

LE ALPI CARNICHE

TRA TERRA E MARE 300 MILIONI DI ANNI FA

ZWISCHEN LAND UND MEER



DIE KARNISCHEN ALPEN VOR 300 MILLIONEN JAHREN

TRA TERRA E MARE

LE ALPI CARNICHE 300 MILIONI DI ANNI FA

ZWISCHEN LAND UND MEER

DIE KARNISCHEN ALPEN VOR 300 MILLIONEN JAHREN

Nell'ambito delle iniziative del progetto Interreg **GeoTrAC**, il Museo Scienze Naturali Alto Adige, in collaborazione con gli altri partner, ha sviluppato alcune linee di ricerca sul Paleozoico Carnico: quella sul Carbonifero delle Alpi Carniche comprende la realizzazione di un volume divulgativo e l'allestimento di una mostra, curata dal Museo Friulano di Storia Naturale.

Im Rahmen der Initiativen des Interreg-Projekts **GeoTrAC**, hat das Naturmuseum Südtirol in Zusammenarbeit mit anderen Partnern einige Forschungsstudien über das Karnische Paläozoikum durchgeführt: die Arbeiten zum Karbon der Karnischen Alpen umfassen die Realisierung einer populärwissenschaftlichen Broschüre und die Gestaltung einer Ausstellung durch das Museo Friulano di Storia Naturale.

Fotografie / Bildnachweis (il n. è quello della figura / Die Zahl entspricht der Abbildungsnummer)

Archivio Museo Friulano di Storia Naturale: 1, 18, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 59, 61, 63, 64, 65, 66, 68

Archivio Museo Geologico della Carnia: 23, 30, 57

Carlo Corradini: 46,

Adalberto D'Andrea: 22

Fabio Marco Dalla Vecchia: 62

Ivo Pecile: 2, 3, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 20a

Maurizio Ponton: 20b

Corrado Venturini: 24, 48, 49

Le foto dei reperti fossili di proprietà dello Stato sono pubblicate su concessione del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio del Friuli Venezia Giulia, ed è vietata l'ulteriore riproduzione e duplicazione con ogni mezzo senza l'autorizzazione della Soprintendenza.

Die Fotos der Fossilien in Staatsbesitz werden mit Genehmigung des Ministeriums für Kulturerbe, Kulturelle Aktivitäten und dem Bodendenkmalamt der Region Friuli Venezia Giulia veröffentlicht. Jede Form der Reproduktion ist ohne die Genehmigung des Bodendenkmalamtes untersagt.

ISBN

978 88 88192 64 2

Redazione / Redaktion

Giuseppe Muscio, Cristiana Agostinis,

Daniela De Prato, Luca Simonetto

Testi / Texte

Evelyn Kustatscher, Hendrik Nowak, Carlo Corradini

Traduzioni / Übersetzung

Hendrik Nowak, Bozen

Evelyn Kustatscher, Bozen

Disegni / Zeichnungen

Roberto Zanella: 7, 10, 13, 25, 36, 50, 58

Copertina / Deckblatt

Furio Colman

Allestimento della mostra / Vorbereitung der Ausstellung

Delta Studios, Remanzacco (Ud)

Un particolare ringraziamento a / Ein besonderer Dank geht an

Andrea Baucon, Furio Colman, Adalberto D'Andrea, Virgilio Gonano, Giordano Marsiglio, Gerlinde Ortner, Margherita Solari, Claudio Trapanotto, Elido Turco, Francesca Uzzo, Corrado Venturini.

a cura di Evelyn Kustatscher

TRA TERRA E MARE

LE ALPI CARNICHE 300 MILIONI DI ANNI FA

ZWISCHEN LAND UND MEER

DIE KARNISCHEN ALPEN VOR 300 MILLIONEN JAHREN



INTRODUZIONE

L'istituzione del Geoparco delle Alpi Carniche non è il punto di arrivo di un progetto che UTI della Carnia e Museo Friulano di Storia Naturale, assieme ad altre amministrazioni e istituzioni scientifiche, hanno sviluppato in questi anni: è uno strumento per far sì che i termini ricerca, valorizzazione e sostenibilità possano convivere e farlo con successo.

Ciò è facilitato dalla presenza in questo estremo lembo orientale dell'arco alpino di rocce e fossili che narrano, anche in dettaglio, quasi 500 milioni di anni di Storia della Terra e della Vita che lentamente su di essa si è evoluta.

Ambienti

Gran parte dei gruppi di piante che conosciamo ancora oggi (ad eccezione delle piante da fiore) e degli animali (eccetto i mammiferi e gli uccelli) erano già presenti nelle foreste del Carbonifero delle Alpi Carniche.

Animali e piante hanno generalmente bisogno di condizioni ambientali molto specifiche e vivono quindi solo negli habitat che le rispecchiano.

Come facciamo oggi, anche durante il Carbonifero possiamo distinguere gli ambienti delle terre emerse da quelli nell'acqua. Nell'acqua vi sono grandi differenze tra l'acqua salata del mare e l'acqua dolce di fiumi e laghi. Non tutti gli esseri viventi tollerano entrambi i tipi di acqua, e solo pochi sono adattati ad ambienti di acque salmastre - un misto tra acqua dolce e acqua salata che si trova spesso vicino ad estuari e delta fluviali. Tuttavia, alcuni animali possono varcare i confini (*border-crosser*) e possono essere trovati sia nel mare, che nei fiumi o nei laghi e persino sulla terraferma. Questo dipende spesso dalle fasi di sviluppo di questi organismi. Il salmone, per esempio, passa la maggior parte della sua vita in mare, ma risale i fiumi controcorrente, per poter deporre le sue uova nelle quali i piccoli pesci hanno le loro prime fasi di sviluppo.

L'origine della vita, cioè il processo naturale con il quale la vita si originò a partire da materiale non vivente, ebbe il suo inizio nel mare e per lungo tempo l'evoluzione della vita si è concentrata solo in ambiente marino. La conquista delle terre emerse da parte di piante ed animali ebbe successo solo in seguito a notevoli cambiamenti strutturali del corpo dei singoli grup-

1 > I resti fossili di vegetali (*Annularia* e *Pecopteris*) sono relativamente diffusi nei livelli del Carbonifero superiore di Passo Pramollo e di Passo del Cason di Lanza. > Pflanzenfossilien (*Annularia* und *Pecopteris*) sind im Oberkarbon des Nassfeldpasses und des Lanzenpasses relativ verbreitet.

pi di organismi. Questi furono necessari per proteggere gli animali e le piante dalla disidratazione e dalle dannose radiazioni ultraviolette, in modo da consentire agli animali di vivere e di riprodursi sulla terraferma. Le piante (Fig. 1) e i vari gruppi di animali ebbero delle tempistiche e modalità differenti nella conquista delle terre. In generale si può dire che vari tentativi di conquistare le terre emerse avvennero già a partire dal Siluriano. Durante il Carbonifero, circa 360-300 milioni di anni fa, quindi la vita aveva già conquistato i continenti.

In questo stesso periodo ebbero luogo ripetute fluttuazioni del livello del mare. Con l'aumentare del livello del mare, l'area delle Alpi Carniche venne gradualmente coperta dall'acqua mentre quando il livello del mare si abbassava, vaste aree costiere e pianure fluviali emersero di nuovo. I sedimenti che si

formarono durante questo periodo furono quindi alternatamente depositati nel mare e sulle terre emerse. Questo fa sì che nelle Alpi Carniche, conchiglie fossili (animali marini) e fossili di piante (organismi terrestri) si trovino spesso a pochi metri di distanza sulla stessa montagna: ciò a dimostrazione di quanto vicini fossero tra di loro i vari habitat e quanto fluida fosse la transizione (Fig. 2).

Questa situazione si sviluppa in particolare dalla fine del Carbonifero all'inizio del Permiano (il cosiddetto "Permo-Carbonifero Pontebbano"), quando si ripresentano anche ambienti di scogliera. Il nostro interesse si soffermerà soprattutto sul Carbonifero superiore.

Al fine di rendere più facile per il lettore immaginare questi diversi habitat, nei capitoli successivi si descrivono gli animali e le piante che occuparono gli stessi habitat insieme.



2 > Le pendici settentrionali del Monte Zermula con gli evidenti banconi di calcari devoniani e, in basso a destra, i Piani di Lanza costituiti dai livelli arenacei e calcarei del Permo-Carbonifero.

> Die nördlichen Hänge des Zermula mit deutlich erkennbaren Schichten aus devonischem Kalkstein und rechts unten die Piani di Lanza, bestehend aus sandigen und kalkhaltigen Schichten der Perm-Karbon-Sequenz.

EINLEITUNG

Mit der Einrichtung des Geoparks Karnische Alpen ist das Projekt, das die UTI della Carnia und das Friaulische Museum für Naturkunde gemeinsam mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen und Behörden im Laufe der Jahre entwickelt haben, noch nicht abgeschlossen: Es bietet einen Rahmen, in dem die Begriffe Forschung, Entwicklung und Nachhaltigkeit nebeneinander existieren können und dies auch erfolgreich tun.

Erleichtert wird dies durch die Präsenz von Gesteinen und Fossilien, die hier am östlichsten Rand des Alpenbogens detailliert von fast 500 Millionen Jahre Erdgeschichte erzählen, und von dem Leben, das sich allmählich auf der Erde entwickelte.

Lebensräume

Ein Großteil der heute noch lebenden Pflanzengruppen (mit Ausnahme der Blütenpflanzen) und der Tiere (mit Ausnahme der Säugetiere und Vögel) waren bereits Bestandteile der Karbonwälder der Karnischen Alpen.

Tiere und Pflanzen sind meistens an ganz spezifische Umweltbedingungen angepasst bzw. gebunden und daher nur in bestimmten Lebensräumen anzutreffen. So wie heute auch, unterscheiden wir im Karbon zwischen Lebensräumen auf dem Festland und im Wasser. Aufgrund der Unterschiede zwischen dem Salzwasser im Meer und dem Süßwasser in Flüssen und Seen sind die marinen und die fluvial-lakustrinen Lebensräume von anderen Lebewesen bewohnt. Wenige Wasserlebewesen vertragen beides, und nur wenige sind an Brackwasser - die Mischung aus Süß- und Salzwasser im Bereich von Flussmündungen - angepasst. Manche Tiere sind jedoch Grenzgänger und können sowohl im Meer, als auch in Flüssen und Seen oder auch an Land angetroffen werden. Das hat vor allem mit den Entwicklungsstadien dieser Tiere zu tun. Denken wir an die Entwicklung der Wanderfische wie den Lachsen. Diese leben normalerweise im Meer, für die Eiablage schwimmen sie aber ins Süßwasser, wo die Jungtiere auch zunächst aufwachsen.

Das Leben war ursprünglich im Meer entstanden und hat sich lange Zeit nur dort abgespielt, daher mussten sich Anpassungen

für ein Überleben an Land erst entwickeln. Die Anpassung an das Festland gelang nur durch strukturelle Veränderungen im Bauplan der einzelnen Organismengruppen: Die Tiere und Pflanzen mussten sich vor dem Austrocknen und vor der schädlichen UV-Strahlung schützen und Methoden der Fortpflanzung an Land zu finden. Der "Landgang" der Pflanzen (Abb. 1) und verschiedener Tiergruppen lässt sich für unterschiedliche Zeitphasen im Ordovizium, Silur und Devon feststellen. Im Karbon war diese Entwicklung zu Landlebewesen abgeschlossen.

Im Laufe des Karbons kam es wiederholt zu Schwankungen des Meeresspiegels. Das Meer bedeckte das Gebiet der heutigen Karnischen Alpen die meiste Zeit über. Senkte sich der Meeresspiegel, entstanden weite Küstengebiete und Flussebenen. Die Sedimente aus dieser Zeit lagerten sich dementsprechend abwechselnd im Meer und auf dem Festland ab. Dadurch finden wir in den Karnischen Alpen oft nur wenige Meter voneinander entfernt auf demselben Berg sowohl fossile Muscheln (marine Lebewesen) als auch Pflanzenfossilien (Festlandbewohner). Dies zeigt uns, wie nah beieinander die einzelnen Lebensräume waren, und wie fließend der Übergang sein konnte (Abb. 2).

Dies gilt speziell auch für die Zeit vom späten Karbons bis zum Anfang des Perms (das sogenannte "Permokarbon von Pontebba"), als sich unter anderem wieder Riffe bildeten. Der Schwerpunkt dieser Broschüre wird vor allem auf dem späten Karbon liegen.

Damit wir uns diese verschiedenen Lebensräume leichter vorstellen können, werden in den nachfolgenden Kapiteln die Tiere und Pflanzen aus den einzelnen Lebensräumen zusammen präsentiert.

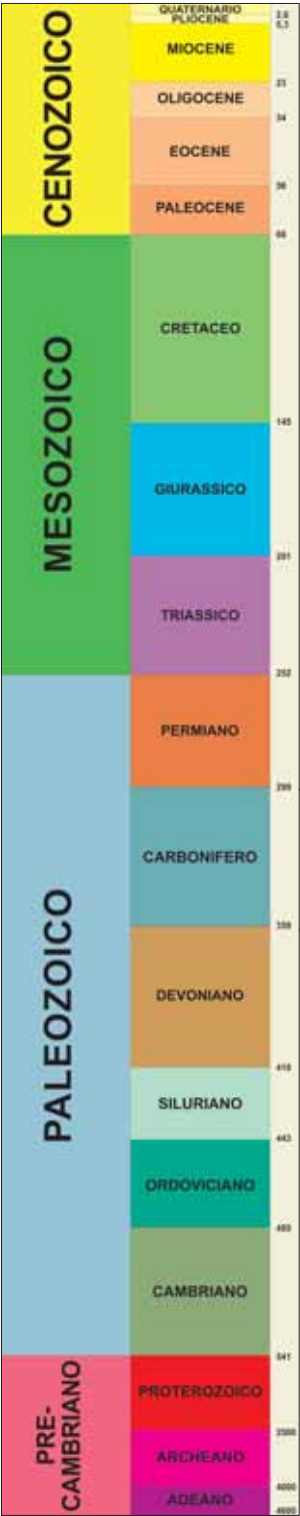


IL MONDO NEL CARBONIFERO

Se potessimo viaggiare indietro nel tempo, difficilmente potremmo riconoscere la terra per gran parte della sua storia, almeno solo osservando la vita sulle terre emerse. Per oltre quattro miliardi di anni, si cercherebbero invano gli animali e le piante a cui siamo abituati oggi. La conquista delle terre emerse avvenne soprattutto durante il Siluriano, circa 445-420 milioni di anni fa. Nel Carbonifero, circa 360-300 milioni di anni fa, si formarono per la prima volta estese foreste con alberi ed animali giganti, già abbastanza ben riconoscibili, come anfibi, insetti e aracnidi. Il mare era pieno di pesci, in particolare esisteva una grande varietà di squali, insieme a quella di cefalopodi. Sul fondo del mare vivevano, come oggi, molluschi e lumache, ma anche molti animali oggi molto rari come i brachiopodi oppure ormai scomparsi come i trilobiti.

Durante il Carbonifero, si formò la Pangea, il più grande supercontinente nella storia della Terra. In esse erano riunite tutte le principali masse terrestri (continenti) presenti durante il Carbonifero (Fig. 4). Questo supercontinente aveva la forma di una grande "C" che racchiudeva un oceano gigante, la Tetide. L'area delle odierne Alpi Carniche si trovava all'estremità occidentale della Tetide, circa all'equatore. Un momento importante durante la formazione del supercontinente Pangea fu la collisione di due continenti più piccoli: la Laurussia - che a grandi linee raggruppava circa Nord America, Europa centro-settentrionale e gran parte dell'Asia - e il Gondwana - che comprendeva Sud America, Africa, parte dell'Europa mediterranea, India, Australia e Antartide. Nel Carbonifero inferiore, circa 360-323 milioni di anni fa, esisteva ancora una connessione marina tra i due continenti principali, l'oceano Reico. Questo gradualmente si chiuse da est verso ovest, mentre il continente Gondwana si spostò sempre più verso nord. Lo scontro tra i continenti diede origine ad una catena montuosa nella zona di contatto tra i due continenti, che si estendeva dall'America settentrionale-orientale, all'Africa nord-occidentale e a gran parte dell'Europa. La parte europea interessata da questo scontro, e più in generale l'intera catena di montagne che si formò, è chiamata catena Varisica (detta anche Ercinica). A causa dell'erosione e dei successivi movimenti tettonici, oggi le montagne varisiche non sono più

3 > Pendici meridionali del Monte Auernig (Passo Pramollo): si alternano banconi conglomeratici, arenarie e calcari della Formazione dell'Auernig datata al Carbonifero superiore. Questi livelli sono spesso fossiliferi.
> Die Südhänge des Auernig (Nassfeldpass): Schichten von Konglomeraten, Sandsteinen und Kalksteinen wechseln sich in der oberkarbonischen Auernig-Formation ab. Diese Schichten sind oft fossilhaltig.



4 > Suddivisioni del tempo geologico con il dettaglio relativo al Carbonifero.
> Unterteilung der geologischen Zeitskala mit Hervorhebung des Karbons.

DIE WELT IM KARBON

Vermöchten wir in der Zeit zurückzureisen, würden wir die Erde über weite Teile ihrer Geschichte kaum wiedererkennen. Das betrifft vor allem das Festland, denn dort würde man über vier Milliarden Jahre lang die Tiere und Pflanzen, an die wir gewohnt sind, vergeblich suchen. Pflanzen auf dem Festland gab es erst im Silur, vor circa 445-420 Millionen Jahren. Im Karbon, vor circa 360-300 Millionen Jahren, bildeten sich ausgedehnte Wälder mit riesigen Bäumen. Die meisten Tiere in diesen Wäldern würden uns ziemlich bekannt vorkommen: Amphibien, Insekten und Spinnentiere. Im Meer tummelten sich Fische, vor allem unterschiedliche Arten von Haien, und Kopffüßer, die Vorfahren und Verwandten der heutigen Tintenfische. Und am Meeresboden fänden wir wie heute Muscheln und Schnecken, allerdings auch viele der heute nicht mehr so verbreiteten Armfüßer und die am Ende des Perms ausgestorbenen Trilobiten. Während des Karbons (Abb. 4) bildete sich Pangäa, der letzte und größte Superkontinent der Erdgeschichte. Er umfasste alle größeren Landmassen der damaligen Zeit. Der riesige Kontinent hatte die Form eines “C”s mit einer großen Bucht im Osten, dem Tethys-Meer. Am westlichen Ende der Bucht lag das Gebiet der heutigen Karnischen Alpen. Ein wesentlicher Schritt in der Entstehung von Pangäa war die Kollision zweier kleinerer Großkontinente:

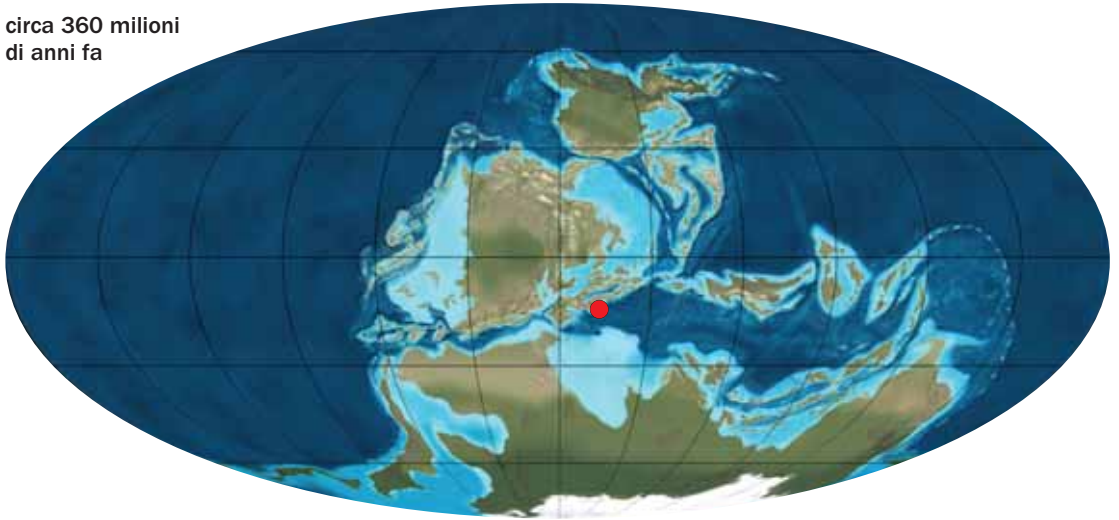
Pennsylvaniano	Gzeliano	298.9 ±0.15
	Kasimoviano	303.7 ±0.1
	Moskoviano	307.0 ±0.1
	Bashkiriano	315.2 ±0.2
Mississippiano	Serpukhoviano	323.2 ±0.4
	Viseano	330.9 ±0.2
	Tournaisiano	346.7 ±0.4
		358.9 ±0.4

Laurussia - das Nordamerika, und den Großteil Eurasiens umfasste - und Gondwana (oder Gondwanaland) - zu dem Südamerika, Afrika, Indien, Australien, die Antarktis und Teile des mediterranen Europas gehörten. Im Unterkarbon, vor circa 360-323 Millionen Jahren, lag zunächst noch eine Meeresstraße zwischen den beiden Großkontinenten, der Rheische Ozean. Dieser schloss sich allmählich, während Gondwana nach Norden driftete. Als die Kontinente aneinanderstießen, faltete sich in der “Knautschzone” eine Kette von Gebirgen auf, die sich über das östliche Nordamerika, das nordwestliche Afrika und über weite Teile von Europa erstreckte.

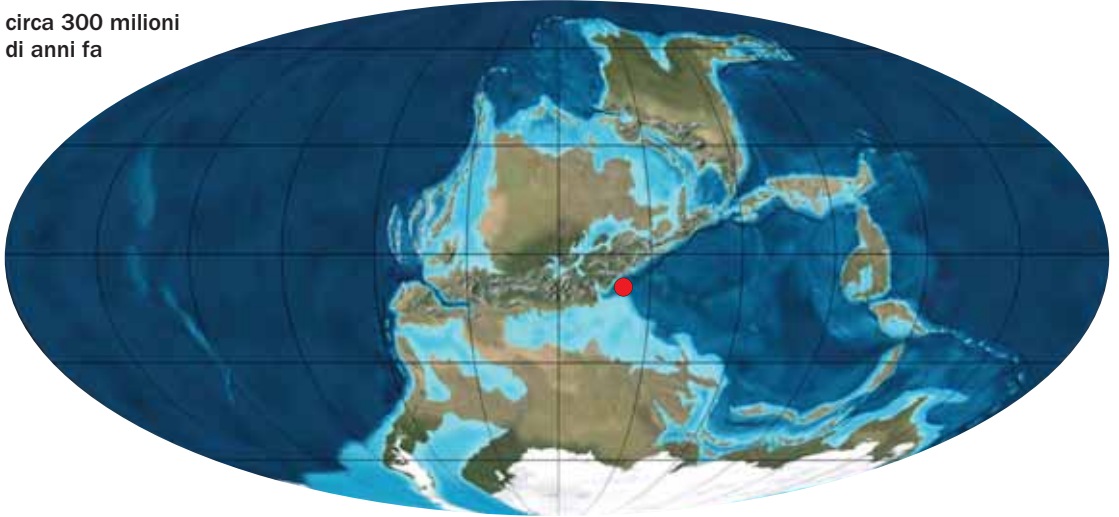
molto elevate, come le catene montuose dell'Europa centrale. Testimonianze risalenti alla fase di formazione di queste montagne si osservano ancora in molti luoghi sotto forma di pieghe, faglie e deformazioni degli strati rocciosi più vecchi. Queste formano anche il basamento delle Alpi Meridionali, le quali si trovarono, allora, sul lato meridionale delle montagne in formazione.

Nelle aree prealpine e all'interno delle montagne, durante il Carbonifero superiore si formarono aree paludose. La formazione di queste paludi venne ulteriormente favorita dai cambiamenti del livello del mare, legati alle glaciazioni. Durante questo periodo, estese aree dell'Africa del Sud, dell'America del Sud, dell'Australia e dell'India erano coperte da una calotta di ghiaccio molto spessa. Le este-

circa 360 milioni
di anni fa



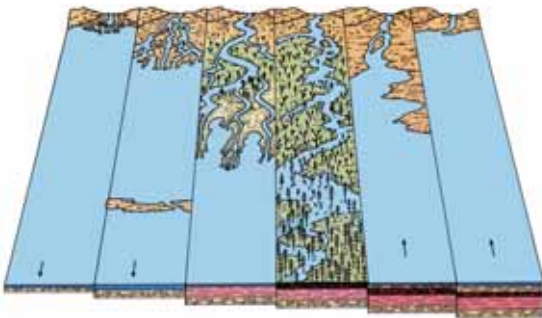
circa 300 milioni
di anni fa



5 > Mappa paleogeografica con la distribuzione di mari e terre emerse durante il Carbonifero inferiore (sopra) e superiore (sotto) (da Ron Blakey, modif.); il pallino rosso indica la posizione delle odierne Alpi Carniche.

> Paläogeografische Karte mit der Verteilung von Meer und Land im Unterkarbon (oben) und Oberkarbon (unten) (modifiziert von Ron Blakey); der rote Punkt zeigt die damalige Position der heutigen Karnischen Alpen an.

Der europäische Teil und im weiteren Sinne der gesamte Gebirgsgürtel wird als Variszisches Gebirge bezeichnet (oder Variszikum, Varisziden). Aufgrund von Erosion und tektonischen Verschiebungen ist vom Variszischen Gebirge heute nicht mehr viel zu sehen. Kleinere Reste davon findet man aber noch in den europäischen Mittelgebirgen. Man erkennt an vielen Orten Spuren des Gebirges in Form von charakteristischen Faltungen und Verwerfungen der älteren Gesteinsschichten, welche auf die variszische Gebirgsbildungsphase zurückgehen. Die Faltung findet man auch im Unterbau der Südalpen, die am südlichen Rand des Gebirges lagen. Im Vorland des Variszischen Gebirges und innerhalb des Gebirges bildeten sich im späten Karbon sumpfige Senken aus. Dies wurde dadurch begünstigt, dass der Meeresspiegel niedrig lag, da zur gleichen Zeit Teile des heutigen Südafrikas, Südamerikas, Australiens und Indiens von dicken Eisschichten bedeckt waren. Die ausgedehnten, küstennahen Senken wurden durch Meeresspiegel schwankungen periodisch überflutet und dann wieder durch den Verwitterungsschutt des Variszischen Gebirges



6 > L'evoluzione di un'area costiera illustra la genesi dei depositi di carbone: un delta avanza progressivamente, con lo sviluppo di rigogliose foreste, la sedimentazione poi cala ed il mare riprende ad occupare le terre prima abbandonate. Ciò può ripetersi più volte e spiega la ciclità dei depositi di carboni originati da grandi accumuli di resti vegetali (soprattutto licofiti ed equiseti).

> Die Entwicklung eines Küstengebiets zeigt die Entstehung der Kohleflöze: Ein Flussdelta breitet sich aus und darauf bildet sich eine üppige Vegetation. Die Sedimentation reduziert sich und das Meer beginnt, die zuvor verlassenen Gebiete zu bedecken. Dieser Zyklus kann sich mehrmals wiederholen, was die Zyklizität der Kohleablagerungen erklärt, welche aus großen Ansammlungen von Pflanzenresten (vor allem von Bärlappgewächsen und Schachtelhalmen) stammen.

bedeckt (Abb. 6). Die Pflanzen in den dabei entstandenen Sümpfen wurden zu Torf und schließlich zu Kohle. Diese Kohle gab dem Karbon seinen Namen (nach lateinisch *carbo* für Kohle). Die Meeresspiegelschwankungen basierten vor allem auf der Ausdehnung und dem Rückzug der Eisschilde auf der Südhalkugel. Die Eisschmelze führte zu einem Anstieg des Meeresspiegels, das Ausbreiten der Eisschilde zu einem Absenken des Meeresspiegels. Als im jüngsten Karbon die Bildung des Superkontinentes Pangäa (Abb. 5) abgeschlossen war und die Temperatur anstieg, verschwanden die tropischen Sümpfe mit den Wäldern, die später zu Steinkohle werden sollten (Abb. 7).

Das Karbon ist sowohl eine "Periode" - d.h. ein Zeitraum - als auch ein "System" - was sich auf die heute noch existierenden Gesteinsschichten aus jener Zeit bezieht. Als Periode umfasst es einen Zeitraum von 60 Millionen Jahren. Es begann nach dem Ende des Devons vor circa 360 Millionen Jahren und endete vor circa 300 Millionen Jahren vor heute mit dem Beginn des Perms. Devon, Karbon und Perm zusammen werden bisweilen auch als Jungpaläozoikum oder jüngeres Erdaltertum bezeichnet.

Das Karbon selbst wird in zwei Subperioden oder Subsysteme eingeteilt; das Mississippium (frühes Karbon oder Unterkarbon) und das Pennsylvanium (spätes Karbon oder Oberkarbon). Das Mississippium ist nach dem Fluss Mississippi in den USA benannt, in dessen Tal Gesteine aus dieser Zeit vorkommen. Das Pennsylvanium erhielt seinen Namen vom US-amerikanischen Bundesstaat Pennsylvania, wo Kohle aus dieser Zeitschicht abgebaut wird.

