

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea in Scienze Geologiche

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali

Relazione di Laurea

Titolo

Analisi di conodonti al limite Devoniano/Carbonifero (sezione stratigrafica di Col du Puech de la Suque Est, Montagne Noire, Francia)

Candidato:

Marco Papa

Relatore:

Prof.ssa Claudia Spalletta

- INDICE

- 1) INTRODUZIONE.....pag. 3
- 2) INQUADRAMENTO GEOLOGICO..... pag. 4
- 3) IL PROBLEMA DEL LIMITE DEVONIANO/CARBONIFERO..... pag. 8
- 4) MATERIALI E METODI..... pag. 10
- 5) DESCRIZIONE RISULTATI..... pag. 10
- 6) CONCLUSIONI..... pag. 17
- 7) RISULTATI..... pag. 18

1 - INTRODUZIONE

Sono stati analizzati alcuni campioni provenienti dalla sezione stratigrafica di Col du Puech de la Suque (Montagne Noire, Francia Meridionale), raccolti in un intervallo comprendente il limite Devoniano/Carbonifero allo scopo di individuare il limite stesso in base alla identificazione e attribuzione biostratigrafica dei conodonti rinvenuti. A causa di problemi legati al GSSP, il limite Devoniano/Carbonifero è attualmente in discussione (vedi paragrafo “Il problema del limite Devoniano/Carbonifero”) da parte di un gruppo di lavoro stabilito dalla International Commission on Stratigraphy (ICS).

La separazione e l’identificazione dei conodonti si è svolta con microscopio ottico, si è trattato perciò di un lavoro di laboratorio.

La sezione stratigrafica di Col du Puech de la Suque è situata nel sud-ovest della Francia, in particolare nella porzione sud-orientale della catena montuosa Montagne Noire, al limite sud del Massiccio Centrale (Fig. 1).

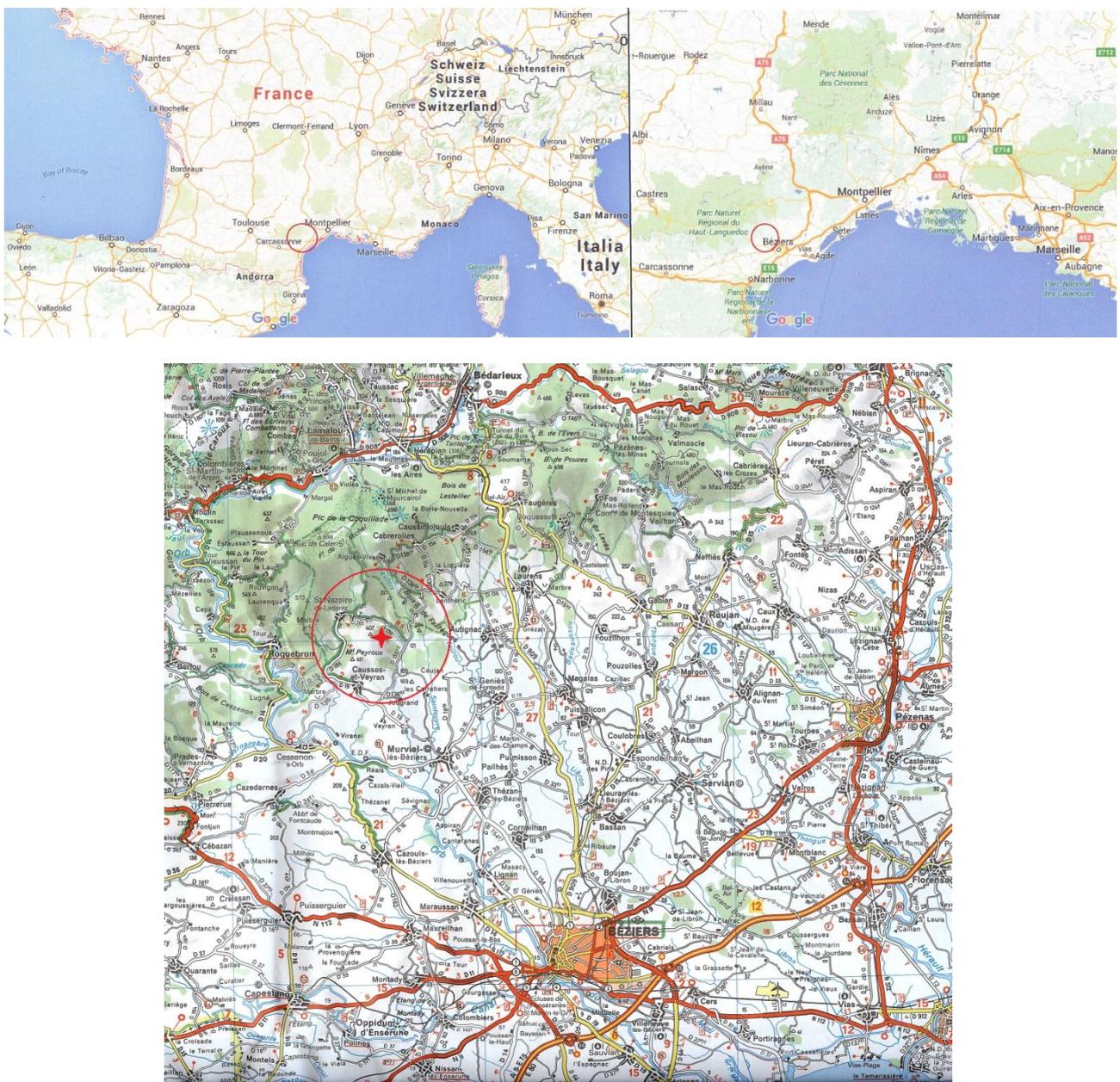


Fig. 1: Posizione della sezione stratigrafica di Col du Puech de la Suque, l’ubicazione esatta è segnata da una stella.

2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La catena della Montagne Noire, parte della zona tettonica esterna della catena ercinica, è formata da pieghe sud-vergenti e da falde caratterizzate da metamorfismo di basso grado o assenza di metamorfismo, non avendo subito effetti della deformazione alpina. Queste condizioni hanno permesso una buona conservazione dei fossili e delle strutture sedimentarie (Girard *et al.*, 2014).

La sezione di Col du Puech de la Suque Est si trova nell'area di falda di Mont Peyroux, precisamente è situata nella parte sud orientale del Col du Puech de la Suque, circa due chilometri a sud est di Saint-Nazaire-de-Ladarez (Fig. 1), ed è rovescia. La successione affiorante al Col du Puech de la Suque è prevalentemente carbonatica e si è deposta durante un vasto arco temporale, che va dall'Emsiano al Carbonifero inferiore e fa parte di una sequenza deposizionale di piattaforma caratterizzata da una generale trasgressione marina, avvenuta con ripetuti impulsi irregolari, come si può dedurre dai cicli sedimentari, costituiti da alternanze di calcari compatti con intercalazioni di argille e calcari nodulari con selce (Fig. 2). La sequenza trasgressiva è interrotta da uno strato di argille nere, spesso circa 20-25 cm, considerato un equivalente degli Hangenberg Black Shales (HBS) e quindi corrispondente all'"Hangenberg Event" e rappresenta un periodo di scarsa sedimentazione in condizioni anossiche, avvenuto durante una regressione. La datazione di questo livello è resa particolarmente problematica dall'assenza di fossili, spore o conodonti (Kaiser *et al.*, 2009; Becker *et al.*, 2016).

