	CRETACICO SUPERIORE		Calcarei a rudiste	⑤	Calcarei di Aurisina		paleo carsismo	500-1000	
				③			Formazione di Lipica		Piattaforma esterna
				④			Formazione di Sežana		Piattaforma peritidale
				⑩					Piattaforma peritidale
	CRETACICO INFERIORE	Calcarei, dolomie e brecce	Faglia Divača	⑦	Calcarei di Repen		Piattaforma peritidale	350-1100	
				⑨			Formazione di Repen		Piattaforma peritidale
				⑧			Formazione di Povir		Paleo carsismo sopratidale
				Calcarei di Monte Coste		Laguna interna			
				Formazione di Brje					

Figura 11.10: Numeri delle Tappe lungo l'itinerario tracciate accanto alla colonna geologica del geoparco (Br - breccia, K - calcare di Komen, T - calcare di Tomaj) (da Jurkovšek et al., 2016 e Consorti et al., 2021)

lenticolari di calcare corallino-algale massiccio di colore grigio chiaro o bianco, che si origina da piccole scogliere nella parte interna della Piattaforma Carbonatica Adriatico-Dinarica poco profonda.

Non lontano da Dolenje, attraverseremo la successiva unità geologica più giovane, i calcari di età compresa tra il Cretacico superiore e il Paleocene. Questa unità, che corrisponde alla Formazione Liburnica, è meglio esposta nei dintorni di Kreplje, per cui la esamineremo alla Tappa 6.

Tappa 3 – Il calcare a rudiste e la zona della Faglia del Raša sui versanti della Valle del Raša

Nel punto in cui la strada proveniente da Dolenje svolta verso ovest, essa taglia un lungo tratto di calcare grigio (Tappa 3a). Da lontano si possono osservare strutture scure simili ad anelli. Si tratta di sezioni trasversali di conchiglie rudiste, uno dei fossili più comuni e caratteristici del geoparco (per le descrizioni si vedano il Paragrafo 3.1 e il Capitolo 8). Dapprima si vedono soprattutto frammenti di conchiglie, ma proseguendo lungo la strada i gusci sono perfettamente conservati (Figura 11.14). Una tale abbondanza di conchiglie rudiste è

Figura 11.11: Foraminiferi miliolidi su una superficie levigata (Foto: B. Jurkovšek)





*Figura 11.12: Foroaminiferi alveolinidi
su una superficie levigata
(Foto: B. Jurkovšek)*

*Figura 11.13: Calcare con alveolinidi
(a sinistra) e nummulitidi dei generi
Assilina e Operculina (a destra)
(Foto: M. Novak)*



caratteristica di due sole unità lito-stratigrafiche, le Formazioni di Lipica e Repen, che corrispondono alle formazioni di Aurisina superiore e Zolla nella parte italiana del Carso. Tuttavia, le rudiste della Formazione di Repen sono diverse e molto più grandi (si veda la Tappa 9a). Le sezioni trasversali di quelle che osserviamo in questo punto presentano spesso protuberanze spinose o bitorzolute, tanto da assomigliare a fiori o stelle. Sono tipiche della Formazione di Lipica del tardo Cretacico (hanno un'età di circa 85 milioni di anni). Si noti anche che gli strati calcarei sono ancora inclinati verso NE, rivelando che ci troviamo ancora nel margine nord-orientale dell'Anticlinale.

Più ci avviciniamo alla Valle del Raša, più gli strati di calcare si presentano fratturati e, in prossimità della base del pendio sono intensamente fratturate. Stiamo entrando in una zona di faglia larga quasi 100 metri, la Faglia del Raša. Quando la strada raggiunge la Valle del Raša, vediamo che la valle si sviluppa quasi rettilinea in direzione NW-SE. Questa è la direzione delle cosiddette strutture dinariche, che sono il risultato della fase orogenetica dinarica (si veda il Paragrafo 5.1 e il Capitolo 10). Dal punto in cui ci troviamo (Tappa 3b; Figura 11.15), la Faglia del Raša può essere rilevata in direzione NW, attraverso Kobdilj e Štanjel, nella Val Branica e più avanti nell'area friulana, e in direzione SW fino a Senadole e a sud di Vremščica fino a Ilirska Bistrica, e probabilmente oltre i

monti Velebit. Ma come si presenta e cosa fa questa faglia, così ben evidente nella morfologia della superficie? Immaginate di osservare il modello tridimensionale sotto i vostri piedi. Vedreste gli strati calcarei fortemente fratturati della Formazione di Lipica, tagliati da una superficie piana quasi verticale, inclinata di circa 80° verso NE. Questa superficie è il piano di faglia principale della Faglia del Raša. Immaginate ora di osservare questo processo nel passato. Vedreste che l'intera regione dall'altra parte del piano di faglia si sposterebbe davanti a voi verso destra. Se doveste saltare dall'altra parte del piano di faglia, la regione sul lato opposto si sposterebbe ugualmente verso destra. Le faglie che spostano due blocchi in questo modo sono chiamate faglie trascorrenti destrorse (o destrali). La Faglia del Raša è considerata una struttura tettonica attiva, il che significa che potrebbe scatenare un terremoto in qualsiasi momento.

In corrispondenza della Tappa 3b, lasciamo l'itinerario ciclabile del Cammino di Santiago, che prosegue verso Mahnič, e svoltiamo bruscamente verso Nova vas, tornando sul sentiero segnalato. La Faglia del Raša nella Valle del Raša corre lungo il suo margine sud-occidentale e in alcuni punti taglia anche le parti sporgenti dei pendii sud-occidentali. È questo il caso di Avberska reber, tra Nova vas e Raša, dove il sentiero ci conduce su per il pendio.

Figura 11.14: Strati calcarei, ricchi di conchiglie rudiste in corrispondenza della Tappa 3a (Foto: M. Novak)



Figura 11.15: L'espressione morfologica della Faglia del Raša nella Valle di Raša in corrispondenza della Tappa 3b (Foto: M. Novak)



Tappa 4 – Le cave abbandonate di Avber

Quando raggiungiamo l'altopiano, troviamo le indicazioni per il percorso "*Pot kavadurjev*". *Kavadur* è il nome locale di un cavatore che, in condizioni difficili e con attrezzature manuali e semplici, frantuma i blocchi di pietra e li prepara per la successiva lavorazione. Questo percorso circolare di 5 km ci porta a visitare alcune delle 15 piccole cave o *jave*, come le chiamano i locali, che operavano nei dintorni del villaggio di Avber tra la Prima e la Seconda Guerra Mondiale (qui la mappa con i punti di osservazione: https://www.avber.eu/pot_kavadurjev.html). Oggi sono per lo più invase dalla vegetazione e in molte di esse rimangono soltanto grandi cumuli di pietre sciolte (chiamate *grīže* dalla gente del posto) a testimonianza dell'attività estrattiva.

Si consiglia di seguire le indicazioni per il *Pot kavadurjev*, poiché il suo tratto orientale è pressoché coincidente con il Cammino di Santiago, con solo brevi deviazioni, e ci porterà ad Avber. In corrispondenza della nostra Tappa 4 (che corrisponde al punto 3 del *Pot kavadurjev*) esamineremo le varietà di calcare presenti nei resti dello scavo di Plavišče.