Wer sich damit intensiver beschäftigen möchte: Das Mississippium wird weiter in die drei Stufen oder Zeitalter Tournaisium, Viséum und Serpukhovium eingeteilt. Das Pennsylvanium setzt sich aus vier Stufen oder Zeitaltern zusammen; Bashkirium, Moskovium, Kasimovium und Gzhelium. Tournaisium und Viséum sind nach den belgischen Städten Tournai und Visé benannt. Der Name des Bashkiriums bezieht sich auf das Volk der Baschkiren in der Republik Baschkortostan in Russland. Die übrigen Stufen sind nach Orten in Russland benannt (Serpukhov, Moskau, Kassimow und Gschel).

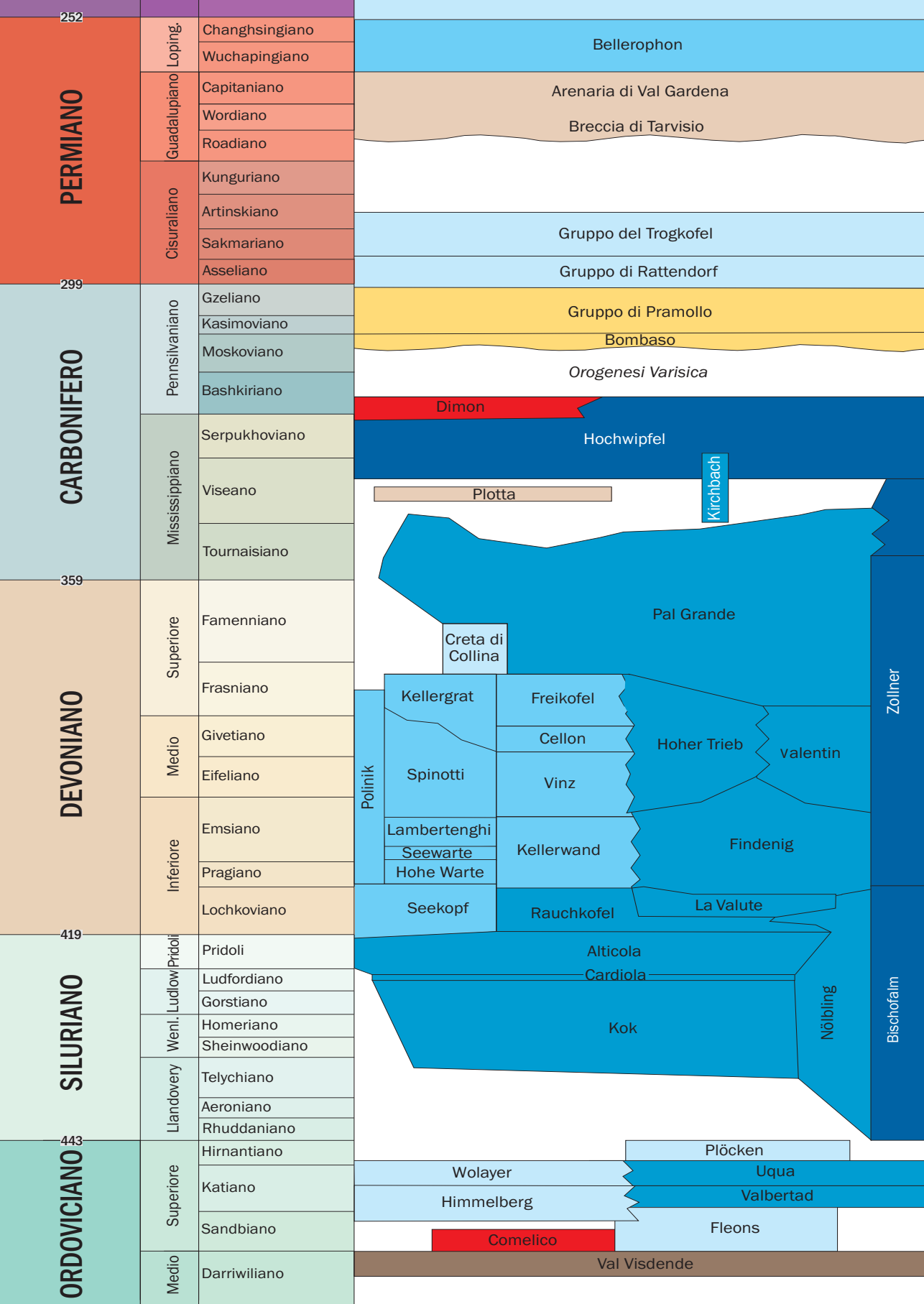
se aree costiere venivano periodicamente inondate dalle oscillazioni del livello del mare e successivamente coperte da sedimenti derivati dall'erosione delle montagne varisiche (Fig. 6). Le piante che crescevano nelle estese paludi, si trasformarono, dopo la loro morte, prima in torbe e successivamente in carbone. Questo carbone diede il nome al Carbonifero (dal nome latino per il carbone: *carbo*). Le oscillazioni del livello del mare erano dovute principalmente all'espansione e al ritiro delle calotte glaciali dell'emisfero sud. Lo scioglimento dei ghiacci portava ad un innalzamento del livello del mare, mentre la crescita delle calotte glaciali ad un suo abbassamento. Quando fu completata, nel Carbonifero superiore (Fig. 5), la formazione del supercontinente Pangea e la temperatura aumentò, scomparvero le paludi tropicali che avevano dato origine al carbone (Fig. 7).

Il Carbonifero è sia un "periodo" - nel senso di un intervallo di tempo - così come un "sistema" - cioè corrisponde alle rocce che si sono formate durante quel tempo. Come periodo corrisponde ad un lasso di tempo di 60 milioni di anni. Inizia alla fine del periodo Devoniano, circa 360 milioni di anni fa, e si è concluso circa 300 milioni di anni fa con l'inizio del Permiano. I tre periodi Devoniano, Carbonifero e Permiano insieme sono a volte considerati come Paleozoico Superiore. Il Carbonifero è diviso in due sottoperiodi o sottosistemi; il Mississippiano (Carbonifero inferiore) e il Pennsylvaniano (Carbonifero superiore). Il Mississippiano prende il nome dal fiume Mississippi negli Stati Uniti, nella cui valle affiorano in modo eccezionale le rocce di questo periodo. Il Pennsylvaniano prende il nome dallo Stato americano della Pennsylvania, dove viene estratto il carbone di tale periodo.



7 > Ricostruzione di una pianura del Carbonifero.
> Rekonstruktion einer karbonischen Flussebene.

Per chi desidera approfondire ulteriormente, forniamo qualche ulteriore dettaglio (Fig. 4): Il Mississippiano è ulteriormente diviso nei tre piani o età: Tournaisiano, Viseano e Serpukhoviano; il Pennsylvaniano nei quattro piani/età Bashkiriano, Moskoviano, Kasimoviano e Gzheliano. Tournaisiano e Viseano prendono il nome dalle città belghe di Tournai e Visé. Il nome del Bashkiriano deriva dal popolo dei Baschiri nella Repubblica di Baschiria in Russia. I piani/età rimanenti prendono il nome dalle località di Serpukhov, Mosca, Kasimov e Gzhel in Russia.



IL PALEOZOICO DELLE ALPI CARNICHE

Nelle Alpi Carniche affiora una delle successioni sedimentarie più estese e continue d'Europa; essa comprende rocce depositatesi tra l'Ordoviciano Superiore e il Triassico, con pochissime fasi di interruzione della sedimentazione (Fig. 8). Le rocce del Paleozoico Carnico vengono suddivise in tre grandi sequenze sedimentarie: la "Sequenza Pre-Varisica" (Ordoviciano Medio - base Carbonifero superiore), la "Sequenza Permo-Carbonifera" (Carbonifero superiore - Permiano Inferiore) e la "Sequenza Permo-Triassica" (Permiano Superiore - Triassico). La sequenza Pre-Varisica è l'insieme di quelle rocce che, circa 320 milioni di anni fa, vennero coinvolte in movimenti tettonici che, nel contesto dell'orogenesi Varisica, portarono alla formazione di una catena montuosa non molto elevata, chiamata "Catena Paleocarnica" (Fig. 9). Per questa ragione, quasi tutte le rocce di questa successione si presentano molto piegate e talvolta perfino rovesciate (per cui salendo topograficamente si trovano rocce più antiche).

La Catena Paleocarnica venne erosa in un tempo relativamente breve con il ritorno, già dalla fine del Carbonifero, di condizioni marine, in cui si sedimentarono le rocce che costituiscono la "Sequenza Permo Carbonifera". Le rocce del Carbonifero delle Alpi Carniche appartengono quindi sia alla sequenza Pre-Varisica, che alla sequenza Permo-Carbonifera.

Più recentemente, durante il Cenozoico, tutte le rocce delle tre sequenze furono coinvolte in un altro ciclo orogenetico, l'orogenesi Alpina, che ha definitivamente modellato la struttura delle Alpi come le conosciamo ora.

La sequenza Pre-Varisica

Le rocce più antiche delle Alpi Carniche si sono depositate durante l'Ordoviciano Superiore, circa 450 milioni di anni fa in un mare poco profondo e relativamente freddo (Fig. 10a). Nella parte più occidentale del bacino, nell'area di Lago di Volai, sono presenti arenarie che testimoniano un ambiente di spiaggia sommersa (Fm. di Himmelberg), che passano gradualmente verso l'alto a calcari costituiti principalmente da accumuli di resti di crinoidi e cistoidi, in cui sono anche presenti rari coralli solitari. La parte orientale presenta, invece, rocce depositatesi in un mare più aperto: si tratta di peli-

8 > Le formazioni del Paleozoico delle Alpi Carniche: i nomi indicano le varie formazioni che sono descritte nel testo (da Corradini et al., 2015 modif. e int.). >Die paläozoischen Ablagerungen der Karnischen Alpen: Die Namen beziehen sich auf die verschiedenen Formationen, die im Text beschrieben werden (modifiziert von Corradini et al., 2015).

DAS PALÄOZOIKUM DER KARNISCHEN ALPEN

In den Karnischen Alpen gibt es eine der umfangreichsten und vollständigsten Sedimentfolgen Europas; die entsprechenden Gesteine lagerten sich in einem Zeitraum vom oberen Ordovizium bis in die Trias ab, mit nur wenigen Unterbrechungen in der Sedimentation (Abb. 8). Die Gesteine des karnischen Paläozoikums sind in drei große Sedimentsequenzen unterteilt; die prävariszische Sequenz, die Perm-Karbon-Sequenz und die Perm-Trias-Sequenz. Die prävariszischen Gesteine umfassen einen Zeitraum vom mittleren Ordovizium (ca. 460 Millionen Jahre vor heute) bis zum frühen Spätkarbon (frühes Bashkirium, ca. 320 Millionen Jahre vor heute). Eine Besonderheit dieser Region ist, dass dieser Zeitraum hier ohne größere Lücken in den Gesteinen dokumentiert ist. Es ist die Gesamtheit dieser Gesteine, die vor etwa 320 Millionen Jahren an tektonischen Bewegungen beteiligt waren, die im Rahmen der variszischen Gebirgsbildung zur Bildung eines nicht sehr hohen Gebirges, der sogenannten "Paläokarnischen Kette" (Abb. 9), führten. Aus diesem Grund sind fast alle Gesteine dieser Folge stark gefaltet und manchmal sogar überkippt (so

dass ältere Gesteine über jüngeren liegen). Die Paläokarnische Kette wurde in relativ kurzer Zeit erodiert, so dass bereits am Ende des Karbons wieder marine Bedingungen herrschten, unter denen sich die Gesteine der Perm-Karbon-Sequenz ablagerten. Die Perm-Karbon-Abfolge begann im Moskovium nach der variszischen Gebirgsbildung (vor ca. 310 Millionen Jahren) und endete im mittleren Perm. Die Gesteine des Karbons der Karnischen Alpen gehören somit teils der prävariszischen Sequenz und teils der Perm-Karbon-Sequenz an. Die Perm-Trias-Sequenz schließlich dauerte vom späten Perm (ca. 260 Millionen Jahre) bis zur späten Trias (ca. 240 Millionen Jahre). In jüngerer Zeit, während des Känozoikums, waren die Gesteine aller drei Sequenzen an einem weiteren Zyklus der Gebirgsbildung beteiligt, der alpinen Gebirgsbildung, welche letztendlich die Struktur der Alpen, wie wir sie heute kennen, geformt hat.

Die Prävariszische Abfolge

Die ältesten Gesteine der Karnischen Alpen lagerten sich während des späten Ordoviziums vor etwa 450 Millionen Jahren in einem flachen und relativ kalten Meer ab (Abb. 10a).



9 > L'area di Sappada rappresenta lo "snodo" fra le Alpi Carniche e il Comelico.

> Das Gebiet um Sappada ist der „Knotenpunkt“ zwischen den Karnischen Alpen und dem Comelico.

ti, siltiti, arenarie e più rari conglomerati appartenenti alla Formazione di Valbertad (nota anche come “Scisti di Uqua”) caratterizzate da abbondante contenuto fossilifero, di norma concentrato in livelli ben definiti. Si ritrovano trilobiti, brachiopodi, briozoi, gasteropodi, cistoidi e crinoidi. La sequenza ordovicianiana prosegue con alcuni metri di calcari nodulari (Formazione di Uqua) e arenarie calcaree (Formazione del Plöcken). Quest’ultima unità testimonia il graduale abbassamento del livello marino dovuto a una importante glaciazione, che ha causato l’emersione di gran parte dell’area carnica tra la fine dell’Ordoviciano e l’inizio del Siluriano.

La sedimentazione marina è ripresa durante il Siluriano inferiore, anche se in momenti diversi secondo le caratteristiche morfologiche del bacino: il mare, infatti, ha inondato prima le parti più profonde e successivamente quelle meno profonde (Fig. 10b). Questo processo è durato alcuni milioni di anni e solo verso la fine del Llandovery (circa 435 milioni di anni fa) l’intera area carnica era di nuovo completamente coperta dal mare.

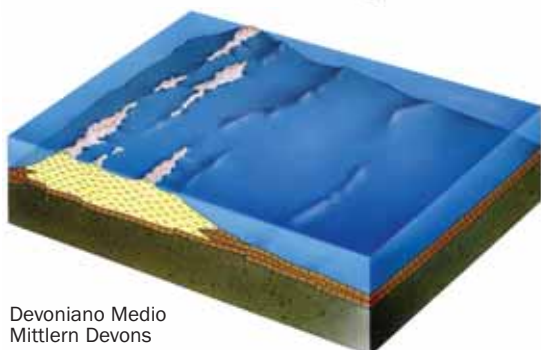
Durante il Siluriano e il Devoniano Inferiore si sono depositate due tipi di rocce: argilliti nere (comunemente chiamate “scisti neri”) e calcari. Le argilliti nere sono tipiche delle aree più profonde, dove i fondali oceanici erano poveri di ossigeno e di vita. Gli unici fossili abbondanti sono i graptoliti, organismi coloniali estinti, imparentati con gli attuali pterobranchi. Le rocce carbonatiche del Siluriano sono in genere note con il nome di “Calcari a Orthoceras”, per l’abbondante contenuto di fossili di cefalopodi ortoceratidi, e si sono depositate in un mare tranquillo e relativamente poco profondo, ma lontano da terre emerse. Oltre ai nautiloidi, sono relati-



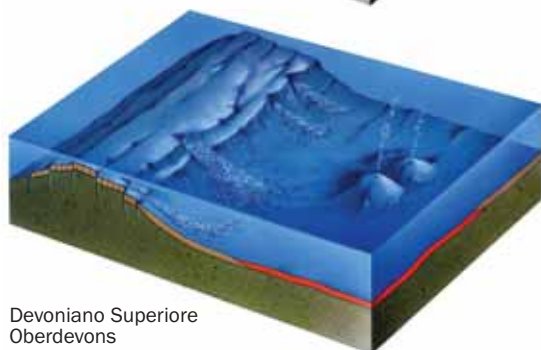
Ordoviciano Superiore
Oberordovizium



Siluriano
Silur



Devoniano Medio
Mittlern Devon



Devoniano Superiore
Oberdevons

10 > Ricostruzioni ambientali del settore carnico dall’Ordoviciano al Devoniano.

> Rekonstruktion der Lebensräume vom Ordovizium bis zum Devon in den Karnischen Alpen.

vamente abbondanti i bivalvi, mentre sono più rari fossili di trilobiti e brachiopodi.

All'inizio del Devoniano le condizioni del bacino carnico rimasero simili a quelle del Siluriano superiore, ma già pochi milioni di anni dopo, verso la fine del Lochkoviano, iniziarono a svilupparsi grandi differenze tra le varie aree, che si accentuarono sempre più durante il Devoniano Inferiore: a partire dall'Emsiano, circa 400 milioni di anni fa, nelle parti meno profonde del bacino si svilupparono grandi costruzioni carbonatiche (scogliere, Fig. 11), mentre nelle parti più profonde proseguì la sedimentazione in acque tranquille. Nelle parti intermedie si depositarono grandi frane dovute a crolli delle parti più esterne degli edifici carbonatici. Le scogliere ebbero la loro massima diffusione durante il Devoniano Medio (Fig. 10c), e perdurarono anche all'inizio del Devoniano Superiore, quando una serie di variazioni del livello del mare e la ripresa di una forte attività sismica ne provocarono la scomparsa (Fig. 10d). Le rocce del Devoniano Superiore e dell'inizio del Carbo-

nifero sono quasi esclusivamente costituite da calcari pelagici, noti con il nome di "Calcarei a Clymenie", dal nome di un gruppo di ammonoidi caratteristico del periodo.

Durante il Carbonifero inferiore il bacino carnico fu interessato da forti movimenti tettonici che portarono ad approfondimenti di alcune zone ed emersioni di altre. Grandi frane sottomarine staccatesi dalle zone meno profonde fecero sì che nelle aree bacinali si accumulassero spesse sequenze di brecce, conglomerati, arenarie e peliti. Queste rocce appartengono alla Formazione del Hochwipfel (Figg. 12). Verso metà del Carbonifero, in contemporanea alla deposizione delle frane, si verificarono fenomeni vulcanici sottomarini, testimoniati dalle grandi quantità di roccia vulcanica (Formazione del Dimon) oggi presenti nel versante italiano delle Alpi Carniche tra Forni Avoltri e Paularo. Queste condizioni permase- ro fino a circa 320 milioni di anni, quando, durante il Bashkiriano, l'Orogenesi Varisica (Fig. 15), segnò la conclusione della sequenza sedimentaria Pre-Varisica delle Alpi Carniche.



11 > Nell'area del Lago di Voliaia, a cavallo del confine italo-austriaco, affiora una classica e ben studiata sequenza pre-Varisica: al centro il Costone Lambertenghi.

> Im Bereich des Wolayersees, der die italienisch-österreichische Grenze überspannt, ist eine klassische und gut untersuchte prävariszische Sedimentabfolge sichtbar. In der Mitte der Hang des Costone Lambertenghi.



12 > Nell'area del Lago di Avostanis è evidente il contatto, tettonico, fra i calcari del Devoniano e i livelli arenaceo-marnosi dell'Hochwipfel, più erodibili e quindi modellati con forme più arrotondate. Questa ultima formazione testimonia l'inizio dell'Orogenesi Varisca.

> Im Bereich des Avostanis-Sees ist der tektonische Kontakt zwischen devonischen Kalkstein und den sandig-mergeligen Schichten der Hochwipfel-Formation deutlich erkennbar. Letztere erodieren leichter und haben daher ein eher abgerundetes Aussehen. Diese Formation markiert den Beginn der variszischen Gebirgsbildung.

Im westlichsten Teil dieses Beckens, im Gebiet um den Wolayersee, findet man Sandsteine, die von einem Ablagerungsmilieu mit überschwemmten Stränden zeugen (Himmelberg-Formation) und allmählich zu Kalksteinen übergehen, welche hauptsächlich aus Anhäufungen von Seelilien- und Cystoideenresten bestehen, wobei auch seltene, solitäre Korallen vorkommen. Im östlichen Teil befinden sich Gesteine, die in einem offeneren Meer abgelagert wurden: Tone, Siltsteine, Sandsteine und seltener Konglomerate der Valbertad-Formation (auch als "Uqua-Schiefer" bekannt), die sich durch einen reichen Gehalt an Fossilien in meist gut abgegrenzten Schichten auszeichnet. Man findet Trilobiten, Armfüßer, Moostierchen, Schnecken, Cystoideen und Seelilien. Die ordovizische Abfolge setzt sich mit einigen Metern Knotenkalk (Uqua-Formation) und kalkhaltigen Sandsteinen (Plöcken-Formation) fort. Diese letzte Einheit zeugt von der allmählichen Absenkung des

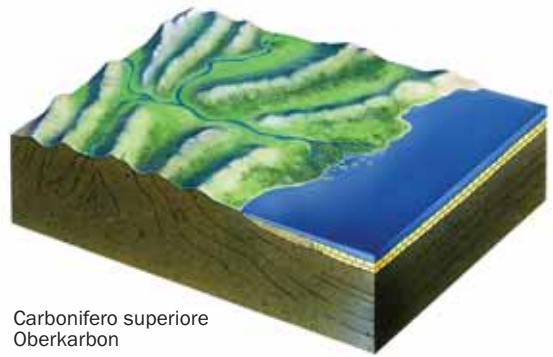
Meeresspiegels aufgrund einer großen Vergletscherung, die zum Auftauchen eines großen Teils des karnischen Gebiets zwischen dem späten Ordovizium und dem frühen Silur führte.

Die marine Sedimentation begann erneut im frühen Silur (Abb. 10b), entsprechend der morphologischen Eigenschaften des Beckens allerdings zu unterschiedlichen Zeiten; das Meer überschwemmte zuerst die tieferen und dann die höherliegenden Teile. Dieser Vorgang dauerte einige Millionen Jahre und erst gegen Ende der Llandovery-Epoche (vor etwa 435 Millionen Jahren) war das gesamte karnische Gebiet wieder vollständig vom Meer bedeckt. Während des Silurs und des frühen Devons lagerten sich zwei Gesteinstypen ab: schwarze Tonsteine (allgemein als Schwarzschiefer bezeichnet) und Kalksteine. Die schwarzen Tonsteine sind typisch für tiefere Bereiche, in denen der Meeresboden arm an Sauerstoff und Leben war.

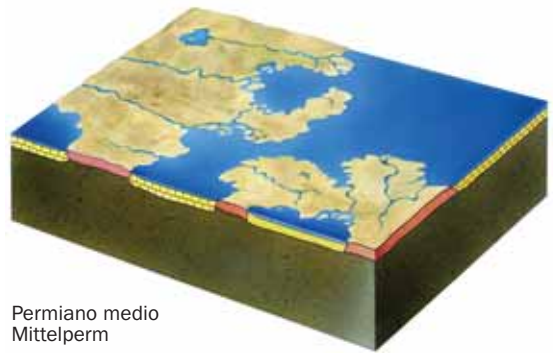
Die einzigen Fossilien, die hier reichlich vorkommen, sind die Graptolithen - ausgestorbene, koloniebildende Organismen, die mit den heutigen Flügelkiemern (Pterobranchia) verwandt sind. Die Karbonatgesteine des Silurs werden auch als "Orthocerenkalk" bezeichnet, wegen des hohen Gehalts an Fossilien von orthokonen Nautiloideen. Sie lagerten sich in einem ruhigen und relativ flachen, aber dennoch küstenfernen Meeresbereich ab. Neben Nautiloideen kommen auch Muscheln recht häufig vor, während Trilobiten- und Armfüßer fossilien seltener sind.

Zu Beginn des Devons waren die Bedingungen im karnischen Becken ähnlich denen im späten Silur, doch bereits wenige Millionen Jahre später, gegen Ende des Lochkoviums, entwickelten sich große Unterschiede zwischen den verschiedenen Gebieten, die sich im Laufe des frühen Devons immer mehr verschärften: Ab dem Emsium, vor rund 400 Millionen Jahren, entstanden in den flacheren Bereichen des karnischen Beckens große Karbonatgebilde (Riffe, Abb. 11), während sich in den tieferen Bereichen die Sedimentation in ruhigem Wasser fortsetzte. In den dazwischen liegenden Zonen lagerten sich große Erdrutsche von Abbrüchen an den Außenrändern der Karbonatgebilde ab. Die Riffe hatten ihre größte Ausbreitung während des mittleren Devons (Abb. 10c) und bestanden noch zu Beginn des späten Devons bis vor etwa 380 Millionen Jahren, als eine Reihe von Meeresspiegelschwankungen und erneute starke seismische Aktivität zu ihrem Verschwinden führten (Abb. 10d). Die Gesteine des Oberdevons und des beginnenden Karbons bestehen fast ausschließlich aus pelagischen Kalken, die als "Clymenienkalk" bekannt sind, nach einer für diese Zeit charakteristischen Gruppe von Ammonoideen.

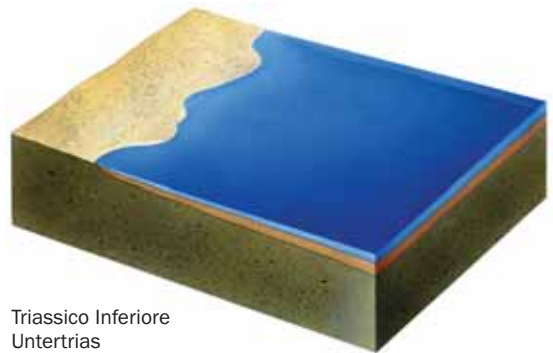
Während des frühen Karbons war das karnische Becken von starken tektonischen Bewegungen betroffen, die zu einer Absenkung einiger Gebiete und zum Auftauchen anderer Gebiete führten. In den tieferen Bereichen des Beckens sammelte sich eine mächtige Abfolge von Brekzien, Konglomeraten, Sandsteinen und Tonsteinen an (Abb. 12). Gegen Mitte des Karbons kam es außerdem zu unterseeischen Vulkanausbrüchen, wovon große Mengen an



Carbonifero superiore
Oberkarbon



Permiano medio
Mittelperm



Triassico Inferiore
Untertrias

13 > Ricostruzioni ambientali del settore carnico dal Carbonifero all'inizio del Triassico.

> Rekonstruktion der Lebensräume vom Karbon bis zum Beginn der Trias.

Vulkangestein zeugen, die heute auf der italienischen Seite der Karnischen Alpen zwischen Forni Avoltri und Paularo zu finden sind.

Diese Bedingungen blieben bis vor etwa 320 Millionen Jahre bestehen, als im Bashkirium die variszische Gebirgsbildung (Abb. 15) den Abschluss der prävariszischen Sedimentationssequenz in den Karnischen Alpen markierte

La sequenza Permo-Carbonifera e la Sequenza Permo-Triassica

L'Orogenesi Varisica provocò la formazione di una catena montuosa poco elevata, che si riflette - nella sequenza rocciosa delle Alpi Carniche - in un intervallo non documentato. Infatti la sedimentazione è, in prima approssimazione, un fenomeno continuo nei mari, mentre sui continenti avviene soprattutto l'erosione. I prodotti dell'erosione vengono trasportati dai fiumi fino ai mari dove si depositano nuovamente nei grandi delta fluviali.

La sequenza Permo-Carbonifera è costituita da una alternanza di sedimenti di origine fluviale-deltizia e più francamente marini, conseguenza di frequenti variazioni del livello del mare collegati a una grande glaciazione sviluppatasi tra la fine del Carbonifero e l'inizio del Permiano (Fig. 13a).

I primi depositi successivi all'orogenesi Varisica sono breccie e conglomerati, prodotti dal-

l'erosione della catena Paleocarnica, seguiti da depositi clastici fluvio-deltizi alternati a calcari di mare poco profondo. A partire dalla fine del Carbonifero e per tutto il Permiano inferiore (Fig. 14) l'area carnica fu nuovamente coperta dal mare, come testimoniano gli abbondanti depositi calcarei che culminano verso la fine del Permiano inferiore con la formazione di nuove scogliere, che non raggiunsero però le dimensioni di quelle devoniane.

Durante il Permiano medio (Fig. 13b) una nuova fase tettonica compressiva provocò ampie emersioni nell'area, evidenziate, per esempio, dai fenomeni carsici sui calcari del Permiano inferiore. Le successive rocce del Permiano superiore (Fig. 16) sono costituite da sedimenti principalmente continentali (Arenarie di Val Gardena), seguiti da depositi evaporitici, lagunari e marini poco profondi (Formazione a Bellerophon), che indicano alla fine del Paleozoico una lenta risalita del livello marino.



14 > Il Monte Cavallo di Pontebba, costituito da calcari devoniani; a destra, sullo sfondo, la Creta di Aip con gli ultimi termini della sequenza Permo-Carbonifera. > Der Rosskofel bei Pontebba, bestehend aus devonischen Kalksteinen; rechts im Hintergrund der Trogkofel mit den letzten Ausläufern der Perm-Karbon Sequenz.



15 > Nel versante austriaco della Chianevate è ben evidente come l'enorme piega varisica del massiccio Coglians-Chianevate sia stata nuovamente deformata durante l'Orogenesi Alpina; la successione rocciosa si è formata nel Devoniano inferiore, circa 415 milioni di anni fa, in un mare aperto di media profondità
> Auf der österreichischen Seite der Kellerspitzen, bestehend aus tiefmarinem Kalk aus dem Unterdevon, ist deutlich sichtbar, wie die enormen variszischen Falten im Coglians-Chianevate-Massiv durch die alpine Gebirgsbildung erneut deformiert wurden.