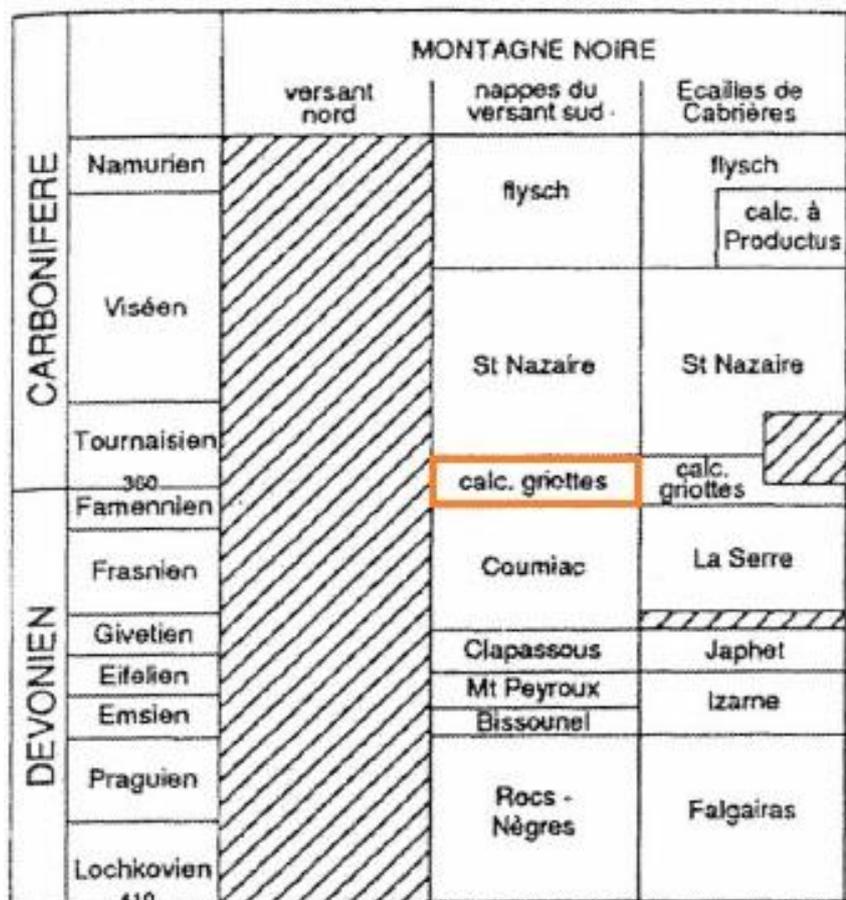


Fig. 2: Formazioni del Devoniano e del Carbonifero in Montagne Noire (Francia), la formazione dei Calcari a Griottes è evidenziata in arancione (da Feist, 2002).

Per intero, la sezione di Col du Puech de la Suque Est, è composta inferiormente dalla Formazione dei Calcari a Griottes che si compone di due membri, inferiore e superiore, e dal Gruppo di Saint-Nazaire nella parte superiore e ha uno spessore totale di circa 125 metri (Boyer *et al.*, 1968; Feist, 2002).

Nella sezione appare solo la parte superiore del membro inferiore della Formazione dei Calcari a Griottes, che si presenta come una calcilutite nodulare di colore rosso scuro; negli strati di calcare si intercalano livelli di argilla contenenti concrezioni piritiche e forme mineralizzate di goniatiti, bivalvi e brachiopodi lisci. L'ambiente deposizionale è pelagico di piattaforma esterna.

Il membro superiore della Formazione dei Calcari a Griottes o "supragriottes" è spesso più di 30 metri, si tratta di calcari micritici nodulari e micro nodulari di color grigio e rosa in strati massivi contenenti fauna pelagica. Nella parte alta dell'unità, il calcare nodulare che appare come una compatta roccia grigia diventa ben stratificato e con sottili intercalazioni argillose. Questi strati micritici rappresentano la tipica facies dei calcari a *Wocklumeria* del Famenio superiore e sono indice dell'intervallo di tempo immediatamente precedente al periodo di cambiamento deposizionale legato all'evento di Hangenberg, corrispondente alla deposizione di argille nere. Gli strati che sovrastano il livello di Hangenberg, sono calcilutiti nodulo-brecciate e ben stratificate di color grigio con spesse intercalazioni argillose gialle. Dal basso verso l'alto gli elementi nodulari diminuiscono in favore della matrice argillosa; la successione termina con argille grigio-marroni disseminate di piccoli noduli calcarei sempre più radi fino a scomparire verso la sommità. L'ambiente deposizionale è di piattaforma esterna, con profondità crescente fino all'evento di Hangenberg, dove la tendenza trasgressiva è interrotta da un breve impulso regressivo. La sezione prosegue con rocce del Gruppo di Saint-Nazaire, rappresentate da un membro inferiore prevalentemente radiolario ("Lydiennes") spesso circa 30 metri, a cui segue il membro intermedio dei "Calcari du Faugères" con spessore di 9 metri, costituito da calcari nodulari rosati alternati ad argille brune e infine il membro superiore dei "Calcari à colonnes", circa 40 metri di sottili livelli di argille giallastre e verdi e di selci intercalate a biocalcareni gradate interpretate come torbiditi prossimali (Boyer *et al.*, 1968; Feist, 2002).

La sezione di Col du Puech de la Suque Est, comprendendo il limite Devoniano/Carbonifero è stata oggetto di vari studi, anche a conodonti (Stoppel, in Boyer *et al.*, 1968; Girard, 1994; Kaiser *et al.*, 2009) che però non sono stati risolutivi per l'identificazione e il posizionamento del limite.

L'intervallo di campionatura da cui provengono i tre campioni oggetto di questo lavoro fa parte del membro superiore della Formazione dei Calcari a Griottes e i campioni sono stati prelevati nei calcari compatti presenti sia sopra che sotto il livello di argille nere (Fig. 3).

In particolare si tratta di circa 32 cm sotto al livello di argille nere e circa 70 cm sopra, per uno spessore totale di circa 1 metro e 20 (vedi Fig. 8).