Vedrete che la struttura del calcare è la stessa della tappa precedente e troverete anche conchiglie di rudiste. Ci troviamo ancora nella Formazione

di Lipica. Tuttavia, il colore del calcare che vediamo qui è di un grigio molto più scuro, quasi nero. Questo tipo di calcare, chiamato anche calcare di Kazlje o calcare di Avber, si trova nell'area più ampia tra Ponikve, Avber, Gradnje e Kazlje. Si è formato in lagune chiuse o ai loro margini, occasionalmente povere di ossigeno, dove si è conservata una grande quantità di materia organica, finemente dispersa tra i granuli del sedimento. È questa mescolanza che conferisce al calcare il suo colore scuro. Rompendolo con un martello geologico si sente un forte odore di bitume. Nella maggior parte dei casi si tratta di calcare uniformemente cristallino composto da gusci di rudiste completamente frantumati, frammentati in granuli di dimensioni millimetriche. Tuttavia, alcuni strati contengono conchiglie di rudiste ben conservate (Figure 11.16 e 11.17). Si tratta degli stessi tipi di calcare dei loro cugini più chiari, che sono ancora ampiamente estratti nelle grandi cave di Lipica. Il primo è noto come calcare "uniforme" o "unito", mentre il secondo, le cui sezioni di rudiste assomigliano a fiori, è chiamato calcare "rosato" o "fiorito" (cfr. Capitolo 10).

Per la sua rarità, le sue ottime proprietà e il suo valore decorativo, questa pietra calcarea viene utilizzata principalmente come pietra da rivestimento per piccoli elementi decorativi nelle chiese (altari, pilastri, statue) e negli edifici nobiliari. L'interno



Figura 11.16: Sezione trasversale di una colonia di rudiste proveniente dall'area a nord-est di Kazlje (Foto: B. Jurkovšek)

della chiesa parrocchiale di Sant'Elia (1823) nel villaggio di Kopriva ne è un buon esempio.

Figura 11.17: Lastra levigata di calcare di Avber con una specie rudista Eoradiolites avberi proveniente da Gradnje (Foto: B. Jurkovšek)



Lungo il percorso da Avber a Tomaj non noteremo grandi differenze nelle rocce. Camminando sull'Altopiano del Carso, possiamo ammirare il paesaggio carsico più caratteristico, un terreno accidentato punteggiato da doline e attraversato da muretti a secco. Ma qualcosa di importante sta per cambiare. A circa metà del percorso verso Tomaj, gli strati di calcare raramente affioranti cambiano orientamento. La loro leggera inclinazione verso SW ci dice che ora ci troviamo dall'altra parte dell'anticlinale, sul suo margine sud-occidentale. Abbia-

mo attraversato il piano assiale (cioè, il centro) dell'anticlinale circa 400 metri a sud della strada principale tra Ponikve e Dobravlje, ma questo è impossibile da vedere sul terreno. Nell'introduzione all'itinerario si legge che al centro dell'anticlinale si trovano le rocce carsiche più antiche. Ma se guardiamo la colonna geologica, vediamo che la Formazione di Lipica è ancora lontana dalla base. Non preoccupatevi, una faglia (tettonica) ci porterà presto lì.

Tappa 5 – Calcarei tabulari presso Tomaj

Sul pendio della collina su cui poggia Tomaj, entriamo in un'unità geologica molto particolare, il calcare tabulare di Tomaj. Il calcare tabulare è un calcare a strati sottili, generalmente di colore scuro, bituminoso, laminato e a grana fine. Gli strati hanno in genere uno spessore compreso tra 1 e 10 cm. La laminazione è una struttura sottile all'interno degli strati, costituita a sua volta da microstrati (~ 1 mm di spessore).

Una delle caratteristiche del calcare tabulare di Tomaj è la presenza di selce, di solito sotto forma di noduli, lenti o strati sottili (cfr. Capitolo 8). È facilmente riconoscibile per la sua lucentezza cerosa, per la frattura conchoidale (a forma di conchiglia) con bordi molto affilati e per il suo rilievo rispetto alla superficie del calcare esposto agli agenti atmosferici. Un altro buon modo per distinguere la

selce dalle altre rocce (carbonatiche) che la circondano è quello di effettuare un semplice "test del graffio". La selce non solo graffia il vetro, ma lascia un graffio anche su un martello geologico in acciaio. Un'altra caratteristica del calcare di Tomaj è il suo ricco e diversificato contenuto fossile, rappresentato da rettili marini, pesci, ammoniti, crinoidi planctonici senza gambo e macroflora (cfr. Paragrafo 4.2 e Capitolo 10).

Il calcare di Tomaj si presenta in corpi sedimentari spazialmente limitati (lenti e orizzonti), con spessori che vanno da pochi metri a 40 metri, all'interno di altri calcari a strati spessi (cfr. Paragrafo 4.2). Poiché non ci sono buoni affioramenti per studiare il calcare di Tomaj lungo il nostro itinerario, ci occuperemo di questo calcare e del suo significato architettonico in due attrazioni del patrimonio culturale.

Il calcare tabulare è probabilmente uno dei materiali da costruzione più antichi dell'area del Carso Classico. In passato, nella zona erano attive molte piccole cave, ma spesso la popolazione locale si limitava a raccogliere le lastre di calcare in superficie utilizzando picconi e leve, che venivano poi utilizzate per la costruzione di muri a secco, coperture e pavimentazioni. Le lastre utilizzate per le coperture avevano solitamente dimensioni comprese tra 15 x 20 cm e 30 x 35 cm e uno spessore compreso tra 2 e 5 cm. Uno degli esempi più belli di edificio

Figura 11.18: Chiesa della Vergine Maria a Tomaj (Foto: M. Novak)



sacro, rivestito con lastre (*škrle* nella lingua locale) di calcare di Tomaj, è la Chiesa della Vergine Maria (Figura 11.18), a un passo dal nostro sentiero (Tappa 5a). Questi esempi di architettura carsica autoctona sono in grave pericolo.

A causa delle norme di sicurezza e di altri regolamenti relativi alle attività di estrazione, nonché alla conservazione della natura, l'uso tradizionale della pietra non è oggi possibile. Le sfide per ristrutturare o costruire una casa in modo tradizionale sono molteplici, tra cui la mancanza di conoscenze su come farlo, le restrizioni legali e l'accesso legale ai materiali da costruzione. Per questi motivi, la pietra da costruzione è spesso usata in modo inappropriato o sostituita da pietre non autoctone e altri ma-

teriali. Gli elementi architettonici in pietra caratteristici di questi edifici sono spesso danneggiati, distrutti o in decadenza. La perdita di questo patrimonio edilizio in pietra è una minaccia significativa per il paesaggio culturale carsico.

Lasciando Tomaj, passeremo davanti a un'altra struttura in pietra di importanza culturale. Il muro a secco, costruito in pietra calcarea di Tomaj, con laminazioni ben visibili e lenti di selce (Tappa 5b; Figura 11.19). L'arte dei muri a secco, le conoscenze e le tecniche sono state classificate dall'UNESCO nel 2018 come Patrimonio Culturale immateriale dell'Umanità.