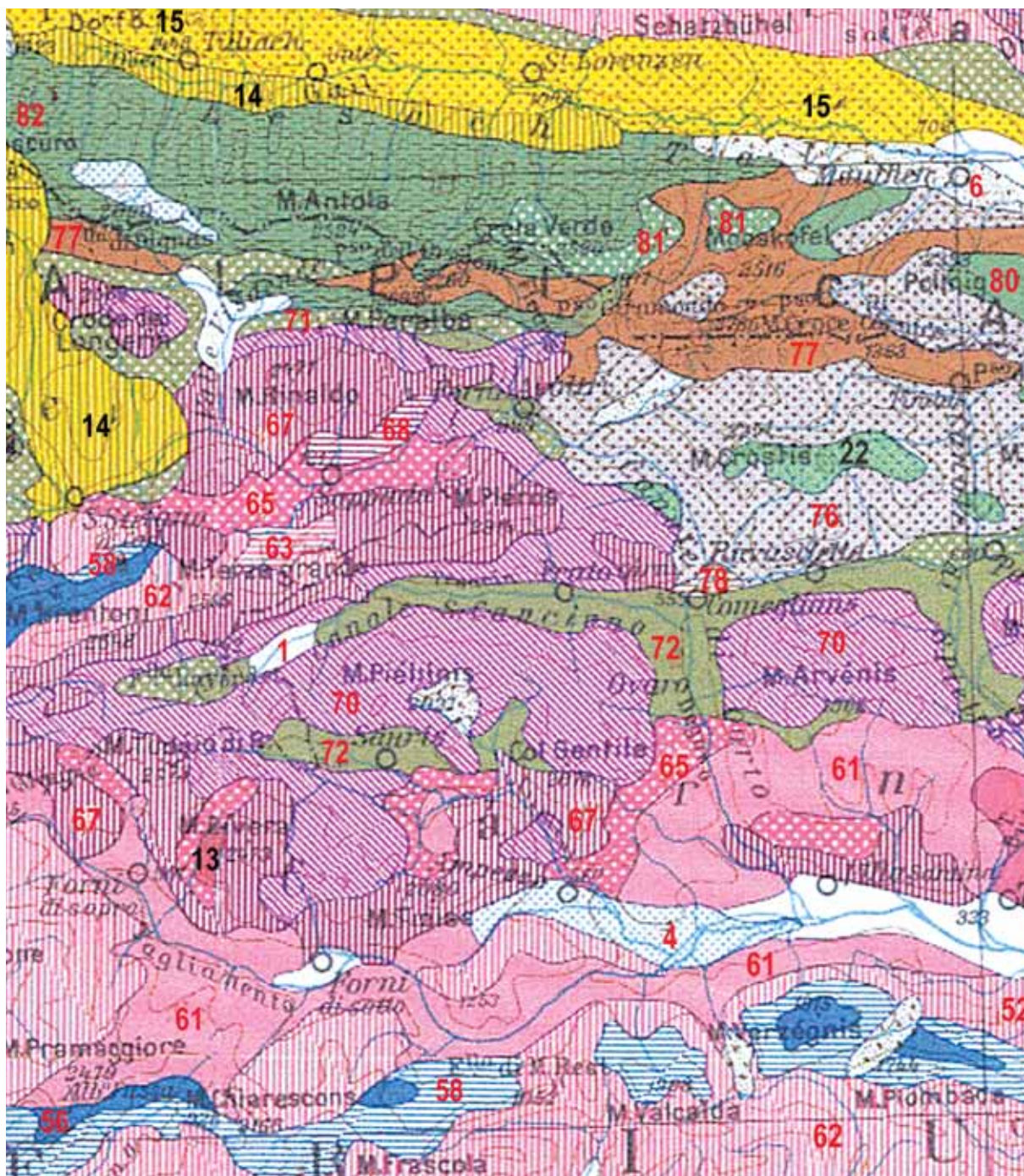
16 > I Calcari a Bellerophon e le Arenarie di Val Gardena, del Permiano superiore, affiorano intensamente deformati a Forcella Pradulina: sono parte della sequenza Permo-Triassica.

> Die Bellerophon-Kalke und der Grödnert Sandstein des Oberperms treten am Forcella Pradulina stark deformiert auf: Sie sind Teil der Permo-Trias-Sequenz.

Die Perm-Karbon-Abfolge und die Perm-Trias-Abfolge

Die variszische Gebirgsbildung hatte die Bildung eines nicht sehr hohen Mittelgebirges zur Folge, was sich in den Karnischen Alpen in Form einer Lücke in der Gesteinsabfolge niederschlug. Tatsächlich ist Sedimentation annäherungsweise ein kontinuierliches Phänomen in den Meeren, während auf den Kontinenten vor allem Erosion stattfindet. Die Erosionsprodukte werden von den Flüssen in die Meere transportiert, wo sie in den großen Flussdeltas wieder abgelagert werden. Die Perm-Karbon-Sequenz besteht aus einem Wechsel von Sedimenten aus Flüssen, Deltas und dem offenen Meer, was auf häufige Schwankungen des Meeresspiegels in Verbindung mit einer großen Vereisungsphase am Ende des Karbons und am Beginn des Perms zurückzuführen ist (Abb. 13a). Die ersten Ablagerungen nach der variszischen Gebirgsbildung waren Brekzien und Konglomerate, die bei der Erosion der Paläokarnischen Kette entstanden, gefolgt von

klastischen Fluss-/Delta-Ablagerungen, die sich mit Kalksteinen des flachen Meeres abwechseln. Ab dem Ende des Karbons und im gesamten Unterperm (Abb. 14) war das karnische Gebiet wieder vom Meer bedeckt, was unter anderem durch die reichlich vorhandenen Kalkablagerungen belegt wird, die gegen Ende des Unterperms mit der Bildung neuer Riffe gipfelten, wobei diese allerdings nicht die Dimensionen der devonischen erreichten. Während des mittleren Perms (Abb. 13b) sorgte eine neue Phase kompressiver Tektonik dafür, dass weite Teile des karnischen Gebiets auftauchten, wovon zum Beispiel Verkarstungsphänomene auf den Kalksteinen des unteren Perms zeugen (Abb. 16). Die nachfolgenden Gesteine des Oberperms bestehen hauptsächlich aus kontinentalen Sedimenten (Grödnert Sandstein), gefolgt von evaporitischen, lagunären und flachmarinen Ablagerungen (Bellerophon-Formation), die auf einen langsamen Anstieg des Meeresspiegels am Ende des Paläozoikums hindeuten.



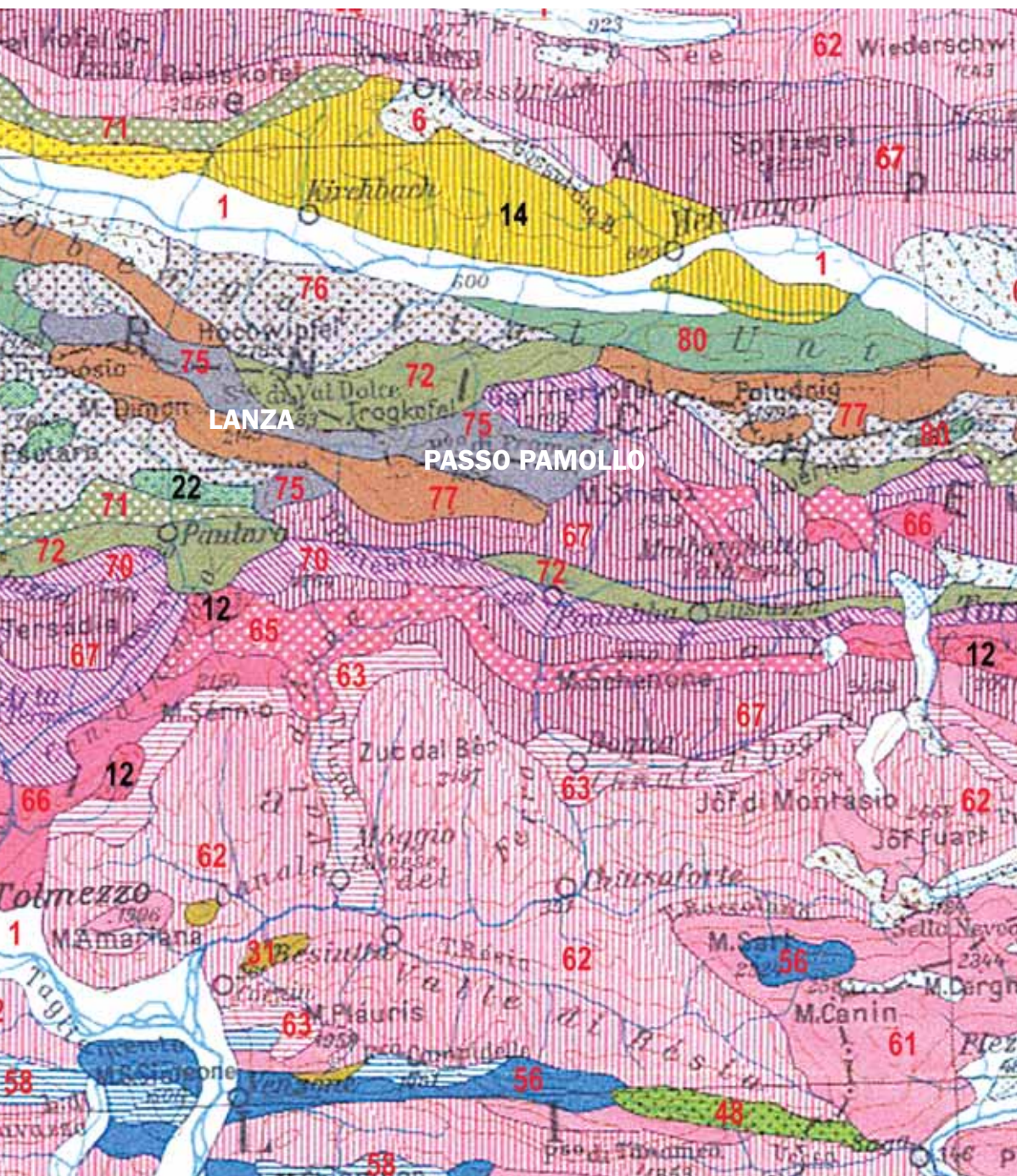
17 > Carta geologica semplificata, scala 1:250.000
(dalla carta Geologica d'Italia alla scala 1:500.000 -
Servizio Geologico d'Italia, modif.).

> Vereinfachte geologische Karte, Maßstab 1:250.000
(aus der geologischen Karte von Italien im Maßstab
1:500.000 - Servizio Geologico d'Italia, modifiziert).

numeri rossi

- 1 - Depositi sciolti recenti e attuali
- 2 - Depositi sciolti del Pleistocene

- 31 - Calcareni dell'Eocene-Paleocene
- 44, 46 - Calcarei del Cretaceo
- 48 - Flysch del Cretaceo
- 56, 58 - Calcarei del Giurassico
- 61 - Calcarei e calcari dolomitici del Triassico Sup. (Calcare del Dachstein, Dolomia di Forni...)
- 62 - Dolomie del Triassico superiore (Dolomia Principale...)
- 63 - Calcarei e calcari marnosi del Triassico Sup. (Fm. di Raibl...)
- 65 - Conglomerati prevalenti del Triassico Sup.-Medio
- 66, 68 - Calcarei prevalenti del Triassico medio



- 70 - Calcarei e arenarie del Triassico Inf.
- 71 - Arenarie prevalenti del Permiano (Arenarie di Val Gardena)
- 72 - Calcarei prevalenti del Permiano (Fm. a Bellerophon, Gruppo del Trokofel...)
- 75 - Calcarei prevalenti con arenarie del Carbonifero (Gruppo di Pramollo...)
- 76 - Depositi tipo flysch del Carbonifero (Fm. Hochwipfel e del Dimon)
- 77 - Calcarei del Devoniano (anche debol. metamorfosati)

- 80 - Calcarei del Siluriano-Devoniano
- 81 - Depositi prevalentemente arenacei dell'Ordoviciano-Siluriano
- 82 - Argilloscisti (Formazione Val Vissende e Fleons...) Ordoviciano

numeri neri

- 12, 13 - Vulcaniti del Triassico Medio e Sup.
- 14, 15 - Metamorfiti di basso e medio grado
- 22 - Vulcaniti del Carbonifero.



IL CARBONIFERO DELLE ALPI CARNICHE

Circa 330 milioni di anni fa le Alpi Carniche si trovavano all'estremità occidentale della Tetide, nella parte meridionale delle montagne varisiche. La depressione di Pramollo (Nassfeld, Fig. 19) si formò durante il Carbonifero superiore in seguito ai movimenti durante la formazione delle montagne varisiche (Fig. 21). La depressione era coperta, per gran parte dell'area, dal mare e la linea di costa correva nella parte settentrionale e occidentale del paese.

A causa delle continue oscillazioni del livello del mare, l'area a volte emergeva, dando origine ad una pianura fluviale; a volte, invece, era coperta da un mare basso. Questo ha fatto sì che si depositassero alternatamente livelli di calcari marini (quando livello marino era maggiore) e di conglomerati, arenarie oppure siltiti (quando il livello marino era più basso). Nell'area di confine tra Italia e Austria si formarono, circa 310 milioni di anni fa, zone paludose più o meno estese.

Le rocce del Carbonifero, ricche di fossili di animali e vegetali, hanno attirato molto presto l'attenzione dei collezionisti locali e dei ricercatori nazionali e internazionali. Geologi e paleontologi già nel XIX secolo hanno studiato questi strati particolari e i fossili che contenevano. Ad esempio, i primi fossili di piante provenienti dal Monte Corona sono stati descritti più di 150 anni fa.

La prima guerra mondiale portò alla divisione delle Alpi Carniche, dal momento che il confine di Stato tra Italia e Austria attraversava questa zona.

Questo implica che le rocce e le montagne, depositate originariamente nello stesso ambiente di vita, oggi si trovano in Nazioni diverse. La creazione di "scuole scientifiche" diverse ha fatto sì che gli scienziati (italiani e austriaci) che si sono occupati delle stesse successioni rocciose nelle Alpi Carniche, negli anni hanno introdotto nomi diversi per le stesse rocce. Solo gli ultimi anni hanno portato lentamente all'unificazione dei nomi e dei concetti di divisione degli strati. Inoltre, la raccolta e lo studio dei fossili vegetali delle Alpi Carniche nel XX secolo si è svolta quasi esclusivamente sul lato austriaco, dove sono custodite anche le collezioni storiche di quest'area. Gli scienziati italiani si focalizzarono, contemporaneamente, sullo studio dei sedimen-

18 > Livelli ricchi di brachiopodi (*Linoproductus lineatus*) in parte coperti da una patina di limonite. Carbonifero superiore del Monte Carnizza (Passo Pramollo).
> Schichten mit zahlreichen Brachiopoden (*Linoproductus lineatus*), die teilweise von einer Patina aus Limonit bedeckt sind. Oberkarbon des Garnitzbergs (Nassfeldpass).



19 > Nell'area di Pramollo affiora estesamente la sequenza Permo-Carbonifera. Al centro il Monte Auernig con i livelli del Carbonifero superiore; sullo sfondo il Gartenkofel costituito in prevalenza da calcari triassici.

ti e della storia della tettonica delle Alpi Carniche. Tra i vari gruppi di fossili animali furono soprattutto i foraminiferi e i conodonti ad attirare particolarmente l'attenzione degli scienziati perché, anche se non molto spettacolari, permettono di determinare l'età degli strati rocciosi in cui sono stati trovati.

Le rocce più antiche del Carbonifero nelle Alpi Carniche appartengono alla Formazione del Pal Grande e a quella dello Zollner. Entrambe le formazioni sono marine, hanno uno spessore di circa 100 m e si estendono temporalmente dal Devoniano al Viseano. Le due unità sono lateralmente eteropiche (si sono depositate contemporaneamente in condizioni sedimentarie diverse): la Formazione del Pal Grande è costituita da un calcare ricco in fossili, nella Formazione dello Zollner prevalgono le radiolariti (selci composte da scheletri di animali unicellulari con lo scheletro composto da silice). Anche la non ben datata Formazione di Plotta potrebbe essersi depositata a cavallo tra il Devoniano ed il Carbonifero in ambiente carsico, quando rocce più vecchie erano temporaneamente emerse, lascian-

do un livello, spesso fino a 7 m, di una selce porosa e di breccia. Le formazioni del Pal Grande e dello Zollner sono seguite dalla Formazione del Hochwipfel (Viseano medio-Bashkiriano inferiore), la quale ha uno spessore variabile da 350 a 600 m ed è costituita da arenarie, peliti e siltiti depositatesi come grandi frane sottomarine durante le prime fasi dell'orogenesi Varisica. Occasionalmente la Formazione di Hochwipfel può contenere anche rocce di origine vulcanica. Rocce che testimoniano un attivo vulcanismo sottomarino tra il Sepurkoviano e il Bashkiriano sono abbondanti tra Forni Avoltri e Paularo e appartengono alla Formazione del Dimon (Fig. 20), che può raggiungere uno spessore di 800 metri. La sequenza sedimentaria post-varisica inizia con la Formazione di Bombaso (spessore 200 m; Moscoviano), seguita dal Gruppo di Pramollo (Moscoviano superiore-Gzheliano). Il Gruppo di Pramollo (Fig. 22) è a sua volta costituito dalla Formazione di Meledis (120 m), Formazione di Pizzul (300 m), Formazione del Corona (300 m), Formazione di Auernig (250 m) e Formazione di Carnizza (120



> Im Gebiet von Pramollo sind die Perm-Karbon-Gesteine deutlich sichtbar. In der Mitte der Auernig mit Schichten des Oberkarbons, hinten der Gartenkofel, vorwiegend bestehend aus Triaskalken.

DAS KARBON IN DEN KARNISCHEN ALPEN

Die Karnischen Alpen lagen vor circa 310 Millionen Jahren am westlichen Ende der Tethys, südlich des Variszischen Gebirges. Der nördliche Teil des Geoparks gehörte zu einem flachen Ausläufer des Gebirges, der Paläokarnischen Kette. Das Gebiet entsprach ab dem Oberkarbon im Wesentlichen dem sogenannten Nassfeld-Becken, das sich nach der Auffaltung des Variszischen Gebirges durch tektonische Bewegungen gebildet hatte. Diese Senke war damals größtenteils vom Meer überflutet. Die Küstenlinie verlief im Norden und Westen des Landes. Durch die Schwankungen des Meeresspiegels war das Gebiet zeitweise Festland und bildete eine Flussebene, in anderen Zeitabschnitten hingegen war es von seichtem Meer bedeckt. Dies führte zur abwechselnden Bildung von marinen Kalkgesteinen bei hohem Meeresspiegel und von Sand- oder Siltsteinen bei niedrigem Meeresspiegel. Im heutigen Grenzgebiet zwischen Italien und Österreich bildeten sich vor circa 310 Millionen Jahren kleinere Sumpfgebiete.

Da die Gesteine des Karbons reich an Tier- und Pflanzenfossilien sind, haben sie sehr früh die Aufmerksamkeit lokaler Sammler und nationaler und internationaler Forscher auf sich gezogen. Bereits im 19. Jahrhundert beschäftigten sich Geologen und Paläontologen mit diesen besonderen Schichten und den Fossilien, die

diese beinhalten. So wurden Pflanzenfossilien von der Kronalpe bereits vor mehr als 150 Jahren beschrieben. Der 1. Weltkrieg führte zur Zerteilung der Karnischen Alpen, da die Staatsgrenze zwischen Italien und Österreich danach durch dieses Gebiet führte. Dadurch liegen heute Berge, deren Gesteine ursprünglich im selben Gebiet abgelagert wurden, auf zwei Staatsgebieten. Da sich auf italienischer und auf österreichischer Seite jeweils Wissenschaftler von verschiedenen "wissenschaftlichen Schulen" mit den Gesteinen und Fossilien aus dem Gebiet der Karnischen Alpen befassten, wurden in der Folgezeit unterschiedliche Formationsnamen für die gleichen Schichten verwendet. Erst in den letzten Jahren wurde wieder eine Vereinheitlichung angetrieben. Zudem fand die Erforschung der Pflanzenfossilien der Karnischen Alpen im 20. Jahrhundert fast nur noch in Österreich statt, wo auch die historischen Sammlungen aus diesem Gebiet lagerten. Um die Aufarbeitung der Sedimente und die tektonische Geschichte der Karnischen Alpen kümmerten sich vorwiegend Wissenschaftler auf italienischer Seite. Unter den nicht-pflanzlichen Fossilgruppen galt landesübergreifend den Großforaminiferen und Conodonten besonders viel Aufmerksamkeit. Diese sind zwar nicht spektakulär, aber sehr wichtig für die Altersbestimmung der Gesteinsschichten, in denen sie gefunden wurden.



20 > Le rocce vulcaniche della Formazione del Dimon al Pizzo del Corvo; sotto un dettaglio delle *pillow-lavas*.
> Die vulkanischen Gesteine der Dimon-Formation am Pizzo del Corvo; unten eine Detailsicht der Kissenlaven.

Das Karbon beginnt in den Karnischen Alpen innerhalb der Pal-Grande-Formation und der Zollner-Formation. Beide Formationen sind marin, etwa 100 Meter mächtig und reichen vom Devon bis ins Viséum. Sie gehen lateral ineinander über, während aber die Pal-Grande-Formation aus fossilreichem Kalkstein besteht, herrscht in der Zollner-Formation Radiolarit (Hornstein bestehend aus den kieseligen Skeletten von Einzellern) vor. Die nicht genau datierte Plotta-Formation könnte ebenfalls aus dem Grenzbereich Devon/Karbon stammen. Sie entstand in einer Karstlandschaft, als ältere Gesteine zeitweilig aufgetaucht waren, und hinterließ bis zu sieben Meter an porösem Hornstein und Brekzien. Die Pal-Grande- und Zollner-Formationen werden von der geschätzt 350 bis 600 Meter mächtigen Hochwipfel-Formation (mittleres Viséum bis unteres Bashkirium) überlagert. Sie bildete sich in einem offenen marinen Bereich durch Ablagerung von Sand, Silt und Tonen. Man bezeichnet diese Gesteine als Flysch, und interpretiert sie als submarine Schuttfächer, die sich als Produkte der beginnenden Auffaltung des Variszischen



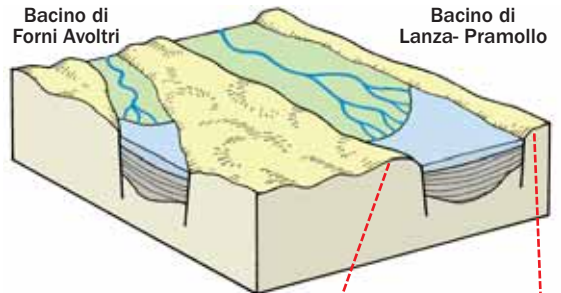
Gebirges abgelagerten. Vereinzelt finden sich in der Hochwipfel-Formation auch vulkanische Gesteine. Im Bereich zwischen Forni Avoltri und Paularo gab es im Serpukhovium und Bashkirium (vor 330 bis 315 Millionen Jahren) einen marinen Vulkanismus, wovon die bis zu 800 Meter mächtige Dimon-Formation zeugt (Abb. 20).

m). Queste rocce sono ben esposte e spesso riccamente fossilifere nelle aree di Passo Pramollo e di Passo del Cason di Lanza.

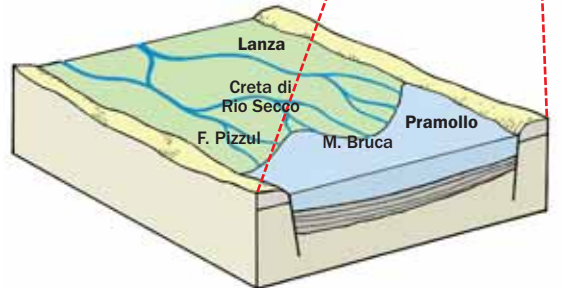
Le rocce del Carbonifero post-varisco delle Alpi Carniche sono, generalmente, formate da alternanze di strati silicoclastici (breccie, conglomerati, arenarie, siltiti) e carbonatici. Quest'ultimi vengono depositati in un mare poco profondo, vicino alla costa, nei letti dei fiumi, o in delta fluviali. Queste alternanze ricorrenti di tipi di roccia vengono associate a cambiamenti climatici ciclici che provocavano espansioni e ritiri delle calotte glaciali e conseguenti fluttuazioni del livello del mare. Sedimenti grossolani come le breccie, i conglomerati (Fig. 24) e le arenarie indicano un deposito su terre emerse o vicino alla riva di un fiume o in ambiente costiero, e quindi che il livello del mare era basso. Le rocce composte da limo, argilla e carbonati a grana fina, invece, si formarono durante le fasi di livello alto del mare. Localmente si possono osservare dei livelli di carbone nella Formazione di Bombaso e nel Gruppo di Pramollo, testimoniando che nell'area esistevano foreste in ambiente paludoso.

Molti livelli rocciosi del Gruppo di Pramollo sono ricchi di fossili di animali (specialmente marini) e piante. Le piante vengono solo raramente rinvenute *in situ*, cioè nello stesso punto in cui sono cresciute. Si trovano perlopiù nei sedimenti marini fini, dove sono state trasportate e depositate sul fondo potendo quindi conservarsi in modo eccezionale.

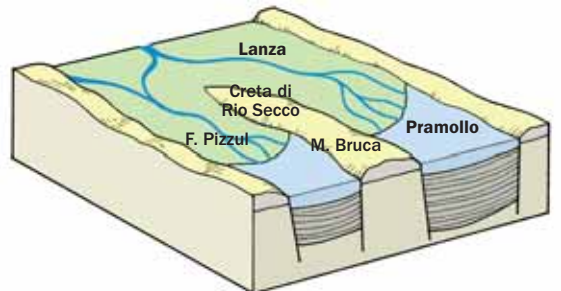
Il Carbonifero delle Alpi Carniche termina con la Formazione a *Pseudoschwagerina* Inferiore, che raggiunge uno spessore massimo di circa 160 metri (Gzheliano). Essa appartiene al Gruppo di Rattendorf, che comprende anche le rocce permiane della Formazione di Val Dolce e della Formazione



Carbonifero superiore - 310 milioni di anni fa
Oberkarbon - vor 310 Millionen Jahren



Carbonifero superiore - 305 milioni di anni fa
Oberkarbon - vor 305 Millionen Jahren



21 > Con l'Orogenesi varisica si formarono in Carnia due settori, delimitati da faglie "distensive", che sprofondarono, creando così i bacini di Forni Avoltri e di Pramollo-Lanza. In quest'ultimo, dopo pochi milioni di anni, l'area centrale si sollevò creando una dorsale larga alcuni chilometri (da Venturini, in Muscio, 2019).
> Bei der Variszischen Gebirgsbildung entstanden in den Karnischen Alpen zwei Sektoren, die durch Dehnungsverwerfungen begrenzt sind und tendenziell absanken, wodurch das Forni Avoltri-Becken und das Nassfeld-Becken entstanden. In Letzterem begann sich nach einigen Millionen Jahren im zentralen Bereich ein mehrere Kilometer breiter Kamm zu bilden (modifiziert von Venturini, in Muscio, 2019).

a *Pseudoschwagerina* Superiore (Fig. 23). Tutte le unità del Gruppo di Rattendorf sono caratterizzate da un'alternanza di strati carbonatici e silicoclastici, ricchi di fossili.



22 > I Piani di Lanza, verso la Creta di Aip, con estesi affioramenti delle sequenze Permo-Carbonifera e Permo-Triassica. La Creta di Aip è costituita anche da depositi di scogliera del Permiano inferiore.

> Piani di Lanza in Richtung Trogkofel, mit ausgedehnten Aufschlüssen der Perm-Karbon- und Perm-Trias-Sequenzen. Der Trogkofel besteht unter anderem aus Ablagerungen von Riffen aus dem Unterperm.



23 > Superficie levigata di calcare a fusuline.

> Polierte Oberfläche eines Fusulinidenkalkes.

Die postvariszische Sedimentabfolge beginnt mit der Bombaso-Formation (200 m mächtig; Moskovium), gefolgt von der sogenannten Pramollo-Gruppe (oberstes Moskovium bis Gzhelium), bestehend aus Meledis-Formation (120 m), Pizzul-Formation (300 m), Corona-Formation (300 m), Auernig-Formation (250 m) und Carnizza-Formation (120 m). Diese Gesteine sind rund um den Nassfeldpass und den Lanzenpass besonders gut aufgeschlossen und oft reich an Fossilien. Generell bestehen die post-variszischen karbonischen Gesteine der Karnischen Alpen aus Wechselfolgen von siliziklastischen Schichten (Brekzien, Konglomerate, Sandsteine, Siltsteine und Tonsteine) und Karbonaten. Diese lagerten sich in einem flachen Meer, nah an der Küste, oder in Flüssen, bzw. in einem Flussdelta ab. Die zyklischen Wechsel der Gesteinsarten werden mit der schwankenden Vereisung auf der Südhalbkugel und den daraus resultierenden Meeresspiegelschwankungen in Verbindung gebracht. Grobkörnige Sedimente wie Brekzien, Konglomerate und Sandsteine deuten auf eine Ablagerung an Land oder nahe der Küste und damit auf einen niedrigen Meeresspiegel hin.

