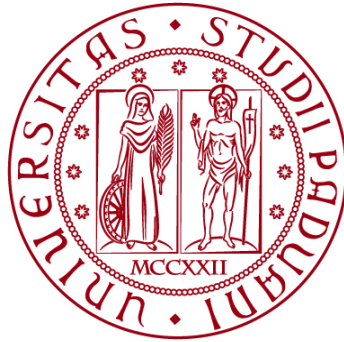


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA**

**Corso di Laurea in Scienze Naturali**



**ELABORATO DI LAUREA**

## **LA VITA AI MARGINI DI UN SUPERVULCANO**

### **Studio sulle bioturbazioni del Permiano inferiore di Sesto**

**Tutor:** Prof.ssa Eliana Fornaciari  
Dipartimento di Geoscienze

**Co-tutor:** Dott.ssa Evelyn Kustatscher  
Museo di Scienze Naturali dell'Alto Adige di Bolzano

Dott. Andrea Baucon  
DISTAV, Università di Genova

**Laureanda:** Bianca Müller

**ANNO ACCADEMICO 2023/2024**



## **INDICE**

<b>1. Introduzione</b>	<b>p.3</b>
<b>2. Gli Ichnofossili</b>	<b>p.4</b>
<b>3. Inquadramento geografico e geologico</b>	
3.1 Inquadramento geografico	<b>p.8</b>
3.2 Inquadramento geologico	<b>p.9</b>
3.3 Conglomerato di Sesto	<b>p.10</b>
<b>4. Materiali e metodi</b>	
4.1 Cartografia	<b>p.12</b>
4.2 Studio delle bioturbazioni	<b>p.14</b>
<b>5. Risultati</b>	
5.1 Rilevamento	<b>p.18</b>
5.2 Analisi delle bioturbazioni ritrovate	<b>p.36</b>
5.2.1 Bioturbazioni prevalentemente di grandi dimensioni	<b>p.36</b>
5.2.2 Bioturbazioni di piccole dimensioni	<b>p.38</b>
5.2.3 Bioturbazioni miste (di piccole e grandi dimensioni)	<b>p.39</b>
<b>6. Discussione</b>	
6.1 Distribuzione stratigrafica della bioturbazione	<b>p.40</b>
6.2 Distribuzione geografica della bioturbazione	<b>p.45</b>
6.3 Tracce fossili del Conglomerato di Sesto	<b>p.46</b>
6.4 I produttori delle bioturbazioni	<b>p.50</b>
<b>7. Ricostruzione paleoambientale</b>	<b>p.54</b>
<b>8. Conclusioni</b>	<b>p.60</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>p.62</b>

## **CAPITOLO 1**

### **INTRODUZIONE**

Le eruzioni vulcaniche hanno un impatto devastante sull'ambiente circostante, a causa della formazione di colate laviche e nubi ardenti, oltre che alla produzione di enormi quantità di materiale come bombe vulcaniche e ceneri. Questi eventi influenzano significativamente la composizione e la distribuzione della flora e della fauna locali, poiché, dopo l'evento di disturbo, si sviluppano nuovi ecosistemi.

Durante il Permiano inferiore nel Sudalpino si instaurò il Supervulcano di Bolzano. Le sue tracce si trovano oggi in un'area con un'ampia estensione, da Merano a nord fino a Trento a sud, dalla Val di Non ad ovest all'area di Sesto ad est. Durante l'attività del supervulcano si sono depositate una serie di successioni vulcaniche intercalate a successioni sedimentarie, raggruppate nel Gruppo Vulcanico Atesino. Spesso, nei sedimenti intercalati alle successioni vulcaniche, si trovano impronte di vertebrati (p. es. Marchetti et al., 2022 e riferimenti bibliografici), piante fossili (p. es. Forte et al., 2023 e riferimenti bibliografici) e pollini fossili (p. es. Vallè et al., 2024 e riferimenti bibliografici). Meno note sono invece le bioturbazioni del Permiano inferiore nell'area del Supervulcano di Bolzano (p. es. Baucon et al., 2024, sottomesso), oggetto del progetto di ricerca del Museo di Scienze Naturali dell'Alto Adige „Sotto il fuoco – La conquista del sottosuolo in un supervulcano 280 milioni di anni fa” cui questo elaborato mira a portare alcuni contributi.

Le bioturbazioni sono tracce rilasciate da organismi viventi. L'integrazione dell'analisi morfologica delle bioturbazioni con la loro posizione stratigrafica e il loro contesto sedimentario permette di ricostruire l'ambiente di vita degli organismi. L'obiettivo di questa tesi è lo studio delle bioturbazioni del Conglomerato di Sesto (Permiano inferiore). La ricerca è stata effettuata nella Valle di Sesto in provincia di Bolzano, Trentino-Alto Adige, in prossimità del confine con la regione Veneto, dato che Sesto è il lembo più orientale dell'estensione del supervulcano. Le condizioni che caratterizzavano l'area di Sesto non sono ancora completamente chiare perché qui non sono presenti depositi vulcanici, ma compare il Conglomerato di Sesto, e si ignora quali piante ed animali si fossero insediati in quest'area durante il Permiano.

Le bioturbazioni sono state studiate sia dal punto di vista della variabilità morfologica sia della distribuzione geografica e stratigrafica. Questo studio dettagliato ha portato a nuove scoperte sullo sviluppo della vita in un'area così stressata ed influenzata dall'attività di un supervulcano.

## CAPITOLO 2 GLI ICHNOFOSSILI

L'icnologia è il ramo della paleontologia che si occupa dello studio delle tracce lasciate da organismi animali e vegetali sopra o all'interno di un substrato. Includono, quindi, bioturbazioni (tracce in substrati soffici) e bioerosioni (tracce in substrati duri). Le bioturbazioni forniscono importanti informazioni sul comportamento degli organismi riflettendo l'ambiente nel quale hanno vissuto e, in alcuni casi, possono dare indicazioni sul loro produttore. La fossilizzazione delle tracce ha permesso la loro preservazione nel tempo, rendendo possibile il loro studio anche dopo milioni di anni. Va sottolineato che, a differenza di resti fossili di altri organismi, le bioturbazioni difficilmente subiscono trasporto o erosione preservandosi quindi in loco, fornendo dati sulla paleogeografia e sul paleoambiente locale. Per interpretazioni paleoambientali è necessario studiare sia le bioturbazioni che il loro sedimento ospitante.

Fondamentale per lo studio delle bioturbazioni è il concetto che diversi organismi possono formare la stessa traccia, ma anche che lo stesso organismo può causare tracce diverse in base al suo comportamento e alla tipologia di movimento. Per questo le bioturbazioni vengono generalmente identificate seguendo la classificazione stabilita da Adolf Seilacher nel 1953 (Buatois e Mángano, 2011).

Seilacher (1953a) definì numerose categorie etologiche di tracce fossili:

1. Cubichnia sono tracce di riposo di un organismo: si tratta tipicamente di tracce con depressioni poco profonde che riflettono un comportamento stazionario;
2. Repichnia riproducono la locomozione ovvero il movimento di un organismo da un punto ad un altro. Queste tipologie di tracce riflettono l'anatomia corporea e la tipologia di locomozione assunta da un determinato organismo;
3. Pascichnia sono tracce di pascolo, ovvero di locomozione e nutrimento;
4. Agrichnia sono tracce di coltivazione che uniscono l'attività di abitazione e di nutrimento di un organismo;
5. Fodinichnia sono tracce di nutrizione e riflettono la tipologia di nutrizione assunta da un organismo;
6. Preadichnia sono tracce di predazione;
7. Domichnia sono tracce di abitazione e sono rappresentate soprattutto da tane o gallerie;
8. Equilibrichnia sono tracce di equilibrio che mostrano il movimento attuato da un organismo per sistemarsi all'interno del suo ambiente;

Gli ichnofossili possono essere quindi di varia natura e di forme differenti. Vengono riconosciuti in base alle loro caratteristiche come l'aspetto, le dimensioni, l'orientamento, il riempimento del sedimento o la struttura delle pareti. L'orientamento delle bioturbazioni nel sedimento può essere sia orizzontale che verticale, ma anche obliquo o più o meno inclinato. Le dimensioni possono variare molto e riflettono la dimensione degli organismi che le hanno prodotte. La struttura della parete di una bioturbazione, definita dalla morfologia esterna del sedimento e dall'involucro interno della bioturbazione, dipende dalla tipologia del sedimento e dal tipo di spostamento dell'organismo. Le pareti possono essere, ad esempio, lineari e semplici oppure possono presentare ornamentazioni particolari. Il riempimento delle tracce può essere passivo quando il sedimento entra all'interno della traccia per gravità e presenta caratteristiche molto simili al sedimento ospitante. Contrariamente il riempimento attivo viene collocato dall'organismo bioturbatore. Le bioturbazioni inoltre possono essere ramificate o non ramificate. Spesso può sembrare che due tracce si ramifichino; in realtà si tratta di una sovrapposizione di due tracce distinte e in questo caso si parla di "*false branching*".

Gli organismi si muovono su un substrato o al suo interno, attuando quattro funzioni principali, ossia la respirazione, la nutrizione, la riproduzione e la protezione. Vengono riconosciute cinque categorie principali di nutrizione (p. es. Buatois e Mángano, 2011):

- I filtratori si nutrono filtrando le particelle organiche presenti in sospensione nell'acqua ed è una condizione comune nelle forme sessili.
- I detritivori catturano sulla superficie detriti organici in decomposizione. Possono essere organismi vagili che si muovono in modo attivo, oppure organismi sessili che esplorano l'ambiente in prossimità del loro luogo di ancoraggio.
- I depositivori si nutrono di sedimenti o materia organica depositatasi sul substrato. Comprendono gli organismi vermiformi ed altri animali infaunali che rielaborano il sedimento.
- Gli organismi erbivori rosicchiano o mangiano piante o alghe.
- I predatori catturano le prede in modo attivo come i vertebrati oppure in modo inattivo aspettando la loro preda in una posizione fissa come i coralli o gli anemoni di mare.

La posizione delle tracce fossili in relazione al sedimento determina la posizione di vita di quest'ultimi. Si possono distinguere gli organismi pelagici (vivono nella colonna d'acqua), epifaunali e semi-infaunali (vivono sul o entro il fondo marino), epibentonici ed endobentonici (vivono su o all'interno di altri organismi). Inoltre, va aggiunto che gli organismi interagiscono in diversi modi con il substrato, ad esempio, per intrusione o escavazione. La locomozione degli organismi sul o all'interno del substrato è molto varia, assolvendo la necessità di ricerca di cibo,

di fuga dai predatori o di accoppiamento. Essa può essere determinata in base alla forma delle bioturbazioni. Il movimento ondulatorio si basa sull'allungamento del corpo degli organismi come serpenti, pesci o cefalocordati. Gli anellidi o organismi vermiformi effettuano movimento peristaltico che è reso possibile a causa della loro cavità idrostatica interna. Altri movimenti sono rappresentati da strisciamento, perforazione o salto (p. es. Buatois e Mángano, 2011).

Una volta identificate le bioturbazioni si può passare all'analisi paleoambientale studiando le singole tracce fossili come anche l'insieme delle tracce ritrovate in una data area considerando, ad esempio, l'intensità di bioturbazione e la diversità dell'associazione. In questo modo è possibile risalire alle caratteristiche dell'ambiente che persisteva in un determinato periodo in una data area. L'ichnofacies tratta dell'osservazione delle tracce distinte che, nel loro insieme, riflettono la risposta comportamentale alle condizioni ambientali (p. es. Seilacher, 1953a; Buatois e Mángano, 2011). Ad esempio, l'ichnofacies *Skolithos* è caratterizzata dalla dominanza di tracce verticali e cilindriche causate da organismi filtratori o predatori passivi. L'ichnofacies *Cruziana*, per esempio, è definita da tracce soprattutto orizzontali provocate da organismi detritivori e depositivori (p. es. Buatois e Mángano, 2011).

Fondamentale in questo studio sulle bioturbazioni e sulla ricostruzione del paleoambiente è anche l'analisi della granulometria, della consistenza e della stratificazione del sedimento perché esse influiscono notevolmente sull'interpretazione delle bioturbazioni e contribuiscono all'interpretazione paleoambientale. Inoltre, le bioturbazioni sono anche controllate da fattori abiotici e tendono a conservarsi preferibilmente sotto determinate condizioni ambientali. La consistenza del substrato influenza la locomozione degli organismi. Substrati molli, caratterizzati da sedimento non consolidato o poco consolidato, possono essere facilmente attraversati da organismi. Substrati duri e compatti, definiti da sedimenti più cementati, rendono difficile la locomozione e quindi comportano una diminuzione dell'intensità e della profondità di bioturbazione (p. es. Buatois e Mángano, 2011).