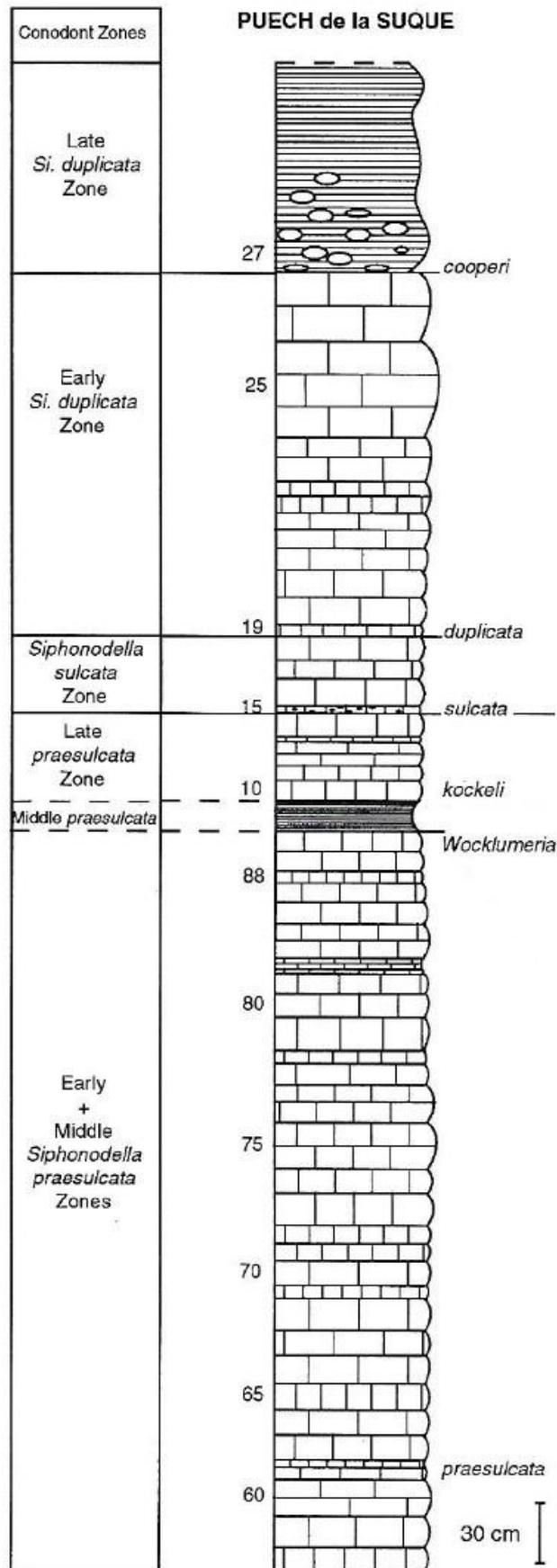


Fig. 3 Colonna stratigrafica rappresentante parte della sezione di Col du Puech de la Suque Est, in particolare, la parte superiore della Formazione dei Calcari a Griottes incluso il livello di argilliti nere (da Girard, 1994).

Sono state osservate le sezioni sottili corrispondenti ai livelli di campionatura. Questo studio ha consentito di riconoscere le microfacies. Tutte e tre le sezioni sono costituite da calcari micritici leggermente nodulari (wackestone) di color grigio nocciola, con rilegature argillose ocracee e piccole masse di minerali di ferro (ematite); sono abbondanti i resti fossili, tra cui frammenti di ammonoidi (goniatiti), trilobiti, brachiopodi, ostracodi e lamellibranchi pelagici, nelle sezioni PS9 e PS12 compaiono anche articoli di crinoidi, assenti nella sezione PS14. In tutte le sezioni sottili la presenza di strutture geopete conferma che la sezione stratigrafica è rovescia (Fig. 4, nella figura le immagini sono state messe in senso stratigrafico, strutture geopete orientate nel senso della giacitura).

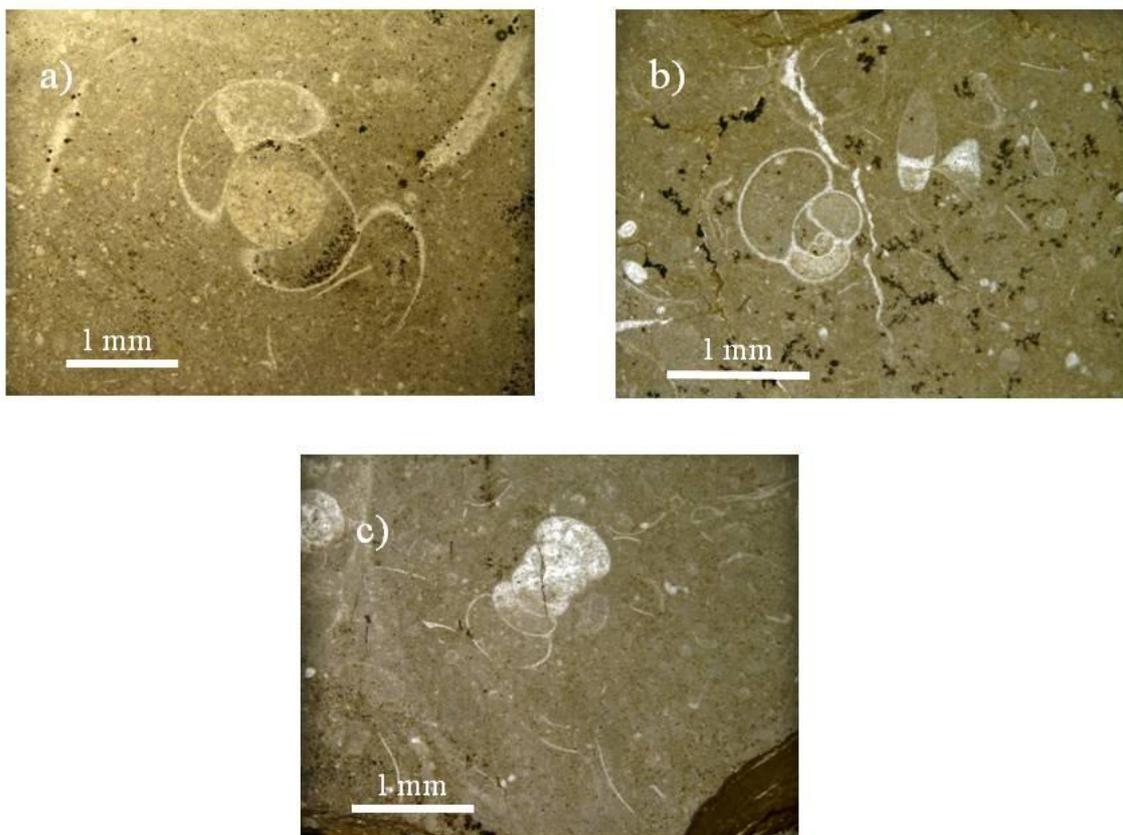


Fig. 4: Foto di particolari delle sezioni sottili; a) PS9: al centro goniatite, in alto a destra frammento di valva; b) PS12: goniatiti e ostracodi; c) PS14: goniatite e frammenti di exuvie di trilobiti.