I terreni coltivati a sud di Tomaj devono la loro fertilità al calcare di Tomaj. I suoi residui atmosferici, la terra

Figura 11.19: Noduli e strati scuri di selce nei blocchi laminati di calcare tabulare di Tomaj in un muretto a secco, in corrispondenza della Tappa 5b (Foto: M. Novak)



rosa, sono particolarmente adatti alla coltivazione della vite. Quando il sentiero lascia i campi, incontriamo una nuova unità geologica.

Tappa 6 – Calcarei del limite Cretacico-Paleogene presso Kreplje

Il calcare da grigio a grigio scuro, per lo più ben stratificato, non differisce molto dal Calcare di Tomaj, e il cambiamento passerebbe facilmente inosservato se non fossimo attenti. Solo un esame accurato ci porterà a scoprire che in questi calcari non ci sono selci. Ma ci sono fossili che rivelano la vera natura di questi calcari. È possibile trovare strati con sottili conchiglie di rudiste, ma sono più comuni quelli con numerose conchiglie di altri gruppi di molluschi (bivalvi e lumache). Tuttavia, il calcare ben stratificato della Tappa 6 (Figura 11.20) nasconde minuscoli rappresentanti di un gruppo fossile molto interessante. Per trovarli, staccate un pezzo, bagnate la superficie e guardate con la lente manuale. Vedrete molti piccoli cerchi con bordi più scuri. Se siete fortunati, potreste anche trova-

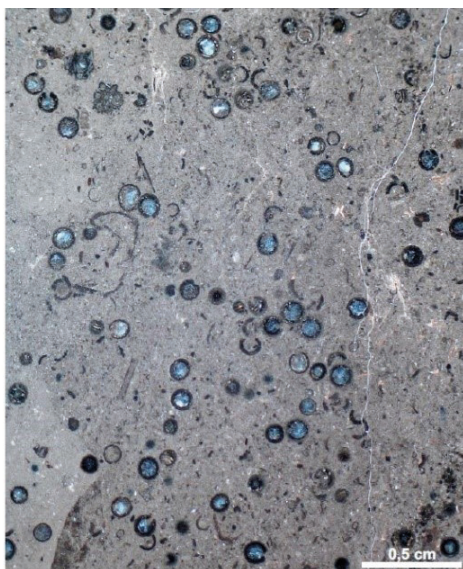
re questi fossili naturalmente lisciviati dalla superficie esposta agli agenti atmosferici. In questo caso si può vedere la vera forma ovoidale di questi fossili con creste contorte a spirale (Figura 11.21). Sono organi riproduttivi di alghe verdi della famiglia delle Characeae, equivalenti ai semi delle piante terrestri. Si fossilizzano attraverso le loro oospore calcificate, chiamate Girogoniti. È interessante notare che le alghe caracee vivevano in ambienti d'acqua dolce e salmastra. Lo sappiamo dai loro parenti viventi, comunemente noti come nitelle perché possono incrostarsi di calce. In effetti, i calcari della Formazione Liburnica si sono depositati in un'alternanza di ambienti marini poco profondi, salmastri e d'acqua dolce. In alcuni punti del Carso, come nel Vremski Britof, i resti carbonizzati della macroflora delle fasi di sedimentazione d'acqua dolce e salmastra hanno portato alla formazione di strati di carbone.

Il calcare studiato della Formazione Liburnica ha un'età compresa tra il tardo Cretacico e il primo Paleogene (circa 65 milioni di anni). Ciò significa



Figura 11.20: Calcare a strati della Formazione Liburnica in corrispondenza della Tappa 6 (Foto: M. Novak)

Figura 11.21: Girogoniti carbonatiche liscivate naturalmente sulla superficie del calcare carbonatico (a sinistra) e lastra di calcare levigata con girogoniti (a destra) (Foto: B. Jurkovšek)



che ci stiamo allontanando dal centro dell'anticlinale verso le unità geologiche più giovani. Si noti anche che gli straticalcarei si immergono verso SW, confermando che ci troviamo effettivamente sul margine sud-occidentale dell'anticlinale.

Tappa 7 – La Faglia di Divača presso Kreplje

All'ultima curva della strada prima del sottopassaggio ferroviario di Kreplje, il nostro viaggio geologico prende una svolta drastica. Mentre ci avviciniamo, gli strati di calcare sono intensamente fratturati e, quando arriviamo alla curva, negli affioramenti rocciosi completamente frantumati non è più visibile alcuna stratificazione (Figura 11.22). Se ricordate come si presentava la zona di faglia della Faglia del Raša in corrispondenza della Tappa 3, ne riconoscerete facilmente la somiglianza. Siamo nella zona centrale di fratturazione della nuova grande struttura tettonica, la Faglia di Divača. E, come se il sottopassaggio ferroviario fosse una sorta di macchina del tempo, quando lo attraversiamo, ci troviamo su rocce del Cretacico Inferiore che sono di 45 milioni di anni più antiche. Che cosa è successo? Sebbene la Faglia di Divača sia oggi una faglia trascorrente destra (a scorrimento laterale destro), come la Faglia del Raša, in origine, si era formata come faglia normale durante l'Eocene, prima della formazione dell'anticlinale (si veda la spiegazione nel Paragrafo 5.1). Le

loro zone tettoniche indebolite sono state riattivate nel movimento laterale in tempi relativamente recenti, in una fase tettonica nota come Neopalina, al passaggio tra Miocene e Pliocene ("solo" circa 5 mya). Durante il periodo di fagliazione normale, l'intera "metà dell'odierno Altopiano del Carso" nord-orientale si è abbassata di diverse centinaia di metri rispetto alla metà sud-occidentale. Così, attraversando la Faglia di Divača, ci troviamo a "salire" raggiungendo i calcari e le dolomie del Cretacico Inferiore della Formazione del Povir, che si trovano circa 1.440 metri più in basso nella colonna stratigrafica. Se questo è difficile da capire, ricordiamo che stiamo camminando sulla superficie di un'anticlinale, la cui sommità è stata rimossa dall'erosione. Per avere la Formazione Liburnica su un lato della faglia e la Formazione del Povir, molto più antica, sull'altro lato, allo stesso livello, il blocco tettonico nord-orientale si è dovuto abbassare notevolmente.

Sebbene la simmetria spezzata dell'Anticlinale del Carso sia in gran parte colpa della Faglia di Divača, è anche grazie a questa faglia che potremo vedere alcune delle rocce più antiche del Carso, ricominciando il viaggio dal centro dell'Anticlinale verso la sua unità geologica più esterna sul lembo sud-occidentale.



Tappa 8 – Calcarei, dolomie e brecce del Cretacico Inferiore sulla sella del Prelovec

Camminando verso la sella (Preval) di Prelovec, si osservano affioramenti di calcare grigio-olivastro da medio a scuro, a stratificazione moderatamente ben distinta. Localmente, sono presenti sottili pacchetti e strati di dolomia bituminosa grigio scuro.