Anche l'energia idrodinamica durante la fase di deposizione del sedimento influisce sulla presenza e sul comportamento dell'organismo bioturbatore e anche sulla capacità di preservazione delle tracce fossili. Ambienti caratterizzati da basse energie sono contrassegnati dalla presenza di tracce orizzontali di organismi detritivori o predatori attivi. Al contrario, ambienti ad alta energia sono caratterizzati dalla dominanza di tracce verticali originate da organismi infaunali filtratori o predatori passivi. Organismi filtratori tendono ad essere dominanti in ambienti ad alta energia dove è presente una quantità elevata di particelle organiche mantenute in sospensione dalle correnti. In ambienti a bassa energia idrodinamica le particelle organiche vengono accumulate sul fondale portando ad una maggiore colonizzazione di organismi detritivori (p. es. Buatois e Mángano, 2011).

Un'altra caratteristica ambientale importante è l'ossigenazione, dato che ambienti più ossigenati presentano una maggiore intensità di bioturbazione, mentre ambienti poco ossigenati sono caratterizzati solitamente da una fauna poco diversificata di organismi a corpo molle. In maniera simile anche la salinità dell'ambiente è un fattore limitante, dove condizioni stressanti comportano una diminuzione della diversità ed intensità delle tracce fossili. Un ulteriore fattore importante è il tasso di sedimentazione. Una sedimentazione costante e lenta permette agli organismi di avere maggiore tempo per interagire con il substrato come dimostrato dall'aumento dell'intensità di bioturbazione (p. es. Buatois e Mángano, 2011).



## CAPITOLO 3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO

### 3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Sesto è un paese di 1.860 abitanti localizzato nella regione Trentino-Alto Adige (Fig. 3.1.1) nel Nord-Italia, più specificamente in Alta Val Pusteria che si estende fino al confine con l’Austria (Fig. 3.1.2). È racchiuso all’interno del Parco Naturale Tre Cime che dal 2009 fa parte del Dolomiti Patrimonio Mondiale UNESCO. Lo studio qui condotto è basato su vari affioramenti identificati lungo la Valle di Sesto partendo dall’inizio della valle, che si trova alla fine del paese di San Candido, fino al Passo Monte Croce di Comelico al confine con la regione Veneto.

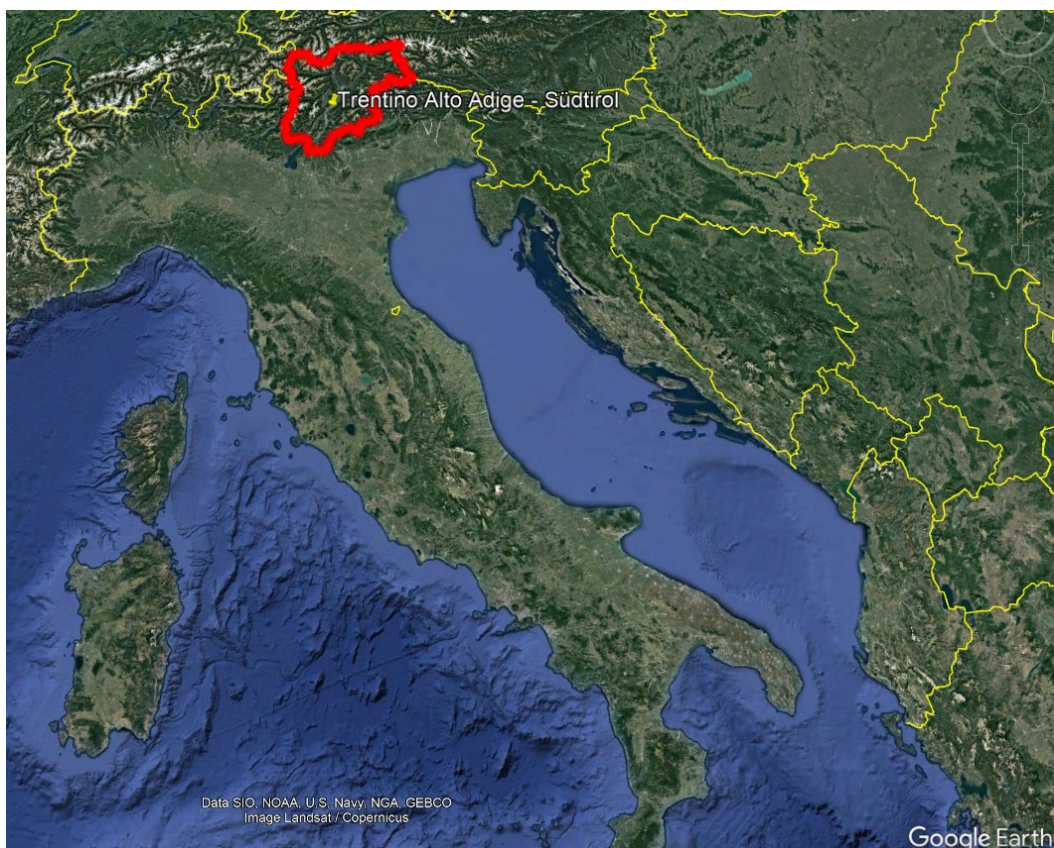


Fig. 3.1.1: Immagine satellitare raffigurante la regione Trentino-Alto Adige (modificato da Google Earth).



Fig. 3.1.2: Immagine satellitare raffigurante la regione Trentino-Alto Adige e la località di Sesto (modificato da Google Earth).

### 3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le unità geologiche che caratterizzano il territorio preso in esame rientrano nel Dominio Austroalpino e Sudalpino. La Linea della Pusteria o Linea Insubrica separa infatti a sud l'unità tettonica del Sudalpino (incluse le Dolomiti), caratterizzata dalla mancanza del metamorfismo alpino, e a nord l'unità tettonica dell'Austroalpino influenzata sia dal metamorfismo alpino che da quello varisico (Gianolla et al., 2018). L'area delle Dolomiti di Sesto è particolarmente conosciuta per i vasti affioramenti di rocce dolomitiche depositatesi durante il Triassico, nello specifico la Dolomia Cassiana e la Dolomia Principale. Tuttavia, nelle aree più incise dai fiumi, dove i sedimenti più recenti sono stati erosi, si osservano successioni più antiche. Infatti, ai lati della Valle di Sesto si possono riscontrare il basamento cristallino oltre che affioramenti di Conglomerato di Sesto e dell'Arenaria di Val Gardena. Nello specifico il focus di questa tesi è il Conglomerato di Sesto, depositatosi nel Permiano inferiore.

Durante il Permiano inferiore, circa 286 milioni di anni fa, si instaurò un sistema vulcanico nell'area del Trentino-Alto Adige, le cui tracce si possono seguire ancora oggi su un'area di circa 70 km x 130 km. Per circa 12 milioni di anni si susseguirono periodi di attività vulcanica più o meno intensi che hanno portato alla deposizione di strati di lava ed ignimbriti, intercalati a fasi di stasi, durante le quali si depositarono successioni sedimentarie. L'insieme di rocce depositate durante la fase di attività vulcanica ha una potenza che può raggiungere 2.000 metri di spessore e viene racchiusa attualmente all'interno del Gruppo Vulcanico Atesino.

Il Gruppo Vulcanico Atesino è la successione vulcanica del Permiano più spessa e meglio esposta in Europa (p. es. Marocchi et al., 2008; Morelli et al., 2012;

Marchetti et al., 2022). Esso si è depositato al tetto del basamento metamorfico varisco ed è caratterizzato principalmente da strati di rocce vulcaniche e subvulcaniche spessi, ricchi in silice che hanno dato origine a rioliti o riocaciti. Questa roccia vulcanica, nota con il termine di porfido quarzifero di Bolzano, viene estratta e utilizzata come pietra ornamentale da costruzioni.

Il Conglomerato di Sesto, come definito dalla Carta geologica di Dobbiaco (F016; Gianolla et al., 2018) comprende tutte le facies conglomeratiche affioranti tra il Basamento Metamorfico e l'Arenaria di Val Gardena. Tale scelta viene motivata dall'impossibilità di separare all'interno della sequenza conglomeratica le porzioni pre-vulcanite permiane da quelle sin-vulcaniche. Infatti, Gianolla et al. (2018) sottolineano che non è possibile differenziarle per differenti varietà, distinguibili in base al colore della matrice e composizione dei clasti (presenza di vulcaniti e carbonati). Quest'unità viene generalmente considerata coeva al Gruppo Vulcanico Atesino. Al Conglomerato di Sesto segue, in discordanza, l'Arenaria di Val Gardena nel Permiano superiore. Quest'ultima è una successione di arenarie rosse con granulometrie da grossolane a fini, depositatesi in un ambiente continentale o di piana alluvionale. L'Arenaria di Val Gardena ha spessori di 200-250 m e con essa incomincia l'intera successione dolomitica classica (p. es. Gianolla et al., 2018 e rif. bibliografici).

### **3.3 CONGLOMERATO DI SESTO**

Il Conglomerato di Sesto affiora principalmente nella Valle di Sesto dal paese di San Candido (Fig. 3.3.1), lungo il versante sud occidentale della Pausa Alta, fino al Passo Monte Croce di Comelico. Presenta spessori variabili da 400 metri nella zona di San Candido fino a scomparire del tutto oltre la Valle del Brusà (Gianolla et al., 2018). Il Conglomerato di Sesto giace in discordanza sul basamento metamorfico del Sudalpino ed è generalmente considerato un'unità priva di fossili. È a sua volta coperto dall'Arenaria di Val Gardena.

È rappresentato prevalentemente da conglomerati di colore rosso o grigio con tessitura clasto-supportata o matrice-supportata. I clasti, prevalentemente di composizione metamorfica, presentano dimensioni dal cm al dm e sono rappresentati per la maggior parte da filladi, quarzi e micascisti. In quantità minori sono stati inglobati anche clasti di origine vulcanica. La matrice del Conglomerato di Sesto è un'arenaria di colore da rosso a marrone scuro con una granulometria grossolana. La sua composizione si basa prevalentemente su quarzi e miche chiare. Questa unità è caratterizzata da spessi strati massicci di conglomerati alternati a strati arenacei di minore granulometria dove sono state ritrovate le bioturbazioni (Gianolla et al., 2018).

Il Conglomerato di Sesto è generalmente descritto come depositatosi in un ambiente di conoidi alluvionali (*alluvial fan*) durante un clima caldo ed arido (Gianolla et al., 2018). Ulteriori descrizioni dell'ambiente sedimentario e del paleoambiente che persisteva durante questo periodo sono state oggetto di

questa tesi e sono state quindi riportate nel capitolo 7. Il conglomerato affiora al margine più nordorientale del Gruppo Vulcanico Atesino. A causa della mancanza di intercalazioni con rocce vulcaniche non è stato ancora possibile determinare se possa essere considerato come un equivalente laterale del Gruppo Vulcanico Atesino. Inoltre, il fatto che all'interno del Gruppo Vulcanico Atesino si distinguono una serie di maggiori intercalazioni clastiche sedimentarie distribuite a varie altezze stratigrafiche e distinguibili sulla base delle formazioni vulcaniche che le delimitano e dei loro contenuti fossiliferi (p. es. Gianolla et al., 2018; Forte et al., 2023), rende difficile capire se il Conglomerato di Sesto rappresenti tutte o solo parte di tali intercalazioni (p. es. Gianolla et al., 2018).

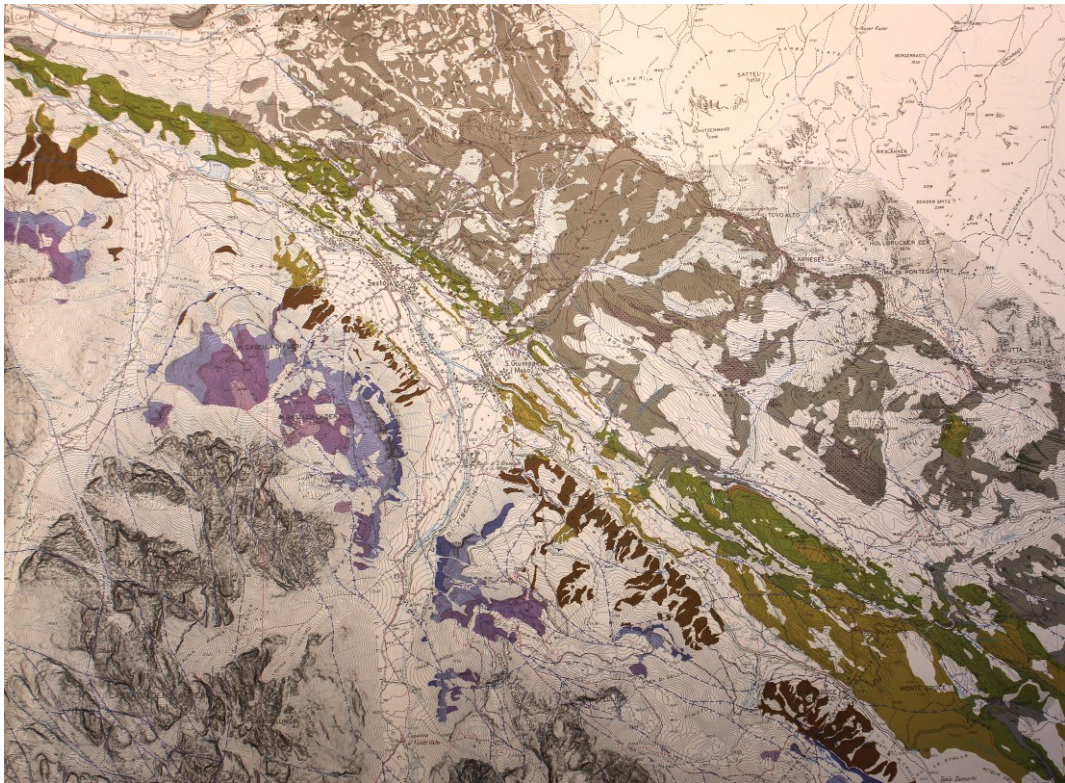


Fig. 3.3.1: Carta geologica in scala 1:25.000 dell'area di studio, raffigurante la Valle di Sesto e le unità geologiche presenti (grigio = basamento e filladi; verde = Conglomerato di Sesto; arancione = vulcaniti; marrone chiaro = Arenarie di Val Gardena; marrone scuro = Formazione a Bellerophon; blu e viola = Formazione di Werfen). Da rilievi geologici editi ed inediti del progetto CARG della Provincia Autonoma di Bolzano.