3 - IL PROBLEMA DEL LIMITE DEVONIANO/CARBONIFERO

La posizione del limite tra Devoniano e Carbonifero è stata a lungo dibattuta negli anni e ha subito molteplici critiche e cambiamenti. Inizialmente, durante il Second Herleen Congress nel 1935, il limite era stato definito dalla comparsa dell'ammonoide *Gattendorfia subinvoluta* nella sezione di Oberrödinghausen, nel Massiccio Renano, in Germania, che fu proposta come stratotipo. In seguito studi approfonditi dimostrarono che la sezione conteneva uno hiatus coincidente con il livello del limite. Quindi nel 1976 fu istituito un gruppo di lavoro internazionale per la ricerca di un nuovo criterio di definizione del limite e di un nuovo stratotipo. Dopo 15 anni di ricerche e dibattiti, il limite fu posizionato in una successione oolitica nella sezione di La Serre trench E', (Montagne Noire, Francia), alla base dello strato 89 in corrispondenza della comparsa del conodonte *Siphonodella sulcata*. Il GSSP proposto fu accettato e ratificato dalla International Union of Geological Sciences (IUGS) nel 1990 (Paproth *et al.*, 1991). La nuova posizione si trova circa 40 centimetri più in basso rispetto al limite stabilito dal congresso del 1935 (Becker *et al.*, 2016).

Tuttavia anche la attuale posizione del GSSP nella sezione di La Serre è stata a lungo criticata: la scoperta di taxa ritenuti appartenere al Carbonifero in strati del Devoniano e problemi di riconoscimento di *Siphonodella sulcata*, hanno portato a rimettere in discussione non solo il posizionamento, ma anche i criteri stessi di definizione del limite Devoniano/Carbonifero. Nel 2008 l'ICS (International Commission on Stratigraphy) ha istituito un gruppo di lavoro composto da membri delle sottocommissioni di stratigrafia del Devoniano e del Carbonifero volto alla ridefinizione del DCB (Devonian/Carboniferus Boundary). Poiché la transizione tra Devoniano e Carbonifero è segnata da un profondo sconvolgimento della biosfera può apparire che sia semplice definire la sua posizione, ma un'analisi dettagliata rivela quanto i processi e le tempistiche dei cambiamenti siano complessi e come le cause e le conseguenze a scala locale e globale si sovrappongano, rendendo il problema di definizione del DCB di difficile soluzione.

I problemi che rendono così incerta la posizione del DCB sono molteplici. L'analisi delle sezioni depostesi in acque poco profonde rende difficile l'utilizzo dei conodonti a causa della loro scarsità in facies di acque basse; inoltre la tendenza regressiva nella parte alta del Famieniano rende improbabile la continuità di sedimentazione e quindi la presenza di un DCB affidabile in facies di acque poco profonde.

Recenti lavori hanno dimostrato come la specie indice utilizzata compaia, nella sezione di La Serre, prima di quando fosse stato fino ad ora documentato: ciò significa che il "chiodo d'oro" non si trova nella giusta posizione. Inoltre la divisione tra le specie *Siphonodella sulcata* e il suo ancestore *Siphonodella praesulcata* secondo alcuni studiosi non è solo difficile, ma anche errata, in quanto a loro parere le due specie sono in realtà morfotipi diversi della stessa specie. I diversi pareri inerenti le due specie rendono di conseguenza il loro riconoscimento difficoltoso e mutevole in base ai diversi ricercatori (Aretz, 2014).

L'assenza di altre importanti guide stratigrafiche, come le spore o uno strato di ceneri per datazioni radiometriche, indebolisce ulteriormente la validità del GSSP attuale e induce a pensare alla rilocalizzazione del DCB in un'altra sezione. (Spalletta *et al.*, 2011).

Una soluzione alternativa è quella di cercare un criterio diverso per la definizione del limite, come la scelta di utilizzare le specie di *Protognathodus* o di altri fossili come indice (Aretz, 2014).

Le principali possibilità discusse per la nuova locazione della base del Carbonifero nelle classiche aree tedesche sono 5 ed ognuna presenta determinati vantaggi e svantaggi. (Becker *et al.*, 2016)

1 – Livello dell'estinzione principale e delle argille nere: offre il vantaggio di poter essere facilmente riconosciuto dall'estinzione di taxa specifici, dalla stratigrafia sequenziale, dalla suscettibilità magnetica, da elementi geochimici e dalla stratigrafia del carbonio. Presenta, tuttavia, rimaneggiamento dei conodonti e una possibile rimozione di materiale dovuta alla regressione.

2 – Limite di sequenza e picco regressivo (base degli Hangenberg Black Shales - HBS): offre il vantaggio di un riconoscimento facilitato dalla stratigrafia sequenziale, dalla suscettività magnetica

e una correlazione del limite a livello globale. Per contro l'assenza di conodonti, ammonoidi e spore renderebbe la scelta meno affidabile e il riconoscimento in bacini a deposizione continua di argille risulterebbe difficoltoso.

3 – Base della Zona a *kockeli* e inizio della trasgressione postglaciale: è facilmente riconoscibile dalla comparsa di faune di conodonti (*Pr. kockeli*), di ammonoidi, trilobiti e foraminiferi, dal cambiamento di litologia (da materiale silicoclastico a carbonatico), dalla stratigrafia sequenziale (trasgressione postglaciale), dalla suscettività magnetica e dalla stratigrafia a isotopi del carbonio.

Il possibile rimaneggiamento a scala locale, la distribuzione ristretta del *Pr. kockeli* e l'assenza di un chiaro limite di miospore minano però la solidità di questa scelta.

4 – Comparsa di *Siphonodella sulcata*: usata per decenni, gode di una vasta documentazione ed ha come marker alternativo *Pr. kuehni*. Si presentano, tuttavia, seri problemi di identificazione della specie indice, inoltre la scarsa distribuzione, unita alla rarità, del *Pr. kuehni* non lo rendono una buona alternativa. Mancano, altresì, dei chiari marker stratigrafici chimici o fisici.

5- Base dell'intervallo post-crisi e trasgressione principale del Carbonifero (circa allo stesso livello del GSSP corrente a La Serre): ben riconoscibile dalla comparsa di specie di ammonoidi, trilobiti, brachiopodi e dalla stratigrafia sequenziale (tratto di trasgressione post-glaciale).

Non sono, però, presenti chiari limiti a conodonti o a spore, cambiamenti isotopici importanti nè altri marker geochimici.