Nel punto in cui il sentiero raggiunge la strada sopra la sella, c'è una piccola cappella in pietra e ai lati di essa si vedono rocce con una superficie bitorzoluta. Osservando più da vicino si nota che i grumi sono pezzi di roccia angolari, cementati insieme da una matrice a grana fine (Figura 11.23). Questa roccia sedimentaria a grana grossa è chiamata breccia. Se si

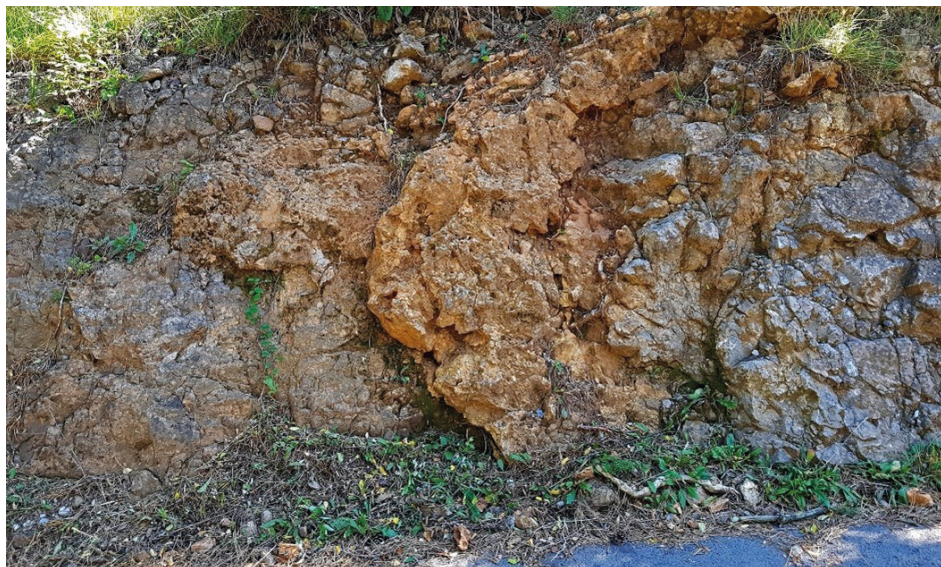
Figura 11.22: Calcare intensamente fratturato nella zona tettonizzata della Faglia di Divača alla Tappa 7 (Foto: M. Novak)

rompe il blocco con un martello, si vedrà una superficie grigio-giallastra. Come si fa a capire se si tratta di calcare o di dolomia? Ricordate il test dell'acido dell'introduzione? Una goccia di soluzione con HCl al 10% non produrrà alcuna bolla sulla superficie fresca, dimostrando che questi pezzi di roccia sono dolomia. Uno strato di breccia dolomitica di questo tipo si trova nella Formazione di Povir al limite tra Cretacico Inferiore-Cretacico Superiore (con un'età di 100 milioni di anni) che attraversa tutto l'Altopiano del Carso. La sua origine è interpretata come tettonica e diagenetica, formata da diverse fasi di fagliazione tettonica. La parte inferiore della Formazione di Povir e l'unità di breccia



Figura 11.23: Breccia dolomitica in corrispondenza della Tappa 8 (Foto: M. Novak)

Figura 11.24: Caratteristiche paleocarsiche in corrispondenza della Tappa 8 (Foto: M. Novak)



dolomitica corrispondono rispettivamente al Calcare di Monte Coste e alla Formazione di Monrupino.

In corrispondenza di questa tappa c'è un'altra caratteristica molto interessante. Osservate il taglio stradale all'inizio della stretta stradina superiore, che si dirama dalla strada principale e porta a Vrhovlje. L'orizzonte di breccia dolomitica grigia è tagliato da diverse vene spesse, quasi verticali, di materiale giallastro. Si trovano pezzi di dolomia intrecciati a concrezioni calcitiche (Figura 11.24; vedi anche Capitolo 8). Si tratta chiaramente di un fenomeno carsico. Ma in questo caso la dissoluzione carsica non è avvenuta di recente, bensì nel passato geologico. Fenomeni come il riempimento delle antiche cavità carsiche con sedimenti e concrezioni calcitiche (speleotemi) sono chiamati paleocarsici. Poiché questi fenomeni potevano verificarsi esclusivamente sulla terraferma, essi rivelano periodi di basso livello del mare, quando alcune parti della Piattaforma Adriatico-Dinarica erano emerse (cfr. Paragrafo 4.1). È con questa tappa del nostro viaggio nel passato geologico che ci siamo avvicinati di più a mettere la testa fuori dall'acqua.

Il Cammino di Santiago prosegue attraverso gli strati prevalentemente dolomitici della Formazione superiore di Povir e attraversa il confine con l'Italia. Sul versante italiano, il sentiero sul terreno non è segnalato, quindi dobbiamo seguire le tracce sulla mappa.

Tappa 9 – Calcare a rudiste nei pressi di Col

Circondata da dolomia, la cima del colle Tabor, su cui si erge la splendida Rocca di Monrupino, è costruita con calcare proveniente dalla parte più bassa dell'unità dei Calcari a rudiste. È chiamata Formazione di Repen in Slovenia e Membro di Zolla del Calcare di Aurisina in Italia. Poiché le caratteristiche geologiche di questo calcare e la vista panoramica dalla Rocca sono descritte nel manuale italiano (vedi Tappa 4 dell'Itinerario

*Figura 11.25: Calcare Repen nella statua in corrispondenza della Tappa 9a
(Foto: M. Novak)*



2), ci limiteremo a menzionare la statua della vedetta che si trova sotto le mura (Tappa 9°; Figura 11.25).

Nel calcare da cui è stata ricavata questa statua, è possibile riconoscere il familiare gruppo fossile dei bivalvi rudiste. Tuttavia, se confrontiamo le loro sezioni trasversali e longitudinali con quelle che abbiamo visto nel calcare di Lipica, sono molto più grandi. Insieme alle conchiglie molto più sottili e scure di altri bivalvi (per lo più appartenenti alla specie *Chondrodonta joannae*; cfr. Paragrafo 3.1), conferiscono a questo calcare grigio chiaro un aspetto così caratteristico che è facile riconoscerlo ovunque lo si veda. E lo si vede spesso, perché è ampiamente utilizzato come pietra ornamentale per pavimenti e rivestimenti, sia all'interno che all'esterno. Si chiama Repen o Repen Classico Zolla, dal nome del paese sotto la collina del Tabor. Grazie alla sua struttura a grana finissima, è una delle pietre naturali più resistenti del Carso e viene quindi estratta in numerose cave proprio in questa zona. Molte cave non sono più in funzione.

Si consiglia di percorrere la strada meridionale oltre il Cimitero di Monrupino per visitare i Torrioni di Monrupino-Repentabor, interessanti dal punto di vista geologico, descritte nella Tappa 3 dell'Itinerario italiano 2. Tornando sulla strada principale che attraversa il paese di Col, poco prima del bivio, si trova un lungo affioramento di calcare di Repen. I suoi stra-

ti immergono dolcemente verso SW, come ci si aspetterebbe trovandoci sul lembo sud-occidentale dell'anticlinale. Dirigendosi verso sud, si attraversa rapidamente la stretta fascia della Formazione di Repen, che in questa zona non supera i 500 metri di spessore. La tappa successiva è già nella formazione più giovane dell'unità dei Calcari a rudiste. In Slovenia è chiamata Formazione di Sežana, mentre in Italia costituisce la parte inferiore del Calcare di Aurisina. Questo calcare è ancora più conosciuto del Calcare di Repen e la Tappa 9b, le Cave di Col, è dedicata ad alcuni dei numerosi siti di scavo. Per una spiegazione si veda la Tappa 3 dell'Itinerario italiano 2.