## CAPITOLO 4

### MATERIALI E METODI

#### 4.1 CARTOGRAFIA

Il lavoro sul campo si è svolto lungo la Valle di Sesto. La cartografia utilizzata per orientarsi e per localizzare gli affioramenti è stata fornita dal Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Bolzano. Inoltre, è stata utilizzata l'applicazione *Avenza Maps* scaricata sul cellulare che consente di visualizzare una carta geologica e di determinare la propria posizione tramite un sistema GPS. Questa applicazione ha permesso di fissare i segnaposto nei luoghi degli affioramenti del Conglomerato di Sesto e ottenere le indicazioni esatte delle coordinate dei luoghi di ritrovamento.

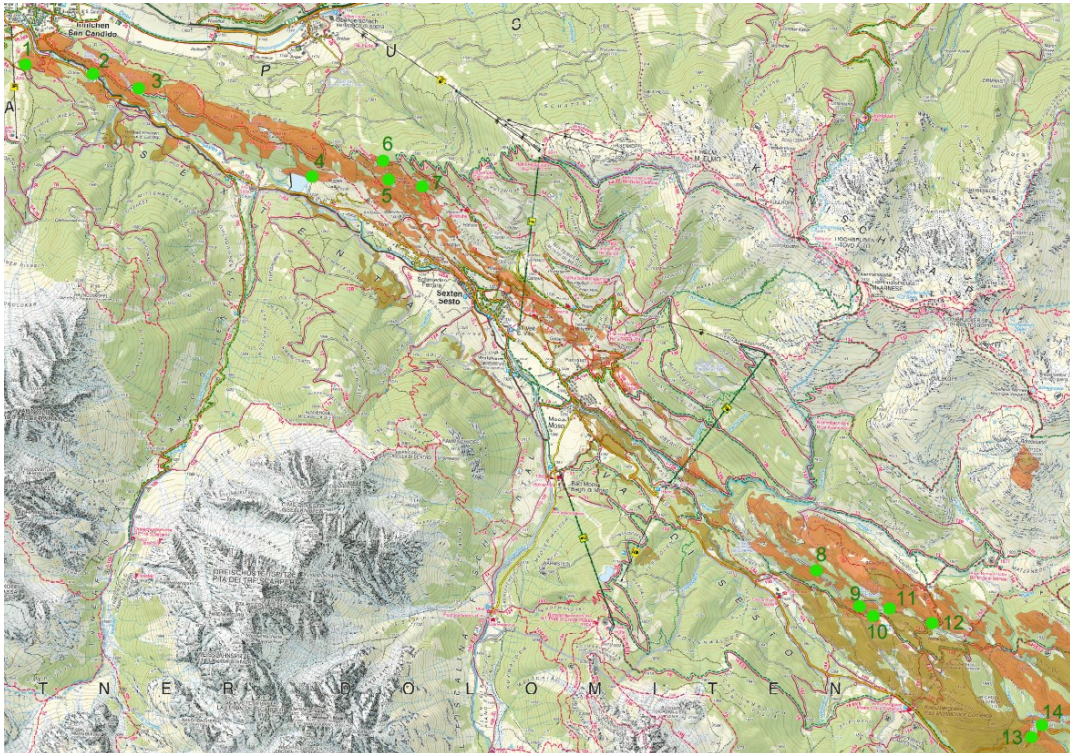


Fig. 4.1.1: Carta geografica con sovrapposte le unità geologiche permiane nella Valle di Sesto (arancione = Conglomerato di Sesto; marrone = Arenarie di Val Gardena), estratte dalla Carta geologica in scala 1:25.000 dell'area di studio. I siti in verde con i numeri 1-14 indicano gli affioramenti analizzati durante il lavoro sul campo. Da rilievi geologici editi ed inediti del progetto CARG della Provincia Autonoma di Bolzano.

In una prima fase, il lavoro ha previsto vari sopralluoghi esplorativi della Valle di Sesto partendo da San Candido fino al Passo Monte Croce, con lo scopo di individuare gli affioramenti del Conglomerato di Sesto, seguendo la carta geologica fornita dal Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Bolzano. Durante questi sopralluoghi ogni area con affioramenti del Conglomerato di

Sesto è stata documentata con fotografie. Inoltre, sono state annotate sia le principali caratteristiche sedimentologiche (tipi di conglomerati e/o arenarie osservati) sia la presenza o meno di bioturbazioni. In tutto sono state identificate 14 aree dove il Conglomerato di Sesto affiora nella Valle di Sesto con caratteristiche diverse (Fig. 4.1.1).

La seconda fase del lavoro è consistita nella scelta dei 4 affioramenti considerati tra i più significativi, caratterizzati da notevoli differenze sedimentologiche e differenze di distribuzione e tipologia di bioturbazioni. Questi affioramenti sono stati studiati in dettaglio:

- l'affioramento 1 e 3 nel paese di San Candido
- l'affioramento 6 e 7 nel paese di Sesto

Gli affioramenti sono stati esaminati seguendo la seguente procedura. Dapprima è stata condotta la pulizia della parete di roccia affiorante con un martello da geologo e una spazzola in maniera da poter studiare meglio la successione rocciosa ed osservare anche eventuali variazioni laterali. In seguito, si è proceduto allo studio in dettaglio della successione stratigrafica. Considerando il tipo di sedimento delle successioni investigate è stata posta particolare attenzione alla granulometria, alla giacitura e alla composizione dei sedimenti. La fase finale dello studio sul campo ha previsto la stesura, partendo dal basso verso l'alto, di un log stratigrafico in cui sono state riportate tra l'altro le seguenti informazioni:

- granulometria;
- composizione del sedimento;
- presenza di clasti;
- presenza di fossili e bioturbazioni;

I clasti presenti nella parete di roccia affiorante sono stati misurati e ne è stato studiato il loro arrotondamento e la sfericità. Il grado di arrotondamento dei clasti in base alla loro sfericità (Powers, 1953; Fig. 4.1.2) è fondamentale per l'interpretazione della tipologia del trasporto e dell'ambiente sedimentario. I clasti con un elevato grado di arrotondamento indicano un significativo trasporto, mentre angoli vivi indicano un trasporto breve. Il grado di arrotondamento dipende oltre che dal processo di trasporto anche dalla natura e della composizione del clasto stesso.

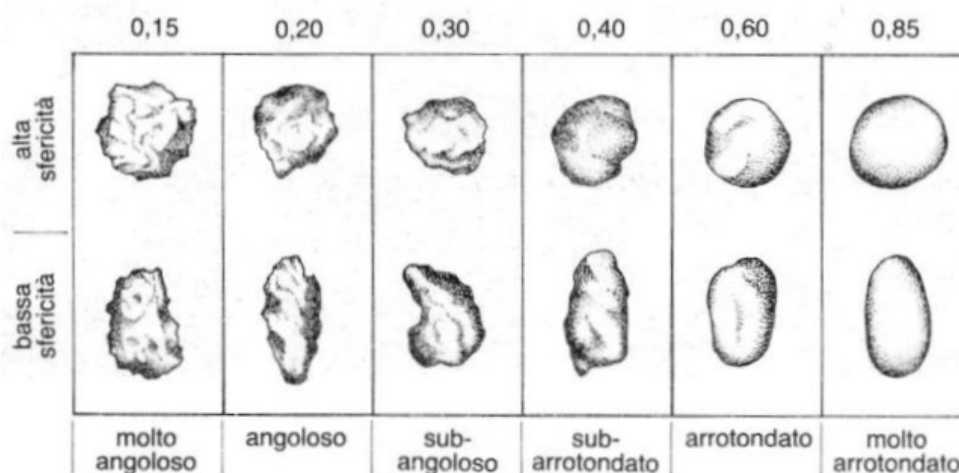


Fig. 4.1.2: Carta di comparazione visiva per la stima dell'arrotondamento dei granuli di sabbia. Per ogni categoria, è mostrato un granulo di bassa e alta sfericità. (Powers, 1953, ridisegnato).

I clasti sono stati trattati con l'acido cloridrico, tra il 5% e il 15%, per determinare la loro composizione, perché questo acido è in grado di corrodere una roccia di natura carbonatica. Un'altra osservazione fondamentale svolta è stata l'orientamento e la disposizione spaziale degli elementi presenti. Frequentemente i clasti sono isorientati, ovvero sono tutti allineati con l'asse maggiore nella stessa direzione, riflettendo la direzione della corrente o dell'agente trasportatore.

Sul quaderno di campagna sono state annotate le caratteristiche fondamentali appena descritte in modo da poter disegnare in un secondo momento il log stratigrafico. Sono state scattate anche numerose foto dell'affioramento con una fotocamera reflex Canon Eos 2000D. Sono stati prelevati campioni e bioturbazioni dai livelli con caratteristiche particolari per proseguire con uno studio dettagliato in laboratorio. I campioni sono stati prelevati con un martello da geologo, indossando guanti da lavoro e occhiali protettivi. I campioni sono stati avvolti nella carta ed etichettati con il luogo e il giorno della raccolta per essere trasportati al Museo di Scienze Naturali dell'Alto Adige di Bolzano.

Oltre all'analisi degli affioramenti sul campo, sono stati anche analizzati due campioni (PZO 16203 e PZO 16204), appartenenti al Conglomerato di Sesto, conservati al Museo di Scienze Naturali dell'Alto Adige a Bolzano e provenienti dalla zona in prossimità della Cappella del Bosco a Sesto. Questi campioni risultano raccolti da Dr. Christian Aspmaier nel 1998 che descrisse nella sua tesi la geologia della Valle di Sesto (Aspmaier, 1994).

## 4.2 STUDIO DELLE BIOTURBAZIONI

L'attività di laboratorio è stata svolta presso il Museo di Scienze Naturali dell'Alto Adige a Bolzano. Sono state osservate le caratteristiche dei campioni prelevati sul terreno e successivamente i reperti sono stati catalogati e sono state allegate le foto.



Fig. 4.2.1: Campione PZO 16421, proveniente dal sito 6, nel quale sono presenti bioturbazioni lineari.

Ogni campione prelevato è stato pulito in laboratorio con una spazzola, carta assorbente e acqua. Le foto scattate dei campioni da catalogare al museo sono state eseguite con la macchina fotografica reflex Canon Eos 550D. Dopodiché sono state prese le misure dei campioni (larghezza, lunghezza e spessore) con un metro. Su ogni campione sono state effettuate analisi morfologiche (p. es. orientazione delle bioturbazioni, struttura della parete, riempimento) per risalire alle caratteristiche degli organismi che le hanno prodotte. In seguito, sono state misurate sia la lunghezza massima delle bioturbazioni osservate, sia il loro diametro massimo e minimo oltre che l'intensità di bioturbazione usando l'indice di bioturbazione (BI) (Taylor e Goldring, 1993). L'indice di bioturbazione presenta una scala da 0 a 6, dove BI=0 indica assenza di bioturbazione e BI=6 indica il massimo di bioturbazione e rielaborazione del sedimento. È stata anche annotata la distribuzione della bioturbazione rispetto alla superficie degli strati in quanto potrebbe fornire informazioni sul tipo di locomozione. Infatti, bioturbazioni disposte in modo parallelo rispetto alla giacitura degli strati suggeriscono che la locomozione degli organismi avvenne in modo orizzontale sul o entro il substrato. Bioturbazioni disposte verticalmente rispetto alla giacitura degli strati indicano invece che la locomozione era verticale rispetto agli stessi. Questi ultimi tipi di bioturbazioni si presentano spesso in condizioni di rapida sedimentazione o deossigenazione che comportano la fuga degli organismi verso l'alto (p. es. Buatois e Mángano, 2011). Inoltre, le bioturbazioni possono essere disposte in maniera lineare (Fig. 4.2.1) oppure curvilinea (Fig. 4.2.2) e più o meno obliqua con diversi angoli di inclinazione rispetto al sedimento.