chronostrat.	conodonts		ammonoids	key	mio-spore	forams	"Rhenish standard succession"	events/ crises	regional stages	sea level R ← T →	HSI					
	traditional	revised														
CARBONIFEROUS	TOURNAISIAN	middle	<i>crenulata</i>	<i>S. (S.) crenulata</i>	<i>Goniocyclus</i>	II-A	HD	Lower Alum Shale	LAS Event	Erdb. (cu II)	→	23				
			<i>sandbergi</i>	<i>S. (S.) quadruplicata</i>	<i>Kahlacanites</i>	I-E	MFZ2	Hangenberg Limestone		Balvian (cu I)	Hastarian					
				<i>S. (S.) sandbergi</i>	<i>Zadelsdorfia</i>	I-D										
		Upper <i>duplicata</i>	<i>S. (S.) jii</i>	<i>Pseudarietites</i>	I-C											
		Lower <i>duplicata</i>	<i>S. (S.) duplicata</i>	<i>Paprothites</i>	I-B											
			<i>S. (Eo.) bransoni</i>	<i>Gattendorfia</i>	I-A ₂											
	<i>sulcata</i>	<i>S. (Eo.) sulcata</i> <i>Pr. kuehni</i>	<i>Acutimitoceras (Stockumites)</i>	I-A ₁	VI	MFZ1	Upp. Stockum Lst. Low. Stockum Lst. Hang. Shale Hang. Sandst. Hangenberg Black Sh. Dr. S.							Upp. Crisis middle low. Hangenberg Crisis	Wocklumian (do VI)	Strunian
	DEVONIAN	FAMENIAN	uppermost	Upp. <i>praesulcata</i>	<i>Pr. kockeli</i>	<i>Acrotoceras</i>		VI-F	LN	DFZ8	17					
				Middle <i>praesulcata</i>	<i>costatus-kockeli</i> Interregnum (ckl)	<i>(Postclymenia)</i>		VI-E	LE	16						
				Lower <i>praesulcata</i>	<i>Siphonodella (Eosiphonodella) praesulcata</i>	<i>Wocklumeria</i>		VI D ₂ D ₁	Upp. LL	DFZ7	15					
				<i>Parawocklumeria</i>	VI C ₂ C ₁						14					
				<i>Effenbergia</i>	VI-B							13				
			Upper <i>costatus</i>	<i>Bispathodus ultimus ultimus</i>	<i>Linguacyclenia</i>	VI A ₂ A ₁						12				
												11				
												10				
												9				
												8				
												7				
												6				
												5				
												4				
												3				
												2				
												1				

Fig. 5: Correlazioni della cronostratigrafia del DCB, con confronto tra le zone a conodonti tradizionali e quelle rivisitate, le zone ad ammonoidi, miospore e foraminiferi nelle classiche aree tedesche (da Becker et al., 2016).

4 - MATERIALI E METODI

Il lavoro svolto ha avuto come oggetto di studio dei conodonti, animali marini vissuti nel Paleozoico e estintisi nel Mesozoico inferiore. I conodonti sono considerati come una forma primitiva di vertebrati (cordati), di grandezza variabile tra 1 a 40 cm. Le uniche parti mineralizzate del corpo appartenevano all'apparato masticatore dell'animale e sono le sole a conservarsi nel record fossile. Di dimensione compresa tra 0.1 e 3 mm gli elementi conodonti sono dei microfossili che presentano forme di denticoli semplici o composti, a struttura lamellare, costituiti da carbonato e fosfato di calcio, con colore da ambra traslucido a nero opaco, in dipendenza dalla temperatura raggiunta dalle rocce incassanti durante la diagenesi.

Rinvenuti prevalentemente in rocce carbonatiche con età che vanno dal Cambriano Superiore al Triassico Superiore, i conodonti vengono largamente impiegati nella biostratigrafia e possiedono caratteristiche che conferiscono loro la qualità di "fossili guida". Le biozonature standard di alcuni periodi, come il Devoniano, sono basate proprio sull'utilizzo dei conodonti.

Per l'estrazione dei conodonti è stato analizzato il residuo insoluto proveniente dai tre campioni, che sono stati sciolti con tecnica convenzionale tramite l'utilizzo di acido acetico al 10%. Il residuo è stato setacciato con setacci a maglie di 800, 125 e 63 micrometri. Viste le dimensioni dei conodonti, questi vengono rinvenuti nel residuo del setaccio con maglie di 125 µm, trattato poi con un liquido pesante (politungstato di sodio) per separare la parte con un peso specifico più basso dei conodonti.

Con l'ausilio di un microscopio ottico sono stati prelevati dal residuo pesante tutti i conodonti interi e tutti i frammenti. Questa parte di lavoro è stata effettuata personalmente.

Successivamente è avvenuta l'identificazione degli elementi interi e dei frammenti riconoscibili, che occupano la posizione P1 (o Pa o P0) dell'apparato masticatore (Sweet, 1988). Sono stati prelevati anche altri elementi (ramiformi) dell'apparato, ma non sono stati identificati.

Dai campioni esaminati, con un peso rispettivamente di 1555 g il PS9, 1510 g il PS12 e 1820 g il PS14, sono stati estratti un totale di 370 elementi riconoscibili.

5 - DESCRIZIONE RISULTATI

L'identificazione dei conodonti ha permesso di riconoscere varie specie e sottospecie (Fig. 9 e 10):

- quattro specie e una sottospecie del genere *Bispathodus*,
- due specie del genere *Branmehla*
- due sottospecie del genere *Palmatolepis*
- una specie del genere *Mehlina*,
- quattro specie e sottospecie del genere *Polygnathus*
- due specie del genere *Siphonodella*,
- due specie del genere *Pseudopolygnathus*
- tre specie del genere *Protognathodus*.

Specie/Campioni	PS9	PS12	PS14	TOTALE
Peso (g)	1555	1510	1820	4885
<i>Bipathodus aculeatus aculeatus</i>	8		3	11
<i>Bispathodus costatus</i>	46			46
<i>Bispathodus ultimus</i>	16			16
<i>Branmehla inornata</i>	7	1		8
<i>Branmehla suprema</i>	9			9
<i>Palmatolepis gracilis expansa</i>	7			7
<i>Palmatolepis gracilis gracilis</i>	9			9
<i>Mehlina strigosa</i>	4		2	6
<i>Polygnathus communis communis</i>	1	41	23	65
<i>Polygnathus inornatus</i>	39			39
<i>Siphonodella praesulcata</i>	2		2	4
<i>Pseudopolygnathus primus</i>	1	2	41	44
<i>Bispathodus stabilis stabilis</i>		4		4
<i>Bispathodus stabilis vulgaris</i>		5	6	11
<i>Protognathodus collinsoni</i>		12		12
<i>Protognathodus kockeli</i>		15		15
<i>Protognathodus meischneri</i>		17		17
<i>Polygnathus communis renatae</i>			1	1
<i>Polygnathus purus purus</i>			29	29
<i>Pseudopolygnathus multistriatus</i>			4	4
<i>Siphonodella sulcata</i>			2	2
<i>Polygnathus sp.</i>		1	1	2
<i>Polygnathus sp. juv.</i>			9	9
Totale	149	98	123	370

Fig. 6: Tabella con la distribuzione numerica delle specie e sottospecie di conodonti rinvenute nei tre campioni.

Confrontando la comparsa delle possibili specie indice del limite basale del Carbonifero (*Protognathodus kockeli* nel campione PS12 e *Siphonodella sulcata* nel campione PS14, Fig. 6) nei campioni studiati con i risultati ottenuti in lavori precedenti possiamo notare come il posizionamento del limite Devoniano/Carbonifero cambi in base al criterio scelto per la definizione. In Boyer *et al.* (1968) viene identificato come Carbonifero ciò che si trova sopra le argille nere corrispondenti all'evento di Hangenberg e come Devoniano ciò che si trova sotto. Il criterio usato è l'evento di estinzione delle faune devoniane corrispondente alla deposizione delle argille nere. Basandosi sulla comparsa di *Siphonodella sulcata*, Girard (1994) pone il limite alla base dello strato 15. Secondo Feist (2002), *Siphonodella sulcata* compare già nello strato 14, mentre secondo Kaiser *et al.* (2009) è presente nello strato 12.