Die feinkörnigen Silt- und Tonsteine und Karbonate bildeten sich dagegen im Meer bei hohem Wasserstand. Stellenweise kommen in der Bombaso-Formation und in der Pramollo-Gruppe auch Kohleflöze vor, die davon zeugen, dass es hier bewaldete Sümpfe gab. Viele Schichten der Pramollo-Gruppe sind reich an Fossilien. Diese stammen sowohl von marinen Tieren und Algen als auch von Landpflanzen. Letztere findet man eher selten "*in situ*", d.h. an der Stelle, wo sie gewachsen sind, sondern vor allem in feinkörnigen Sedimenten aus dem Meer, wo sie eingeschwemmt wurden und sich gut erhalten konnten. Das Karbon der Karnischen Alpen endet mit der etwa 160 Meter mächtigen Unteren Pseudoschwagerina-Formation (auch als Unterer Pseudoschwagerinen-Kalk bekannt; oberes Gzhelium bis unterstes Perm) der Rattendorf-Gruppe, welche außerdem noch die unterpermischen Val Dolce-Formation und die Obere Pseudoschwagerina-Formation enthält. Auch die Rattendorf-Gruppe zeichnet sich durch einen Wechsel von siliziklastischen und fossilreichen karbonatischen Schichten aus.



24 > Arenarie e conglomerati quarzosi deltizio-fluviali del Carbonifero superiore (Gruppo del Rattendorf) fra Lanza e Pramollo: grazie alla presenza di quarzo sono stati utilizzati per la realizzazione di macine da mulino. > Sandsteine und Quarzkonglomerate der Delta-/Fluss-Ablagerungen des Oberkarbons (Rattendorf-Gruppe) zwischen Lanza und Nassfeld. Aufgrund des Quarz-Gehalts wurden diese Konglomerate in der Vergangenheit zur Herstellung von Mühlsteinen verwendet.





25 > Ricostruzione dell'ambiente marino aperto delle Alpi Carniche nel Carbonifero superiore, con , pesci cartilaginei, cefalopodi (ammonoidi e ortoceratidi) e brachiopodi.

> Rekonstruktion des Lebensraums in der Tiefsee der Karnischen Alpen im Oberkarbon, mit Knorpelfischen, Kopffüßern (Ammonoideen und Orthoceratiden) und Armfüßer.



GLI ORGANISMI MARINI DEL CARBONIFERO DELLE ALPI CARNICHE

Macroforaminiferi

I foraminiferi sono organismi unicellulari con uno scheletro esterno, che può essere costituito da carbonato di calcio, opale o persino da granelli di sabbia agglomerati. La maggior parte degli animali appartenenti a questo gruppo vive nel mare, alcuni in acqua dolce. Alcune forme galleggiano, ma la maggior parte colonizza il fondo marino. Quello dei foraminiferi è un gruppo di grande successo e con tante forme diverse, che esiste dal Cambriano (circa 560 milioni di anni fa) fino ad oggi. I macroforaminiferi (foraminiferi di grandi dimensioni che si possono osservare ad occhio nudo) si distinguono per le loro dimensioni a volte straordinarie (questi animali unicellulari possono raggiungere i 13 centimetri) ma anche per il loro ambiente di vita visto che colonizzano solo le zone di marea, dunque la zona costiera del mare. Grazie alla loro simbiosi con le alghe, possono coprire il loro fabbisogno energetico ed estrarre il carbonato di calcio dal mare per la costruzione dei loro scheletri esterni.

I foraminiferi sono importanti nella datazione delle rocce marine del Carbonifero delle Alpi Carniche. I più frequenti sono i fusulinidi (Fig. 27), un gruppo di foraminiferi macroscopici con uno scheletro fusiforme e composto da granelli di calcite particolarmente fini.

Spugne e stromatopori

Le spugne e gli altri rappresentanti del phylum Porifera sono gli animali pluricellulari più primitivi esistenti. Infatti, possiedono solo pochi tipi di cellule che non sono organizzate in veri tessuti. Sono organismi bentonici sessili, filtratori, che utilizzano delle cellule flagellate per pompare acqua nei loro sistemi di canali. La morfologia è molto variabile a seconda delle caratteristiche ambientali (substrato, correnti, moto ondoso) e possono essere incrostanti o eretti. Lo scheletro delle spugne è interno e può essere organico o costituito da calcare o da silice.

Nel Carbonifero delle Alpi Carniche i resti di poriferi sono abbastanza diffusi e si possono rinvenire negli episodi marini di tutte le formazioni del Gruppo di Pramollo (Fig. 28).

26 > Trilobiti
Phillipsiadae, dai
livelli del Gruppo di
Pramollo
(Carbonifero
superiore) delle
pendici del Monte
Bruca (Passo
Pramollo)
> Trilobiten, genauer
Phillipsiadae, aus der
Pramollo-Gruppe
(Oberkarbon), am
Monte Bruca
(Nassfeldpass).

DIE LEBEWESEN IM MEER DES KARNISCHEN KARBONS

Großforaminiferen

Foraminiferen sind Einzeller mit einem gekammerten Gehäuse, das aus Kalziumkarbonat, Skeletttopal oder auch aus verklebten Sandkörnern bestehen kann. Die meisten Vertreter dieser Gruppe leben im Meer, einige auch im Süßwasser. Manche Formen schweben im Wasser, die meisten besiedeln aber den Meeresboden. Die sehr erfolgreiche und formenreiche Gruppe der Foraminiferen existiert seit dem Kambrium (vor rund 560 Millionen Jahren) bis heute. Die Großforaminiferen zeichnen sich sowohl durch ihre für Einzeller teils außerordentliche Größe von bis zu 13 Zentimetern aus, als auch durch ihre Lebensweise, denn sie besiedeln ausschließlich die Gezeitenzonen, d.h. die Ufergebiete der Meere. Durch ihre Symbiose mit Algen können sie ihren Energiebedarf decken und Kalk zum Gehäusebau gewinnen. Im Karbon der Karnischen Alpen sind die

Foraminiferen wichtig für die Datierung der Meeressedimente. Besonders häufig sind hier die Fusulinida, eine Gruppe von Großforaminiferen mit spindelförmigen Gehäusen aus extrem feinkörnigem Kalzit (Abb. 27).

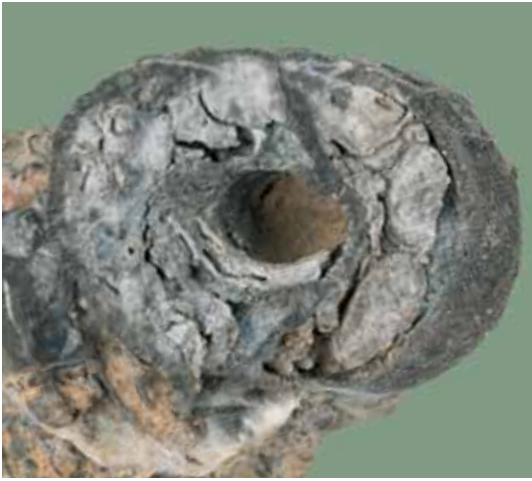
Schwämme

Schwämme (d.h. Vertreter des Stammes Porifera) sind die primitivsten mehrzelligen Tiere, die es gibt. Tatsächlich besitzen sie nur wenige Arten von Zellen, welche nicht in echtem Gewebe oder Organen organisiert sind. Sie sind sessile (verankerte), benthische Organismen, die sich durch Filtertätigkeit ernähren, wobei sie Geißelzellen nutzen, um Wasser durch ihre inneren Kanalsysteme zu pumpen. Die äußere Form ihrer Körper ist abhängig von den Umwelteigenschaften (Untergrund, Strömung, Wellenbewegung) sehr variabel und kann flach (inkrustierend) oder aufgerichtet sein. Das Skelett der Schwämme ist innenliegend und kann aus organischem Material (Spongín), Kalk (Kalzit) oder Kieselsäure (Skeletttopal) bestehen.



27 > La conservazione in silice ha permesso di porre in risalto, isolandole dalla matrice, alcune fusuline del genere *Pseudoschwagerina* (Carbonifero superiore del Monte Auenig). Questi organismi unicellulari superano qui il centimetro di lunghezza. Si notano, fra gli altri, alcuni frammenti di bivalvi, gasteropodi e briozoi.

> Dank der Erhaltung in Kieselsäure konnten einige Fusuliniden der Gattung *Pseudoschwagerina* (Oberkarbon am Auenig) vom Umgebungsgestein befreit werden. Die einzelligen Organismen sind mehr als einen Zentimeter lang. Einige Fragmente von Muscheln, Schnecken und Moostierchen sind auch sichtbar.



28 > *Amblysiphonella*, spugna dalle pendici del Monte Bruca (Passo Pramollo). > *Amblysiphonella*, ein Schwamm vom Monte Bruca (Nassfeldpass).



29 > Un corallo solitario (Rugosa) da Casera For (Passo Pramollo). > Eine solitäre Koralle (Rugosa) von der Ofenalm (Nassfeldpass).

Coralli

I coralli appartengono al phylum Cnidaria, insieme alle meduse e agli anemoni di mare. Sono metazoi con un'organizzazione corporea molto semplice, priva di organi differenziati. Si sono originati nel Precambriano e sono tuttora presenti ed abbondanti.

I coralli possono vivere isolati, oppure in colonie, anche di grandi dimensioni. Ogni individuo (corallite) secerne il suo scheletro, nella maggior parte dei casi costituito da carbonato di calcio. Durante la crescita sviluppano una serie di strutture verticali (setti) e orizzontali (tabule), insieme ad altre meno comuni. In base alla presenza e alla disposizione dei setti e delle tabule vengono distinti tre grandi gruppi di coralli: Rugosa (detti anche tetracoralli), Tabulata e Scleractinia (detti anche esacoralli). I Rugosa e i Tabulata sono esclusivamente paleozoici, mentre gli Scleractinia sono comparsi all'inizio del Mesozoico e racchiudono tutti i coralli attuali con scheletro carbonatico. Nei mari attuali esiste un ulteriore gruppo, gli Ottocoralli, che non ha però una

significativa documentazione fossile, perché non ha uno scheletro mineralizzato.

Nel Carbonifero esistevano quindi Rugosa e Tabulata, ed entrambi i gruppi sono stati tra i principali costruttori delle scogliere di quel periodo. I Tabulata erano esclusivamente coloniali e sviluppavano colonie anche di grandi dimensioni, prevalentemente massicce, senza ramificazioni. I singoli coralliti erano disposti in prima approssimazione gli uni accanto agli altri. Nei Tabulata i setti sono molto rari, mentre le tabule sono le strutture dominanti.

I Rugosa potevano svilupparsi sia come colonie, sia come organismi solitari. Erano caratterizzati dalla presenza di setti ben evidenti, che si sviluppavano quattro alla volta durante la crescita. Per questo motivo sono noti anche con il nome di Tetracoralli. Presentavano anche tabule e altre strutture scheletriche (dissepimenti). Le forme isolate avevano di norma una morfologia che ricorda un corno e vivevano appoggiate al fondale; le colonie potevano assumere varie morfologie, ma le più comuni avevano una forma per lo più

Im Karbon der Karnischen Alpen sind Überreste von Schwämmen ziemlich verbreitet und in den marinen Episoden aller Formationen der Pramollo-Gruppe zu finden (Abb. 28).

Korallen

Korallen gehören zum Stamm Cnidaria, zusammen mit Quallen und Seeanemonen. Sie sind für Metazoen sehr einfach aufgebaut, da ihr Körper keine differenzierten Organe besitzt. Sie waren im Präkambrium entstanden und existieren auch heute noch in großer Zahl. Korallen können einzeln oder in Kolonien, teils mit großen Ausmaßen, leben. Jedes Individuum (Korallit) scheidet sein Skelett aus, das meistens aus Kalziumkarbonat besteht. Während des Wachstums entwickeln sich eine Reihe vertikaler (Septen) und horizontaler (Tabulae) Strukturen. Anhand des Vorkommens und der Anordnung von Septen und Tabulae werden drei große Gruppen von Korallen unterschieden: Rugosa (auch Tetracorallia genannt), Tabulata und Scleractinia (auch Steinkorallen genannt). Rugosa und Tabulata sind ausschließlich aus dem Paläozoikum bekannt, wohingegen die Scleractinia zu Beginn des Mesozoikums erschienen und alle heutigen Korallen mit Karbonatskelett einschließen. In den Meeren von heute gibt es eine weitere Gruppe, die Octocorallia. Da sie kein mineralisiertes, zusammenhängendes Skelett ausbilden, erhielten sich nur wenige fossil.



30 > Colonia di briozoi fenestellidi (Passo del Cason di Lanza).

> Eine Kolonie von fenestelliden Moostierchen (Lanzenpass).

Im Karbon existierten also Rugosa und Tabulata. Die Tabulata waren ausschließlich kolonial und entwickelten auch große, zumeist massige Kolonien ohne Verzweigungen, wobei die einzelnen Koralliten in der Regel direkt aneinander angrenzten. Bei den Tabulata sind Septen sehr selten, während die Tabulae die vorherrschenden Strukturen sind. Die Rugosa konnten sowohl kolonial als auch solitär vorkommen. Sie zeichneten sich durch deutlich ausgebildete Septen aus, von denen sich während des Wachstums jeweils vier gleichzeitig entwickelten, worauf sich auch ihr anderer Name "Tetracorallia" bezieht. Es gibt bei ihnen auch Tabulae und andere Skelettstrukturen (Dissepimente). Die isolierten Formen hatten normalerweise eine Morphologie, die an ein Horn erinnert, und lebten auf dem Untergrund stehend oder liegend. Kolonien konnten verschiedene Morphologien annehmen, aber die häufigsten hatten eine meist abgerundete Form mit nah beieinander angeordneten Koralliten. Im Karbon der Karnischen Alpen sind zahlreiche Überreste von Korallen in den Meereseisoden der Pramollo-Gruppe zu finden, fast ausschließlich von solitären Rugosa (Abb. 29).

Moostierchen

Moostierchen (Bryozoen) sind benthische, koloniale Organismen, die seit dem Ordovizium bis heute in allen Meeren verbreitet sind, aber auch Süßwasserarten sind bekannt.



31 > Dettaglio di briozoi silicizzati (Monte Auernig, Passo Pramollo). Si nota anche un brachiopode.

> Detailsicht von verkieselten Moostierchen (Auernig, Nassfeldpass). Sichtbar ist auch ein Armfüßer.

32 > Brachiopodi spiriferida, dal Carbonifero superiore di Casera For (Passo Pramollo).
 > Armfüßer der Gruppe Spiriferida, aus dem Oberkarbon der Ofenalm (Nassfeldpass).



arrotondata con i coralliti disposti gli uni vicino agli altri.

Nel Carbonifero delle Alpi Carniche si rinvencono numerosi resti di coralli, quasi esclusivamente da Rugosa solitari, negli episodi marini del Gruppo di Pramollo (Fig. 29).

Briozoi

I briozoi sono organismi coloniali bentonici, ampiamente diffusi in tutti i mari dall'Ordoviciano a oggi, ma ne sono note anche specie di acqua dolce. Una colonia può essere formata da svariate centinaia di individui e avere una intelaiatura (scheletro) costituita da proteine fibrose o gelatinose e/o da carbonato di calcio. La morfologia delle colonie è varia e riflette l'ambiente di vita: per esempio in acque tranquille e profonde le colonie assumono una forma eretta, a ventaglio (Fig. 30) o ramificata, tanto da assomigliare a dei cespugli, mentre in ambienti ad alta energia le colonie sono più robuste, a forma di disco o di cupola e a volte incrostanti (cioè sviluppate sopra altri organismi o sulle rocce del fondale).

Nel Carbonifero delle Alpi Carniche non sono molto abbondanti, anche se talora si rinvencono accumuli delle loro colonie, come presso Casera Auernig, dove i loro resti silicizzati conservano i più piccoli particolari (Fig. 31).

Brachiopodi

I brachiopodi erano gli invertebrati più abbondanti e diversificati del Paleozoico. Si sono originati nel Cambriano inferiore e hanno dominato gli ambienti di mare poco profondi fino al Permiano. La grande estinzione avvenuta alla fine del Permiano li ha fortemente decimati, tanto da non essere più componenti abbondanti delle faune del Mesozoico e del Cenozoico: oggi ne esistono circa 120 generi, un numero molto basso rispetto agli oltre 4500 generi fossili conosciuti.

Sono organismi esclusivamente marini caratterizzati da una conchiglia formata da due valve diverse tra loro. Una viene detta brachiale (o dorsale), l'altra peduncolare (o ventrale); di norma la valva peduncolare è quella più grande. Dalla valva ventrale fuoriesce spesso un

Eine Kolonie kann aus mehreren hundert Individuen bestehen und ein Gerüst (Skelett) aus faserigen oder gelatinösen Proteinen und/oder Kalziumkarbonat aufweisen. Die Morphologie der Kolonien ist sehr unterschiedlich und spiegelt das Lebensumfeld wider: Beispielsweise nehmen die Kolonien in ruhigen und tiefen Gewässern eine aufrechte, fächerförmige oder verzweigte Form (Abb. 30) an, so dass sie Büschen ähneln, während sie in Umgebungen mit hoher Energie einen robusteren Aufbau haben: Sie wachsen scheibenförmig, kuppelförmig und manchmal inkrustierend (d.h. auf anderen Organismen oder auf Felsen im Boden).

Im Karbon der Karnischen Alpen sind Moostierchen im Allgemeinen nicht sehr häufig anzutreffen, auch wenn manchmal Ansammlungen ihrer Kolonien zu finden sind, wie in Casera Auernig, wo ihre verkieselten Überreste die kleinsten Details bewahrt haben (Abb. 31).

Armfüßer

Die Armfüßer oder Brachiopoden waren die am häufigsten vorkommenden und vielfältigsten Wirbellosen des Paläozoikums. Sie entstanden im frühen Kambrium und dominierten die Flachmeere bis zum Perm. Das große Aussterben am Ende des Perm dezimierte sie stark, so dass sie in den mesozoischen und känozoischen Faunen nicht mehr häufig vorkommen. Heute gibt es noch etwa 120 Gattungen, eine sehr

geringe Zahl im Vergleich zu den über 4.500 bekannten fossilen Gattungen.

Es handelt sich um ausschließlich marine Organismen, die durch eine Schale aus zwei verschiedenen Klappen charakterisiert sind. Eine davon wird als Armklappe (oder Dorsalklappe), die andere als Stielklappe (oder Ventralklappe) bezeichnet; normalerweise ist die Stielklappe die größere. Die Stielklappe ist außerdem durch eine Öffnung gekennzeichnet, durch die ein fleischiger Stiel ragt, mit dem das Tier am Untergrund befestigt ist. Auf der Innenseite der Armklappe ist ein filigraner Arm befestigt, mit dem Nahrung aus dem Wasser gefiltert wird, der sich aber nur selten fossil erhält. Im Allgemeinen kann jede Klappe entlang der Längsachse in zwei symmetrische Hälften unterteilt werden. Es werden drei Klassen von Armfüßern unterschieden, basierend auf der Zusammensetzung und der Art der Verbindung der Klappen: Die Lingulata haben Klappen aus Chitin und Phosphat, die Articulata haben kalkige, mit einem Scharnier verbundene Klappen, während die Inarticulata kalkige Klappen ohne Scharnier haben. Heutige Armfüßer weisen nur noch wenige, größtenteils sehr ähnliche Formen auf, und leben an das Substrat angehängt in marinen Randumgebungen. Im Paläozoikum kamen sie dagegen in allen marinen Lebensräumen vor, die Formenvielfalt war groß.



33 > Livello di pelite del Carbonifero superiore, costituito da un accumulo di resti di brachiopodi, in prevalenza Productacea (Monte Corona, Passo Pramollo).
> Siltgestein des Oberkarbons. Darin enthalten ist eine Ansammlung von Überresten von Armfüßern, Muscheln und Schnecken (Kronalpe, Nassfeldpass).



34 > Un esemplare silicizzato di brachiopode che conserva ancora alcune delle spine (Monte Auernig).
> Ein verkieseltes Exemplar eines Armfüßers, mit noch erhaltenen Dornen (Auernig).

peduncolo muscoloso attraverso il quale l'animale si ancora al substrato. Nel lato interno delle valve si trova un organo (lofoforo) a forma di disco o di braccia dritte o spiralate, che permette all'animale di filtrare il nutrimento dall'acqua. In generale ogni valva può essere divisa in due parti simmetriche rispetto a un piano che le attraversa perpendicolarmente.

In base alla composizione e alle modalità di collegamento delle valve si distinguono tre classi di brachiopodi: i Lingulata hanno le valve chitino-fosfatice, gli Articulata hanno le valve calcaree connesse da una cerniera, gli Inarticulata hanno le valve carbonatiche ma non è presente la cerniera. Attualmente i brachiopodi sono tutti molto simili tra loro e vivono attaccati al substrato in ambienti marini marginali, mentre nel Paleozoico vivevano in tutti gli ambienti e presentavano una grande varietà di morfologie.

Nel Carbonifero delle Alpi Carniche i brachiopodi sono presenti in tutta la successione post-orogenetica (Fig. 32-35). In alcuni livelli dell'area di Pramollo sono molto abbondanti, come, ad esempio, poco sotto alla vetta del



35 > Spiriferida con tracce di una probabile predazione (Rio Bombaso, Passo Pramollo).
> Spiriferide mit möglichen Fraßspuren (Rio Bombaso, Nassfeldpass).

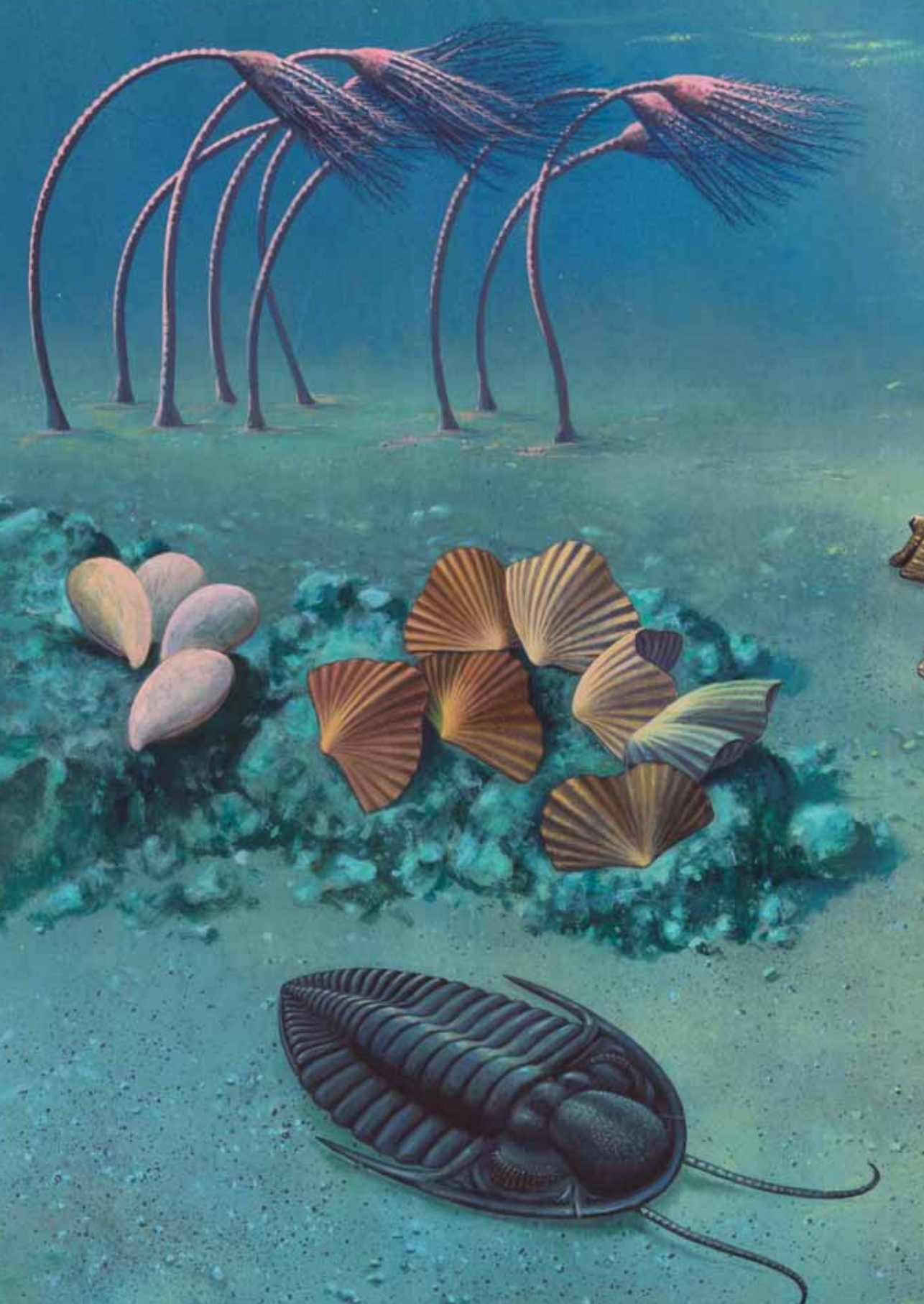
Monte Carnizza dove è presente una associazione "monospecifica" di *Linoproductus lineatus* le cui valve mineralizzate in ossidi di ferro spiccano per il colore arancione (Fig. 18).

Molluschi

I molluschi sono un phylum estremamente vario e differenziato. Sono animali prevalentemente marini, ma presenti anche in acque dolci, mentre alcune specie si sono adattate anche all'ambiente terrestre. Originati nel Cambriano, sono abbondanti ancora oggi. I molluschi più diffusi appartengono ai bivalvi, gasteropodi e cefalopodi: le stesse classi che dominavano anche durante il Carbonifero.

Cefalopodi

I cefalopodi sono la classe di molluschi più complessi ed evoluti. Hanno la testa distinta dal resto del corpo, organi di senso ben sviluppati e sono caratterizzati da una corona di tentacoli disposti attorno alla bocca. Sono tutti organismi marini, che possono spostarsi a piacere nuotando o muovendosi sul fondale. I cefalopodi attuali più noti e diffusi sono i



36 > Ricostruzione dell'ambiente di fondo marino del Carbonifero superiore delle Alpi Carniche con brachiopodi, bivalvi, gasteropodi, crinoidi e trilobiti.

> Rekonstruktion des Lebensraums am Grund des Meeres im Oberkarbon der Karnischen Alpen mit Armfüßern, Muscheln, Schnecken, Seelilien und Trilobiten.





37 > Cefalopode ammonioide proveniente dal Rio Bombaso (Pontebba). > Ammonitiderr Kopffüßer vom Rio Bombaso (Pontebba).

Im Karbon der Karnischen Alpen sind Armfüßer in allen post-variszischen Abfolgen vorhanden (Abb. 32-35). Auf einigen Hochebenen des Nassfeldpass sind sie besonders häufig anzutreffen, beispielsweise auf einer Ebene knapp unterhalb des Gipfels des Garnitzenbergs (Monte Carnizza), wo es eine "monospezifische" Ansammlung von *Linoproductus lineatus* gibt, deren in Eisenoxid mineralisierte Schalen durch ihr Orangerot hervorstechen (Abb. 18).

Weichtiere

Die Weichtiere oder Mollusken sind ein äußerst vielfältiger und differenzierter Stamm. Sie sind hauptsächlich Meerestiere, kommen aber auch im Süßwasser vor; einige Gruppen haben sich an die terrestrische Umgebung angepasst. Mollusken entstanden im Kambrium und sind heute noch reichlich vorhanden. Die am häufigsten vorkommenden Weichtiere gehören zu den Muscheln, Schnecken und Kopffüßern; die gleichen Klassen, die auch während des Karbons vorherrschten.

Kopffüßer

Kopffüßer (oder Cephalopoden) sind die komplexeste und höchstentwickelte Klasse der Mollusken. Ihre Köpfe tragen gut entwickelte Sinnesorgane und zeichnen sich durch einen Ring aus Tentakeln aus, der den Mund umgibt. Sie sind ausnahmslos Meeresbewohner, die sich schwimmend oder auf dem Meeresboden laufend fortbewegen können. Die bekanntesten



38 > Ortoceratide e briozoi fenestellidae da Casera For (Pramollo). > Ortoceras-ähnlicher Kopffüßer mit fenestelliden Moostierchen von der Ofenalm (Nassfeldpass).

und derzeit am weitesten verbreiteten Kopffüßer sind Kraken, Sepien und Kalmare, die kein äußeres Gehäuse haben. Unter den heutigen Kopffüßern besitzt allein das Perlboot (*Nautilus*) ein solches. In der Vergangenheit, insbesondere während des Paläozoikums und Mesozoikums, war das Gehäuse jedoch ein sehr verbreitetes Merkmal. Das Gehäuse der Kopffüßer ist in Kammern unterteilt, welche durch einen Siphon miteinander verbunden sind. Das Tier selbst bewohnt nur die äußerste Kammer. Durch den Siphon kann es jedoch den Druck in den anderen Kammern variieren und so seine Tiefe im Meer regulieren, ähnlich wie bei einem U-Boot. Das Gehäuse besteht aus Kalziumkarbonat und kann verschiedene Formen haben: gerade und konisch (orthokon, Abb. 38), leicht gebogen (cyrtokon, Abb. 39), in einer Ebene aufgerollt (planspiral), und weitere (Abb. 37).