Fig. 4.2.2: Campione PZO 16441, proveniente dal sito 7, nel quale sono presenti bioturbazioni curvilinee.

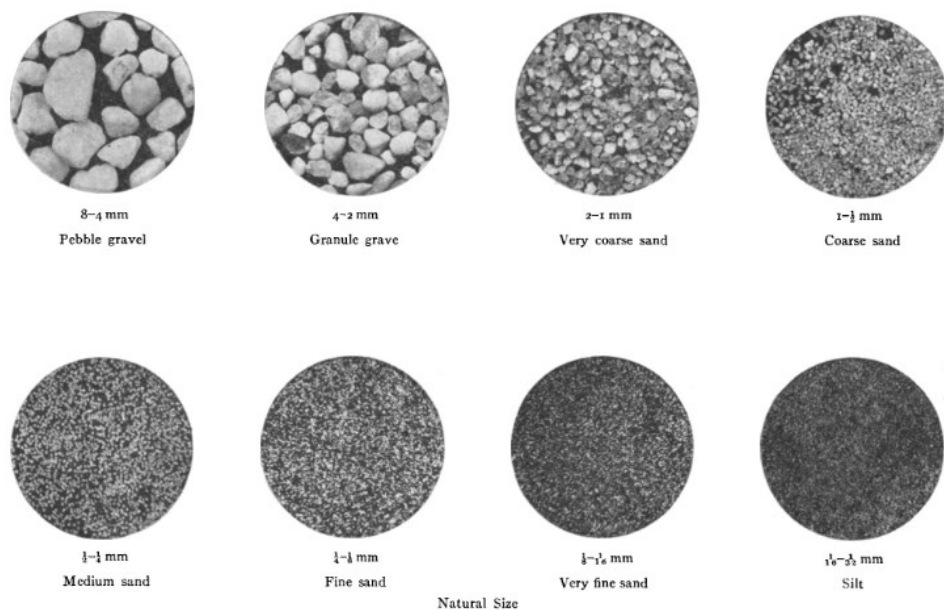


Fig. 4.2.3: Frazioni granulometriche definite dalla scala di Udden-Wentworth (Wentworth e Chester, 1922).

Le bioturbazioni possono presentare un sedimento di riempimento differente dalla matrice della roccia. Per evidenziare questa caratteristica e quindi la diversa distribuzione (e riflessione) delle miche chiare nella bioturbazione rispetto a quelli della matrice, le tracce sono state illuminate con il fascio di luce di una torcia. Ulteriori osservazioni sono state effettuate riguardo alla granulometria

del sedimento usando la scala di Udden-Wentworth (Wentworth e Chester, 1922; Fig. 4.2.3) che distingue le frazioni granulometriche nel seguente modo:

- ghiaia: clasti maggiori di 2 mm
- sabbia o arenite: clasti compresi tra 2 mm - 62.5  $\mu\text{m}$
- silt: clasti compresi tra 62.5  $\mu\text{m}$  - 4  $\mu\text{m}$
- argilla: clasti minori di 4  $\mu\text{m}$

## CAPITOLO 5

### RISULTATI

#### 5.1 RILEVAMENTO

Il lavoro sul campo ha permesso di individuare 14 affioramenti localizzati lungo la Valle di Sesto (Fig. 4.1.1). Gli affioramenti sono stati descritti dal punto di vista della stratigrafia, della presenza di bioturbazioni e della loro morfologia. Alcuni affioramenti (sito 1 e 3 a San Candido e sito 6 e 7 a Sesto) sono stati studiati in dettaglio con la stesura anche di un log stratigrafico perché presentano delle caratteristiche particolari e significative per la successiva interpretazione paleoambientale.

Sito 1 – San Candido, Hotel Paradiso (46.72 N, 12.27 E)



Fig. 5.1.1: Affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 1.

L'affioramento (Fig. 5.1.1) affiora lungo una strada forestale che da 1.175 m s.l.m. porta a 1.298 m s.l.m., è molto esteso ed ha una potenza di 5 m circa. Esso è caratterizzato da un'alternanza tra strati conglomeratici e arenacei del Conglomerato di Sesto. Si possono distinguere delle unità composte da bande e lenti di conglomerati alla base, seguite al tetto da strati di arenarie a granulometria medio-fine. Ogni unità ha uno spessore da 60 a 100 cm circa (Fig. 5.1.2).

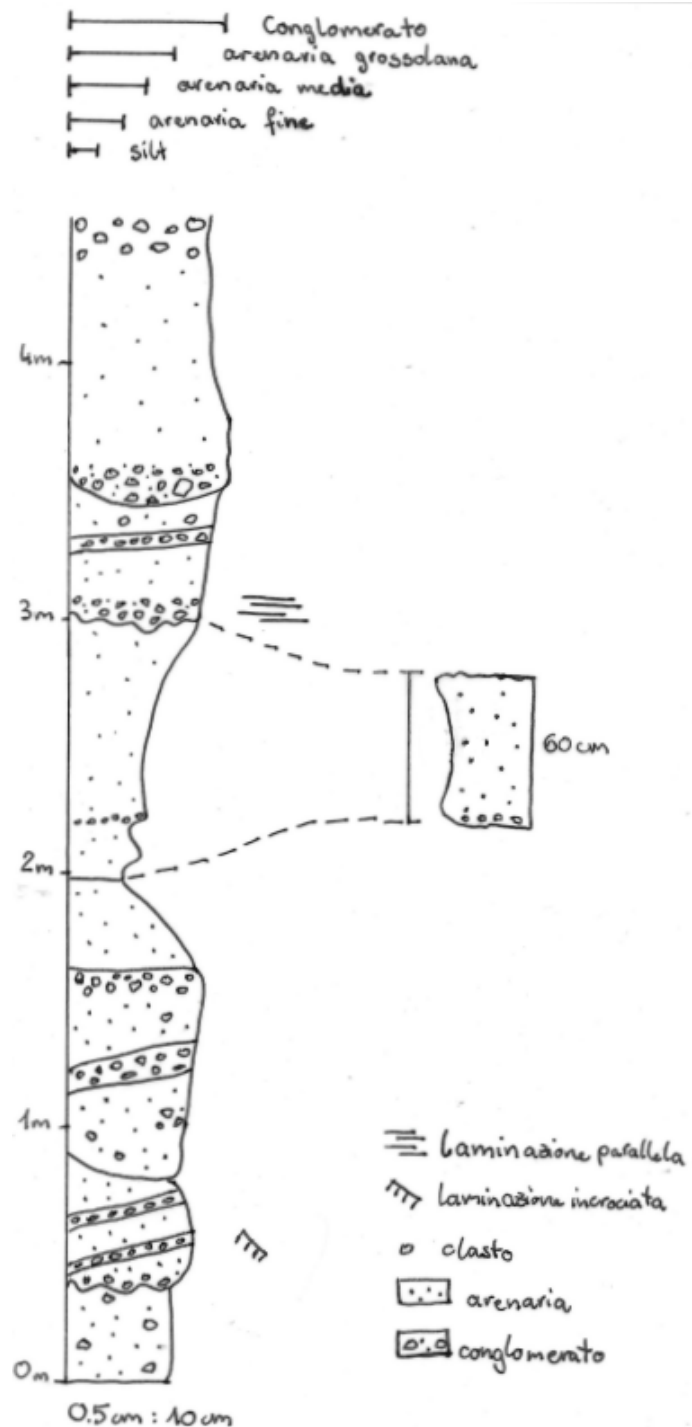


Fig. 5.1.2: Log stratigrafico dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 1.

La facies conglomeratica è caratterizzata da clasti di dimensioni variabili da 1 cm fino a 5 cm, spigolosi o sub-arrotondati e spesso orientati con l'asse maggiore parallelo allo strato (Fig. 5.1.3). I clasti sono costituiti prevalentemente da quarzo di colore dal rosa al bianco e da filladi di colore grigio provenienti dal Basamento Metamorfico. L'arenaria è di colore rosso scuro. La transizione dall'arenarie ai conglomerati mostra spesso una base erosiva. Gli strati arenacei tendono a

chiudersi lateralmente formando “tasche”. Lungo la parte esposta dell’affioramento non sono state riscontrate bioturbazioni.



Fig. 5.1.3: Dettaglio dell’affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 1 dove si può notare l’orientazione dei clasti con l’asse maggiore parallelo alla stratificazione.

#### Sito 2 – San Candido, pista ciclabile (46.73 N, 12.29 E)

L’affioramento è molto esteso con una lunghezza di 55 m e un’altezza di 25 m circa e si trova lungo la pista ciclabile che porta da San Candido a Sesto (Fig. 5.1.4). È dominato dalla facies conglomeratica del Conglomerato di Sesto. I clasti hanno dimensioni piuttosto variabili da 0,5 cm a 12 cm e sono spigolosi oppure mediamente arrotondati. Sono prevalentemente presenti clasti di quarzo o filladi, provenienti dal Basamento Metamorfico sottostante. La matrice è un’arenaria molto grossolana. Si possono notare alternanze di zone clasto-sostenute e zone matrice-sostenute. I clasti non mostrano una determinata orientazione, ma sono caotici. Il conglomerato è di colore da arancione a rosso chiaro.



Fig. 5.1.4: Affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 2.

### Sito 3 –San Candido, Sentiero Traversata Carnica (46.72 N, 12.30 E)

L'affioramento (Fig. 5.1.5) ha una potenza di 6 m circa. Esso mostra la tipica e ripetuta alternanza della facies conglomeratica e della facies arenacea che caratterizza il Conglomerato di Sesto. Ogni unità ha uno spessore di 1,5-3 m circa (Fig. 5.1.6). Gli strati hanno una direzione di  $220^\circ$  rispetto al nord e un'inclinazione di  $78^\circ$  verso sud-ovest.



Fig. 5.1.5: Affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 3.

La facies conglomeratica, di colore arancione-rosso chiaro, è caratterizzata da clasti di dimensioni variabili da 0,5 cm ad anche superiori ai 10 cm, spigolosi o mediamente arrotondati (Fig. 5.1.7). I clasti sono rappresentati prevalentemente da quarzi (generalmente a morfologia più arrotondata) o filladi (a morfologia più spigolosa) provenienti dal Basamento Metamorfico. La matrice è un'arenaria molto grossolana (Fig. 5.1.8). In alcune zone i clasti di dimensioni più piccole sono allineati con l'asse maggiore disposto parallelamente alla stratificazione

della successione. Il conglomerato è al limite tra clasto-sostenuto e matrice-sostenuto, ovvero la concentrazione di clasti è leggermente variabile lungo la successione. L'arenaria, di colore rosso scuro, mostra granulometria generalmente media e raramente fine, e presenta bioturbazioni (Fig. 5.1.6). All'interno degli strati di arenaria non si osservano strutture, orientazioni particolari o cambi di granulometria.

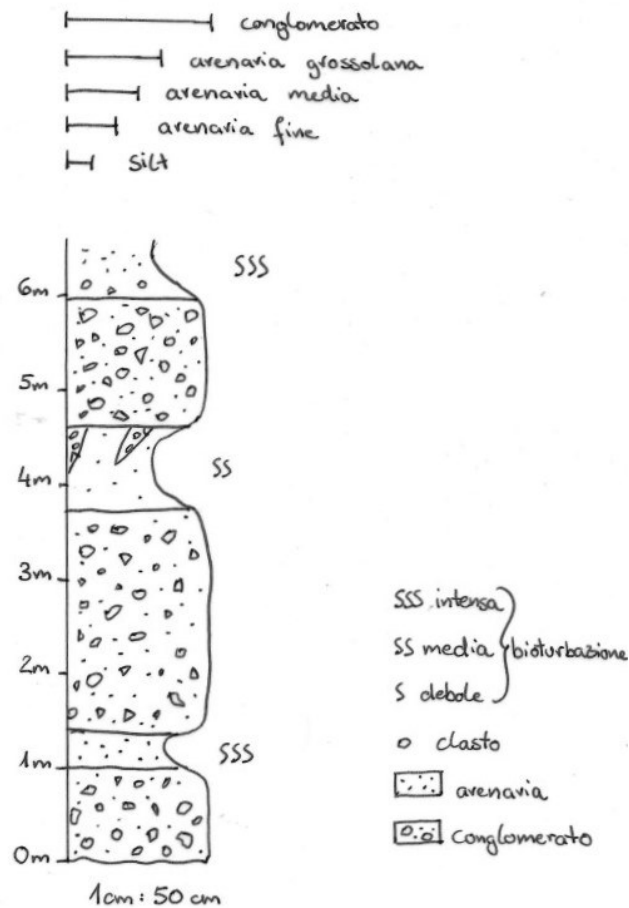


Fig. 5.1.6: Log stratigrafico dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 3.