Kaiser *et al.* (2009) avevano proposto una modifica della biozonatura standard del Devoniano Superiore di Ziegler & Sandberg (1990, vedi Fig. 7) introducendo al posto della Middle *praesulcata* Zone, che era stata definita in base ad un LAD, quello di *Palmatolepis gracilis goniclymeniae*, e non in base ad un FAD, come le altre biozone a conodonti, il *costatus-kockeli* Interregnum che presuppone un gap fra la comparsa di *Bispathodus costatus* e la comparsa di *Protognathodus kockeli*. Certamente tale gap è presente dove le successioni carbonatiche sono interrotte dalla sedimentazione delle argille nere (HBS), come riportato da Becker *et al.* (2016), però non se ne può

calcolare la durata temporale. Dove la sedimentazione carbonatica è continua l'intervallo fra la scomparsa di *Bi. costatus* e la comparsa di *Pr. kockeli* si riduce a pochi centimetri e la definizione di un Interregnum sembra perdere di significato (Schönlaub, Feist & Korn, 1988; Schönlaub *et al.* 1992).

In questo lavoro è stata utilizzata la biozonatura proposta da Spalletta *et al.* (2015).

Il campione PS9, in base alla presenza di *Bispathodus ultimus* è stato perciò attribuito alla biozona a *Bispathodus ultimus* e in particolare alla parte superiore della biozona, data la presenza di *Siphonodella praesulcata* che compare a metà di questa biozona.

I campioni PS12 e PS14 sono stati attribuiti alla biozona a *Protognathodus kockeli*, il marker è presente in PS12.

Alcuni autori suggeriscono di porre il limite basale del Carbonifero in corrispondenza della comparsa di *Protognathodus kockeli* (Fig. 7). La scelta di *Protognathodus kockeli* come criterio di definizione del limite consentirebbe di superare i problemi di identificazione legati alla distinzione fra le due specie *Siphonodella praesulcata* e *Siphonodella sulcata*.

Sulla base dei risultati ottenuti il livello del campione PS9 viene attribuito al Devoniano, quelli di PS12 e PS14 al Carbonifero e il limite basale del Carbonifero, usando come criterio la comparsa di *Protognathodus kockeli*, si potrebbe collocare alla base dello strato 12 (Fig. 8), ma secondo Kaiser *et al.* (2009) la comparsa di *Protognathodus kockeli* avviene già alla base dello strato 10, subito sopra le argille nere, come nelle classiche aree tedesche (vedi Figura 5).

Si può infine osservare che volendo posizionare il limite basale del Carbonifero nella sezione di Col du Puech de la Suque seguendo il criterio corrente, cioè il FAD di *Siphonodella sulcata*, l'assenza di *Siphonodellae* nel campione PS12 non consente di verificare il posizionamento del limite in corrispondenza di questo campione, come proposto in Kaiser *et al.* (2009), mentre la presenza di *Siphonodella sulcata* nel campione PS14 confermerebbe la posizione del limite data da Feist (2002).

Ziegler & Sandberg (1990)	THIS PAPER
<i>sulcata</i>	<i>Pr. kockeli</i>
Upper <i>praesulcata</i>	<i>Bi. ultimus</i>
Middle <i>praesulcata</i>	
Lower <i>praesulcata</i>	
Upper <i>expansa</i>	
Middle <i>expansa</i>	<i>Bi. costatus</i>
	<i>Bi. ac. aculeatus</i>
Lower <i>expansa</i>	<i>Pa. gr. expansa</i>
Upper <i>postera</i>	<i>Pa. gr. manca</i>
Lower <i>postera</i>	<i>Pa. p. postera</i>
Upper <i>trachytera</i>	<i>Ps. granulosis</i>
Lower <i>trachytera</i>	<i>Pa. r. trachytera</i>
Uppermost <i>marginifera</i>	<i>A. beulensis</i>
Upper <i>marginifera</i>	<i>Pa. m. utahensis</i>
Lower <i>marginifera</i>	<i>Pa. m. marginifera</i>
Upper <i>rhomboidea</i>	<i>Pa. gr. gracilis</i>
Lower <i>rhomboidea</i>	<i>Pa. rhomboidea</i>
Uppermost <i>crepida</i>	<i>Pa. gl. pectinata</i>
Upper <i>crepida</i>	<i>Pa. gl. prima</i>
Middle <i>crepida</i>	<i>Pa. termini</i>
Lower <i>crepida</i>	<i>Pa. crepida</i>
Upper <i>triangularis</i>	<i>Pa. m. minuta</i>
Middle <i>triangularis</i>	<i>Pa. del. platys</i>
Lower <i>triangularis</i>	<i>Pa. triangularis</i>
	<i>Pa. subperlobata</i>

Fig.7: Confronto tra biozonatura standard di Ziegler & Sandberg (1990), a sinistra, e biozonatura modificata proposta da Spalletta et al. (2015), a destra (da Spalletta et al., 2015). Le biozone a cavallo del limite Devoniano/Carbonifero sono evidenziate in arancione.