Die Kopffüßer mit äußerem Gehäuse werden entsprechend der Morphologie und Struktur der Kammern und der Position des Siphons in Nautiloideen und Ammonoideen unterteilt. In der Regel, wobei es Ausnahmen gibt, hat die große Mehrheit der Nautiloideen ein orthokones Gehäuse, während die große Mehrheit der Ammonoideen ein planspirales Gehäuse hat. Die Nautiloideen sind im Kambrium erstmals erschienen, sie existieren heute noch (mit der Gattung *Nautilus*); die Ammonoideen entwickelten sich während des Devons und beherrschten die Meere, bis sie am Ende des Mesozoikums ausstarben.



39 > Nautiloidea proveniente dal Rio Bruca (Passo Pramollo). > Ein Nautiloide, gefunden am Rio Bruca (Nassfeldpass).



40 > Le valve aperte del bivalve cfr. *Schizodus*, dal Monte Canizza. > Die geöffneten Klappen der Muschel cfr. *Schizodus*, gefunden am Garnitzenberg.

polpi, le seppie ed i calamari, che non possiedono una conchiglia esterna, contrariamente alla forma odierna del *Nautilus*. Nel passato, soprattutto nel Paleozoico e nel Mesozoico, la conchiglia esterna era una caratteristica molto comune. La conchiglia dei cefalopodi è divisa in camere collegate tra loro tramite un sifuncolo. L'animale occupa solo la camera più esterna, detta camera di abitazione, ma tramite il sifuncolo può variare la pressione all'interno delle altre camere, regolando così la sua profondità nel mare, analogamente a un moderno sottomarino. La conchiglia è formata da carbonato di calcio e può avere forme diverse: diritta e conica (ortoconica), oppure leggermente ricurva (cirtoconica), oppure avvolta su in piano (planispirale).

I cefalopodi con conchiglia esterna vengono divisi in nautiloidi ed ammonoidi, secondo la morfologia, la struttura delle camere e la posizione del sifuncolo. In prima approssimazione, ma esistono eccezioni, la grande maggioranza dei nautiloidi ha la conchiglia ortoconica, mentre la grande maggioranza degli ammonoidi hanno la conchiglia planispirale. I nautiloidi sono comparsi nel Cambriano e

sono presenti anche oggi (il *Nautilus*); gli ammonoidi si sono evoluti durante il Devoniano e hanno dominato i mari fino alla fine del Mesozoico, quando si sono estinti.

Nelle rocce carbonifere delle Alpi Carniche depositatesi in ambienti di mare aperto sono presenti i nautiloidi (ortoconi, Fig. 38, e cirtoconi, Fig. 39) e, più abbondanti, gli ammonoidi (Fig. 37), mentre sono più rari negli ambienti costieri. A testimoniare l'abbondanza di questi fossili è il fatto che alcune rocce del Devoniano Superiore e Carbonifero inferiore venivano informalmente definite "Calcari a Clymeniae", nome derivato da un genere di ammonoidi particolarmente diffuso.

Bivalvi

I bivalvi sono molluschi filtratori caratterizzati da un corpo schiacciato, racchiuso in una conchiglia costituita da due valve di carbonato di calcio. Nella maggior parte dei casi le valve sono speculari tra loro. Le valve sono connesse da una cerniera, che può avere strutture molto diverse nelle varie specie.

Comparsi nel Cambriano, si diversificarono all'inizio del Mesozoico e sono molto abbon-

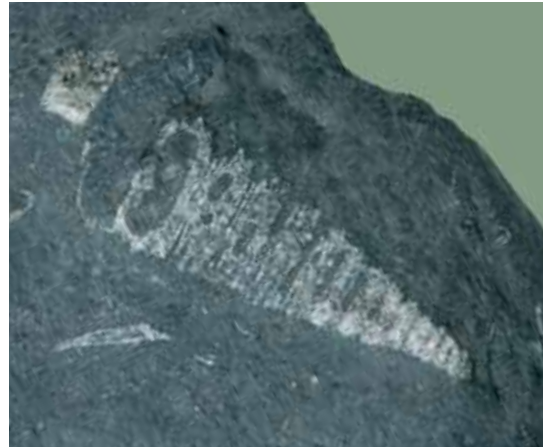


41 > Gasteropode da Casera For (Passo Pramollo).
> Schnecke von der Ofenalm (Nassfeldpass).

In den karbonischen Gesteinen der Karnischen Alpen, die sich im offenen Meer ablagerten, sind Nautiloideen (orthokone und cyrtokone) und, häufiger, Ammonoideen vorhanden. In Küstengebieten sind sie seltener. Ein Beleg für die Fülle dieser Fossilien ist die Tatsache, dass einige Gesteine des oberen Devons und des unteren Karbons informell als "Calcarei a Clymeniae" (Clymenienkalk, nach der Gattung *Clymenia*) bezeichnet wurden.

Muscheln

Muscheln (oder Bivalven) sind filtrierende Mollusken, die durch einen abgeflachten Körper gekennzeichnet sind, welcher von einer Schale aus zwei Klappen aus Kalziumkarbonat umschlossen wird. In den meisten Fällen sind die Klappen zueinander spiegelsymmetrisch. Die Klappen sind durch ein Scharnier verbunden, das bei verschiedenen Arten sehr unterschiedliche Strukturen aufweisen kann. Im Kambrium erstmals erschienen, haben sie sich zu Beginn des Mesozoikums diversifiziert und sind auch heute noch sehr häufig. Die überwiegende Mehrheit der Muscheln lebt im Meer, nur wenige Arten im Süßwasser. Muscheln sind benthische Organismen; einige leben auf dem Grund, während sich andere in das Sediment eingraben. Im Karbon der Karnischen Alpen sind Muscheln nicht sehr häufig, kommen aber in allen marinen Schichten der post-variszischen Sequenz vor (Abb. 40).



42 > Sezione di gasteropode proveniente dal Rio degli Uccelli (Pontebba). > Querschnitt einer Schnecke vom Rio degli Uccelli (Pontebba).

Schnecken

Schnecken (oder Gastropoden) sind die am häufigsten vorkommenden und am weitesten verbreiteten Weichtiere. Schnecken leben im Meer, im Süßwasser und an Land. Sie verbreiteten sich in den unterschiedlichsten Lebensräumen und entwickelten sehr unterschiedliche Ernährungsstrategien. Sie erschienen erstmals im Kambrium und erreichten ihre größte Vielfalt im Känozoikum (der jüngsten, bis heute andauernden Ära der Erdgeschichte). Schnecken zeichnen sich normalerweise durch ein Gehäuse aus Kalziumkarbonat (üblicherweise Aragonit) in Form einer konischen Spirale aus. Einige Formen haben allerdings kein Gehäuse. Fast alle aquatischen Gastropoden sind benthisch, d.h. sie leben auf dem Meeresboden, mit Ausnahme der Gruppe der Thecosomata (oder Pteropoden), die eine planktonische, d.h. im Wasser schwebende Lebensweise haben. Im Karbon der Karnischen Alpen sind sie vor allem in Küsten- und Lagunengebieten anzutreffen, aber sie sind in geringer Zahl fast überall zu finden (Abb. 41, 42).

Stachelhäuter

Die Stachelhäuter (Echinodermen) sind ein Stamm von weit verbreiteten und ebenso vielfältigen Meeresorganismen, die es seit dem frühen Paläozoikum bis heute gibt. Eine Besonderheit dieser Gruppe ist, dass sie meist eine fünfstrahlige Radiärsymmetrie aufweisen.

danti anche oggi. La grande maggioranza dei bivalvi vive in mare, mentre solo poche specie vivono in acqua dolce. I bivalvi sono organismi bentonici: alcuni vivono al di sopra del fondale, mentre altri all'interno dei sedimenti. Nel Carbonifero delle Alpi Carniche i bivalvi, pur non molto abbondanti, sono presenti in tutti i livelli marini della sequenza post-Vari-sica (Fig. 40).

Gasteropodi

I gasteropodi sono la classe di molluschi più abbondante e diffusa. Vivono nei mari, in acqua dolce e anche in ambiente terrestre, si sono diffusi negli habitat più vari e hanno sviluppato strategie nutrizionali molto differenziate. Sono comparsi nel Cambriano e hanno raggiunto la massima diversità nel Cenozoico. Sono caratterizzati dall'avere una conchiglia carbonatica, in genere formata da aragonite, a forma spirale allungata lungo un asse; alcune forme non hanno conchiglia. Quasi tutti i gasteropodi acquatici sono bentonici, con la sola eccezione del gruppo degli pteropodi che hanno uno stile di vita planctonico.

Nel Carbonifero delle Alpi Carniche si trovano soprattutto in ambienti costieri e lagunari, ma sono presenti, anche se non abbondanti, quasi ovunque (Figg. 41, 42).

Echinodermi

Gli echinodermi sono un gruppo di organismi marini molto diffuso e altrettanto vario, presente dal Paleozoico inferiore a oggi. Una delle loro particolarità è la simmetria pentaradiale del corpo. I ricci di mare, le stelle marine, i crinoidi e le oloturie sono i rappresentanti del phylum che vivono oggi, mentre i cistoidi, i blastoidi e i carpidi sono documentati solo nel Paleozoico. Nel Carbonifero

delle Alpi Carniche l'unico gruppo significativo sono i crinoidi, rari i cistoidi (Fig. 43).

Crinoidi

I crinoidi sono chiamati anche “gigli di mare” per la loro morfologia che ricorda quella di un fiore. Il corpo infatti è costituito da tre parti: un apparato radicale, lo stelo (peduncolo) e il calice (corona). L'apparato radicale è utilizzato dai crinoidi per fissarsi e può avere varie morfologie secondo l'ambiente di vita e le caratteristiche del fondale. Lo stelo, di lunghezza variabile secondo le specie, è formato da una serie di placchette sovrapposte tra loro. Il calice costituisce la parte terminale del corpo, ma è quella in cui si trovano tutti gli organi vitali; una corona di braccia convoglia con il movimento il cibo verso la bocca, che si trova nella parte superiore del calice. Le varie placchette che formano lo stelo e le braccia sono tenute insieme da tessuti organici, per cui alla morte del crinoide si disperdono sul fondo: è quindi molto comune trovare placchette, a volte in grande abbondanza, mentre è molto raro trovare un crinoide fossile intero. I crinoidi sono documentati dall'Ordoviciano Inferiore ed esistono anche oggi in tutti i mari. Nelle Alpi Carniche resti di crinoidi sono



43 > Placca di Cistoide da Casera For (Passo Pramollo).
> Cystoideen-Plättchen von der Ofenalm (Nassfeldpass).

Seeigel, Seesterne, Seelilien, Seegurken, Haarsterne und Schlangensterne sind die heutigen Vertreter des Stammes, während Cystoideen (Beutelstrahler, Abb. 43), Blastoideen (Knospenstrahler) und Carpoide nur im Paläozoikum nachweisbar sind. Im Karbon der Karnischen Alpen sind die Seelilien die einzige bedeutende Gruppe von Stachelhäutern.

Seelilien

Die Seelilien erhielten ihren Namen, weil ihr Aussehen an eine Blume erinnert, sie sind jedoch eindeutig Tiere. Bei ihrem Körper unterscheidet man drei Teile, wobei sich die Unterscheidung verwirrenderweise an Begriffe aus der Pflanzenwelt anlehnt: Wurzelsystem, Stiel und Kelch. Das Wurzelsystem wird von den Seelilien zur Fixierung verwendet und kann abhängig von der Lebensumgebung und den Eigenschaften des Meeresbodens verschiedene Formen annehmen. Der je nach Art unterschiedlich lange Stiel besteht aus einer Reihe übereinanderliegender Glieder. Der Kelch bildet den Abschluss des Körpers, in ihm befinden sich alle lebenswichtigen Organe. Eine Krone aus Armen befördert mit ihrer Bewegung das Essen zum Mund, der sich auch im oberen Teil des Kelchs befindet. Die verschiedenen Glieder, die den Stiel und die Arme bilden, werden von organischem Gewebe zusammengehalten, so dass sie sich nach dem Tod des Tieres auf dem Meeresboden verteilen. Es ist daher sehr häufig, Stiel- und Armglieder zu finden, bisweilen in großer Menge, während es sehr selten ist, eine ganze fossile Seelilie zu entdecken. Die isolierten Glieder nennt man auch "Trochiten". Seelilien sind ab dem Unterordovizium dokumentiert und existieren noch heute in allen Meeren. In den Karnischen Alpen sind Reste von Seelilien in Gesteinen verbreitet, die sich im tiefen Meer abgelagert haben, wo sie manchmal sogar in gesteinsbildenden Mengen auftreten.

Arthropoden

Die Arthropoden sind der mit Abstand am häufigsten vorkommende und vielfältigste Tierstamm der heutigen Welt. Es handelt sich dabei um Wirbellose mit einem Außenskelett aus Chitin, einem segmentierten Körper und einer variablen Anzahl von paarig angeordneten Gliedmaßen. Zu den Arthropoden gehören die

Krebstiere, Insekten, Spinnen, Skorpione, Tausendfüßer und viele weitere, zum Teil ausgestorbene, Gruppen.

Trilobiten

Trilobiten sind Arthropoden, die ausschließlich im Paläozoikum lebten, wobei sie damals in allen Meeren der Erde in großer Zahl vorkamen. Der Name leitet sich von der Morphologie des Körpers ab, bei dem drei längsgerichtete Teile unterschieden werden; eine zentraler (axialer) und zwei seitliche (laterale). Die Trilobiten sind außerdem in Querrichtung in drei Teile unterteilt: *Cephalon*, *Thorax* und *Pygidium*. Das *Cephalon* war der Kopfschild. Der *Thorax*, bestehend aus einer variablen Anzahl von Segmenten (Pleuren), entspricht dem Rumpf. Das *Pygidium* war der Schwanzschild. Einige Arten waren mit großen Dornen ornamentiert, andere glatt. Trilobiten lebten hauptsächlich am Meeresboden (benthische Tiere), obwohl sich einige Arten an eine schwimmende (pelagische) Lebensweise angepasst hatten. Im Kambrium und im unteren Ordovizium erreichen die Trilobiten ihre größte Häufigkeit und Vielfalt. Danach verringerte sich die Artenanzahl kontinuierlich, am Ende des Perms waren die Trilobiten verschwunden. Im Karbon der Karnischen Alpen sind Trilobiten ziemlich häufig. Ihre Überreste finden sich sowohl in den Clymenienkalken des untersten Karbons, als auch in allen marinen Episoden des Oberkarbons nach der Variszischen Gebirgsbildung. Manchmal, wie im unteren Teil der Pramollo-Gruppe, sind sie extrem häufig und perfekt erhalten (Abb. 26, 44, 45).



44 > Trilobite Phillipsiidae dalle pendici del Monte Bruca (Pontebba). > Phillipsiider Trilobit von den Hängen des Monte Bruca (Pontebba).



45 > Blocchetto di calcare con numerosi esemplari di trilobiti Phillipsiidae dalle pendici del Monte Bruca (Pontebba).
> Kalksteinblock mit zahlreichen Trilobiten der Gruppe Phillipsiidae von den Hängen des Monte Bruca (Pontebba).

comuni nelle rocce di mare basso, dove a volte formano intere lenti e livelli.

Artropodi

Gli artropodi sono il phylum animale di gran lunga più abbondante e diversificato nel mondo attuale, comprendente tutti gli invertebrati con uno scheletro esterno, il corpo segmentato e un numero variabile di coppie di zampe e appendici. Sono artropodi i crostacei, gli insetti, i ragni, gli scorpioni, i millepiedi, ed altri gruppi, parzialmente estinti.

Trilobiti

I trilobiti sono artropodi vissuti esclusivamente nel Paleozoico, quando erano abbondanti in tutti i mari. Il nome deriva dalla morfologia del corpo, in cui si distinguono tre lobi longitudinali: uno centrale (detto assiale) e due laterali. I trilobiti sono divisi anche in senso trasversale in tre parti: *cephalon*, *torax* e *pygidium*. Il *cephalon* era la testa, mentre il *torax*, costituito da un numero variabile di segmenti (pleure), corrisponde al tronco. Il *pygidium*

era la parte caudale. Alcune specie erano ornate da grandi spine, altre erano quasi lisce. I trilobiti erano principalmente animali bentonici, anche se alcune specie si sono adattate a un modo di vita pelagico. La massima abbondanza e diversità dei trilobiti è registrata nel Cambriano e nell'Ordoviciano Inferiore. Successivamente sono andati verso un lento, continuo declino, fino a sparire alla fine del Permiano. Nel Carbonifero delle Alpi Carniche i trilobiti sono piuttosto frequenti: si rinvencono sia nei Calcari a Clymenie (Carbonifero basale) sia negli episodi marini del Carbonifero superiore successivi all'orogenesi. A volte, come in un livello della parte bassa del Gruppo di Pramollo, sono estremamente abbondanti e conservati in maniera spettacolare (Figg. 26, 44, 45).

Vertebrati

Durante i Carbonifero i vertebrati marini sono rappresentati da pesci e conodonti: entrambi i gruppi sono ben rappresentati nelle Alpi Carniche, soprattutto nella prima parte del Periodo (Tournaisiano e Pragiano).

Wirbeltiere

Die marinen Wirbeltieren im Karbon waren Fische und Conodonten. Beide Gruppen sind in den Karnischen Alpen, insbesondere im ersten Teil der Periode (Tournaisium und Viséum), gut vertreten.

Conodonten

Die Conodonten gehören zu den ältesten bekannten Chordatieren (Wirbeltieren im weitesten Sinne). Es waren kleine Tiere mit einem aalförmigen, einige Zentimeter langen Körper. Sie hatten einen Kopf mit zwei großen Augen, eine Schwanzflosse und konnten sich aktiv im Meer bewegen. Im Mund hatten sie einen komplexen Zahnapparat mit der gleichen chemischen Zusammensetzung der Wirbeltierzähne (Apatit). Die Zähne stellen fast den vollständigen Fossilienbestand der Conodonten dar, da sie die einzigen mineralisierten Teile dieser Organismen waren. Die Conodonten erschienen im Kambrium und überlebten bis zur Trias. Während dieser Zeit entwickelten sie sich schnell, d.h. viele verschiedene Arten entstanden und starben in relativ kurzen Zeitabschnitten aus. Sie sind daher

sehr hilfreich, um das Alter der Gesteine zu bestimmen, in denen sie gefunden werden. Das Alter vieler paläozoischer Gesteine der Karnischen Alpen wird vor allem durch das Vorkommen entsprechender Conodonten bestimmt.

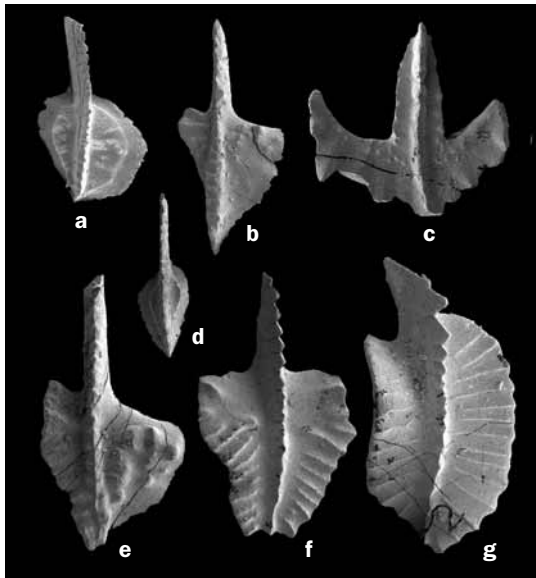
Im Karbon der Karnischen Alpen (Abb. 46) sind Conodonten häufig in den Gesteinen, die während des frühen Karbons, vor der variszischen Gebirgsbildungsphase, im offenen Meer abgelagert wurden. In den jüngeren Schichten sind sie dagegen äußerst selten.

Fische

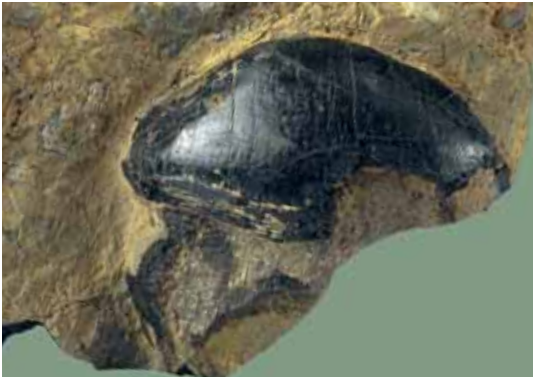
Die Fische entstanden im Ordovizium und differenzierten sich stark im Silur und im Devon. Die ersten Fische (Agnatha) hatten keine Kiefer und lebten wahrscheinlich am Grund. Bei einigen war der Körper ganz oder teilweise mit dicken Knochenplatten bedeckt. Fische mit einem Zahnbogen tauchten im Silur auf. Haie, deren Skelett aus Knorpel besteht, sind ab dem Devon dokumentiert. In den Karnischen Alpen sind Fischzähne und -Schuppen von mikroskopischer Größe in den Gesteinen des oberen Devons und des unteren Karbons relativ häufig. Makroskopische Fischreste sind dagegen sehr selten. Tatsächlich sind nur zwei Zähne von Knorpelfischen bekannt, die vom Lanzenpass und aus dem Gebiet von Nassfeld stammen und zur Art *Petalodus ohioensis* gestellt werden (Abb. 47). Der Name deutet darauf hin, dass die Art ursprünglich in Ohio/USA gefunden wurde. Sie gehört zu einer im Karbon weitverbreiteten Gruppe von Haifischen mit charakteristisch kurzen, aber kräftigen Zähnen. Die Zähne dienten vermutlich dem Knacken der Außenskelette von Schalentieren wie Schnecken und Muscheln, von denen es im flachen Meer reichlich gab.

Andere Organismen

Im Karbon der Karnischen Alpen gibt es neben den zuvor beschriebenen auch noch fossile Hinweise auf weitere Organismengruppen. Dies sind vor allem Graptolithen, Kalkalgen und Mikroorganismen. Letztere sind im Gelände nicht zu sehen, sondern können erst nach der Behandlung der Gesteine im Labor unter dem Mikroskop untersucht werden. Dazu gehören die Ostrakoden und kalkige Mikroalgen.



46 > Conodonti del Carbonifero inferiore (Tournaisiano) delle Alpi Carniche. > Conodonten des Unterkarbons (Tournaisium) der Karnischen Alpen. a: *Protognathodus kuehni*; b: *Gnathodus pseudosemiglaber*; c: *Scaliognathus anchoralis europensis*; d: *Gnathodus typicus*; e: *Gnathodus delicatus*; f: *Pseudopolygnathus pinnatus*; g: *Polygnathus bischoffi*.



47 > Dente *Petalodus ohioensis*, pesce cartilagineo, rinvenuto in Val Dolce (Passo del Cason di Lanza).
> Zahn von *Petalodus ohioensis*, einem Knorpelfisch, gefunden im Val Dolce (Lanzenpass)

Conodonti

I conodonti sono tra i più antichi cordati noti. Erano piccoli animali dal corpo anguilliforme, lungo qualche centimetro e largo pochi millimetri. Avevano una testa con due grandi occhi, una pinna caudale e potevano muoversi attivamente nei mari. Nella bocca avevano un apparato dentale complesso, della stessa composizione (apatite) dei denti dei vertebrati. Proprio i denti costituiscono la quasi totale documentazione fossile dei conodonti, essendo le sole parti mineralizzate di questi organismi.

I conodonti sono comparsi nel Cambriano e sono vissuti fino al Triassico. Per tutto questo intervallo di tempo hanno avuto una evoluzione rapida, cioè le varie specie hanno vissuto in un intervallo di tempo relativamente breve. Sono quindi molto utili per definire l'età delle rocce in cui vengono trovati. L'età di molte rocce paleozoiche delle Alpi Carniche è stata determinata grazie alla presenza di conodonti. Nel Carbonifero delle Alpi Carniche i conodonti (Fig. 46) sono abbondanti nelle rocce depositatesi in mare aperto nel Carbonifero inferiore, prima dell'orogenesi Varisica, mentre sono molto rari in quelle più recenti.

Pesci

I pesci si sono originati nell'Ordoviciano, e hanno avuto una grande differenziazione tra il Siluriano e il Devoniano. I primi pesci non avevano mandibole e mascelle (agnati) e probabilmente vivevano sul fondo. Alcuni avevano il corpo ricoperto completamente o parzialmente da spesse placche ossee. Pesci con un arco dentale sono comparsi nel Siluriano. Gli squali, che hanno lo scheletro costituito da cartilagine, sono documentati dal Devoniano.

Resti microscopici di denti o squame sono relativamente abbondanti nelle rocce del Devoniano superiore e Carbonifero inferiore. Resti macroscopici di pesci, invece, sono molto rari. Di fatto si conoscono solamente due denti di pesci cartilaginei (*Petalodus ohioensis*), provenienti dai dintorni del Passo del Cason di Lanza (Fig. 47) e dall'area di Pramollo. Il nome indica che sono stati rinvenuti per la prima volta in Ohio (USA). Si tratta del gruppo di squali più diffuso durante il Carbonifero, con denti caratteristicamente corti e robusti. I denti servivano presumibilmente ad aprire il guscio degli organismi con uno scheletro esterno come i molluschi e le lumache, le quali erano molto abbondanti nel mare basso.

Altri organismi

Nel Carbonifero delle Alpi Carniche sono presenti anche fossili di altri gruppi di organismi, oltre a quelli descritti precedentemente. Si tratta soprattutto di graptoliti e organismi microscopici, non osservabili sul terreno, ma riconoscibili e studiabili solo al microscopio una volta che le rocce siano state trattate in laboratorio. Tra questi ricordiamo gli ostracodi e le microalghe calcaree.

SPURENFOSSILIEN

Neben den Fossilien “im eigentlichen Sinne”, die aus mehr oder weniger vollständigen Überresten von Teilen eines Organismus bestehen, gibt es andere, die nicht direkt zum Organismus gehören. Tatsächlich haben viele Lebewesen der Vergangenheit den greifbaren Beweis ihrer Gegenwart und ihrer Lebensweise in Form von fossilen Spuren und Abdrücken hinterlassen. Dazu gehören Spuren, die während der Fortbewegung sowohl von Wirbeltieren als auch von Wirbellosen hinterlassen wurden, Grabgänge, die von vielen Wirbellosen in Felsen oder in nicht verfestigte Sedimente gegraben wurden, Exkreme (Koprolithe und fäkale Pellets) und viele andere Arten von Spuren. Die fossilen Spuren der biologischen Aktivität von Organismen werden als Ichnofossilien bezeichnet (von griechisch Ichnos = Abdruck, Fußspur). Spurenfossilien bleiben als Sedimentstrukturen innerhalb oder an der Oberfläche der Schichten erhalten. Sie sind in marinen und kontinentalen Sedimentgesteinen, vom oberen Präkambrium bis zum Holozän zu finden. Sie sind in allen Meeresumgebungen verbreitet, sowohl im flachen als auch im tiefen

Wasser, und sind im Allgemeinen in feinkörnigen Gesteinen besser erhalten. Spurenfossilien können einzeln oder in wiederkehrenden Assoziationen auftreten, die als “Paläoichnozöosen” bezeichnet werden und durch die Aktivität bestimmter benthischer Lebensgemeinschaften produziert wurden.

Spurenfossilien im karnischen Karbon

Im Karbon der Karnischen Alpen sind Spurenfossilien in den Ablagerungen der Perm-Karbon-Sequenz sehr häufig. Allein im Gebiet von Nassfeld sind etwa zwanzig “Ichnogattungen” dokumentiert. Eine davon, *Pramollichnus pastae* (Abb. 49), ist dem Gebiet gewidmet, in dem sie erstmals gefunden wurde. Die Spuren sind in der Regel in neun wiederkehrende Assoziationen eingeteilt, die einem paläoökologischen Spektrum zwischen Mündungs- und Meeresumgebungen in verschiedenen Tiefen entsprechen. Aufgrund der Fülle, Vielfalt und des hervorragenden Erhaltungszustands der Spurenfossilien zählt das Pramollo-Gebiet zu den wichtigsten “Ichno-Lagerstätten” (außergewöhnlichen Fundstellen für Spurenfossilien) der Alpen (Abb. 48).



48 > Alcune tracce di “bioturbazioni” diffuse nei depositi del Permio-Carbonifero Pontebbano. In genere sono prodotte da “vermi” o organismi simili che si muovono all’interno dei livelli fangosi alla ricerca di cibo. Sopra: *Psamminchites plummeri* e *Beaconites*; a sinistra *Zoophycos*.

> Einige der häufigsten Spurenfossilien aus den Ablagerungen des Permokarbons von Pontebba. Meist wurden sie von Würmern oder ähnlichen Organismen produziert, die sich auf der Suche nach Nahrung durch die schlammigen Schichten bewegten.