Tappa 10 – Calcari a rudiste presso Opicina-Opčine

Seguendo il Cammino di Santiago lungo la strada principale che porta a Opicina-Opčine, si incontrano numerose esposizioni di calcare della Formazione di Sežana. Di solito forma strati di medio o grande spessore, piuttosto poveri di fossili di grandi dimensioni; le conchiglie rudiste, quando sono presenti, sono per lo più frammentate. Si possono studiare meglio nei tagli stradali dei due sottopassaggi della ferrovia (Figura 11.26).

Subito dopo l'ultimo sottopassaggio ferroviario, siamo circondati dalle rocce della parte più recente dei calcari a rudiste. Le conoscete già. Ap-

partengono alla Formazione di Lipica. E così torniamo alla più antica delle unità geologiche, che abbiamo incontrato al centro dell'Anticlinale del Carso spezzata a NE dalla Faglia di Divača. Qui appaiono nel lembo sud-occidentale e sono seguite, come in un'immagine speculare del lembo nord-orientale, dai calcari più giovani della Formazione Liburnica, dall'unità del Calcare a Foraminiferi e dal Flysch, tutti già noti. Non presteremo molta attenzione alle prime due unità, poiché gli affioramenti sono rari a causa delle infrastrutture della città.

Tappa 11 – Calcari ad Alveoline-Nummuliti nei pressi dell'Obelisco di Opicina-Opčine

Gli strati di calcare su cui si erge l'obelisco di Opicina-Opčine sono pieni di punti bianchi. Esempi ancora più belli di questa roccia si trovano nella roccia lavorata dagli agenti atmosferici che circonda l'obelisco (Figura

11.27). Osservando con attenzione si riconoscono subito i foraminiferi alveolinidi, gli stessi che abbiamo visto in corrispondenza della Tappa 2. Sono accompagnati da piccole nummuliti lenticolari. Siamo quindi tornati nella parte inferiore del Calcare ad Alveoline e Nummuliti, dove le nummuliti non hanno ancora raggiunto grandi dimensioni.

Citiamo un'altra roccia che si offre al nostro esame sotto forma di bassi pilastri di pietra intorno all'obelisco. Sono costituiti quasi interamente da frammenti di conchiglie rudiste. Conferiscono un aspetto molto caratteristico al calcare che conosciamo con il nome di Calcare di Aurisina. Questo calcare appartiene alla parte superiore dell'unità, corrispondente alla Formazione di Lipica. Era già stato estratto dai Romani nella famosa Cava Romana ad Aurisina-Nabrežina, non lontano in direzione NW. (cfr. Paragrafo 4.2 e Capitolo 6).

Figura 11.26: Calcare della Formazione di Sežana con l'orizzonte di conchiglie rudiste frammentate in corrispondenza della Tappa 10 (Foto: M. Novak)



Tappa 12 – Strati di transizionali e flysch lungo la strada per Terstenico-Trstenik (Monte Radio)

Per studiare adeguatamente le rocce che concluderanno il nostro emozionante viaggio geologico, dobbiamo deviare dal percorso del Cammino di Santiago. Invece di scendere a Trieste, prendiamo la Via Bonomea verso ovest, fino a Terstenico-Trstenik (Monte Radio). Nel lungo taglio stradale seguiamo il Calcare ad Alveoline e Nummuliti. Gli strati ben distinti immergono con relativa inclinazione di circa 40 gradi verso SW (Figura 11.28). Questo ci dice che ci troviamo nella parte inferiore del lembo della nostra anticlinale - guardate il Modello 11.2 per vedere che gli strati sono orizzon-

tali al centro dell'anticlinale. La stessa unità geologica è esposta lungo la Strada Napoleonica ed è descritta nella Tappa 6 dell'Itinerario italiano 2, a circa 4 km a NW da qui.

Dove il pendio si appiana, gli strati di calcare finiscono improvvisamente e appare un nuovo tipo di roccia. Siamo al contatto con le marne grigio-giallastre. Negli ultimi strati calcarei, cioè i più giovani, si trovano belle sezioni longitudinali di grandi nummulitidi. Come nella Tappa 1, la marna è fratturata e fortemente alterata. Le superfici esposte agli agenti atmosferici sono quasi bianche (Figura 11.29). Ci troviamo in corrispondenza dell'unità degli Strati di transizione. Assomigliano già a flysch, ma non ci sono



Figura 11.27: Strati di Calcare ad Alveoline e - Nummuliti e dettaglio di una superficie esposta agli agenti atmosferici (Foto: M. Novak)





*Figura 11.28: Strati di Calcare superiore ad Alveoline e Nummuliti lungo la Via Bonomea con grandi nummuliti
(Foto: M. Novak)*

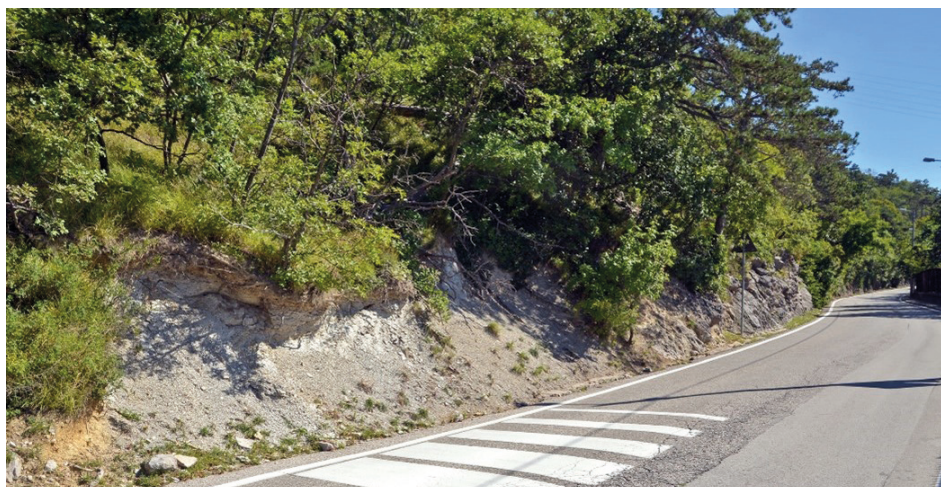


*Figura 11.29: Marne di transizione al contatto con il Calcare a Foraminiferi
(Foto: M. Novak)*

strati di arenaria tra le marne. Questa unità è molto sottile e discontinua in questa parte del Carso. Proseguendo lungo il pendio, gli affioramenti sono molto rari, ma qua e là spuntano i tipici strati di arenaria del flysch e la maggior parte dei muri in pietra è costituita da blocchi di flysch. Il cosiddetto Flysch triestino costituisce quasi tutta l'area costiera del Golfo di Trieste.

La fine dell'affascinante viaggio geologico

Siamo tornati al punto di partenza del nostro viaggio geologico. Anche se il percorso non è stato circolare, ma piuttosto rettilineo, la struttura quasi simmetrica dell'Anticlinale del Carso ci ha riportato alla stessa unità geologica. Ripensando a come siamo riusciti a determinare l'età di ciascuna unità geologica, si scopre un affascinante paradosso. Alcune delle più grandi strutture geologiche, come la nostra grande Anticlinale del Carso, possono essere scoperte solo con l'aiuto di alcune delle più piccole creature fossili, come i nostri foraminiferi unicellulari.