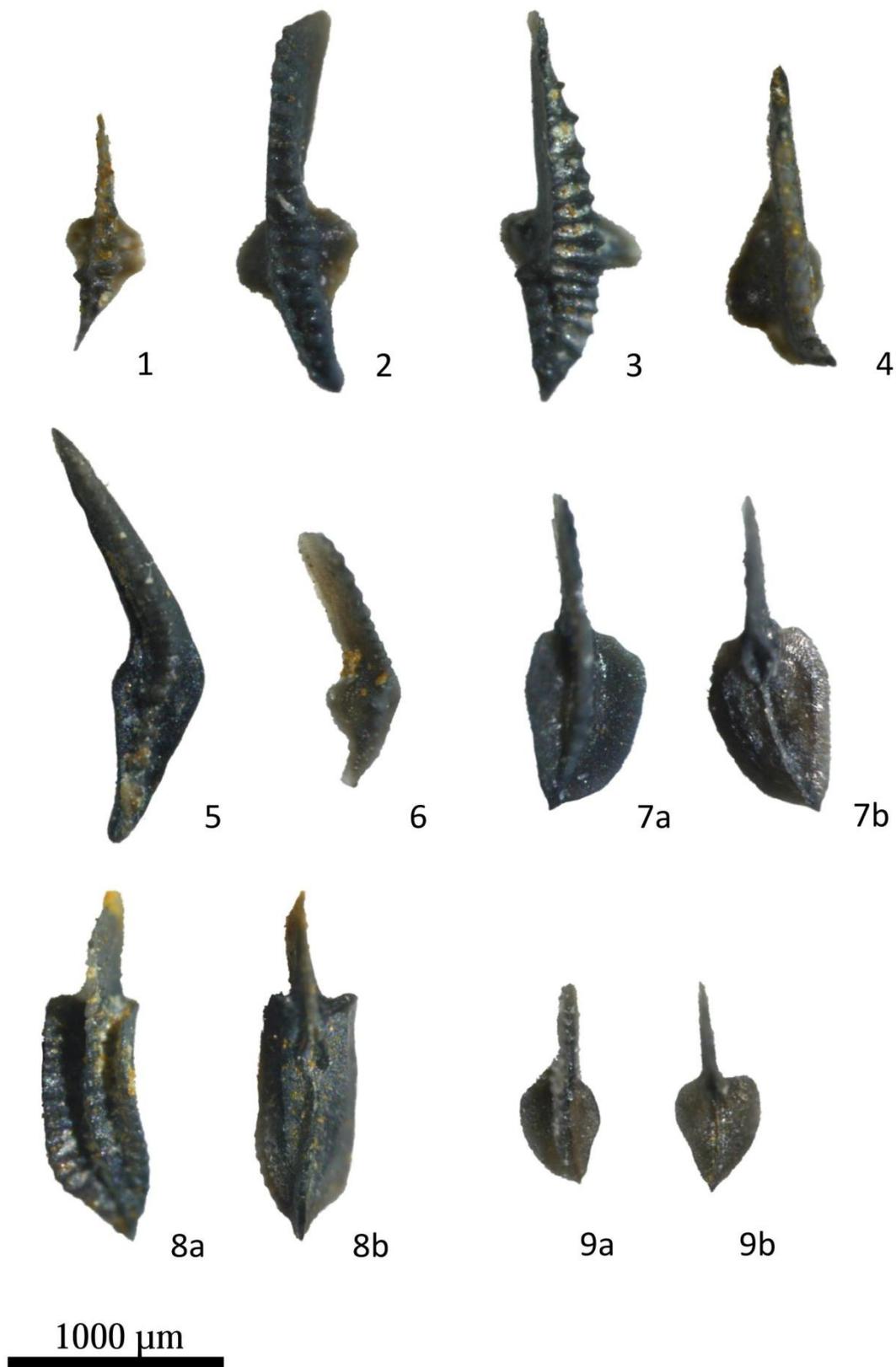


Fig. 9: 1 – *Bi. ac. aculeatus* (campione PS9); 2 - *Bi. costadus* (campione PS9); 3 - *Bi. ultimus* (campione PS9); 4 - *Br. suprema* (campione PS9); 5 - *Pa. gr. expansa* (campione PS9); 6 - *Pa. gr. gracilis* (campione PS9); 7a-b - *Po. c. communis* (campione PS12) a) vista superiore, b) vista inferiore; 8a-b - *Po. inornatus* (campione PS9) a) vista superiore, b) vista inferiore; 9a-b - *Po. p. purus* (campione PS14) a) vista superiore, b) vista inferiore. (Foto effettuate personalmente al microscopio ottico).

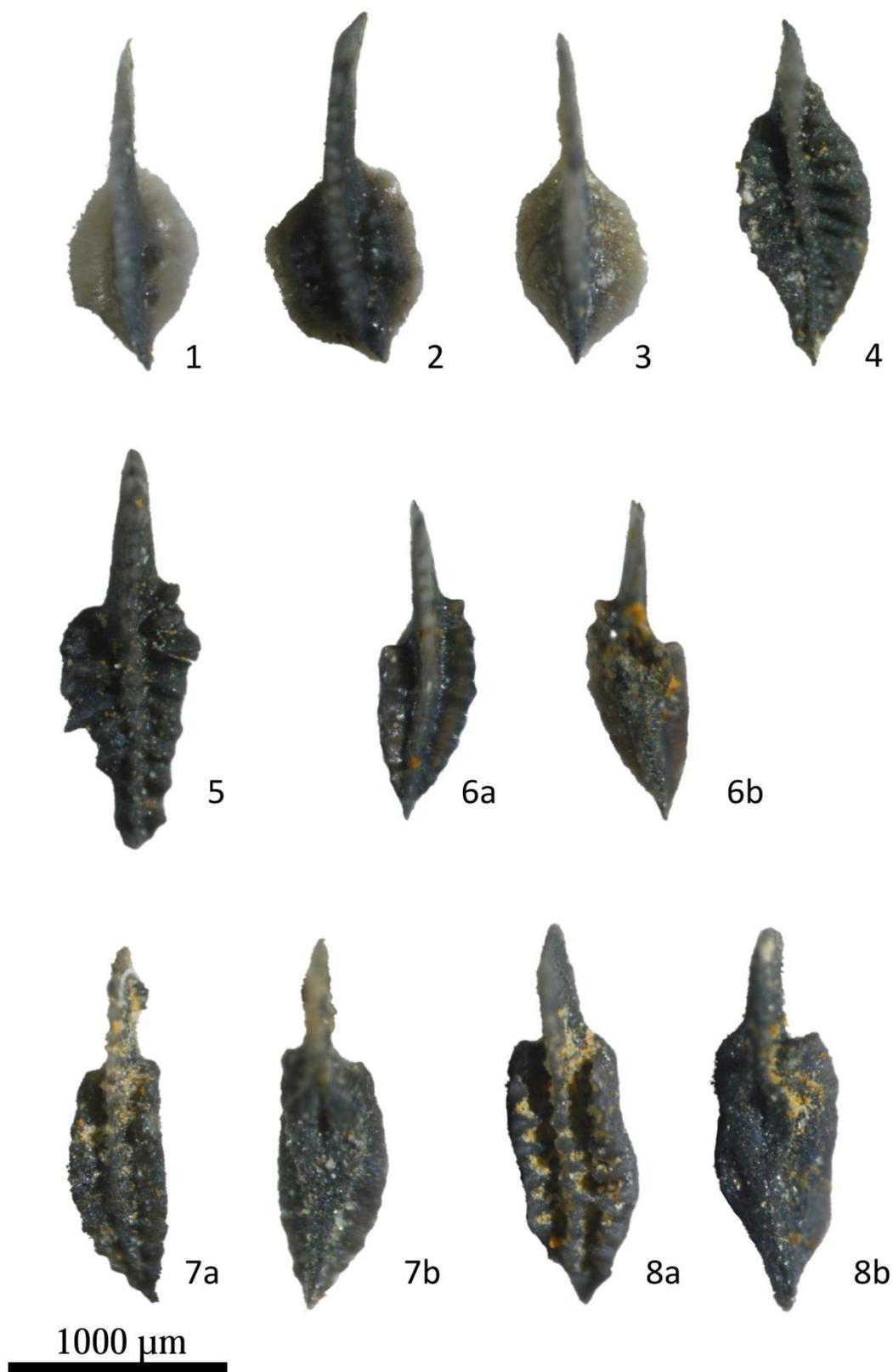


Fig. 10: 1 - *Pr. collinsoni* (campione PS12); 2 - *Pr. kockeli* (campione PS12); 3 - *Pr. meischenri* (campione PS12); 4 - *Ps. multistriatus* (campione PS14); 5 - *Ps. primus* (campione PS14); 6a-7b - *Si. praesulcata* (6a-b, campione PS9) a) vista superiore, b) vista inferiore, (7a-b, campione PS14) a) vista superiore, b) vista inferiore; 8a-b - *Si. sulcata* (campione PS14) a) vista superiore, b) vista inferiore. (Foto effettuate personalmente al microscopio ottico).