Oben: *Psamminchites plummeri* und *Beaconites*; links *Zoophycos*.



49 > *Pramollichnus pastae*.

Tracce fossili

Oltre ai fossili “propriamente detti”, costituiti da resti più o meno completi di parti dell’organismo, ce ne sono degli altri che non fanno parte dell’organismo in quanto tale. Infatti, molti esseri viventi del passato hanno lasciato la prova tangibile della loro presenza e del loro modo di vita sotto forma di tracce e impronte fossili. Si tratta di orme di vertebrati, di piste lasciate durante la locomozione sia di vertebrati che di invertebrati, di gallerie scavate da molti invertebrati nelle rocce o all’interno di sedimenti non ancora consolidati, di escrementi (coproliti e pallottole fecali), di uova fossili, e molti altri tipi di tracce.

Le tracce fossili dell’attività biologica degli organismi prendono il nome di icnofossili dal greco *ichnos*=impronta, orma. Si conser-

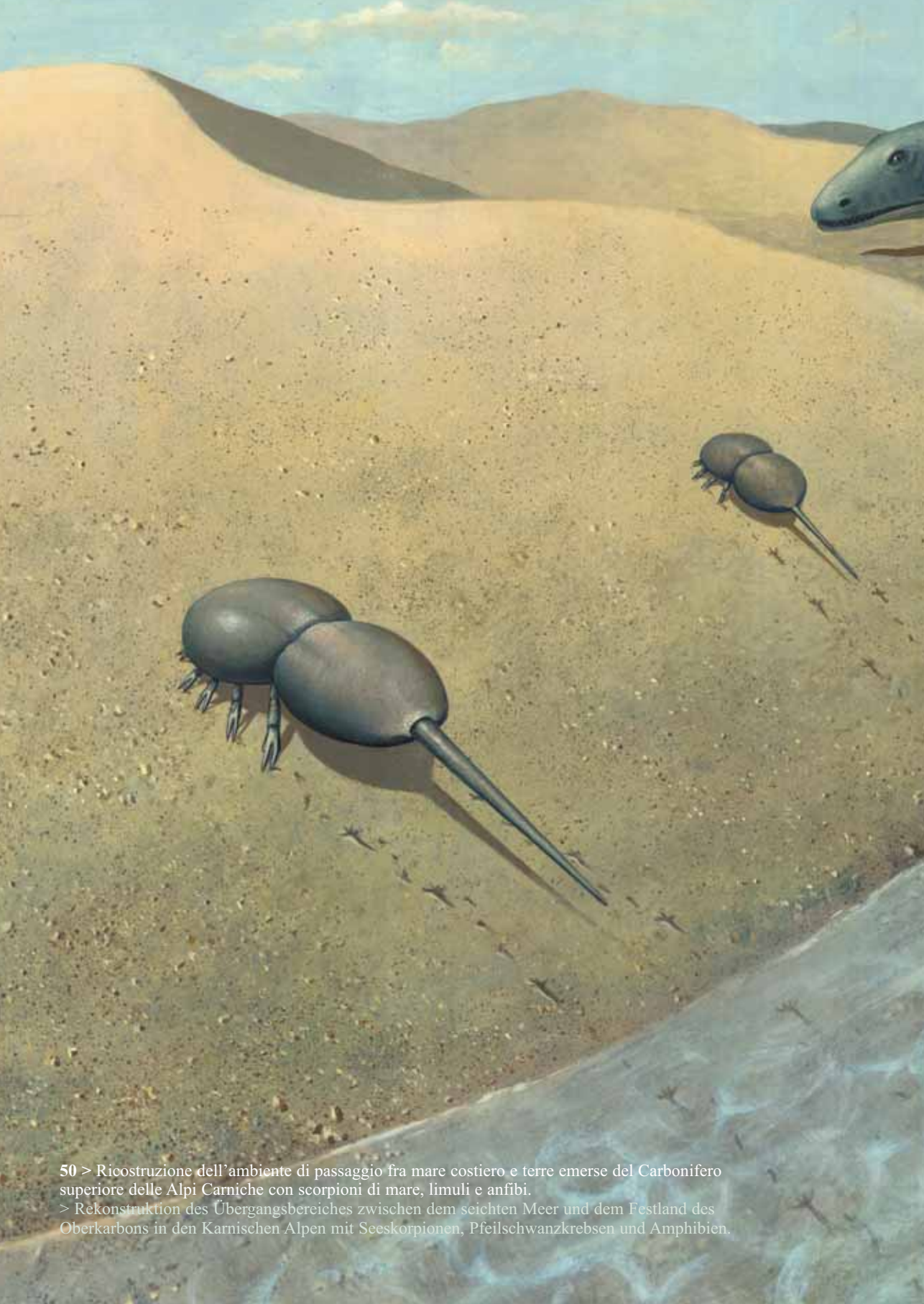
vano come strutture sedimentarie all’interno o sulla superficie degli strati. La disciplina che si occupa delle tracce fossili è la paleoicnologia. Essa ha un approccio multidisciplinare presentando strette relazioni con la paleoecologia e la sedimentologia

Le tracce fossili si trovano nelle rocce sedimentarie, marine e continentali, dal Precambriano superiore all’Olocene. Sono frequenti in tutti gli ambienti marini, sia di acque basse sia di grande profondità e sono, in generale, meglio conservate nelle rocce a grana fine. Le tracce fossili sono “registrate” sia sulla superficie degli strati sia nel loro interno; sedimenti senza tracce fossili sono rari. Le tracce fossili possono presentarsi singolarmente o in associazioni ricorrenti, indicate come paleoicnocenosi, prodotte dall’attività di singole paleocomunità bentoniche.

Tracce fossili del Carbonifero Carnico

Nel Carbonifero delle Alpi Carniche le tracce fossili sono molto abbondanti nei depositi della sequenza Permo-Carbonifera. Nella sola area di Pramollo sono stati documentati una ventina di “ichnogeneri”, uno dei quali, *Pramollichnus pastae* (Fig. 49), è dedicato proprio alla zona dove è stato ritrovato per la prima volta. Le tracce tendono a raggrupparsi in nove associazioni ricorrenti, che corrispondono ad uno spettro paleoambientale compreso fra ambienti di estuario ed ambienti marini di varia profondità.

Proprio per l’abbondanza, la diversità e l’ottimo stato di conservazione delle tracce fossili, l’area di Pramollo è considerata tra i più importanti “Ichno-Lagerstätten” (giacimento fossilifero eccezionale) delle Alpi (Fig. 48).



50 > Ricostruzione dell'ambiente di passaggio fra mare costiero e terre emerse del Carbonifero superiore delle Alpi Carniche con scorpioni di mare, limuli e anfibi.
> Rekonstruktion des Übergangsbereiches zwischen dem seichten Meer und dem Festland des Oberkarbons in den Karnischen Alpen mit Seeskorpionen, Pfeilschwanzkrebse und Amphibien.





GLI ORGANISMI TERRESTRI DEL CARBONIFERO DELLE ALPI CARNICHE

Artropodi

A parte i trilobiti, tipicamente marini, esistono altri artropodi nelle Alpi Carniche. Sono stati trovati, infatti, anche alcuni resti di organismi appartenenti a questo gruppo, i quali vivevano però in habitat terrestri o di transizione, in acqua dolce o, al massimo, in acqua salmastra.

Limuli

I limuli (Xiphosura) sono noti per essere molto simili ai loro antenati vissuti milioni di anni fa e per questo vengono spesso considerati dei “fossili viventi”. Durante il Carbonifero erano rappresentati da moltissime specie e distribuiti in tutto il mondo.

Una delle specie più insolite è stata scoperta nelle Alpi Carniche: *Stilpnocephalus pontebbanus*, apparentemente priva di occhi. Un frammento di scheletro che copriva la testa è attualmente l'unico fossile rinvenuto di questo limulo in Italia. Sono state, però, trovate anche alcune impronte, lasciate probabilmente dalla stessa specie (Fig. 53) e il confronto con resti simili rinvenuti in giro per il mondo ha permesso di ricostruire l'animale. I limuli vivono soprattutto in mare, ma alcune forme del Carbonifero, come probabilmente anche quella delle Alpi Carniche, vivevano in acqua dolce.

Scorpioni di mare

Gli scorpioni di mare (Eurypteridi) appartengono ad un gruppo di animali articolati oggi estinti che sono imparentati con i limuli, ma assomigliano soprattutto agli scorpioni, da cui prendono il loro nome. Vivevano soprattutto in acqua salmastra e dolce, oppure, come gli anfibi, potevano temporaneamente lasciare l'acqua: solo alcune forme più antiche vivevano in mare. Si distinguono due sottordini; l'Eurypterina (animali che nuotavano) e Stylonurina (animali che “camminavano” sul fondo). Gli scorpioni di mare sono un gruppo di animali estinti, ma erano numerosi e diffusi nel Paleozoico.

Nel Carbonifero superiore delle Alpi Carniche (Formazione di Meledis, circa 303-308 milioni di anni fa), è stato trovato un singolo esemplare appartenente ad una nuova specie: *A delopthalmus piussii* (Fig. 52). È fino-

51 > *Neuropteris* cf. *cordata*, dai dintorni di Passo Pramollo.

> *Neuropteris* cf. *cordata* aus der Umgebung des Nassfeldpasses.

ra l'unica scoperta di uno scorpione di mare in Italia. Il genere *Adelophthalmus* è esistito per oltre 100 milioni di anni, il che lo rende il più longevo tra gli Eurypteridi. Si tratta dell'ultimo genere sopravvissuto durante il Carbonifero e Permiano, quando gli altri generi erano ormai estinti dal Devoniano, ed era anche molto abbondante.

Uropygi

Gli uropygi appartengono al gruppo degli aracnidi, come i veri scorpioni. Differiscono dai scorpioni principalmente per la struttura della coda, perché non hanno, tra le altre cose, alcun pungiglione. I fossili di uropygi sono estremamente rari e provengono quasi esclusivamente dal Carbonifero superiore -



52 > *Adelophthalmus piussii*, euripteride proveniente da Malga Tratte (Pontebba). > *Adelophthalmus piussii*, Seeskorpion von Malga Tratte (Pontebba).

circa 306-319 milioni di anni fa - in Europa. Nelle Alpi Carniche, è stato trovato un singolo esemplare, anch'esso risalente al Carbonifero superiore. L'esemplare è stato attribuito al genere *Parageralinura*, altrimenti noto dai Paesi Bassi e dalla Germania. Rispetto agli altri membri del genere, la specie delle Alpi Carniche, *Parageralinura marsiglioi* (Fig. 54), è la più grande e anche proveniente da strati più giovani.

Insetti

Gli insetti furono tra i primi animali a conquistare la terraferma nel Siluriano inferiore, circa 440-420 milioni di anni fa. Nel Carbonifero, si svilupparono i primi insetti in grado di volare e, con le libellule giganti come *Meganeura*, anche gli insetti più grandi mai esistiti nella storia della terra.

Anche nelle rocce delle Alpi Carniche sono state trovate alcune impronte di ali di insetti, probabilmente di libellule.

Tetrapodi

I tetrapodi (detti anche quadrupedi) includono tutti i vertebrati terrestri che vivono sulle terre emerse. I primi tetrapodi erano gli anfibi. Questi sono sviluppati durante il Devoniano, circa 400-380 milioni di anni fa, e si sono diffusi in tutto il mondo durante il Carbonifero. Dal tardo Carbonifero, circa 312 milioni di anni fa, si osservano i primi indizi dell'esistenza dei rettili. Nelle Alpi meridionali, tuttavia, questi ultimi sono rilevati con sicurezza solo a partire dal Permiano inferiore.

Non si conoscono resti ossei di anfibi nel Carbonifero delle Alpi Carniche, ma la loro presenza è testimoniata da impronte rinvenute in Val Dolce e alle pendici del Monte Auer-nig (Figg. 55-56).

DIE LEBEWESSEN DES FESTLANDS IM KARBON DER KARNISCHEN ALPEN

Arthropoden

Neben den im Meer lebenden Trilobiten wurden in den Karnischen Alpen noch weitere, seltene Überreste von Arthropoden nachgewiesen, welche in Lebensräumen auf dem Land, im Süßwasser oder höchstens im Brackwasser lebten.

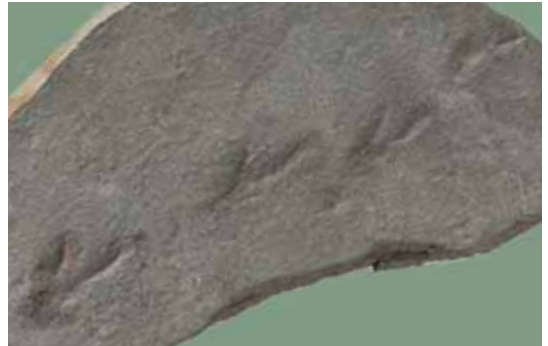
Pfeilschwanzkrebse

Pfeilschwanzkrebse (Xiphosura) sind bekannt dafür, dass sie sich über geologisch lange Zeiträume kaum verändert haben. Daher werden sie oft als "lebende Fossilien" bezeichnet. Im Karbon waren sie allerdings besonders artenreich und vielfältig. In den Karnischen Alpen wurde eine der ungewöhnlicheren Arten entdeckt: *Stilpnocephalus pontebbanus* hatte anscheinend keine Augen. Pfeilschwanzkrebse leben meist im Meer, doch einige karbonische Formen, wie vermutlich auch die hier gefundene, lebten im Süßwasser. Der Kopfschild ist im Moment das einzige bekannte Körperfossil eines Pfeilschwanzkrebses aus Italien. Durch Vergleiche mit verwandten Formen können wir den Rest des Tieres rekonstruieren. Aus der gleichen Gegend sind versteinerte Spuren von Pfeilschwanzkrebsen bekannt (Abb. 53), die wahrscheinlich von derselben Art stammen.

Seeskorpione

Seeskorpione oder Eurypteriden gehören zu einer heute ausgestorbenen Gruppe von Arthropoden und sind verwandt mit den Pfeilschwanzkrebsen, ähneln aber vor allem den Skorpionen - daher der Name. Sie lebten ursprünglich im Meer, und kamen später auch in Brack- und Süßwasser vor. Manche konnten sogar vorübergehend das Wasser verlassen. Wir unterscheiden zwei Unterordnungen; die schwimmenden Eurypterina und die laufenden Stylonurina. Die Seeskorpione sind mittlerweile ausgestorben, waren aber im Paläozoikum zahlreich und weit verbreitet. Im Oberkarbon der Karnischen Alpen (Meledis-Formation, circa 303-308 Millionen Jahre alt), hat man ein einziges Exemplar gefunden, das einer neuen Art angehört: *Adelophthalmus piussii* (Abb. 52). Es handelt sich dabei um den bisher einzigen Fund eines Seeskorpions in Italien. Die Gattung *Adelophthalmus* existierte über 100 Millionen Jahre lang, und war damit die

langlebigste unter den Eurypteriden. Es war zudem die letzte Gattung der Unterordnung Eurypterina, und die einzige im gesamten Karbon und Perm, nachdem die anderen Gattungen bereits im Devon verschwunden waren. Dafür war *Adelophthalmus* umso zahlreicher.



53 > Piste di limulo dalla "Frana Vecchia" (Pendici del Monte Carnizza, Pramollo). > Pfeilschwanzkrebs-Fährte von "Frana Vecchia" (Hang des Garnitzenbergs, Nassfeld).



54 > *Parageralinura marsiglioi*, uropigio dalle pendici del Monte Carnizza. > *Parageralinura marsiglioi*, ein Geißelskorpion vom Hang des Garnitzenbergs

Geißelskorpione

Geißelskorpione sind Spinnentiere, ebenso wie die echten Skorpione. Von letzteren unterscheiden sie sich aber vor allem im Aufbau ihres Schwanzes, denn sie besitzen unter anderem keinen Stachel.

Fossilien von Geißelskorpionen sind äußerst selten und stammen fast ausschließlich aus dem späten Karbon - vor circa 306-319 Millionen Jahren - in Europa. In den Karnischen Alpen wurde ein einziges Exemplar gefunden, das ebenfalls aus dem späten Karbon, von vor etwa 302-307 Millionen Jahren, stammt. Dieses wird zur Gattung *Parageralinura* gestellt, die ansonsten aus den Niederlanden und Deutschland bekannt ist.

Im Vergleich zu den anderen Vertretern der Gattung ist die karnische Art, *Parageralinura marsiglioi*, unter anderem größer und auch einige Millionen Jahre jünger (Abb. 54).

Insekten

Die Insekten gehörten zu den ersten Tieren, die sich im frühen Silur, vor circa 440-420 Millionen Jahren, an das Leben am Festland anpassten. Im Karbon entwickelten sich die ersten fliegenden und die größten Insekten der Erdgeschichte, wie zum Beispiel die Riesenlibelle *Meganeura*.

Auch in den kontinentalen Ablagerungen der Karnischen Alpen wurden ein paar Abdrücke von Insektenflügeln, vermutlich von Libellen, gefunden.

Tetrapoden

Zu den Tetrapoden oder Vierfüßern zählen alle an Land lebenden Wirbeltiere - und einige, die wieder ins Wasser zurückgekehrt sind. Die ersten Tetrapoden waren Amphibien. Diese entstanden im Devon, vor circa 400-380 Millionen Jahren, und verbreiteten sich im Karbon auf der ganzen Welt. Aus dem späten Karbon, vor circa 312 Millionen Jahren, stammen die ältesten Hinweise auf Reptilien.

In den Südalpen sind letztere aber erst ab dem Unterperm sicher nachgewiesen. Bisher sind keine Skelettreste von Amphibien im Karbon der Karnischen Alpen bekannt, aber ihre Anwesenheit ist durch zwei Fußabdrücke im Val Dolce und im Gebiet des Monte Auernig belegt (Abb. 55, 56).



55 > L'orma di anfibio ?*Limnopus* dalla Val Dolce
> Der Fußabdruck eines Amphibiums, *Limnopus* aus dem Val Dolce.



56 > L'orma di anfibio riferita a *Hylopus* cfr. *hardingi* (pendici del Monte Auernig, Passo Pramollo).
> *Hylopus* cfr. *hardingi*, ein Fußabdruck eines Amphibiums (Hänge des Auernig, Nassfeldpass).

Piante

Il Carbonifero è caratterizzato da una grande ricchezza di fossili vegetali. Anche il nome di questo periodo si riferisce agli estesi depositi di carbone formati durante tale periodo. Il carbone origina dall'accumulo di resti di piante in foreste paludose. L'estrazione del carbone è stata particolarmente importante nel XIX e all'inizio del XX secolo, quando ha letteralmente alimentato la rivoluzione industriale. Molte regioni d'Europa sono state influenzate da questa tradizione mineraria, come per esempio la regione della Ruhr in Germania e il Nord-Pas-de-Calais in Francia. Le Alpi Carniche non sono tra le principali aree minerarie. Però esistono anche qui dei livelli di carbone, seppur di ridotta dimensione, dovuti all'accumulo di un elevato numero di fossili vegetali, spesso molto ben conservati.

A differenza di molti animali, le piante non possiedono uno scheletro che si può fossilizzare, anche se le parti legnose (ad esempio il fusto) hanno maggiore probabilità di fossilizzazione degli altri organi. Inoltre, le piante sono spesso alte diversi metri e composte da una serie di organi diversi (ad esempio tronco, rami, foglie, frutti, coni, fiori, radici). Durante la loro vita, gli alberi perdono le foglie, i rami e i frutti a seconda delle varie stagioni. Lo stesso accade anche a causa delle condizioni meteorologiche avverse (come le tempeste) o dopo la morte della pianta. Per conservarsi allo stato fossile, i frammenti di una pianta devono essere trasportati in un luogo adatto alla fossilizzazione e coperti tempestivamente da sedimenti in modo da sottrarli alla distruzione da parte degli animali decompositori e dei microbi. Questo significa che raramente una pianta viene fossilizzata per intero. Nella maggioranza dei casi fossilizzano solo singoli organi o

frammenti di piante, come fusti, foglie, radici o semi. Ai fossili rinvenuti in maniera isolata possono essere dati nomi scientifici, indipendentemente dalla pianta a cui appartenevano originariamente, poiché spesso è impossibile associarli a una qualche pianta estinta. Questa procedura è chiamata paratassonomia.

Grazie alla paratassonomia si creano quindi una serie di nomi scientifici riferiti a singoli organi di una pianta, con una divisione in singoli generi e specie che si basa principalmente su caratteristiche morfologiche. Spesso il nome è ispirato al tipo di organo descritto: le foglie fossili spesso ricevono il suffisso *-phyl-lum* (lat. foglia), i coni *-strobilus*, i legni *-xylon*, le foglie di felce *-pteris*, ecc. Spesso solo dopo anni di ricerca sui singoli organi di una pianta, e dopo aver trovato un alto numero di fossili, è possibile scoprire quali foglie, rami, semi, ecc. in realtà appartengono alla stessa specie. Nella maggioranza dei casi ad oggi non conosciamo l'aspetto dell'intera pianta, ma ne conosciamo solo alcune parti.



57 > *Sigillaria*, il tronco di una Licofita, dall'area di Passo Pramollo. > *Sigillaria*, der Stamm eines Bärlappgewächses aus der Gegend des Nassfeldpasses.



58 > Ricostruzione dell'ambiente di foresta costiera del Carbonifero superiore delle Alpi Carniche con libellule, uropygi e anfibi.

> Rekonstruktion des Sumpfgebietes im Oberkarbon der Karnischen Alpen mit Libellen, Geißelskorpionen und Amphibien.





59 > *Oligocarpia* sp., foglie di felci dall'area di Passo Pramollo.

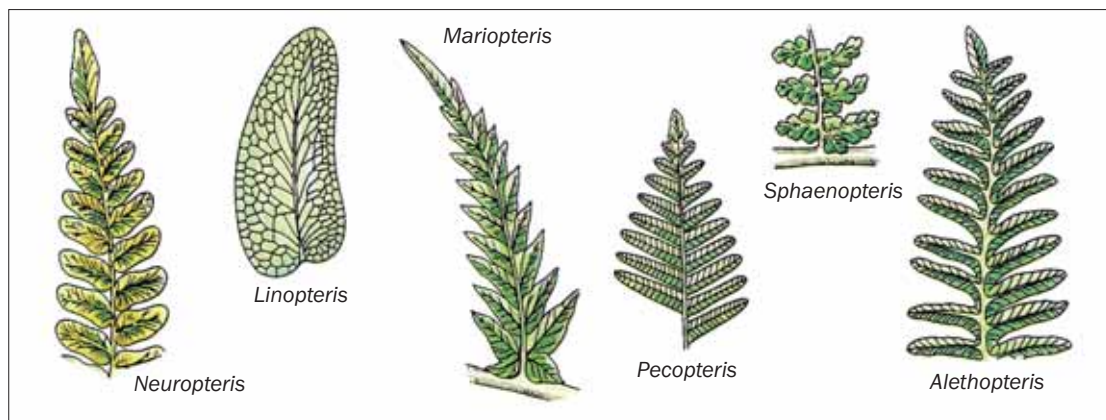
> *Oligocarpia* sp., Farnblätter aus dem Gebiet rund um den Nassfeldpass.

Pflanzen

Das Karbon ist durch eine Fülle an unterschiedlichen Pflanzenfossilien gekennzeichnet. Sogar der Name dieses Zeitalters bezieht sich auf die ausgedehnten Kohleflöze aus dieser Zeit. Diese Kohle entstand durch die Anhäufung von Pflanzenresten in riesigen, bewaldeten Sumpfgebieten. Der Abbau dieser Kohle hatte vor allem im 19. und frühen 20. Jahrhundert große wirtschaftliche Bedeutung und hat buchstäblich die Industrielle Revolution befeuert. Viele Regionen in Europa sind von dieser Bergbautradition geprägt, z.B. das Ruhrgebiet in Deutschland und Nord-Pas-de-Calais in Frankreich. Die Karnischen Alpen gehören nicht zu den großen Abbaugebieten, doch auch hier gibt es vereinzelte, kleine Kohleflöze und eine hohe Anzahl an oft sehr gut erhaltenen Pflanzenfossilien.

Im Gegensatz zu vielen Tieren besitzen Pflanzen kein richtiges Skelett, das sich fossil erhalten kann, auch wenn verholzte Teile einer Pflanze leichter fossilisieren als andere. Außerdem sind Pflanzen oft mehrere Meter hoch und in verschiedene Organe (zum Beispiel Stamm, Äste, Blätter, Früchte, Zapfen, Blüten, Wurzeln) unterteilt. Noch zu Lebzeiten werfen Bäume jahreszeitlich bedingt Blätter, Zweige und Früchte ab. Ähnliches erfolgt auch unter schlechten Umweltbedingungen (z.B. bei Stürmen) oder nach dem Absterben der Pflanze. Nur wenn diese Teile

einer Pflanze in für die Fossilisation geeignete Gebiete transportiert und von Sediment bedeckt werden, können sie sich auch fossil erhalten. Dies bedeutet, dass sich eine Pflanze nur sehr selten als ganzes Individuum fossil erhält. Meistens bleiben nur einzelne Teile erhalten, etwa Stämme, Blätter, Wurzeln oder Samen. Werden diese Fossilien einzeln gefunden, erhalten sie eigene wissenschaftliche Namen, unabhängig davon, zu welcher Pflanze sie ursprünglich gehört haben, da dies oft nur schwer nachzuvollziehen ist. Dieses Vorgehen nennt man Parataxonomie. Durch die Parataxonomie erhalten oft die verschiedenen Teile einer Pflanze ganz unterschiedliche Namen. Die Einteilung in einzelne Gattungen und Arten basiert vorwiegend auf morphologischen Merkmalen. Der Organtyp, der beschrieben wird, spielt bei der Benennung daher auch eine Rolle. Fossile Blätter erhalten oft die Namensendung *-phyllum* (lat. Blatt), fossile Zapfen *-strobilus*, fossile Hölzer *-xylon*, fossile Farnblätter *-pteris*, etc. Oft wird erst Jahre nach dem Auffinden der einzelnen Pflanzenteile klar, welche Blätter, Äste, Samen, etc. eigentlich zur gleichen Pflanze gehören. Bei den allermeisten Arten wissen wir bis heute noch nicht, wie die ganze Pflanze ursprünglich ausgesehen hat, sondern kennen nur Teile davon. Die wichtigsten Pflanzengruppen im Karbon waren Moose, Bärlappgewächse, Schachtelhalme, Farne, Samenfarne und Cordaiten.



60 > Alcune delle “foglie” che si ritrovano nel Carbonifero superiore di Passo Pramollo e del Cason di Lanza.
 > Blattyten, die man im Oberkarbon des Nassfeldpasses und des Lanzenpasses findet.

I gruppi più importanti tra le piante nel Carbonifero erano muschi, licofite, equiseti, felci, felci con seme e cordaitali. Durante il Carbonifero superiore esistevano anche le prime cicadee, piante simili a *Ginkgo* e conifere. Nel Carbonifero delle Alpi Carniche sono stati ritrovati fossili di licofite, equiseti, felci, felci con seme e cordaitali.

Licofiti

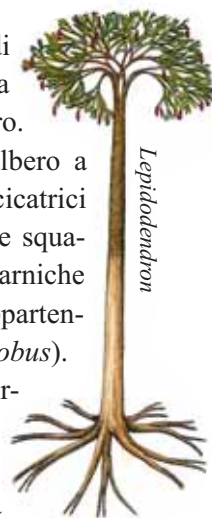
Le licofite sono caratterizzate da foglie semplici e squamose, disposte a spirale attorno al tronco. Oggi sono rappresentate solo da alcune forme piccole ed erbacee come *Selaginella*, *Lycopodium* ed *Isoetes*. Nel Carbonifero appartenevano a questo gruppo anche alberi giganti. Nelle paludi del Carbonifero, ai margini settentrionali delle montagne varisiche, queste licofite arboree rappresentavano la maggior parte della biomassa (stimata tra l'80 e il 90%). Nelle Alpi Carniche, sono meno comuni. Nella parte italiana del gruppo montuoso sono abbastanza rari, la maggior parte dei reperti proviene dalla parte austriaca.

Uno dei rappresentanti più importante è *Lepidodendron* (Fig. 61). Questo albero poteva

raggiungere fino a 40 metri di altezza, e quindi rappresentava l'albero più alto del Carbonifero.

Il nome significa in greco “albero a scaglie” a causa delle sue cicatrici romboedriche, che ricordano le squame dei pesci. Nelle Alpi Carniche sono stati trovati i coni che appartengono a questi alberi (*Lepidostrobus*).

La *Sigillaria* è un albero leggermente più piccolo, che raggiunge “solo” i 30 m di altezza. Il tronco (Fig. 57) è coperto da cicatrici fogliari che ricordano un sigillo. Uno stato di conservazione particolare rappresentano le cortecce cadute di *Sigillaria* (*Syringodendron*), mentre i coni di questi alberi sono chiamati *Sigillariostrobus*. Le foglie di licofite arboree, che ricordano le foglie dell'erba e che vengono spesso trovate individualmente, sono chiamate *Cyperites*. Le radici, chiamate *Stigmara*, hanno cicatrici molto prominenti, disposti regolarmente lungo l'asse. Ciò è dovuto al fatto che non si tratta di vere radici, come le conosciamo oggi, ma di rami sotterranei modificati con foglie trasformate.