Fig. 5.1.7: Dettaglio dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 3, dove si può notare la transizione dalla facies conglomeratica (in alto) alla facies arenacea (in basso).

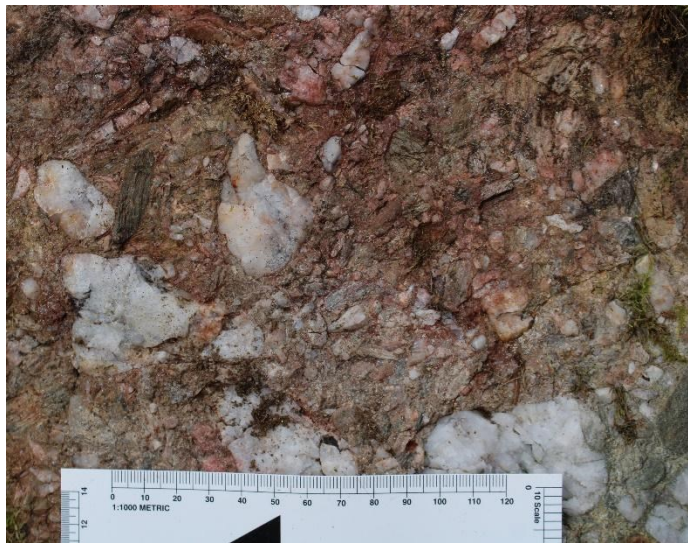


Fig. 5.1.8: Dettaglio dell'affioramento del sito 3, con particolari della facies conglomeratica.

#### Sito 4 – Bacino artificiale di Sesto (46.71 N, 12.32 E)

Prima di arrivare al paese di Sesto, sopra il bacino artificiale di Sesto, affiora una parete del Conglomerato di Sesto (Fig. 5.1.9) rappresentata esclusivamente dalla facies conglomeratica di colore da arancione a rosso chiaro. L'affioramento è molto esteso con una potenza di 5 m circa. Presenta le stesse caratteristiche della facies conglomeratica dell'affioramento nel sito 1, ovvero clasti di dimensioni variabili da 0,5 cm a 10 cm, spigolosi oppure mediamente arrotondati. Anche in questo affioramento si alternano zone clasto-sostenute a zone matrice-sostenute.



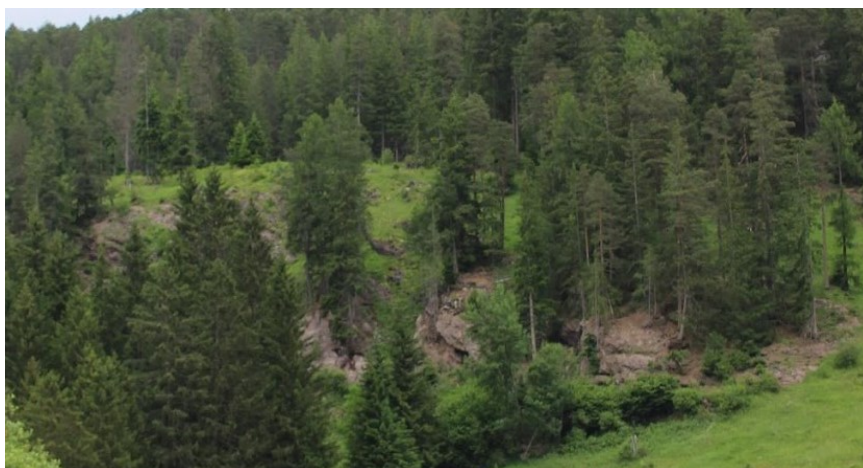


Fig. 5.1.9: Overview dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 4.

Sito 5 – Sesto, Strada Forestale 4B verso la Cappella del Bosco (46.71 N, 12.33 E)

Ai lati della strada forestale 4B sono stati individuati diversi blocchi di roccia appartenenti al Conglomerato di Sesto (Fig. 5.1.10). I blocchi hanno una dimensione di 40 cm circa e sono rappresentati da un'arenaria di colore rosso scuro, a granulometria medio-fine, e presentano alcuni clasti flottanti di dimensioni da 1 cm a 5 cm e bioturbazioni (Fig. 5.1.11). Non è stato possibile risalire all'esatta provenienza di queste rocce, a causa della mancanza di una parete esposta nelle vicinanze.



Fig. 5.1.10: Affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 5.



Fig. 5.1.11: Lastra del Conglomerato di Sesto con bioturbazioni nel sito 5.

Sito 6 – Sesto, strada forestale 4 in direzione della Cappella del Bosco a Sesto (46.71 N, 12.33 E)

L'affioramento ha una potenza di 7 m circa ed è caratterizzato da strati disposti in direzione obliqua. La base è contraddistinta dalla presenza della facies conglomeratica seguita da uno strato di arenaria, con presenza di bioturbazioni, spesso 4-5 m (Figg. 5.1.12, 5.1.13).



Fig. 5.1.12: Affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 6.

Il conglomerato mostra una disposizione caotica dei clasti che hanno dimensioni da 0,5 cm a 7-8 cm e spigoli vivi o sub-arrotondati. Il conglomerato è di colore grigio-bianco a causa dell'elevata quantità di filladi (Fig. 5.1.14). Infatti, si tratta del conglomerato basale più prossimo al Basamento Metamorfico sottostante. L'arenaria, di colore rosso scuro, è caratterizzata da una granulometria medio-

fine poco selezionata. Infatti, la grana non è omogenea per la presenza sia di granuli grandi sia di granuli fini. In alcune porzioni dell'arenaria si possono notare pseudo-stratificazioni causate dalle bioturbazioni presenti. Nello strato basale dell'arenaria si osserva la comparsa di lenti di conglomerato provenienti sempre dal Basamento Metamorfo, ovvero sono dispersi singoli clasti di dimensioni dai 1 cm a 5 cm all'interno dello strato arenaceo (Fig. 5.1.15).

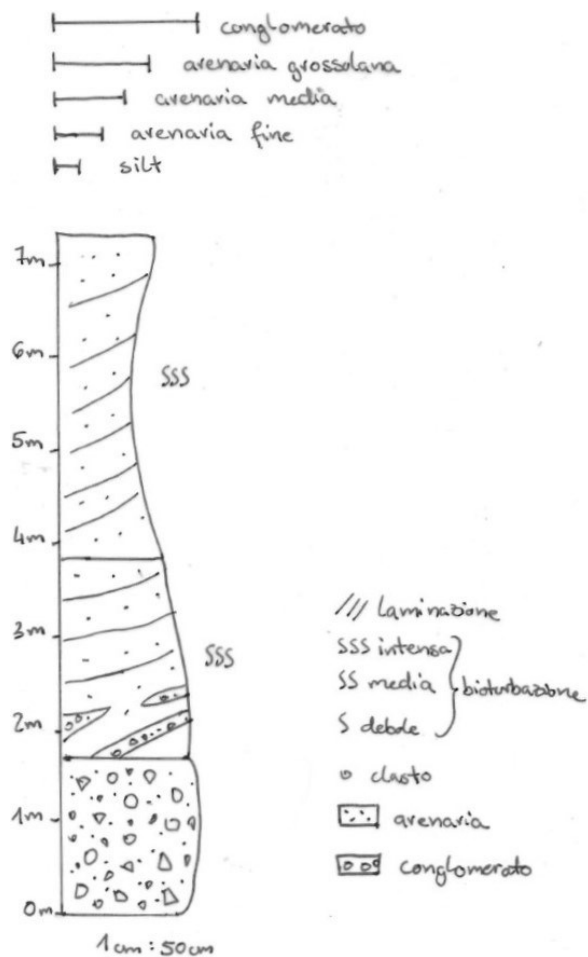


Fig. 5.1.13: Log stratigrafico dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 6.



Fig. 5.1.14: Dettaglio del conglomerato basale affiorante nel sito 6.



Fig. 5.1.15: Dettaglio dell'affioramento nel sito 6, dove si nota una "tasca" di conglomerato all'interno della facies arenacea.

#### Sito 7 – Sesto, Cappella del Bosco a Sesto (46.71 N, 12.34 E)

L'affioramento lungo il sentiero della meditazione che porta da Sesto alla Cappella del Bosco (Fig. 5.1.16) ha un'altezza di 8 m circa ed è caratterizzato da strati disposti in direzione di  $190^\circ$  rispetto al nord e un'inclinazione di  $40^\circ$  verso sud-ovest. La parete esposta mostra un'alternanza, non sempre netta e regolare, dalla facies conglomeratica a quella arenacea grossolana.



Fig. 5.1.16: Affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 7.

Il conglomerato è prevalentemente matrice-sostenuto con clasti di dimensioni da 1 cm a 9 cm di colore arancione-bianco, spigolosi o sub-arrotondati, principalmente di quarzo o filladi (Fig. 5.1.18). Negli strati inferiori della successione i clasti non hanno una orientazione precisa, mentre nella parte alta

gli strati mostrano una laminazione, ovvero un'orientazione dei clasti con l'asse maggiore parallelo alla stratificazione (Fig. 5.1.17). Questi strati sono caratterizzati da clasti a morfologia più arrotondata.

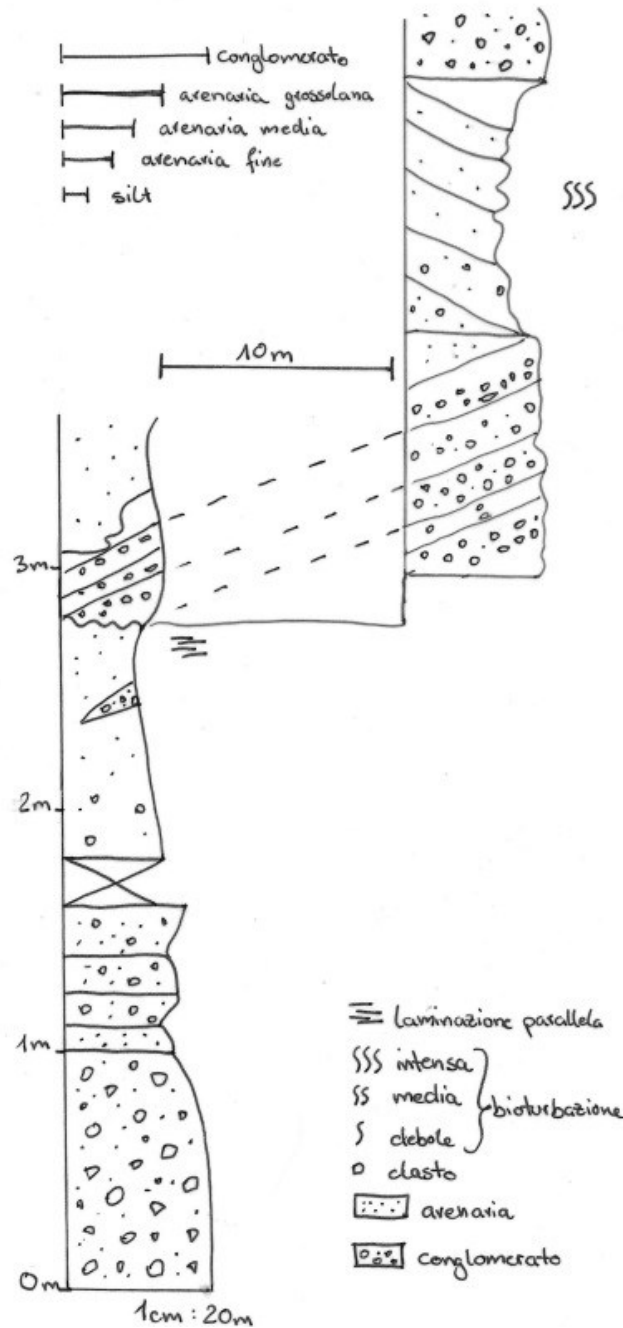


Fig. 5.1.17: Log stratigrafico dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 7.

Gli strati di arenaria nella parte bassa della successione, di colore rosso scuro, presentano granulometria grossolana con alcuni clasti dispersi nella matrice. Nella parte alta della successione affiora uno strato di arenaria a granulometria media che diventa più fine verso il tetto (*fining upwards*), dove sono presenti bioturbazioni. L'arenaria è per lo più di colore rosso scuro. Si può inoltre notare una variazione laterale degli strati affioranti, con gli strati conglomeratici che

tendono a chiudersi formando “tasche” in cui avviene poi la transizione agli strati arenacei (Fig. 5.1.19).