6 - CONCLUSIONI

Grazie all'analisi dei campioni provenienti dalla sezione di Col du Puech de la Suque Est è stato possibile fornire evidenze a sostegno del posizionamento del limite Devoniano/Carbonifero in questa sezione anche se non si sono raggiunti risultati definitivi.

Se il limite basale del Carbonifero venisse definito in corrispondenza della comparsa di *Protognathodus kockeli* sarebbe possibile superare i problemi di identificazione di *Siphonodella sulcata*. Nell'intervallo di sezione campionato *Protognathodus kockeli* compare nel campione PS12, circa 30 cm sopra il tetto delle argille nere, è da notare però che secondo Kaiser *et al.* (2009) la comparsa di *Protognathodus kockeli* avviene alla base dello strato 10, subito sopra le argille nere, non è quindi possibile in questo caso definire la base del Carbonifero in base alla presenza di *Protognathodus kockeli*.

Seguendo il criterio corrente, cioè il FAD di *Siphonodella sulcata*, la presenza di *Siphonodella sulcata* nel campione PS14 confermerebbe la posizione del limite data da Feist (2002). Non è possibile confermare la comparsa di *Siphonodella sulcata* dal livello del campione 12, come riportato in Kaiser *et al.* (2009).

Il DCB così posto si troverebbe una trentina di centimetri più in basso di quanto proposto da Girard (1994).

Restano ancora dubbi su quale sezione sia più indicata a livello globale per la collocazione del GSSP e quale sia il criterio di definizione più valido: saranno necessari studi più approfonditi per chiarire la questione.

7 - BIBLIOGRAFIA

Aretz M., 2014 – Redefining the Devonian-Carboniferous Boundary: An Overview of Problems and Possible Solutions. In: Rocha R., Pais J., Kullberg J.C. & Finney, S. (Eds), *Strati 2013*, Springer Geology, 227-231.

Becker R. T., S. I. Kaiser and M. Aretz, 2016 – Review of chrono-, litho- and biostratigraphy across the global Hangenberg Crisis and Devonian-Carboniferous Boundary. In: Becker R. T., Königshof P. & Brett C. E. (Eds), *Devonian Climate, Sea Level and Evolutionary Events*. Geological Society, London, Special Publications, 423, 1-32.

Boyer F., Krylatov S., Le Fevre J. & Stoppel D., 1968 – Le Dévonien supérieur et la limite Dévono-Carbonifère en Montagne Noire (France). *Lithostratigraphie-biostratigraphie (conodontes)*. Bull. Centre Recherche de Pau-SNPA, 2, 1, 5-33.

Corradini C., Kaiser S. I., Perri M.C. & Spalletta, C., 2011 – *Protognathodus* (Conodonta) and its potential as a tool for defining the Devonian/Carboniferous boundary, *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 117, 1, 15-28.

Feist R., in collaboration with Girard C., Kaufmann B., Klapper G., Korn D., Lerosey-Aubril R., Perret M.-F., Schraut G., Spalletta C., Vizcaïno D. & Wiederer U., 2002 – The Palaeozoic of the Montagne Noire, Southern France. Guidebook of the Field Excursion, IUGS, IGCP 421 North Gondwana mid-Paleozoic Biodynamics and ECOS VIII 8th European Conodont Symposium, University of Montpellier II, 84 pp., Montpellier.

Girard. C., 1994 – Conodont Biofacies and Event stratigraphy across the D/C Boundary in the stratotype area (Montagne Noire, France). *Courier Forschungsinstitute Senckenberg* 168, 299-309.

Girard C., J.J. Corneet, C. Corradini, A. Fravallo & R. Feist, 2014 – Palaeoenvironmental changes at Col des Tribes (Montagne Noire, France), a reference section for the Famennian of north Gondwana-related areas. *Geological Magazine*, 151, 5, 864-884.

Kaiser, S. I., 2005 – Mass extinctions, Climatic and Oceanographic Changes at the Devonian-Carboniferous Boundary. Ph.D. Dissertation, Ruhr-University Bochum, Germany, 156 pp.

Kaiser S.I., Becker R.T., Spalletta C. & Steuber T., 2009 - High-resolution conodont stratigraphy, biofacies, and extinctions around the Hangenberg Event in pelagic successions from Austria, Italy, and France. In: Over D.J. (ed.), *Studies in Devonian Stratigraphy: Proceedings of the 2007 International Meeting of the Subcommittee on Devonian Stratigraphy and IGCP 499*, *Palaeontographica Americana*, 63, 99-143.

Paproth E., Feist R., & Flajs G., 1991 - Decision on the Devonian–Carboniferous boundary stratotype. *Episodes*, 14, 4, 331-336.

Schönlaub H.P., Feist R. & Korn D., 1988 - The Devonian-Carboniferous Boundary at the section "Grüne Schneid" (Carnic Alps, Austria): A preliminary report. - *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg*, 100, 149-167, Frankfurt.

Schönlaub H. P., Attrep M, Boeckeleman K., Dreesen 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. *Jb. Geol. B.-A.*, 135, 57-98.

Spalletta C., Corradini C., Kaiser S., Matyja H., Over D.J., & Perri M.C., 2011 – Methods in taxonomy and biostratigraphy, and some note on chronostratigraphy: the Devonian–Carboniferous Boundary. *SDS Newsletter* 26, 30-33.

Spalletta C., Perri M. C., Corradini C. & Over D. J., 2015 - Proposed revision of the Famennian (Upper Devonian) standard conodont zonation. In: B. Mottequin, J. Denayer, P. Königshof, C. Prestianni & S. Olive (eds) *IGCP 596 – SDS Symposium (September 20-22, 2015, Brussels) Climate change and Biodiversity patterns in the Mid-Palaeozoic*, Abstract Volume, *Strata* 16, 135-136.

Sweet W.C., 1988 – *The Conodonta. Morphology, taxonomy, paleoecology, and evolution history of a long-extinct animal phylum.* *Oxford Monographs on geology and geophysics*, 10, 212 pp., Clarendon Press, Oxford.

Ziegler W. (ed.), 1973 – *Catalogue of Conodonts*, 1, 504 pp., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Ziegler W. (ed.), 1975 – *Catalogue of Conodonts*, 2, 574 pp., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Ziegler W. (ed.), 1977 – *Catalogue of Conodonts*, 3, 440 pp., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Ziegler W. (ed.), 1981 – *Catalogue of Conodonts*, 4, 445 pp., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Ziegler W. & Sandberg C.A., 1990 – *The Late Devonian Standard Conodont Zonation.* *Courier Forschungsinstitute Senckenberg*, 121, 1–115.