Ab dem Oberkarbon gab es auch die ersten Cycadeen, *Gingko*-artige Pflanzen und Koniferen (Nadelgewächse). Im Karbon der Karnischen Alpen wurden Fossilien von Bärlappgewächsen, Schachtelhalmen, Farnen, Samenfarne und *Cordaiten* gefunden.

Bärlappgewächse

Bärlappgewächse zeichnen sich durch einfache, schuppige Blätter aus, die spiralig um den Stamm angeordnet sind. Sie sind heute nur noch durch einige kleine, krautige Formen wie *Selaginella*, *Lycopodium* und *Isoetes* vertreten. Im Karbon dagegen gehörten zu dieser Gruppe mächtige Bäume. In den Kohlesümpfen am Nordrand des Variszischen Gebirges stellten diese Bäume den Hauptteil der Biomasse (geschätzte 80-90 %). In den Karnischen Alpen sind sie weniger häufig. Im italienischen Teil der Gebirgsgruppe sind sie sogar ziemlich selten. Die meisten Funde stammen aus dem nördlichen, österreichischen Teil.

Einer der wichtigsten Vertreter ist *Lepidodendron* (Abb. 61). Dieser Baum konnte bis zu 40 Meter Höhe erreichen, und stellte damit die höchsten Bäume des Karbons. Er wird wegen seiner rautenförmigen Blattnarben, die an Fischschuppen erinnern, umgangssprachlich auch als "Schuppenbaum" bezeichnet. In den Karnischen Alpen wurden auch die dazugehörigen Zapfen (*Lepidostrobus*) gefunden. *Sigillaria* bildete etwas kleinere, "nur" bis zu 30 Meter hohe, Bäume. Da der Stamm mit Blattnarben bedeckt ist, die wie von Siegeln eingedrückt wirken, wird auch der Begriff



61 > cfr. *Lepidodendron* dall'area di Cason di Lanza.
> ?*Lepidodendron* aus dem Gebiet rund um den Lanzenpass.

"Siegelbaum" verwendet (Abb. 57). Einen besonderen Erhaltungszustand stellen entrindete *Sigillaria*-Stämme (*Syringodendron*) dar, während die Zapfen dieser Bäume *Sigillariostrobus* genannt werden.

Die Blätter baumförmiger Bärlappgewächse, die an Grashalme erinnern, werden oft auch einzeln gefunden und *Cyperites* genannt. Die Wurzeln, als *Stigmaria* bezeichnet, haben wie die Stämme recht markante, regelmäßig angeordnete Narben. Das hängt damit zusammen, dass es keine richtigen Wurzeln sind, wie wir sie heute kennen, sondern modifizierte, unterirdische Äste mit modifizierten Blättern.

Schachtelhalmgewächse

Die Schachtelhalmgewächse sind eine für ihre Urtümlichkeit bekannte Pflanzengruppe. Man erkennt sie leicht an ihren segmentierten, längsgestreiften Stämmen und den wirtelförmig an den Segmentgrenzen ansetzenden, meist sehr dünnen und langen Blättern. Die größten Vertreter im Karbon konnten bis zu 30 Meter groß werden. Rezenten Formen erreichen selten eine Höhe von über zwei Metern, auch wenn eine rezente Art (*Equisetum myriochaetum*) immerhin bis zu sieben Meter hoch werden kann. Die Schachtelhalme im Karbon waren neben den Bärlappgewächsen wesentlich an der Bildung von Kohle beteiligt.

Auch in der Karbon-Flora der Karnischen Alpen waren Schachtelhalme eine wichtige Komponente. Man findet vor allem Steinkerne von Stämmen der baumförmigen Schachtelhalme, die *Calamites* (Abb. 64) genannt werden, sowie die dazugehörigen Zweige mit den beiden Beblätterungstypen *Annularia* und *Asterophyllites*. Bei *Annularia* stehen die Blätter in einer Ebene strahlenförmig ab, während sie bei *Asterophyllites* kelchförmig angeordnet sind. In den italienischen Fundstellen der Karnischen Alpen findet man fast nur *Annularia* (Abb. 63), in den österreichischen dagegen oft auch *Asterophyllites*.

Krautige Vertreter der Schachtelhalme aus der Gattung *Sphenophyllum* ("Keilblatt") kommen mancherorts recht häufig vor und werden sogar als Leitfossilien für die Datierung von Gesteinsschichten verwendet.

In den Karnischen Alpen findet man sie vor allem im nördlichen, österreichischen Teil, selten im südlichen, italienischen.

Equiseti

Le piante di equiseti (dette anche code di cavallo) sono un gruppo noto per la sua natura primitiva. Sono facilmente riconoscibili dai loro tronchi segmentati, striati longitudinalmente e dalle foglie, che di solito sono filiformi e si attaccano ai bordi dei segmenti. La maggior parte dei rappresentanti nel Carbonifero potevano raggiungere fino a 30 m in altezza. Le forme recenti raramente raggiungono un'altezza di oltre 2 metri, anche se esiste una specie odierna (*Equisetum myriochaetum*) che può diventare alta anche 7 metri. Gli equiseti del Carbonifero erano coinvolti nella formazione del carbone, insieme alle licofite.

Gli equiseti erano anche una componente importante nella flora carbonifera delle Alpi Carniche. Sono stati trovati modelli interni di tronchi di equiseti arborei chiamati *Calamites* (Fig. 64), mentre i rami associati possono avere due tipologie di foglie: *Annularia* e *Asterophyllites*. In *Annularia* le foglie si staccano dai rami su un piano e non superano generalmente la lunghezza di un segmento, mentre in *Asterophyllites* sono disposte a forma di coppa e sono sempre più lunghe del segmento. Nelle località fossilifere delle Alpi Carniche, si tro-



vano quasi solo *Annularia* (Fig. 63), mentre in Austria è molto frequente anche *Asterophyllites*.



62 > Formazione del Corona nel monte omonimo (Passo Pramollo, Pontebba): le arenarie e peliti che contengono le flore fossili. > An der namensgebenden Monte Corona/Krone (Nassfeldpass, Pontebba): Die Sand- und Tonsteine enthalten fossile Pflanzen.



63 > *Annularia spheophylloides* dal Monte Corona (Passo Pramollo). > *Annularia spheophylloides* von der Kronalpe (Nassfeldpass).



64 > Tronco di *Calamites* dal Monte Corona (Passo Pramollo). > *Calamites*-Stamm von der Kronalpe (Nassfeldpass).

Von den beblätterten Zweigen der baumförmigen Calamiten kann man *Sphenophyllum* an den breiten, dafür weniger zahlreichen Blättern unterscheiden.

Farne

Die Farngewächse umfassen verschiedene sporenbildende Pflanzen mit charakteristischen Blattwedeln. Die Blattwedel zeichnen sich durch ihre (manchmal mehrfach) gefiederte Form aus. Die Sporen, die der Fortpflanzung dienen, werden an der Unterseite der Blätter in Sporangien - kleinen, in reifem Zustand bräunlichen Häufchen - gebildet. Die meisten Farne sind krautige Formen mit unterirdischen Stämmen, Baumfarne können aber auch mehrere Meter hohe Stämme entwickeln, was zu einem baumartigen Erscheinungsbild führt. Im Karbon der Karnischen Alpen findet man vor allem Blattwedel von baumförmigen Farnen (Abb. 59, 68), wie sie ähnlich heute noch in den Tropen vorkommen. Der hier häufigste Beblätterungstyp ist *Pecopteris* (Abb. 60). Wenn Sporangien an der Blattunterseite hängen, nennt man die Wedel allerdings *Acitheca*, *Asterotheca*, oder *Ptychocarpus*. Außerdem findet sich, oft isoliert, das untypisch geformte Blattorgan *Aphlebia*. Dieses diente als Schutzblatt für die jungen, noch aufgerollten Blattwedel.

Samenfarne

Die heute ausgestorbenen Samenfarne sind eine sehr heterogene Gruppe, deren Untergruppen nicht nah miteinander verwandt sind. Sie verbindet aber der grundlegende Aufbau der Pflanzen und ihre Entwicklungsstufe. Aufgrund ihrer morphologischen Eigenschaften werden sie oft als Zwischenstufe zwischen den Farnen und den Samenpflanzen angesehen. Ihre Blätter hatten eine Farnwedel-artige Form, was eine Verwandtschaft mit den Farnen suggeriert. Fossile Blätter dieser beiden eigentlich sehr verschiedenen Gruppen sind oft schwer zu unterscheiden. In der Regel hatten die Blätter der Samenfarne aber eine deutlich ledrigere Struktur. Da diese Pflanzen an trockenere Standorte angepasst waren, war die Blattoberseite durch eine dicke Wachsschicht (Kutikula) bedeckt, die sich auch fossil erhalten kann. Die Tatsache, dass sie keine Sporen, sondern Pollen und Samen, produzierten, unterscheidet sie von den Farnen, wenngleich die Pollen und Samen ähnlich den

Farnsporen an den Blättern ausgebildet wurden. Manche Samenfarne waren kleine Bäume mit aufrechtem Stamm, andere waren Lianen. Die Blattwedel von Samenfarnen, die man in den Karnischen Alpen gefunden hat, gehören vor allem zu den Gattungen *Neuropteris* (Abb. 51, 65), *Alethopteris* (Abb. 66) und *Linopteris*. Isoliert im Sediment wurden auch verschiedene Samen erhalten, die zu den Gattungen *Cyclocarpus*, *Pachytesta* und *Trigonocarpum* gestellt werden.

Cordaiten

Die Cordaiten sind eine heute ausgestorbene Gruppe von meist baumförmigen Samenpflanzen, die nur im Karbon und Perm existierten. Ihre Blätter zeichneten sich durch ihre langgestreckte Form und parallele Nerven aus. Außer Blättern (*Cordaites*, *Poa-Cordaites*) findet man auch Sprossachsen (*Cordaicladus*, *Artisia*) und Reproduktionsorgane (*Cordaianthus*).

Andere Pflanzengruppen

Moose gehören zu den ältesten und am weitesten verbreiteten Landpflanzen. Da sie aber nicht verholzen und sehr klein sind, bleiben sie nur unter besonders günstigen Bedingungen fossil erhalten und können als solche identifiziert werden. In den Karnischen Alpen waren Moose im Karbon wahrscheinlich vorhanden, entsprechende Fossilien wurden aber bisher nicht gefunden. Cycadeen sind nachtsamige Samenpflanzen, die den bedecktsamigen Palmengewächsen ähneln. Sie sind im Oberkarbon noch sehr selten und in den entsprechenden Schichten in den Karnischen Alpen noch nicht nachgewiesen. *Ginkgo*-artige Pflanzen sind an ihren fächerförmigen Blättern zu erkennen. Heute existiert nur noch eine Art dieser Gruppe: *Ginkgo biloba*. Im Gebiet der Südalpen sind sie erst ab dem Perm nachgewiesen. Koniferen, Nadelbäume, sind Samenpflanzen, die auf der Nordhalbkugel ab dem Perm und generell im Mesozoikum vorherrschend waren. Auch heute sind sie vor allem in Gebirgen und hohen Breitengraden noch häufig. Im späten Karbon waren sie dagegen eher selten. In den Karnischen Alpen wurden sie bisher nicht nachgewiesen, doch im obersten Karbon der benachbarten Gurktaler Alpen sind ein paar wenige Zweigstückchen von Walchiaceen - den ursprünglichsten Koniferen - gefunden worden.



65 > *Neuropteris*
dal Rio del Museo
(Cason di Lanza).
> *Neuropteris vom*
Rio del Museo
(Lanzenpass).

I rappresentati erbacei degli equiseti appartengono al genere *Sphenophyllum* e sono piuttosto comuni in alcuni luoghi, tanto da venire addirittura usati come fossili guida per la datazione degli strati rocciosi. Nelle Alpi Carniche si trovano principalmente nella parte settentrionale, austriaca, raramente sul lato meridionale, italiano. *Sphenophyllum* si distingue da *Annularia* e *Asterophyllites* per le foglie più larghe ma meno numerose.

Felci

Le felci comprendono piante che producono spore sul lato inferiore delle caratteristiche fronde fogliari. Le foglie (dette fronde) sono caratterizzate dalla loro forma pinnata (talvolta in maniera multipla, Fig. 59). Le spore, responsabili per la riproduzione, si formano sul lato inferiore delle fronde in sporangi - piccoli ciuffi di colore brunoastro quando sono maturi. La maggior parte delle felci sono forme erbacee con fusti sotterranei, ma esistono anche felci arboree le quali possono sviluppare steli alti

diversi metri, con un aspetto simile ad un albero. Nel Carbonifero delle Alpi Carniche, si trovano principalmente fronde di foglie di felci arboree (Fig. 59, 68), le quali assomigliano a forme che si possono trovare ancora oggi ai tropici. Il genere più comune è *Pecopteris* (Fig. 60). Se le foglie sono fertili, cioè dotate di sporangi attaccati alla parte inferiore delle foglie, sono chiamate invece *Acitheca*, *Asterotheca* o *Ptychocarpus*. Inoltre, si trova, spesso isolato, l'organo fogliare detto *Aphlebia*. Questo serviva da squama protettiva per le giovani fronde mentre erano ancora arrotolate.



Felce arborea

Felci con semi

Le felci con seme sono un gruppo di piante molto eterogeneo i cui sottogruppi non sono strettamente imparentati tra di loro. Vengono racchiusi tutte nello stesso gruppo di piante a causa della loro struttura e della loro modalità di riproduzione. A causa di queste caratteristiche morfologiche, sono spesso considerate come una via di mezzo tra le felci e le piante da seme, infatti, le

loro foglie presentano una forma simile alle fronde delle felci, il che suggerisce una relazione con le felci. Le foglie di questi due gruppi sono effettivamente spesso difficili da distinguere allo stato fossile, quando rinvenute isolate. Di norma, le foglie delle felci con seme avevano una struttura molto più coriacea dovuta all'adattamento di queste piante ad ambienti di vita più asciutti. Per questo la superficie della foglia era coperta da uno spesso strato di cera (cuticola), che può conservarsi anche allo stato fossile. Inoltre, il fatto che non producessero spore, ma polline e semi, le distingue completamente dalle felci, sebbene il polline e i semi si formassero similmente alle spore sul lato inferiore di foglie (modificate). Alcune felci con seme erano piccoli alberi con un tronco eretto, altre erano liane.

Le fronde delle foglie delle felci con seme trovate nelle Alpi Carniche appartengono ai generi *Neuropteris* (Figg. 51, 60, 65), *Alethopteris* (Fig. 66) e *Linopteris*. Isolati nel sedimento sono stati rinvenuti anche semi di forma diversa, attribuiti ai generi *Cyclocarpus*, *Pachytesta* e *Trigonocarpum*.

Cordaiti

I Cordaiti sono un gruppo oggi estinto di piante da seme prevalentemente arboree, che esisteva solo nel Carbonifero e nel Permiano. Le loro foglie erano caratterizzate da una forma allungata e nervi paralleli. Oltre alle foglie (*Cordaite*, *Poa-Cordaite*) si trovano anche rami e tronchi (*Cordaicladus*, *Artisia*) ed organi riproduttivi (*Cordaianthus*).

Altri gruppi di piante

I muschi appartengono alle piante terrestri più antiche e diffuse. Ma poiché non lignificano e sono molto piccoli, si conservano solo in con-



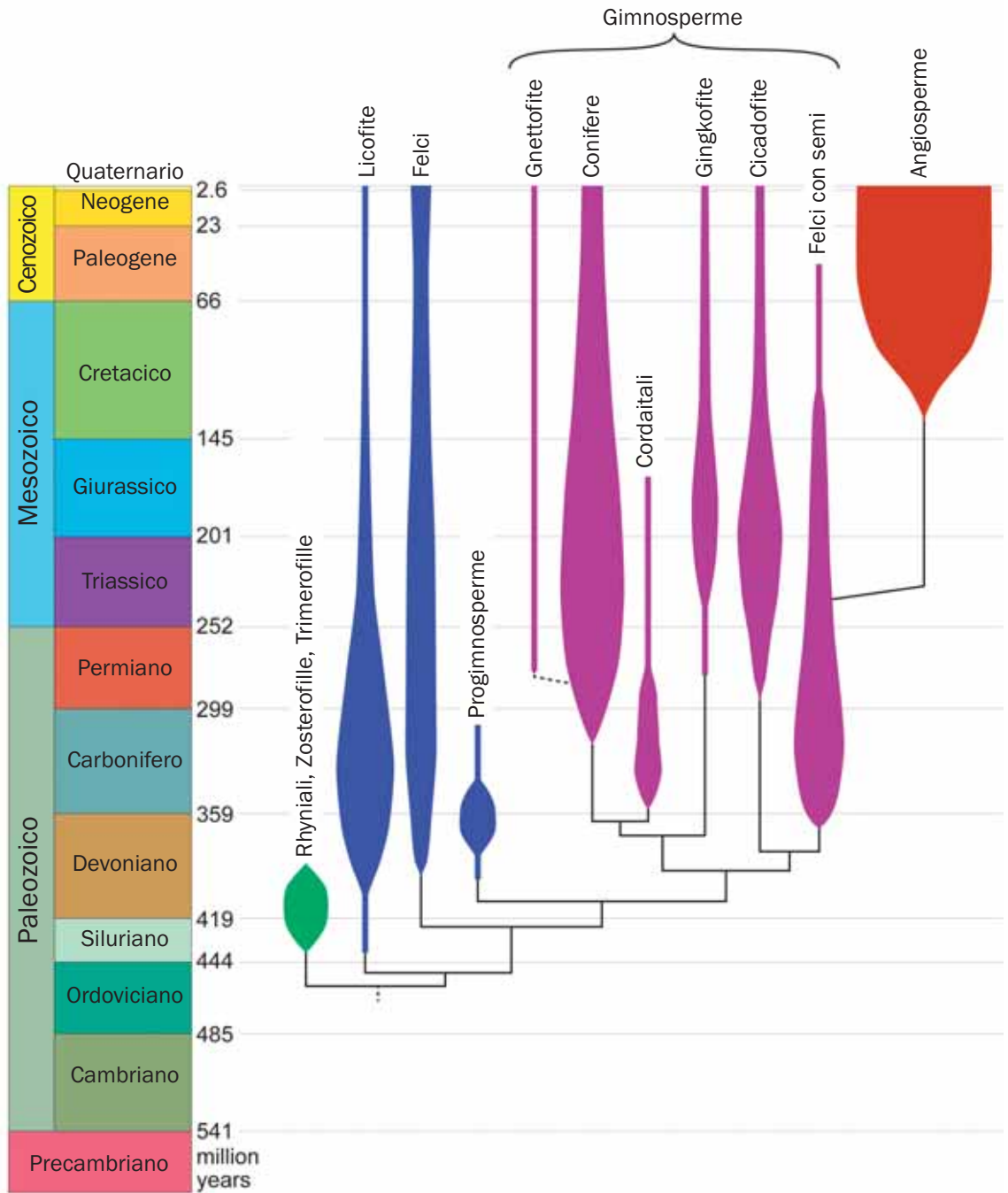
66 > *Alethopteris leonensis* dal Rio del Museo (Cason di Lanza). > *Alethopteris leonensis* vom Rio del Museo (Lanzenpass).

dizioni particolarmente favorevoli alla fossilizzazione e possono essere identificati come tali. Nelle Alpi Carniche, i muschi erano probabilmente presenti nelle Carbonifere, ma finora non sono stati trovati resti fossili.

Le cicadee sono piante a seme che assomigliano alle palme. Sono ancora molto rare nel Carbonifero superiore, e finora non sono ancora state rinvenute negli strati appartenenti al Carbonifero delle Alpi Carniche.

Piante simili al ginkgo possono essere riconosciute per le foglie a forma di ventaglio. Oggi esiste una sola specie appartenente a questo gruppo: il *Ginkgo biloba*. Nelle Alpi meridionali sono state finora rinvenute solo in rocce del Permiano ma non del Carbonifero.

Le conifere sono piante a seme con predominanza nell'emisfero settentrionale a partire dal periodo Permiano e per tutto il Mesozoico, anche se compaiono nel *fossil record* già dal Carbonifero in poi. Ancora oggi sono comuni nelle aree montuose e alle alte latitudini. Nelle Alpi Carniche non sono state ancora rinvenute, ma nel Carbonifero Superiore delle Gurktaler Alpen, zona montuosa vicina alle Alpi Carniche, sono stati trovati alcuni rami di Walchiaceae, le conifere più primitive.



67 > Schema relativo all'evoluzione dei diversi gruppi di piante nel tempo. Si nota come la diversificazione maggiore si sviluppi fra Devoniano e Carbonifero. Nel Mesozoico appaiono le angiosperme (piante a fiori) che dal Cretacico divengono il gruppo dominante fra le piante.

> Übersicht zur Entwicklung der verschiedenen Pflanzengruppen. Man beachte, dass die größte Diversifikation zwischen dem Devon und dem Karbon erfolgte. Im Mesozoikum treten die Angiospermen (Blütenpflanzen) auf, die ab Kreidezeit zur vorherrschende Pflanzengruppe wurden.

EVOLUZIONE DELLE PIANTE

Gli organismi fotosintetici sono alla base della vita sulla Terra. La maggior parte di esse sono piante. Si stima che sulla Terra esistano circa 500.000 specie di piante, anche se finora “solo” 391.000 sono state descritte. La maggior parte di esse (94%, 369.000 specie) appartiene al gruppo delle piante con fiore. Di tutte le specie di piante conosciute, solo circa 20.000 vengono sfruttate dall'uomo come nutrimento, piante medicinali oppure come materiale da costruzione.

Quando comparvero le prime piante terrestri rimane tuttora un mistero irrisolto (Fig. 67). I primi organismi capaci di fotosintesi non erano piante, ma batteri che vivevano nell'oceano. Più tardi si formarono le alghe, mentre i licheni e i muschi iniziarono a colonizzare le terre emerse. Già in rocce di circa 475 milioni di anni si trovano delle spore, che possono probabilmente essere assegnate alle prime piante terrestri. La conquista della terraferma da parte delle piante vascolari incomincia però solo a partire dal medio Siluriano (circa 430-425 milioni di anni fa) con *Cooksonia*, anche se esistono possibili resti di piante vascolari anche nell'Ordoviciano (circa 480-440 milioni di anni fa). *Cooksonia* si differenzia dai suoi antenati per un sofisticato sistema di vasi, uno spesso strato di cera come protezione dalla disidratazione (cuticola) e spore resistenti per la riproduzione.

Questi “antenati” delle piante terrestri possedevano già tutte le caratteristiche necessarie per il futuro successo delle piante sulle terre emerse, dando origine ad una radiazione esplosiva e allo sviluppo di vari gruppi. Le prime piante terrestri del Siluriano erano ancora molto piccole (alte qualche centimetro), senza radici e prive di foglie. Nel Devoniano superiore (circa 380-360 milioni di anni fa) esistevano già alberi con fusti spessi, ampie corone fogliari e radici profonde. Dalle prime piante terrestri si svilupparono le licofite, gli equiseti, le felci e anche le prime piante con seme. La comparsa del seme svincola sempre di più le piante dall'acqua, il che rese possibile la conquista dell'entroterra più arido.

Nel Carbonifero, la capacità di produrre semi da parte delle piante non fu ancora così cruciale, in quanto nelle vaste paludi di quel tempo non vi era carenza di acqua o di sostanze nutritive. Tuttavia, con la fine del Carbonifero scomparvero man mano le paludi, e con loro diminuirono in modo significativo le licofite e gli equiseti, mentre in contemporanea si svilupparono e diffusero nuove forme di piante, meglio adattate ai luoghi più aridi. Oltre alle cicadee, queste includevano le conifere, le felci con seme e gli antenati del *Ginkgo*, che esiste ancora oggi. Le piante con semi si diffusero nel Permiano in tutti i continenti e divennero il gruppo di piante più importante durante il Mesozoico. Il più grande evento di estinzione della storia della terra, alla fine del periodo Permiano, circa 252 milioni di anni fa, non influenzò tantissimo la composizione della flora, mentre ebbe un effetto devastante sulla composizione della fauna (fino all'85% delle specie marine si estinsero). Negli ultimi anni, diversi gruppi di piante come le Bennettiti, da sempre ritenute limitate al Mesozoico, sono state trovate anche nel Permiano.

Nelle flore moderne, il gruppo più importante è quello delle piante con fiore. Fossili sicuramente appartenenti a questo gruppo compaiono nel Cretacico inferiore (circa 130 milioni di anni fa), sebbene probabilmente esistessero già nel Giurassico e probabilmente già nel Triassico esistevano i primi rappresentanti di questo gruppo. Sono sopravvissute all'estinzione di massa avvenuta 65 milioni di anni fa, che tra l'altro ha portato alla scomparsa dei dinosauri non-aviani. Mentre le singole specie di angiosperme sono di solito adattate solo a condizioni ben delimitate, l'intero gruppo ha dimostrato di essere estremamente adattabile. Un vantaggio particolare delle angiosperme è che la maggior parte di esse vive in simbiosi con insetti che sono attratti dai fiori e li impollinano. Anche altri animali aiutano le piante con fiore nella loro riproduzione, sia come impollinatori che contribuendo alla dispersione dei loro semi. Le angiosperme sono rappresentate in tutto il mondo, e hanno colonizzato tutte le zone climatiche, sulle terre emerse e, in maniera secondaria, anche nell'ambiente acquatico, sia nelle acque dolci che nei mari.

EVOLUTION DER PFLANZEN

Photosynthese-betreibende Organismen sind die Grundlage des Lebens auf der Erde. Die meisten davon sind Pflanzen. Es wird geschätzt, dass etwa 500.000 Pflanzenarten auf unserer Welt existieren, auch wenn bislang "nur" 391.000 beschrieben sind. Den größten Anteil daran (94%, 369.000) haben die Blütenpflanzen. Von allen bekannten Pflanzenarten werden vom Menschen nur etwa 20.000 als Nahrungs-, Heil- oder Faserpflanze oder als Baumaterial genutzt.

Wann genau die Landpflanzen entstanden sind, ist bis heute ein ungelöstes Rätsel (Abb. 67). Die ersten Organismen, die Photosynthese betreiben konnten, waren keine Pflanzen, sondern im Meer lebende Bakterien. Später entstanden auch Algen im Wasser, sowie Flechten und Moose auf dem Festland. Bereits in Gesteinen mit einem Alter von circa 475 Millionen Jahren finden sich Sporen, die vermutlich den frühen Landpflanzen zugeordnet werden können. Die Eroberung des Festlandes durch die (Gefäß-)Pflanzen ist offiziell erst mit der ersten unzweifelhaften Landpflanze, *Cooksonia*, im mittleren Silur (vor circa 430-425 Millionen Jahren) belegt, auch wenn bereits aus dem Ordovizium (vor circa 480-440 Millionen Jahren) mögliche Überreste von Landpflanzen beschrieben worden sind. *Cooksonia* unterscheidet sich von seinen Vorgängern durch ein ausgeklügeltes Leitungssystem (Gefäße), eine dicke Wachsschicht als Schutz vor dem Austrocknen und widerstandsfähige Sporen zur Fortpflanzung. Diese "Urväter" der Landpflanzen besaßen damit bereits alle Merkmale, die für den Erfolg der Pflanzen auf dem Festland nötig waren. Es kam zu einer explosionsartigen Entstehung und Entwicklung verschiedenster Pflanzengruppen. Waren die ersten Landpflanzen im Silur noch sehr klein (wenige Zentimeter groß), wurzellos und blattlos, so gab es im Oberdevon (vor circa 380-360 Millionen Jahren) bereits Bäume mit dicken Stämmen, ausladenden Baumkronen und tiefen Wurzeln. Aus den ersten Landpflanzen hatten sich Bärlappgewächse, Schachtelhalme, Farne und auch die ersten Samenpflanzen entwickelt. Die Entstehung des Samens machte die Pflanzen mehr und mehr vom Wasser unabhängig, wodurch die Eroberung des trockeneren Hinterlandes möglich wurde.

Im Karbon war diese Entwicklung zunächst nicht so entscheidend, da es in den ausladenden Sümpfen jener Zeit keinen Mangel an Wasser und Nährstoffen gab. Mit dem Ende des Karbons, als die Sümpfe nach und nach verschwanden, gingen jedoch Bärlappgewächse und Schachtelhalme deutlich zurück, während sich neue Formen entwickelten und ausbreiteten, die besser an trockene Standorte angepasst waren. Zu diesen gehörten neben den Cycadeen (Palmfarnen), auch die Koniferen (Nadelbäume), Samenfarne und die Vorfahren des heutigen *Ginkgo*. Die Samenpflanzen verbreiteten sich im Lauf des Perms auf allen Kontinenten und wurden im Mesozoikum zu den wichtigsten Pflanzengruppen. Das größte Aussterbe-Ereignis der Erdgeschichte, am Ende des Perms vor 252 Millionen Jahren, beeinflusste die Pflanzenwelt weit weniger als die Tierwelt (bis zu 85% der im Meer lebenden Tierarten starben dabei aus). Verschiedene Pflanzengruppen wie etwa die Bennettitales, von denen man glaubte, dass sie auf das Mesozoikum beschränkt gewesen seien, wurden in den letzten Jahren bereits im Perm gefunden.