Fig. 5.1.18: Dettaglio dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 7, dove si può notare la base irregolare della facies conglomeratica.



Fig. 5.1.19: Dettaglio dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 7, dove si può notare la transizione graduale dalla facies conglomeratica alla facies arenacea.

#### Sito 8 – Moso, Park Caravan, sentiero 130 (46.67 N, 12.40 E)

Sul sentiero 130 in direzione di Sesto (Figg. 5.1.20, 5.1.21), affiora una parete molto ripida del Conglomerato di Sesto dominata dalla facies conglomeratica con le stesse caratteristiche osservate nel sito 2. Sono presenti clasti di dimensioni da 2 cm a 6 cm, spigolosi o mediamente arrotondati, di quarzo o filladi. Il conglomerato è da matrice-sostenuto a clasto-sostenuto e di colore da arancione a rosso chiaro. Non sono state ritrovate bioturbazioni.



Fig. 5.1.20: Affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 8.



Fig. 5.1.21: Dettaglio della facies conglomeratica dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 8.

Sito 9 – Moso, Park Caravan, sentiero 130 (46.66 N, 12.41 E)

Questo affioramento, con un'estensione di circa 10 m in lunghezza e un'altezza di 3 m, mostra un'alternanza tra la facies conglomeratica e quella arenacea. La facies conglomeratica, di colore arancione e rosso chiaro, è caratterizzata da clasti di quarzo o filladi di dimensioni da 1 cm a 5 cm, spigolosi o mediamente arrotondati (Fig. 5.1.22). Il conglomerato varia da matrice-sostenuto a clasto-sostenuto. L'arenaria di colore rosso scuro ha una granulometria medio-grossolana con presenza di singoli clasti dispersi, di circa 3 cm di diametro, spigolosi o mediamente arrotondati. I clasti sono principalmente di quarzo o filladi e non sono orientati. Inoltre, sono stati osservati dei fori cilindrici di natura sconosciuta, vuoti oppure riempiti di materiale di colore marrone chiaro, di dimensioni da 1 cm a 1,5 cm (Fig. 5.1.23).



Fig. 5.1.22: Affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 9.



Fig. 5.1.23: Dettaglio dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 9 dove sono evidenti i fori cilindrici.



Sito 10 – Moso, Park Caravan, sentiero 130 (46.66 N, 12.42 E)

A Moso, lungo il sentiero 130 a sinistra del Lago Nero vicino al Park Caravan è esposta una parete, con una lunghezza di 7,5 m circa e un'altezza di 3 m (Fig. 5.1.24), composta da sedimenti a facies arenacea. L'arenaria a granulometria media ha un colore rosso scuro e mostra bioturbazioni.



Fig. 5.1.24: Affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 10.

Sito 11 – Moso, sentiero 131 (46.67 N, 12.41 E)

La parete di circa 7 metri di altezza (Fig. 5.1.25), è composta principalmente dalla facies conglomeratica con le stesse caratteristiche dei conglomerati studiati nell'affioramento del sito 2. Sono presenti clasti di dimensioni da 1 cm a 7 cm, spigolosi o mediamente arrotondati. Sono rappresentati prevalentemente da quarzo o filladi e sono disposti in modo caotico. Il conglomerato è da matrice-sostenuto a clasto-sostenuto e di colore rosso chiaro. Non sono state rilevate bioturbazioni.



Fig. 5.1.25: Affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 11.

Sito 12 – Moso, sentiero 131 verso la malga Nemes (46.67 N, 12.42 E)

Anche questo affioramento è contraddistinto dalla facies conglomeratica tipica del Conglomerato di Sesto (Figg. 5.1.26, 5.1.27). Alcune lastre cadute lungo il sentiero presentano bioturbazioni di dimensioni molto piccole. Purtroppo non è stato possibile identificare la loro provenienza.

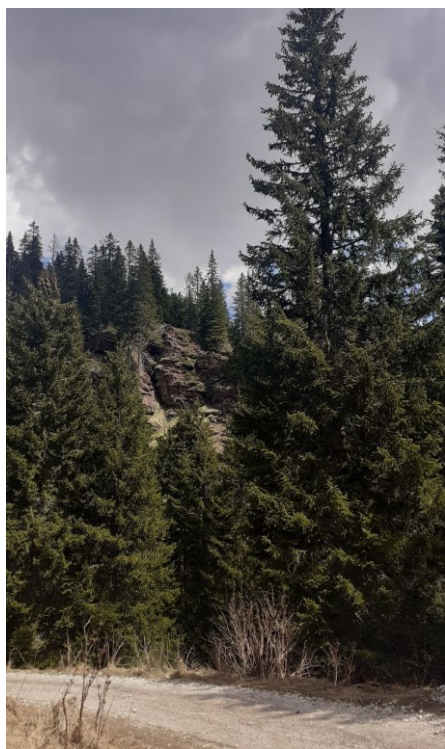


Fig. 5.1.26: Affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 12.



Fig. 5.1.27: Dettaglio dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 12.

Sito 13 – Strada forestale alla Cascata del Pissandolo (46.65 N, 12.44 E)



Fig. 5.1.28: Affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 13.

Gli affioramenti lungo la strada forestale dal Passo Monte Croce Comelico alla Cascata del Pissandolo sono poco estesi, e alti pochi metri (Fig. 5.1.28). In alcuni di questi prevale la facies conglomeratica, mentre in altri si osserva un'alternanza della facies conglomeratica e della facies arenacea, (Fig. 5.1.29), già descritte precedentemente negli altri affioramenti (p. es. affioramento nel sito 1). La facies conglomeratica, di colore rosso chiaro, è caratterizzata dalla presenza di clasti di dimensioni da 1 cm a 4 cm di quarzo o filladi. Sono spigolosi o mediamente arrotondati e non presentano una precisa orientazione. La facies arenacea è caratterizzata da una granulometria medio-grossolana e non sono presenti bioturbazioni.



Fig. 5.1.29: Affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 13.

Sito 14 – Cascata del Pissandolo (46.65 N, 12.45 E)

Sulla destra orografica della Cascata del Pissandolo (Fig. 5.1.30) è esposta una parete di arenaria a granulometria media molto tettonizzata che ha un aspetto laminato non dovuto a stratificazioni primarie (Fig. 5.1.31). Nella parte bassa dell'affioramento sono stati osservati blocchi di roccia di notevoli dimensioni (circa 2 m x 1,5 m) con la tipica facies conglomeratica del Conglomerato di Sesto. Non sono state rilevate bioturbazioni.



Fig. 5.1.30: Affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 14.



Fig. 5.1.31: Dettaglio dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 14, dove si può notare la facies ad arenarie fittamente laminata.

## 5.2 ANALISI DELLE BIOTURBAZIONI RILEVATE

Le bioturbazioni osservate sia negli strati di arenaria sul campo che nei campioni custoditi presso il Museo di Scienze Naturali dell'Alto Adige (Fig. 5.2.1), presentano una notevole somiglianza. Uno dei caratteri più evidenti che consente di distinguerle è la loro dimensione che può variare da 0,2 cm a 1,5 cm in diametro. Sono state rilevate 3 tipologie di associazioni di bioturbazioni: 1) associazioni di bioturbazioni di dimensioni prevalentemente grandi (1-1,7 cm); 2) associazioni di bioturbazioni di dimensioni solo piccole (0,2-0,5 cm); 3) associazioni di bioturbazioni di dimensioni miste tra le due (grandi e piccole).



Fig. 5.2.1: Campione PZO 16204.

### 5.2.1 BIOTURBAZIONI PREVALENTEMENTE DI GRANDI DIMENSIONI

Le bioturbazioni prevalentemente di grandi dimensioni presentano un diametro che varia da 1 cm fino a 1,7 cm (p. es. PZO 16203, 16204). Esse si distinguono nettamente dalla matrice circostante, e sono prevalentemente orientate in direzione orizzontale oppure obliqua, con alcune bioturbazioni disposte in modo verticale rispetto alla superficie dello strato. Hanno generalmente una disposizione lineare, sebbene occasionalmente possano mostrare anche delle leggere curvature (Fig. 5.2.3). Il riempimento assomiglia a quello della matrice circostante e le tracce non presentano ramificazioni. Il campione PZO 16203 presenta un'elevata intensità di bioturbazione pari al 90-95% (Fig. 5.2.2).



Fig. 5.2.2: Campione PZO 16203.



Fig. 5.2.3: Dettaglio del campione PZO 16203.

## 5.2.2 BIOTURBAZIONI DI PICCOLE DIMENSIONI

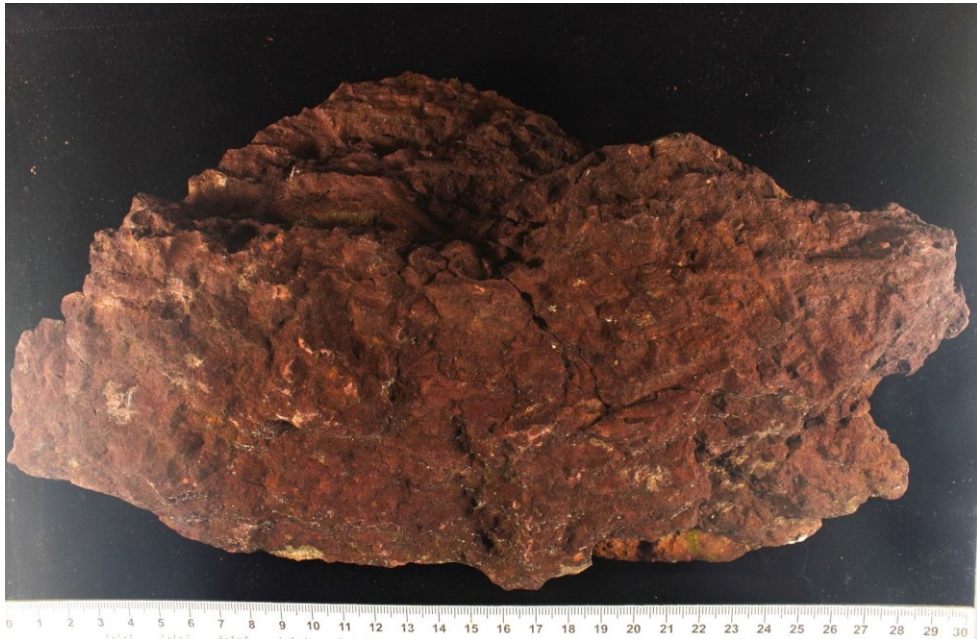


Fig. 5.2.4: Campione PZO 16418 proveniente dal sito 5.

Le bioturbazioni di piccole dimensioni hanno un diametro che varia da 0,2 cm a 0,5 cm (p. es. campione PZO 16148 proveniente dal sito 5; Fig. 5.2.4). Questi campioni sono caratterizzati da tracce molto numerose e ben evidenti. Le bioturbazioni sono generalmente disposte orizzontalmente e hanno una morfologia lineare, con alcune tracce che possono mostrare anche un andamento curvilineo. Le tracce non sono ramificate anche se è possibile osservare l'effetto di "*false branching*" (Fig. 5.2.5) descritto precedentemente nel capitolo 2. Esse non presentano un rivestimento esterno. Il riempimento è simile alla roccia circostante. Rispetto ai campioni con bioturbazioni prevalentemente a grandi dimensioni si nota un maggiore contenuto di miche allineate lungo la parete della bioturbazione. Sulla superficie delle bioturbazioni non sono presenti particolari ornamentazioni. Il campione PZO 16418 presenta un'elevata intensità di bioturbazione pari al 90-95%.



Fig. 5.2.5: Dettaglio del campione PZO 16148 con bioturbazioni mostrando l'effetto del "*false branching*".

### 5.2.3 BIOTURBAZIONI MISTE (DI PICCOLE E GRANDI DIMENSIONI)



Fig. 5.2.6: Campione PZO 16416 proveniente dal sito 5.

In alcuni campioni (p. es. campione PZO 16416, proveniente dal sito 5; Fig. 5.2.6) si può notare la presenza di bioturbazioni sia di piccole dimensioni (0,2 cm) che di grandi dimensioni (1 cm). Le bioturbazioni di grandi dimensioni sono piuttosto sviluppate in lunghezza arrivando spesso ad estendersi per tutta la lunghezza del campione e sono mediamente lunghe 6 cm, mentre quelle di piccole dimensioni spesso sono preservate per brevi tratti e si estendono al massimo per 3 cm. Anche in questo tipo di bioturbazione, le tracce sono lineari oppure leggermente curvate. Sono disposte principalmente in direzione orizzontale o obliqua, con rari casi di bioturbazioni disposte in posizione verticale rispetto alla superficie dello strato. Il riempimento delle bioturbazioni assomiglia molto a quello della matrice. Non sono presenti ramificazioni reali, mentre si possono osservare casi di "*false branching*" ramificate. Alcune bioturbazioni presentano delle ornamentazioni sulla loro superficie. Il campione PZO 16416 presenta un'intensità di bioturbazione pari al 85-90%.