12. BIBLIOGRAFIA E ALTRE FONTI UTILI

Pubblicazioni di carattere divulgativo-scientifico che forniscono una descrizione generale degli aspetti geologici del Carso Classico:

Bensi S., Novak M., Otoničar B., Calligaris C., Cucchi F., Zini L., Bonini L., Barone V., Škrjanec S., Piano C. (eds), 2022: Geopark Kras = Il geoparco del Carso Classico = The Classical Karst geopark. Geological Survey - Central Directorate for Environmental Protection, Energy and Sustainable Development of the Autonomous Region of Friuli Venezia Giulia, 2022, Trst-Trieste; Geopark_Kras_SLO.pdf (regione.fvg.it)

Consorti L., Arbulla D., Bonini L., Fabbi S., Fanti F., Franceschi M., Frijia G., Pini G.A., 2021: The Mesozoic palaeoenvironmental richness of the Trieste Karst. 90. Congresso della Soc. Geol. It. - Trieste, 14-16 settembre 2021, Pre congress Field Trip N. 4. Periodico semestrale del Servizio Geologico d'Italia, ISPRA e della Società Geologica Italiana Geol. Field Trips & Maps 13/2.2, 40 pp; The Mesozoic palaeoenvironmental richness of the Trieste Karst (units.it)

Cucchi F., Pirini Radrizzani C., Pugliese N., 1989: The carbonate stratigraphic sequence of the Karst of Trieste (Italy). Mem. Soc. Geol. Ital. 40 (1987), 35–44.

Cucchi F., Finocchiaro F., Muscio G. (eds.), 2009: Geositi del Friuli Venezia Giulia, Ed. Di-SGAM-Università di Trieste – R.A. Friuli Venezia Giulia, Tipografia Arti Grafiche Friulane/Imoco spa, Udine, 383 pp.

Cucchi F., Finocchiaro F., Zini L., 2010: Karst Geosites in NE Italy. In: Andreo B., Carrasco F., Duran J.J., La Moreaux J.W. (eds.), Advances in Research in Karst Media, 393–398.

Jurkovšek, B. & Kolar-Jurkovšek, T., 2002: Kras – pokrajina terana in fosilov: kaj kažejo najnovejša raziskovanja. Kras, 45, 37-39, Ljubljana.

Jurkovšek B. & Kolar-Jurkovšek T., 2021: Fosili Slovenije: pogled v preteklost za razmislek o prihodnosti = Fossils of Slovenia. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije, 264 str.

Jurkovšek B., Cvetko Tešović B., Kolar-Jurkovšek T., 2013: Geologija Krasa = Geology of Kras. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije, 205 str.

Pavlovec R., Pleničar M., Drobne K., Ogorelec B., Šušteršič F., 1989: History of geological investigations of the Karst (Kras) region and the neighbouring territory (Western Dinarides). Mem. Soc. Geol. Ital. 40 (1987), 9–20, Roma.

Mappe geologiche e note esplicative aggiuntive:

Cucchi F. & Piano C. (eds.), 2013: Carta geologica del Carso Classico (tratta dalla Carta di sintesi geologica alla scala 1:10.000 – Progetto GEO-CGT) e Brevi Note Illustrative della Carta Geologica del Carso Classico Italiano con Fanucci, F., Pugliese N., Tunis G., Zini L. (eds), Direzione centrale ambiente energia e politiche per la montagna, Servizio Geologico, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Trieste.

Cucchi F. & Zini L., 2002: Carta geomorfologica e strutturale del Carso Triestino alla scala 1:50.000. In: Hohenegger J., Melis R., Pervesler P., Pugliese N. (eds.), *Field Excursion Guide of the Third Int. Congr. "Environmental Micropaleontology, Microbiology and Meiobenthology"* - EMMM'2002 Trieste, 45 pp.

Jurkovšek B., 2010: Geološka karta severnega dela Tržaško-komenske planote 1 : 25.000, tolmač. = Geological map of the Trieste-Komen Plateau 1:25,000, explanatory book. Ljubljana, 72 pp.

Jurkovšek B., Toman M., Ogorelec B., Šribar L., Drobne K., Poljak M. & Šribar L., 1996: Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-komenske planote 1 : 50.000. = Geological Map of the Southern part of the Trieste-Komen plateau (Slovenia), 1:50,000. Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, Ljubljana, 143 pp.

Jurkovšek B., Biolchi S., Furlani S., Kolar-Jurkovšek T., Zini L., Jež J., Tunis G., Bavec M., Cucchi F., 2016: Geology of the Classical Karst Region (SW Slovenia–NE Italy). *Journal of Maps* 12, 352–362, 1 suppl.; Full article: Geology of the Classical Karst Region (SW Slovenia–NE Italy) (tandfonline.com)

Placer L., 2015: Poenostavljena strukturno-geološka karta Krasa Kras, (slovensko), Carso (italjansko) = geografska enota. *Geologija* 58/1, 89–93; Poenostavljena strukturno-geološka karta Krasa Kras, (slovensko), Carso (italjansko) = geografska enota | *Geologija (geologija-revija.si)*

Articoli scientifici e monografie contenenti descrizioni della struttura geologica e dei singoli gruppi di organismi fossili del Carso Classico:

Barattolo F., Bressan G., Burelli G., Carulli G.B., Cucchi F., Drobne K., Ogorelec B., Pirini C., Poli E., Pugliese N., Romano R., 2005: Cretaceous/Tertiary boundary and Paleocene deposits of Trieste Karst and Slovenia. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.* 80 (2003), 39–64, Suppl. 1.

Caffau M., Pleničar M., Pugliese N., Drobne K., 1998: Late Maastrichtian rudists and microfossils in the Karst region (NE Italy and Slovenia). *Geobios, Mem. Spec.* 22, 37–46.

Calligaris R., 1992: I pesci fossili dei calcari ittiolitici di Comeno e di facies a questa correlabili conservati nelle collezioni del Museo civico di Storia Naturale di Trieste. *Atti del Museo Civico di Storia Naturale di Trieste* 44, 57–111.

Cavin L., Jurkovšek B., Kolar-Jurkovšek T., 2000: Stratigraphic succession of the Upper Cretaceous fish assemblages of Kras (Slovenia). *Geologija* 43/2, 165–195.

Debeljak I., Košir A., Buffetaut E., Otoničar B., 1999: A preliminary note on dinosaurs and non-dinosaurian reptiles from the Upper Cretaceous carbonate platform succession at Kozina (SW Slovenia). *Razprave* 40, 3–25.

Debeljak I., Košir A., Buffetaut E., Otoničar B., 2002: The Late Cretaceous dinosaurs and crocodiles of Kozina (SW Slovenia): a preliminary study. *Mem. Soc. Geol. Ital.* 57, 193–201.

Dobruskina I., Jurkovšek B., Kolar-Jurkovšek T., 1999: Upper Cretaceous flora of Slovenia. *Annales* 9/2, 243–256.

Dragičević I., & Velić I., 2002: The northeastern margin of the Adriatic carbonate platform. *Geologia Croatica* 55/2, 185–232.