Die heute bedeutendste Pflanzengruppe, die der Blütenpflanzen, entstand zuletzt. Sichere Fossilien dieser Gruppe kennt man aus der Unterkreide (vor circa 130 Millionen Jahren), auch wenn vermutlich bereits im Jura und möglicherweise schon während der Trias erste Vertreter dieser Gruppe existierten. Sie überstanden das Massenaussterben vor 65 Millionen Jahren, das unter anderem zum Verschwinden der Dinosaurier führte, völlig unbeschadet. Während die einzelnen Arten meist nur an spezielle Bedingungen angepasst sind, hat sich die ganze Gruppe als äußerst anpassungsfähig erwiesen. Ein besonderer Vorteil der Blütenpflanzen ist, dass die meisten von ihnen in Symbiose mit Insekten leben, welche von den Blüten angelockt werden und für die Bestäubung sorgen. Auch andere Tiere helfen den Blütenpflanzen bei der Fortpflanzung, als Bestäuber oder durch die Verbreitung der Samen. Heute sind sie auf der ganzen Welt vertreten, in den verschiedensten Klimazonen, sowohl an Land, wie auch im Süßwasser und sogar im Meer.



BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAPHIE

Paleozoico Carnico / Karnisches Paläozoikum

- Aa. Vv., 1983. Il Paleozoico Carnico. Catalogo della mostra. *Mus. Friul. di St. Nat.*, 132 pp.
- BRIME C., PERRI M.C., PONDRELLI M., SPALLETTA C. & VENTURINI C., 2008. Polyphase metamorphism in the eastern Carnic Alps (N Italy-S Austria): Clay minerals and conodont Colour Alteration Index evidence. *Intern. Journal of Earth Sciences*, 97: 1213-1229.
- CORRADINI C., 2018. Le scogliere della Carnia. Die Karnischen riffe. *Mus. Friul. St. Nat.*: 80 pp.
- CORRADINI C., CORRIGA M.G., KIDO E., MUSCIO G., PONDRELLI M., SUTTNER T.J., SIMONETTO L. & SPALLETTA C., 2013. *Cason di Lanza*. Le guide del Geoparco della Carnia, 1: 48 pp.
- CORRADINI C., CORRIGA M.G., LAPINI L., PONDRELLI M., SUTTNER T.J. & SIMONETTO L., 2018. *Passo Volaja*. Le guide del Geoparco della Carnia, 2: 48 pp.
- CORRADINI C., PONDRELLI M., CORRIGA M.G., SIMONETTO L., KIDO E., SUTTNER T.J., SPALLETTA C. & CARTA N., 2012. Geology and stratigraphy of the Cason di Lanza area (Mount Zermula, Carnic Alps, Italy). *Ber. Inst. für Erdwissen., Karl-Franzens-Univ. Graz*, 17: 83-103.
- CORRADINI C., PONDRELLI M., SCHÖNLAUB H.P. & SUTTNER T.J., 2017. The Palaeozoic of the Carnic Alps: an overview. *Ber. Inst. für Erdwissen., Karl-Franzens-Univ. Graz*, 23: 203-211.
- CORRADINI C., PONDRELLI M., SIMONETTO L., CORRIGA M.G., SPALLETTA C., SUTTNER T.J., KIDO E., MOSSONI A. & SERVENTI P., 2016. Stratigraphy of the La Valute area (Mt. Zermula massif, Carnic Alps, Italy). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 55: 55-78.
- CORRADINI C., PONDRELLI M., SUTTNER, T.J. & SCHÖNLAUB H.P., 2015. The Pre-Variscan sequence of the Carnic Alps. *Ber. Geolog. Bundes.*, 111: 5-40.
- CORRADINI C., SCHÖNLAUB H.P., PONDRELLI M., SIMONETTO L., CORRIGA M.G., SUTTNER T.J. & KIDO E., 2012. A short overview on the Palaeozoic sequence of the Carnic Alps. *Ber. Inst. für Erdwissen., Karl-Franzens-Univ. Graz*, 17: 65-70.
- CORRADINI C. & SUTTNER T.J. (eds), 2015. The Pre-Variscan sequence of the Carnic Alps (Austria and Italy). *Abhand. Geolog. Bundes.*, 69: 158 pp.
- FRECH F., 1894. Die Karnischen Alpen: Ein Beitrag zur vergleichenden Gebirges-Tektonik. *Abhand. der Naturf. Ges. zu Halle*, 18: 514 pp.
- GAERTNER H.R. von, 1931. Geologie der Zentralkarnischen Alpen. *Denk. der Österr. Akad. Wissens., math.-naturwiss. Klasse*, Abteilung 1, 102: 113-199.
- HERZOG U., 1988. Das Paläozoikum zwischen Poludnig und Oisternig in den Östlichen Karnischen Alpen. *Carinthia II*, 47: 1-123.
- HUBMANN, B., POHLER, S., SCHÖNLAUB, H.-P. & MESSNER F., 2003. Paleozoic Coral-Sponge Bearing Successions in Austria. *Ber. Geolog. Bundes.*, 61: 91 pp.
- KREUTZER L.H., 1990. Mikrofazies, Stratigraphie und Paläogeographie des Zentralkarnischen Hauptkammes. *Jahrb. Geolog. Bundes.*, 133: 275-343.
- MUSCIO G. (ed), 2019. Dentro le Alpi Carniche. La geologia vista da lontano. Inside the Carnic Alps. Das Herz der Karnischen Alpen. *Ed. Mus. Friul. St. Nat.*: 192 pp.
- PERRI M.C. & SPALLETTA C (eds), 1998. Southern Alps Field Trip Guidebook, ECOS VII. - *Giornale di Geologia*, s. 3, 60, Spec. Issue: 329 pp.
- PONDRELLI M., 2002. Thermal history of the Carnic Alps (NE Italy - Austria) using CAI Analysis. *Riv. It. Paleont. e Strat.*, 108: 369-380.
- PONDRELLI M., CORRADINI C., CORRIGA M.G., KIDO E., MOSSONI A., SIMONETTO L., SPALLETTA C., SUTTNER T. & CARTA N., 2015. Depositional and deformational evolution of a Lower Paleozoic portion of the Southalpine domain: the Mt. Pizzul area (Carnic Alps, Italy). *Intern. Jour. of Earth Sciences*, 104: 147-178.
- SCHÖNLAUB H.P., 1979. Das Paläozoikum in Österreich: Verbreitung, Stratigraphie, Korrelation, Entwicklung und Paläogeographie nicht-metamorpher und metamorpher Abfolgen. *Abhand. Geolog. Bundes.*, 33: 1-109.

68 > *Polymorphopteris* sp. dal Monte Corona (Passo Pramollo).
> *Polymorphopteris* sp. vom der Kronalpe (Nassfeldpass).

- SCHÖNLAUB, H.P., 1991. *Vom Urknall zum Gailtal - 500 Millionen Jahre Erdgeschichte in der Karnischen Region*. Verlag der Geol. Bundes., 3. Auflage: 169 pp.
- SCHÖNLAUB H.P. (ed.), 1997. IGCP-421 Inaugural Meeting, Guidebook. *Ber. Geolog. Bundes.*, 40: 134 pp.
- SCHÖNLAUB H.P., ATTREP M., BOECKELMANN K., DRESEN R.J.M.J., FEIST R., FENNINGER A., HAHN G., KLEIN P., KORN D., KRATZ R., MAGARITZ M., ORTH CH.J. & SCHRAMM J.M., 1992. The Devonian/Carboniferous Boundary in the Carnic Alps (Austria) - A Multidisciplinary Approach. *Jahrb. Geolog. Bundes.*, 135: 57-98.
- SCHÖNLAUB H.P. & HISTON K., 1999. The Palaeozoic of the Southern Alps. In: HISTON K. (ed.), V Int. Symp., Cephalopods - Present and Past. Carnic Alps. Excursion Guidebook. *Ber. Geolog. Bundes.*, 47: 6-30.
- SCHÖNLAUB H.P. & HISTON K., 2000. The Palaeozoic Evolution of the Southern Alps. *Mitt. der Österreich. Geol. Gesell.*, 92: 15-34.
- SCHÖNLAUB H.P. & KREUTZER L.H. (eds), 1994. Field Meeting Eastern + Southern Alps, Austria, Guidebook + Abstracts. *Ber. Geolog. Bundes.*, 30: 1-156.
- SELLI R., 1963. Schema geologico delle Alpi Carniche e Giulie occidentali. *Giorn. Geol.*, s. 2, 30: 1-121.
- SPALLETTA C. & CORRADINI C., 2018. History of conodont researches in the Carnic Alps (Austria and Italy): an overview. *Gortania. Geol., Paleont., Palet.*, 39: 5-26.
- SPALLETTA C., VAI G.B. & VENTURINI C., 1982. La Catena Paleocarnica. In: CASTELLARIN A. & VAI G.B. (eds) *Guida alla geologia del Sudalpino centro-orientale*. Guide Geol. Reg., Soc. Geol. It.: 281-292.
- VAI G.B., 1976. Stratigrafia e paleogeografia ercinica delle Alpi. *Mem. Soc. Geol. It.*, 13, 7-37.
- VAI G.B., VENTURINI C., CARULLI G.B. & ZANFERRARI A. (eds), 2002 - *Alpi e Prealpi Carniche e Giulie*. Guide Geol. Reg., Soc. Geol. It., BE-MA ed.: 390 pp.
- VENTURINI C., 1990. Geologia delle Alpi Carniche centro orientali. *Mus. Friul. di St. Nat., Pubbl.*, 36: 220 pp.
- VENTURINI C., 2006. Evoluzione geologica delle Alpi Carniche. *Mus. Friul. di St. Nat., Pubbl.*, 48: 208 pp.
- VENTURINI C., PONDRELLI M., FONTANA C., DELZOTTO S. & DISCENZA K., 2001-2002 *Carta geologica delle Alpi Carniche, alla scala 1:25.000*. Firenze: S.EL.CA.
- VENTURINI C. & SPALLETTA C., 2009. Da Pramollo al M. Coglians (Alpi Carniche). Itinerario numero 2. In: *Via Gealpina itinerari italiani. Un'escursione nello spazio e nel tempo*. Tipolitografia CSR: 28-51.
- Carbonifero / Karbon**
- AMEROM, H.W.J. VAN, FLAJS G. & HUNGER G., 1984. Die „Flora der Marinelli-Hütte“ (Mittleres Visé) aus dem Hochwipfelflysch der Karnischen Alpen (Italien). *Mededelingen Rijks Geol. Dienst*, 37: 1-41.
- AMEROM, H.W.J. VAN & SCHÖNLAUB H.P., 1992. Pflanzenfossilien aus dem Karbon von Nötsch und der Hochwipfel-Formation der Karnischen Alpen (Österreich). *Jahrb. Geol. Bundes.*, 135 (1): 195-216.
- BAUCON A., NETO DE CARVALHO C., 2008. From the river to the sea: Pramollo, a new ichnolagerstätte from the Carnic Alps (Carboniferous, Italy-Austria). *Studi Trent. Sci. Nat. Acta Geol.* 83: 87-114.
- CONTI M.A., LEONARDI G., MANNI R. & VENTURINI C., 1991. Limuloid tracks into the Meledis Fm. (Upper Carboniferous, Kasimovian) of the Carnic Alps. In: Workshop Proc. on Tectonics and Strat. of the Pramollo Basin (Carnic Alps). *Giorn. Geol.*, s. 3, 53 (1): 151-159.
- CORRADINI C., MOSSONI A., PONDRELLI M., SIMONETTO L., SPALLETTA C. & ZUCCHINI R., 2017. Sub-aerial exposures in the Tournaisian (lower Carboniferous) of the central Carnic Alps. *Stratigraphy*, 14: 87-96.
- CORRADINI C., SCHÖNLAUB H.P. & KAISER S.I., 2017a. The Devonian/Carboniferous boundary in the Grüne Schneid section. *Ber. des Inst. für Erdwissensch. Karl-Franzens-Universität Graz*, 23: 271-285.
- DRESEN R.M., 1992. Conodont biofacies analysis of the Devonian/Carboniferous boundary beds in the Carnic Alps. *Jahrb. Geol. Bundes.*, 135: 49-56.
- EBNER F., 1973a. Das Paläozoikum des Elferspitz (Ashgill bis Unterkarbon; Karnische Alpen, Österreich). *Verhand. Geol. Bundes.*, 1973: 155-193.
- EBNER F., 1973b. Die Conodontenfauna des Devon/Karbon-Grenzbereichs am Elferspitz (Karnische Alpen, Österreich). *Mitt. Abt. Geol., Paläont., Bergbau Landesmuseum Joanneum*, 33: 36-49.
- FLÜGEL H., GRÄF W. & ZIEGLER W., 1959. Bemerkungen zum Alter der „Hochwipfelschichten“ (Karnische Alpen). *N. Jb. Geol. Paläont., Mh.*, 1959: 153-167.
- FORKE H.C., 2002. Biostratigraphic Subdivision and Correlation of Uppermost Carboniferous/Lower Permian Sediments in the Southern Alps: Fusulinoidean and Conodont Faunas from the Carnic Alps (Austria/Italy), Karavanke Mountains (Slovenia), and Southern Urals (Russia). *Facies*, 4: 201-276.
- FORKE H.C., 2007. Taxonomy, systematics, and stratigraphic significance of fusulinoidean holotypes from Upper Carboniferous sediments (Auernig Group) of the Carnic Alps (Austria, Italy). In: Th. E. WONG (ed.), Proc. the XV Int. Cong. on Carboniferous and Permian Strat. *Royal Dutch Acad. of Arts and Sc.*, 259-268.
- FORKE H.C., KAHLER F. & KRÄINER K., 1998. Sedimentology, Microfacies and Stratigraphic Distribution of Foraminifers of the Lower Pseudoschwagerina Limestone (Rattendorf Group, Late Carboniferous), Carnic Alps (Austria/Italy). *Senckenb. lethaea*, 78 (1/2): 1-39.
- FORKE H.C. & SAMANKASSOU E., 2000. Biostratigraphical correlation of Late Carboniferous (Kasimovian) sections in the Carnic Alps (Austria/Italy): Integrated paleontological data, facies, and discussion. *Facies*, 42: 177-210.
- FORKE H.C., SCHÖNLAUB H.P. & SAMANKASSOU E., 2006. Late Palaeozoic of the Carnic Alps (Austria/Italy). *Ber. Geolog. Bundes.*, 70: 1-57.
- FRITZ A., BOERSMA M. & KRÄINER K., 1990. Steinkohlenzeitliche Pflanzenfossilien aus Kärnten. *Carinthia II. Sond.* 49.
- FRITZ A. & KRÄINER K., 2006. Vegetationsgeschichtliche und florenstratigraphische Untersuchungen im Oberkarbon und Unterperm der Ost- und Südalpen (Teil 1). *Carinthia II*, 196/116: 93-120.
- FRITZ A. & KRÄINER K., 2007. Vegetationsgeschichtliche und florenstratigraphische Untersuchungen im Ober-

- karbon und Unterperm der Ost- und Südalpen (Teil 2). *Carinthia II*, 197/117: 91-148.
- HAHN G. & KRATZ R., 1992. Eine Trilobitenfauna des tiefen Wassers aus dem Unterkarbon der Karnischen Alpen - Vorläufige Mitt. *Jahr. Geolog. Bundes.*, 134 (4): 217-224.
- HERITSCH F., 1936. *Die Karnischen Alpen. Monographie einer Gebirgsgruppe der Ostalpen mit variszischem und Alpidischem Bau*, 1-205. Graz.
- KAHALER F., 1983. Fusuliniden aus Karbon und Perm der Karnischen Alpen und der Karawanken. *Carinthia II*, Sond. 41: 1-107.
- KAHALER F., 1986. Eine neue Fusuliniden-Gemeinschaft in tiefen Oberkarbon-Schichten der Karnischen Alpen. *Carinthia II*, 96: 425-441.
- KAISER S.I., 2007. Conodontenstratigraphie und Geochemie ($d^{13}C_{carb}$, $d^{13}C_{org}$, $d^{18}O_{phosph}$) aus dem Devon-Karbon Grenzbereich der Karnischen Alpen. *Jahr. Geolog. Bundes.*, 146 (3-4): 301-314.
- KAISER S.I., STEUBER T., & BECKER R.T., 2008. Environmental change during the Late Famennian and Early Tournaisian (Late Devonian-Early Carboniferous): implications from stable isotopes and conodont biofacies in southern Europe. *Geological Journal*, 43: 241-260, <https://doi.org/10.1002/gj.1111>
- KAISER S.I., STEUBER T., BECKER R.T. & JOACHIMSKI M.M., 2006. Geochemical evidence for major environmental change at the Devonian-Carboniferous boundary in the Carnic Alps and the Rhenish Massif. *Palaeo., Palaeo., Palaeo.*, 240 (1-2): 146-160.
- KIDO E., SUTTNER T.J., SIMONETTO L., CORRIGA M.G., CORRADINI C., PONDRELLI M. & MUSCIO G., 2012. Carboniferous-Permian sequence of Nassfeld area (Carnic Alps, Austria-Italy). *Ber. des Inst. für Erdwissenschaften, Karl-Franzens-Univ. Graz*, 17: 71-82.
- KRAINER K. 1992. Fazies, Sedimentationsprozesse und Paläogeographie im Karbon der Ost- und Südalpen. *Jahr. Geolog. Bundes.*, 135 (1): 99-193.
- KRAINER K. 1995. *Anthracooporella* Mounds in the Late Carboniferous Auenrig Group, Carnic Alps (Austria). *Facies*, 33: 195-214.
- LAMSDALL J.C., SIMONETTO L. & SELDEN P.A., 2013. First eurypterid from Italy: a new species of *Adelophthalmus* (Chelicerata: Eurypterida) from the Upper Carboniferous of the Carnic Alps (Friuli, NE Italy). *Riv. It. Paleont. e Strat.*, 119: 147-151.
- LÄUFER A., HUBICH D. & LOESCHKE J., 2001. Variscan geodynamic evolution of the Carnic Alps (Austria/Italy). *Int. Jour. of Earth Sc.*, 90: 855-870.
- LÄUFER A., LOESCHKE J. & VIANDEN, B., 1993. Die Dimon-Serie der Karnischen Alpen (Italien) - Stratigraphie, Petrographie und geodynamische Interpretation. *Jahr. Geolog. Bundes*. 136/1: 137/162.
- LEPPIG, U., FORKE H.C., MONTENARI M. & FOHRER B., 2005. A three- and two dimensional documentation of structural elements in schwagerinids (superfamily Fusulinoidea) exemplified by silicified material from the Upper Carboniferous of the Carnic Alps (Austria/Italy): a comparison with verbeekinoideans and alveolinids. *Facies*, 51: 541-553.
- LUPPOLD F.W. 1994. Conodontenfunde aus dem Oberkarbon des Roskofel (Karnische Alpen, Italien). *Neues Jahr für Geol. und Paläont. Monatshefte*, 1994 (9): 537-540.
- MANZONI M., 1968. Il Devoniano Superiore e il Carbonifero Inferiore nelle serie pelagiche di Val Uqua (Tarvisio). *Giorn. Geol.*, S. 2, 34: 641-684.
- MÜLLER K.J., 1959. Nachweis der Pericyclus-Stufe (Unterkarbon) in die Karnische Alpen. *Neues Jahr für Geol. und Paläont. Monatshefte* 1959: 90-94.
- NOVAK M., FORKE H.C. & SCHÖNLAUB H.P., 2019. The Pennsylvanian/Permian of the Southern Alps (Carnic Alps/Karavanke Mts.), Austria/Italy/Slovenia - fauna, facies and stratigraphy of a mixed carbonate siliciclastic shallow marine platform along the northwestern Palaeo-tethys margin. *Kölner Forum Geol. Paläont.*, 24: 251-302.
- PERRI M.C. & SPALLETTA C., 1998a. Conodont distribution at the Tournaisian/Visean boundary in the Carnic Alps (Southern Alps, Italy). In: H. SZANIAWSKI (ed.), Proc. of the 6th European Conodont Symposium (ECOS VI), *Palaeont. Polonica*, 58: 225-245.
- PERRI M.C. & SPALLETTA C., 1998e. Latest Devonian and Early Carboniferous conodonts from the Casera Collinetta di Sotto A section (Carnic Alps, Italy). In: M.C. PERRI & C. SPALLETTA (eds) Southern Alps Field Trip Guidebook, ECOS VII. *Giorn. Geol.* 60, Special Issue: 168-181.
- PERRI M.C. & SPALLETTA C., 2000. Late Devonian-Early Carboniferous transgressions and regressions in the Carnic Alps (Italy). *Records of the West. Australian Mus. Suppl.*, 58: 305-319.
- PERRI M.C. & SPALLETTA C., 2001. Hangenberg Event al limite Devoniano/Carbonifero al Monte Zermula, Alpi Carniche, Italia. *Giorn. Geol.*, S. 3, 62: 31-40.
- RANDON C., DERYCKE C., BLIECK A., PERRI M.C. & SPALLETTA C., 2007. Late Devonian-Early Carboniferous vertebrate microremains from the Carnic Alps, northern Italy. *Geobios*, 40 (6): 809-826. doi: 10.1016/j.geobios.2007.02.004.
- RODRÍGUEZ S., SCHÖNLAUB H.P. & KABON H., 2018. *Lonsdaleia carnica* n. sp., a new colonial coral from the late Mississippian Kirchbach Formation of the Carnic Alps (Austria). *Jahr. Geolog. Bundes.*, 158: 49-57.
- ROSSI P.L. & VAI G.B. (1986). New geochemical data on Silesian volcanics (Dimon Fm.) from the Carnic Alps and geodynamic implication. *IGCP Pr. No. 5, Final Meeting, Cagliari 1986*, Abstracts: 77.
- SAMANKASSOU E., 1997. Paleontological response to sea-level change: Distribution of fauna and flora in cyclothems from the Lower Pseudoschwagerina Limestone (Latest Carboniferous, Carnic Alps, Austria). *Geobios*, 30 (6): 785-796.
- SAMANKASSOU E., 1998. Skeletal framework mounds of dasycladalean alga *Anthracooporella*, Upper Paleozoic, Carnic Alps, Austria. *Palaio*, 13: 297-300.
- SAMANKASSOU E., 1999. Drowning of algal mounds: records from the Upper Carboniferous Lower Pseudoschwagerina Limestone, Carnic Alps, Austria. *Sedimentary Geology*, 127: 209-220.

- SAMANKASSOU E., 2002. Cool-water carbonates in a paleo-equatorial shallow-water environment: The paradox of the Auenig cyclic sediments (Upper Pennsylvanian, Carnic Alps, Austria - Italy) and its implications. *Geology*, 30 (7): 655-658.
- SCHÖNLAUB H.P., 1969. Conodonten aus dem Oberdevon und Unterkarbon des Kronhofgrabens (Karnische Alpen, Österreich). *Jahr. Geolog. Bundes.*, 112: 321-354.
- SCHÖNLAUB H.P., ATTREP M., BOECKELMANN K., DRESEN R., FEIST R., FENNINGER A., HAHN G., KLEIN P., KORN D., KRATZ R., MAGARITZ M., ORTH C.J., & SCHRAMM J.-M. (1992). The Devonian/Carboniferous boundary in the Carnic Alps (Austria) - A multidisciplinary approach. *Jahr. Geolog. Bundes.*, 135 (1): 57-98.
- SCHÖNLAUB H.P., FEIST R., & KORN D., 1988. The Devonian-Carboniferous boundary at the section "Grüne Schneid" (Carnic Alps, Austria): A preliminary report. *Courier Forschungsinst. Senckenberg*, 100: 149-167.
- SCHÖNLAUB H.P. & FORKE H.C., 2007. Die post-variszische Schichtfolge der Karnischen Alpen - Erläuterungen zur Geologischen Karte des Jungpaläozoikums der Karnischen Alpen 1:12.500. *Aband. Geolog. Bundes.*, 61: 3-157.
- SCHÖNLAUB H.P., Klein P., MAGARITZ M., RANTITSCH G. & SCHARBERT S., 1991. Lower Carboniferous paleokarst in the Carnic Alps (Austria, Italy). *Facies*, 25: 91-117.
- SCHÖNLAUB H.P. & KREUTZER L.H., 1993. Lower Carboniferous conodonts from the Cima di Plotta section (Carnic Alps, Italy). *Jahr. Geolog. Bundes.*, 136: 247-269.
- SCHÖNLAUB H.P., SPALLETTA C. & VENTURINI C., 2015. Kirchbach Formation. In: C. CORRADINI & T.J. SUTTNER (eds): The Pre-Variscan sequence of the Carnic Alps (Austria and Italy). *Aband. Geolog. Bundes.*, 69: 148-150.
- SELDEN P.A., DUNLOP J.A. & SIMONETTO L., 2016. A fossil whip-scorpion (Arachnida: Thelyphonida) from the Upper Carboniferous of the Carnic Alps (Friuli, NE Italy). *Riv. Ital. Paleont. Strat.* 122: 7-12.
- SELDEN P.A., SIMONETTO L. & MARSIGLIO G., 2019. An effaced horseshoe crab (Arthropoda: Chelicerata: Xiphosura) from the Upper Carboniferous of the Carnic Alps (Friuli, NE Italy). *Riv. Ital. Paleont. Strat.* 125: 333-342.
- SPALLETTA C. & PERRI M.C., 1994. Associazioni rimaneggiate a conodonti in calcari micritici del Tournaisiano superiore (Alpi Carniche): implicazioni sedimentologiche e paleoambientali. *Paleopelagos* 3: 145-157.
- SPALLETTA C. & PERRI M.C., 1998. Lower Carboniferous conodonts at the Tournaisian/Visean boundary in the Dolina section (Carnic Alps, Italy). In: M.C. PERRI & C. SPALLETTA (ed.), Southern Alps Field Trip Guidebook, ECOS VII. *Giorn. Geol.* 60, Special Issue: 244-253.
- SPALLETTA C., PERRI M.C., PONDRELLI M., CORRADINI C., MOSSONI A. & SCHÖNLAUB H.P., 2015c. Pal Grande Formation. In: CORRADINI, C. & SUTTNER T.J. (eds), The Pre-Variscan sequence of the Carnic Alps (Austria and Italy). *Abhand. Geolog. Bundes.*, 69: 137-140.
- SPALLETTA C., H.P. SCHÖNLAUB, M.C. PERRI, C. VENTURINI & M. PONDRELLI. 2015. Zollner Formation. In: CORRADINI C. & SUTTNER T.J. (eds), The Pre-Variscan sequence of the Carnic Alps (Austria and Italy). *Abhand. Geolog. Bundes.*, 69: 141-144.
- SPALLETTA C., SCHÖNLAUB H.P., PONDRELLI M., CORRADINI C. & SIMONETTO L. 2015. Plotta Formation. In: CORRADINI C. & SUTTNER T.J. (eds), The Pre-Variscan sequence of the Carnic Alps (Austria and Italy). *Abhand. Geolog. Bundes.*, 69: 145-147.
- SPALLETTA C., VAI G.B. & VENTURINI C., 1980. Il Flysch ercinico nella geologia dei Monti Paularo e Dimon (Alpi Carniche). *Mem. Soc. Geol. It.*, 20, 243-265.
- SPALLETTA C. & VENTURINI C., 1988. Conglomeratic Sequences in the Hochwipfel Formation: A New Palaeo-geographic Hypothesis on the Hercynian Flysch Stage of the Carnic Alps. *Jahr. Geolog. Bundes.*, 131: 637-647.
- SPALLETTA C. & VENTURINI C., 1995. Late Devonian-Early Carboniferous synsedimentary tectonic evolution of the Palaeocarnic domain (Southern Alps, Italy). *Giorn. Geol.*, 56 (2): 211-222.
- SPALLETTA C., VENTURINI C., SCHÖNLAUB H.-P. & PONDRELLI M. 2015. Zollner Formation. In: C. CORRADINI & T.J. SUTTNER (eds), The Pre-Variscan sequence of the Carnic Alps (Austria and Italy). *Abhand. Geolog. Bundes.*, 69: 151-154.
- VENTURINI C., 1982 Il bacino tardoercinico di Pramollo (Alpi Carniche): un'evoluzione regolata dalla tettonica sinsedimentaria. *Mem. Soc. Geol. It.*, 24: 23-42.
- VENTURINI C., 1991. Introduction to the geology of the Pramollo Basin (Carnic Alps) and its surroundings. In: C. VENTURINI (ed.), Workshop Proceedings on 'Tectonics and Stratigraphy of the Pramollo Basin (Carnic Alps)'. *Giorn. Geol.*, 53: 13-47.
- VENTURINI C. & SPALLETTA C., 1991. Dimon Formation. In: C. CORRADINI & T.J. SUTTNER (eds), The Pre-Variscan sequence of the Carnic Alps (Austria and Italy). *Abhand. der Geolog. Bundes.*, 69: 155-158.



**Geoparco delle
Alpi Carniche**
**Geopark
Karnische Alpen**



**UDINE
MUSEI**

**MUSEO FRIULANO
DI STORIA
NATURALE**

NATURMUSEUM SÜDTIROL
MUSEO SCIENZE NATURALI ALTO ADIGE
MUSEUM NATURA SÜDTIROL



BIODIVERSITY CENTER