## **CAPITOLO 6 DISCUSSIONE**

### **6.1 DISTRIBUZIONE STRATIGRAFICA DELLA BIOTURBAZIONE**

I risultati di questo studio mostrano che l'intensità di bioturbazione è strettamente correlata alla tessitura del sedimento. Infatti, la facies conglomeratica del Conglomerato di Sesto è quasi sempre priva di bioturbazioni, mentre la facies arenacea è frequentemente bioturbata. Ad esempio, nel sito 3 (Fig. 6.1.2), dove si osserva un'alternanza ritmica di arenarie e conglomerati, l'intensità di bioturbazione supera l'80% nelle arenarie, mentre i conglomerati non sono bioturbati (intensità di bioturbazione = 0%).

La presenza di bioturbazioni solo nella facies arenacea suggerisce che la distribuzione stratigrafica delle bioturbazioni è influenzata dalla granulometria del sedimento. Nei sedimenti a granulometria più fine del Conglomerato di Sesto, come i livelli di arenaria a granulometria medio-fine, gli organismi sono riusciti a lasciare tracce della loro locomozione. Al contrario in sedimenti a granulometria grossolana come, per esempio, nei conglomerati non sono presenti tracce.

L'assenza di bioturbazioni nella facies conglomeratica può essere spiegata tramite due ipotesi:

1. **Ipotesi 1 - assenza di bioturbatori:** nei sedimenti a granulometria maggiore non sarebbero stati presenti organismi bioturbatori a causa delle caratteristiche del sedimento. In altre parole, gli organismi avrebbero evitato la ghiaia perché è più difficile da penetrare rispetto alla sabbia. Il sedimento molle, fine e non consolidato viene attraversato facilmente da parte di numerosi organismi ed è il substrato ottimale per la produzione di strutture biogeniche (Buatois e Mángano, 2011).
  
2. **Ipotesi 2 - non-preservazione della bioturbazione:** nonostante fossero presenti organismi, la loro attività non si è potuta registrare nella facies conglomeratica del Conglomerato di Sesto. Anche nei sedimenti a granulometria maggiore si può avere bioturbazione (in minor quantità), tuttavia la sua capacità di preservazione è limitata rispetto a quella in sedimenti più fini (Raffi e Serpagli, 2003). Infatti, la preservazione delle tracce fossili è determinata dalla diagenesi che a sua volta dipende principalmente dalla cementazione, dalla compattazione e dall'alterazione chimica delle tracce fossili. Per avere tracce fossili, la cementazione deve avvenire in tempi molto brevi così da diminuire il rischio di distruzione delle tracce. Inoltre, la successiva compattazione generalmente provoca la deformazione delle tracce fossili. Tutti questi processi, se spinti, possono deformare o elidere le tracce fossili. Perciò i sedimenti grossolani, che tendono a compattarsi di più durante la diagenesi, restituiscono strutture meno intatte, rispetto ai sedimenti più fini. Infine, nei sedimenti fini le tracce fossili tendono a preservarsi

maggiormente, rispetto a sedimento grossolani perché l'elevata quantità di energia necessaria per trasportare clasti di dimensioni maggiori può portare alla distruzione o deformazione delle tracce rilasciate dagli organismi (Raffi e Serpagli, 2003).

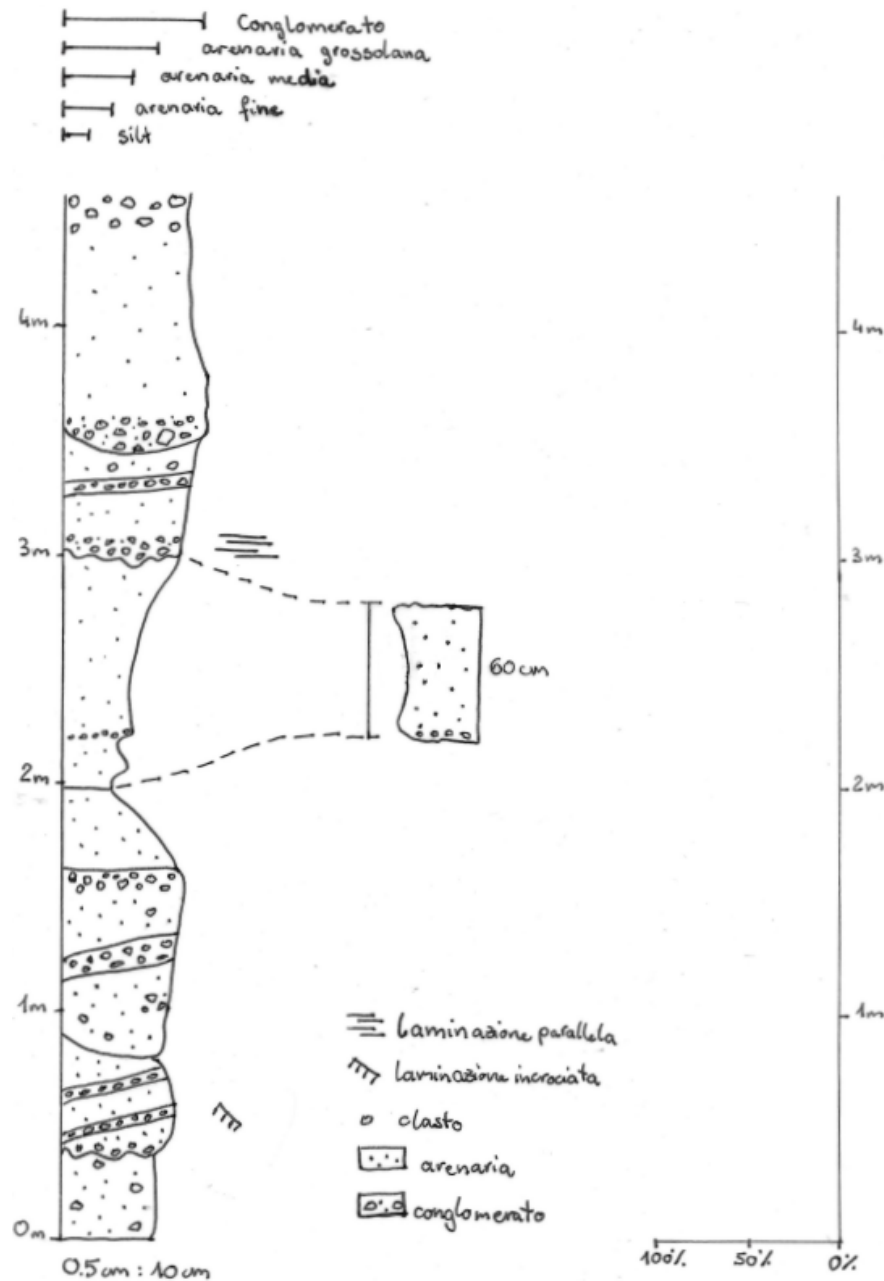


Fig. 6.1.1: Grafico della percentuale di bioturbazione correlata al log stratigrafico dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 1 (0% = assenza di bioturbazione nella facies conglomeratica; <30% = debole bioturbazione; 30%-70% = media bioturbazione; >70% intensa bioturbazione).

In sintesi, i risultati di questo studio mostrano che l'intensità di bioturbazione è controllata dalla granulometria media, non dalla dimensione massima dei clasti. Infatti, nel caso del sito 6, ad esempio, sono state riscontrate bioturbazioni anche in alcuni strati ad arenaria con presenza di clasti di dimensioni rilevanti dispersi

nel sedimento. Quindi è necessario un sedimento matrice-sostenuto per permettere il passaggio degli organismi attraverso di esso. Dall'altro lato sono stati rilevati strati ad arenaria senza bioturbazioni come nel caso del sito 1, dove sono presenti strati ben distinti ad arenaria di granulometria media.

Da notare che dove sono presenti le bioturbazioni, hanno un'intensità che varia dal 80% al 95%, mentre la diversità dell'associazione è bassa (Figg. 6.1.1, 6.1.2, 6.1.3, 6.1.5).

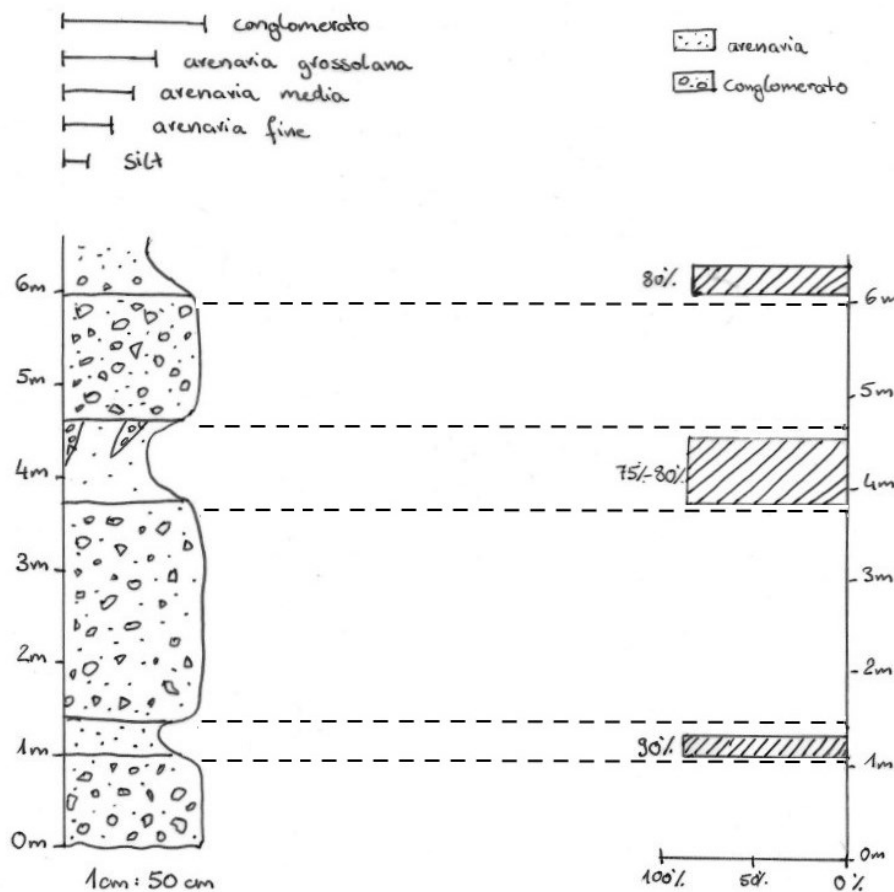


Fig. 6.1.2: Grafico della percentuale di bioturbazione correlata al log stratigrafico dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 3 (0% = assenza di bioturbazione nella facies conglomeratica; <30% = debole bioturbazione; 30%-70% = media bioturbazione; >70% intensa bioturbazione). La linea tratteggiata delimita gli strati correlati al log stratigrafico.

Sulla base delle osservazioni fatte, si può stabilire dunque che gli organismi produttori delle bioturbazioni generalmente necessitano di un sedimento a granulometria fine per muoversi con facilità, anche se in alcuni casi questi organismi sono riusciti a farsi strada in sedimenti più grossolani tra un clasto e l'altro (p. es. Fig. 6.1.4).

Tuttavia, la presenza di un sedimento a granulometria media/fine non necessariamente implica la presenza di bioturbazioni. Questo suggerisce che la granulometria non è l'unico fattore di controllo della presenza di bioturbazione. Infatti, è noto in letteratura (Buatois e Mángano, 2011) che la presenza e la locomozione degli organismi nel substrato può dipendere anche dalla

disponibilità di cibo, di ossigeno o da ulteriori condizioni ambientali necessarie per la loro sopravvivenza. Tutto questo indica che il legame tra litofacies e bioturbazione ha probabilmente un significato ecologico.