Drobne K., Ogorelec B., Pleničar M., Zucchi-Stolfa M.L., Turnšek D., 1988: Maastrichtian, Danian and Thanetian beds in Dolenja vas (NW Dinarides, Yugoslavia). Mikrofacies, foraminifers, rudists and corals. *Razprave 4. razr. SAZU* 29, 149–224.

Drobne K., Ogorelec B., Pleničar M., Barattolo F., Turnšek D., Zucchi Stolfa M.L., 1989: The Dolenja Vas section, a transition from Cretaceous to Palaeocene in the NW Dinarides, Yugoslavia. *Mem. Soc. Geol. Ital.* 40, 73–84.

Gorjanović-Kramberger C. 1895: Fossilne ribe Komena, Mrzleka, Hvara i M. Libanona uz dodatak o oligocenskim ribama Tüffera, Zagora i Trifalja. *Djela jugoslavenske Akademije znanosti i umjetnosti* 16, 1–67.

Jurkovšek, B. & Kolar-Jurkovšek, T., 1995: Zgornjekredni skat Rhinobatos iz Lipiške formacije pri Dobravljah (Tržaško-komenska planota, Slovenija). *Annales* 7, 161-170, Koper.

Jurkovšek B. & Kolar-Jurkovšek T., 2007: Fossil assemblages from the Upper Cretaceous Komen and Tomaj Limestones of Kras (Slovenia). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen* 245/1, 83–92.

Košir A., Goričan Š., Debeljak I., Otoničar B., Turnšek D., 1999: Vodnik po ekskurziji ob 50. obletnici ustanovitve Paleontološkega inštituta Ivana Rakovca ZRC SAZU. Ljubljana, Založba ZRC SAZU, 20 pp.

Ogorelec B., Dolenc T., Cucchi F., Giacomich R., Drobne K., Pugliese N., 1995: Sedimentological and geochemical characteristics of carbonate rocks from the K/T boundary to Lower Eocene on the Karts area (NW Adriatic platform). *Proc. of 1st Croatian Geol. Congress, Opatija*, 415–42.

Ogorelec B., Dolenc T., Drobne K., 2007: Cretaceous–Tertiary boundary problem on shallow carbonate platform: carbon and oxygen excursions, biota and microfacies at the K/T boundary sections Dolenja vas and Sopada in SW Slovenia, Adria CP. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 255/1-2, 64–76.

Otoničar B., 2007: Upper Cretaceous to Paleogene forbulge unconformity associated with foreland basin evolution (Kras, Matarsko Podolje and Istria; SW Slovenia and NW Croatia). *Acta Carsologica* 36/1, 101–120.

Placer L., Vrabec M., Celarc B., 2010: Osnove razumevanja tektonske zgradbe NW Dinari-dov in polotoka Istre. *Geologija* 53/1, 55–86;

Pleničar M., 2005: Upper Cretaceous Rudists in Slovenia. = Zgornjekredni rudisti v Sloveniji. SAZU 39, 255 pp.

Pleničar, M. & Jurkovšek, B., 1997: Rudisti iz Lipiške formacije v kamnolomu Lipica I = Rudists from the Lipica Formation in the Lipica I quarry. Annales 11, 115-140, Koper.

Radinja D., 1971: Usad nad Podrago v Vipavski dolini: primer porušenega prirodnega ravnotežja v flišni submediteranski pokrajini. Geografski zbornik 12, 265-318.

Scotese C.R., 2014: Atlas of Paleogene Paleogeographic Maps (Mollweide Projection), Vol. 1 and 2, The Cenozoic and The Cretaceous, PALEOMAP Atlas for ArcGIS, PALEOMAP Project, Evanston, IL; Home Page (scotese.com)

Articoli scientifici e monografie con descrizioni dell'idrogeologia del Carso Classico:

Aljančič M., Brenčič M., Gams I., Kranjc A., Lajovic A., Lowe D.J., Planina T., Sket, B., Šušteršič F. (eds.), 1998: Škocjanske jame - The Škocjanske jame caves. Naše jame 40, Bulletin of the Speleological Association of Slovenia.

Civita M., Cucchi F., Eusebio A., Garavoglia S., Maranzana F., Vigna B., 1995: The Timavo hydrogeologic system: an important reservoir of supplementary water resources to be reclaimed and protected. Acta Carsologica 24, 169-186.

Cucchi F., Zini L., Calligaris C., 2015: Le acque del Carso Classico/Vodonosnik klasičnega Krasa. Progetto/Projekt HYDROKARST, Edizioni Università di Trieste, 181 pp.

Gabrovšek F. & Peric B., 2006: Monitoring the flood pulses in the epiphreatic zone of karst aquifers: the case of Reka river system, Karst plateau, SW Slovenia. Acta Carsologica 35/1, 35-45.

Gams I., 2003: Kras v Sloveniji – v prostoru in času. Založba ZRC, Ljubljana, 516 pp.

Knez M., Otoničar B., Petrič M., Pipan T., Slabe T. (eds.), 2020: Karstology in the Classical Karst. Springer, Advances in karst science, 222 pp.

Kranjc A. (ed.), 1997: Kras - Slovene Classical Karst. Založba ZRC, Ljubljana, 254 pp.

Kranjc A., 1999: Uvod. In: Kranjc A. (ed.), Kras – pokrajina, življenje, ljudje. Založba ZRC, Ljubljana, 9-17.

Kranjc A., 2002: Zgodovinski pregled in opis jam (A Historical Overview and Description of the Caves). In the monograph Park Škocjanske jame (The Škocjan Caves Park), Škocjan Caves Park publi.

Mihevc A., 2001: Speleogeneza Divaškega krasa. Založba ZRC, Ljubljana, 180 pp.

Zupan Hajna N., 2021: Karst, Caves and People. Založba ZRC, Ljubljana, 173 pp.

Pubblicazioni di carattere divulgativo-scientifico con descrizioni della pietra carsica e del patrimonio culturale legato alla pietra del Carso Classico:

Belingar E. (ed.), 2014: Priročnik kraške suhozidne gradnje. Park Škocjanske jame, Škocjan, 31 pp.

Biolchi S., Cucchi F., Pieri F., Devoto S., Furlani S., Tunis G., Zini L., Gerdol S., Bavec M., Kolar-Jurkovšek T., Jež J., Jurkovšek B., Milanič B., Novak M., Šolc U., Peternelj K., Guštin M., Premrl B., 2014: Platy limestones: 10 case studies in the Classical karst. Trieste: Dipartimento di matematica e geoscienze, Università degli studi di Trieste, 48 pp.

Carulli G.B. & Onofri R., 1966: I marmi del Carso. Ed. Del Bianco, Udine.

Cucchi F. & Gerdol S., 1986: I marmi del Carso triestino. Ed. Camera di C.I.A.A. di Trieste, 195 pp.

Jurkovšek B., 2000: Kamnarstvo je del tradicije Krasa. Kras 37, 38–39.

Mirtič B., Mladenovič A., Ramovš A., Senegačnik A., Vesel J., Vižintin N. 1999: Slovenski naravni kamen. Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije; Restavratorski center Republike Slovenije, 131 str., Ljubljana

Novak M. (ed.), 2015: RoofOfRock Final Thematic Report. Geological Survey of Slovenia, Dubrovnik. <https://roofofrock.geo-zs.si/Publication/index.html>

Novak M., Biolchi S., Čebren Lipovec N., Jež J., Peternelj K., Šolc U., Golež M. (eds.), 2015: Roof of rock. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije; Dubrovnik, Neretva Regional Development Agency Dunea, 181 pp.

Pavlovec R. & Vesel J., 1992: Flowstone as Natural Stone. Acta Carsologica 21, 185–191.

Renčelj S., 2002: Kras: kamen in življenje. Koper, Libris, 162 str.

Vesel J., 1979: Repen. Geologija 22/1, 117–126.

Vesel J., 1987: Razširjenost nahajališč in stanje raziskanosti arhitektonsko-gradbenega kamna v Sloveniji. Geol. zbornik 8, 1–11.

Siti Web:

Global Geoparks Network: <http://www.globalgeopark.org/>

Museo di Storia Naturale: <https://museostorianaturaletrieste.it/civic-museum-of-natural-history/>

Progetto Kras-Carso: <https://www.krascarso-carsokras.eu/sl>

Progetto RoofOfRock: <https://roofofrock.geo-zs.si/Publication/index.html>

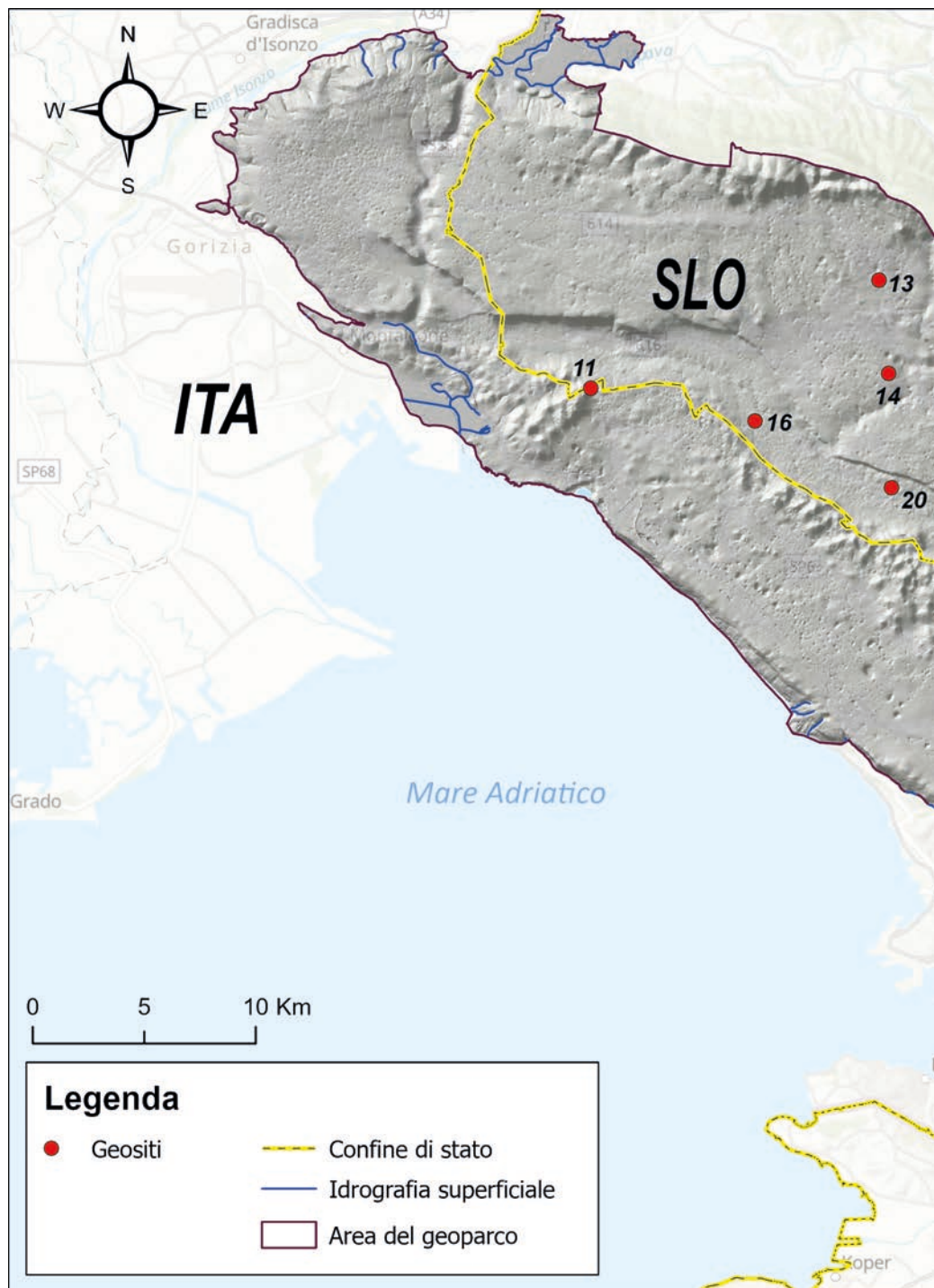
UNESCO Global Geoparks (UGGp): <https://en.unesco.org/global-geoparks>

Visit Kras: <https://www.visitkras.info/>

13. ELENCO E UBICAZIONE DEI GEOSITI

ID del Geosito	Geosito
11	Abisso na Grmadi (Grofova jama)
12	Forme di paleocarsismo e paleosuoli nell'area di Trsteljska brda
13	Sito paleontologico con fossili di vertebrati nei Calcari di Comeno (Komen)
14	Dolina del castelliere di Debela Griža - Volčji Grad
15	La valle secca di Mali Dol
16	Cava abbandonata di stalattite Rusa Jama presso Gorjansko
17	Calcari di Comeno (Komen) a Skopo
18	Calcari a rudiste nella cava Kopriva
19	Valle del Raša con i suoi affluenti
20	Dolina Veliki Brestoviški
31	Calcari del Repen nella cava Dolina
32	Sezione stratigrafica del Cretacico superiore lungo la strada Sežana-Vrhovlje
33	"Carso fantasma" nelle dolomie presso Sežana
34	Calcari lamellari di Tomaj presso Kazlje
35	Sezione stratigrafica con il limite Cretacico-Terziario a Dolenja vas presso Senožeče
36	Fascia tettonizzata della Faglia di Divača
37	Dolina Senadolski
38	Fascia tettonizzata della Faglia del Raša
39	Senožeče-Gabrče - scogliera a rudiste
43	Grotta Bestažovca
44	Campi solcati e karren lungo il sentiero "Museo vivo del Carso"
45	Lipica 1: cava di calcari a rudiste

46	Grotta Vilenica
47	Miniere di carbone presso Lipica
49	Kačna jama (Abisso dei serpenti)
50	Dolina Risnik
51	Roofless cave nella dolina Lipove
52	Valle cieca del Reka e doline di crollo presso le Grotte di Škocjan (San Canziano)
53	Grotte di Škocjan (San Canziano)
54	Grotta Jama na Prevali 2 (Mušja jama)
55	Sezione stratigrafica di Vremški Britof
59	Sistema Beka-Ocizla
60	Paleocarsismo con resti di dinosauri presso Kozina
61	Valli cieche del Matarsko podolje (Brezovica, Odolina)
62	Grotta Divaška jama
63	Grotta Jama Dimnice



UBICAZIONE DEI GEOSITI DEL CARSO CLASSICO SLOVENO