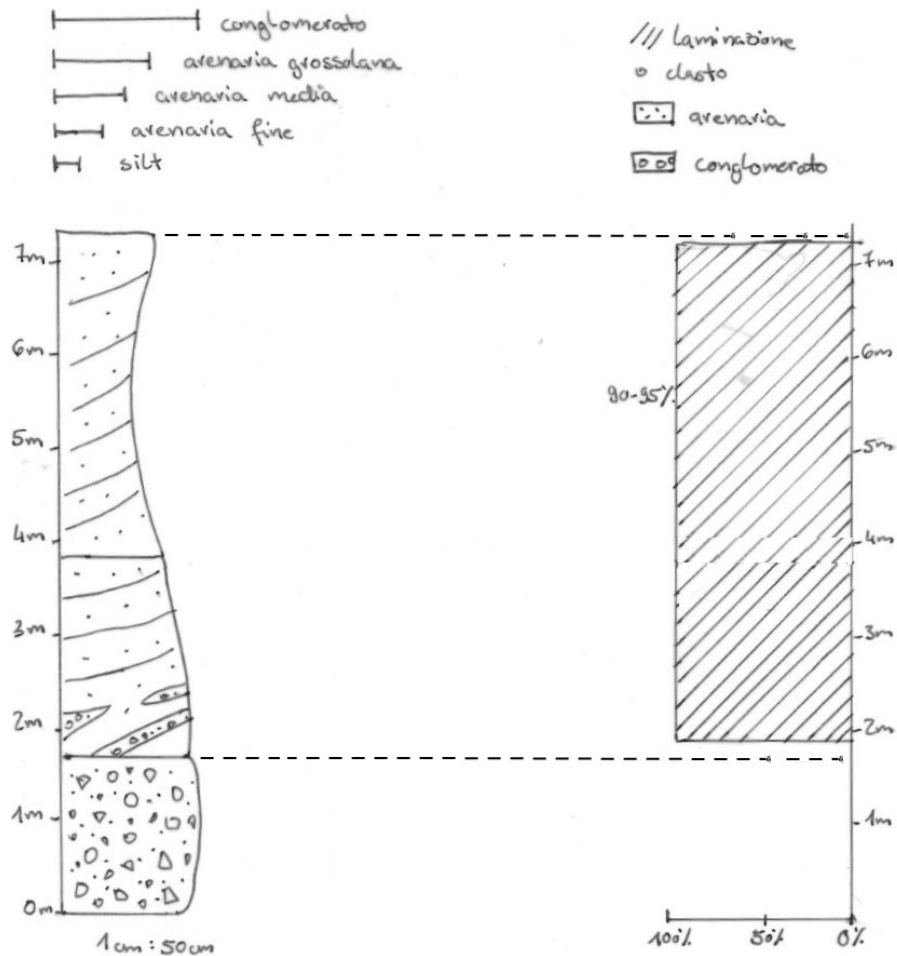


Fig. 6.1.3: Grafico della percentuale di bioturbazione correlata al log stratigrafico dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 6 (0% = assenza di bioturbazione nella facies conglomeratica; <30% = debole bioturbazione; 30%-70% = media bioturbazione; >70% intensa bioturbazione). La linea tratteggiata delimita gli strati correlati al log stratigrafico.



Fig. 6.1.4: Blocco ritrovato nel sito 5, con presenza di bioturbazioni e clasti del Basamento Metamorfico.

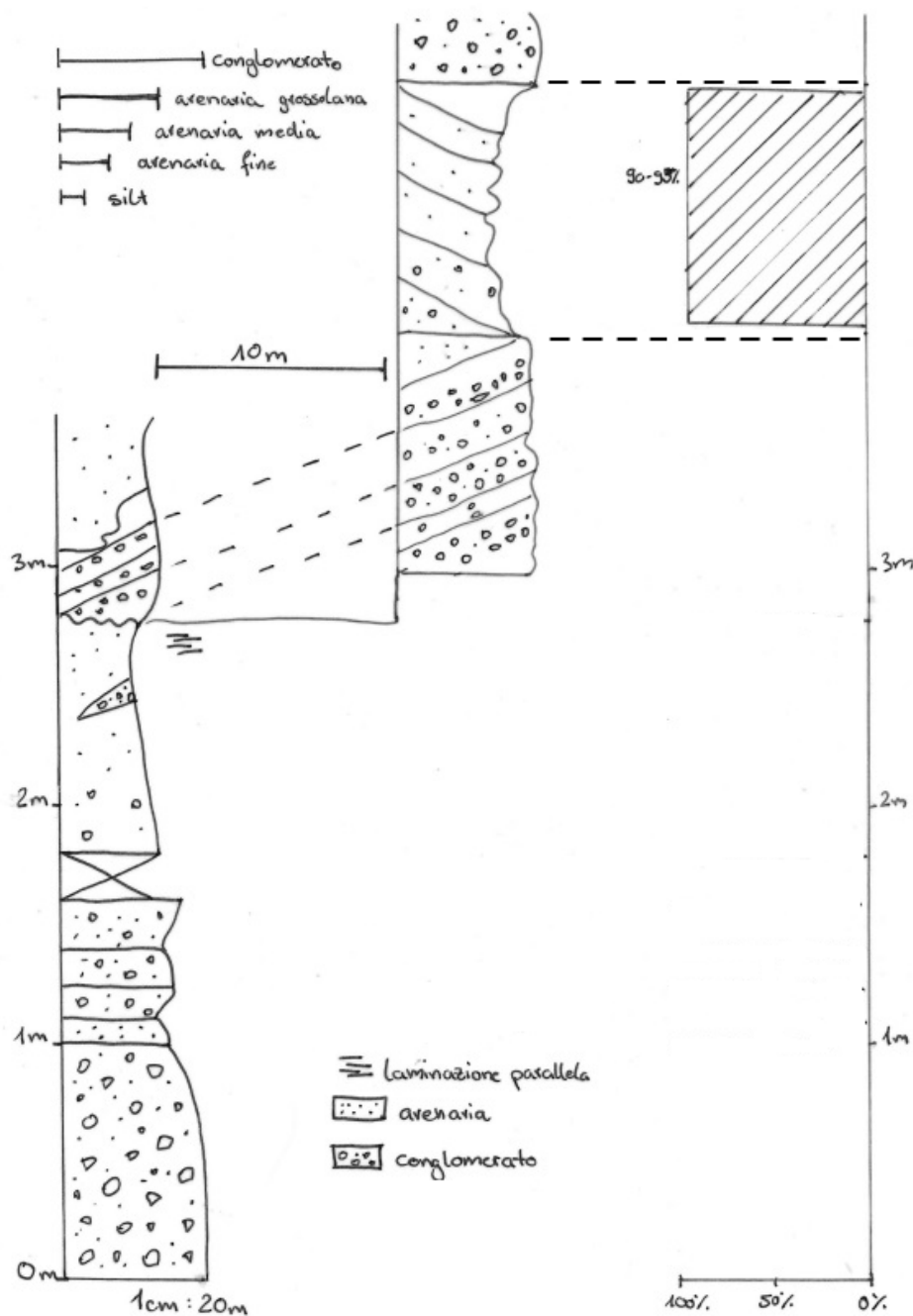


Fig. 6.1.5: Grafico della percentuale di bioturbazione correlata al log stratigrafico dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 7 (0% = assenza di bioturbazione nella facies conglomeratica; <30% = debole bioturbazione; 30%-70% = media bioturbazione; > 70% intensa bioturbazione). La linea tratteggiata delimita gli strati correlati al log stratigrafico.

Lo studio condotto ha anche evidenziato che la presenza di bioturbazioni e la loro intensità non sono influenzati dalla posizione nella colonna stratifica del Conglomerato di Sesto. Infatti, sia l'arenaria più vicina al Basamento Metamorfico sia quella al tetto del Conglomerato di Sesto, presentano bioturbazioni. Inoltre, le bioturbazioni sono presenti in tutto lo spessore dell'unità arenacea, quindi non hanno una maggiore concentrazione alla base o al tetto di ogni unità stratigrafica.

Analizzando in dettaglio le 14 successioni studiate si osservano però due aspetti interessanti: (1) dal punto di vista sedimentologico si nota che la facies conglomeratica e quella arenacea non sempre hanno solo una distribuzione verticale, ma possono presentare notevoli variazioni laterali all'interno dei singoli affioramenti. Questo comporta non solo variazioni laterali in spessore delle due unità, ma anche - occasionalmente - la comparsa/scomparsa laterale di una delle due facies; (2) la transizione dalla facies conglomeratica a quella arenacea lungo la successione stratigrafica spesso avviene con un passaggio graduale di tipo *fining upwards* sebbene talvolta possa essere marcato, mentre al contrario quello tra arenarie e facies conglomeratica è perlopiù netto, spesso anche con un limite erosivo.

## 6.2 DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA DELLA BIOTURBAZIONE

Lo studio degli affioramenti ha evidenziato che la distribuzione geografica delle bioturbazioni non è omogenea in quanto non sono stati segnalati ichnofossili in tutti i 14 affioramenti (Tab. 1). Le bioturbazioni sono frequenti negli affioramenti della zona di Sesto, mentre sono scarse nella zona di San Candido e del Passo Monte Croce.

Questa distribuzione non-omogenea riflette la relazione tra litofacies e bioturbazione precedentemente discussa nel capitolo 6.1. Infatti, i siti 5, 6 e 7 a Sesto presentano strati arenacei con un'elevata intensità di bioturbazione. Invece al Passo Monte Croce, dove prevale la facies conglomeratica, sono state osservate bioturbazioni solo nei pochissimi affioramenti a facies arenacea presenti (sito 10). Infine, negli affioramenti vicini al paese di San Candido (siti 1, 2, 3) pur dominando la facies conglomeratica, è presente anche quella arenacea. Qui, generalmente, le bioturbazioni sono assenti in entrambe queste facies, fa eccezione il sito 3, in cui all'interno della facies arenacea, ne è stata riscontrata la presenza.

Affioramento	Presenza di bioturbazione	Assenza di bioturbazione	Bioturbazione non rilevabile (causa esposizione affioramento)	Prevalenza della litofacies conglomeratica
Sito 1			x	
Sito 2		x		x
Sito 3	x			
Sito 4		x		x

Sito 5	x			
Sito 6	x			
Sito 7	x			
Sito 8			x	x
Sito 9			x	
Sito 10	x			
Sito 11			x	x
Sito 12			x	x
Sito 13			x	
Sito 14		x		x

Tab. 1: Grafico che rappresenta il rilevamento di bioturbazioni nei vari affioramenti studiati (area di San Candido, area di Sesto, area del Passo Monte Croce).

Da questo studio emerge quindi che: (1) la presenza di bioturbazioni è legata generalmente alla facies arenacea del Conglomerato di Sesto; (2) la facies arenacea si è prodotta probabilmente in tutta l'area di estensione del Conglomerato di Sesto e dove non affiora è perché può essere coperta da vegetazione o può essere stata erosa in tempi successivi.

Di conseguenza anche la presenza delle bioturbazioni dovrebbe avere una più larga distribuzione geografica rispetto a quanto riscontrato e dovrebbe coincidere con l'area di estensione del Conglomerato di Sesto in facies arenacea. Questa ipotesi è supportata dal rinvenimento in queste aree di occasionali singoli blocchi di arenarie con bioturbazioni, presenti ad esempio ai lati dei sentieri nei pressi dell'area del Passo Monte Croce e non direttamente legati ad affioramenti di Conglomerato di Sesto in facies arenacea. Questi blocchi isolati testimonierebbero la presenza di questa facies in queste zone. Questo scenario al momento attuale è solo ipotetico e da confermare con ulteriori ricerche.

### 6.3 TRACCE FOSSILI DEL CONGLOMERATO DI SESTO

Le tracce fossili del Conglomerato di Sesto possono essere attribuite a 4 ichnotaxa diversi:

- *Planolites beverleyensis* (Billings, 1862)
- *Taenidium barretti* (Bradshaw, 1981)
- *Skolithos linearis* (Haldeman, 1840)
- *Scoyenia gracilis* (White, 1929)

In base alle caratteristiche morfologiche descritte nel capitolo 5.2, la maggior parte delle bioturbazioni possono essere attribuite principalmente alla specie *Planolites beverleyensis* (Billings, 1862) (Figg. 6.3.1, 6.3.2). *Planolites beverleyensis* è caratterizzato da un tunnel lineare con un riempimento diverso dal sedimento circostante (Pemberton e Frey, 1982). La presenza del genere *Planolites* (Nicholson, 1873) non è nuova per l'area essendo già stata segnalata da Aspmair (1994) nel Conglomerato di Sesto.



Fig. 6.3.1: Dettaglio del campione PZO 16414, proveniente dal sito 3, dove si può notare l'aspetto semplice lineare della bioturbazione di tipo *Planolites beverleyensis*.



Fig. 6.3.2: Campione PZO 16445, proveniente dal sito 7, nel quale si possono notare le numerose bioturbazioni attribuibili a *Planolites beverleyensis*.

Alcune bioturbazioni del sito 6 sono orizzontali, prive di rivestimento e mostrano un riempimento interno meniscato senza pellet fecali (Fig. 6.3.3). Queste caratteristiche suggeriscono che si tratti della specie *Taenidium barretti* (Bradshaw, 1981).





Fig. 6.3.3: Dettaglio del campione PZO 16439, proveniente dal sito 6, dove si può notare l'aspetto meniscato della bioturbazione di tipo *Taenidium barretti*.

Inoltre, nella facies arenacea degli affioramenti nei siti 6 e 7, sono state rilevate tracce che ricordano la bioturbazione del tipo *Planolites* in base alla loro morfologia generale, ma differiscono da queste ultime perchè hanno un andamento verticale e non orizzontale (Fig. 6.3.4). Sulla base della loro linearità e verticalità possono invece essere attribuite a *Skolithos linearis* (Haldeman, 1840).

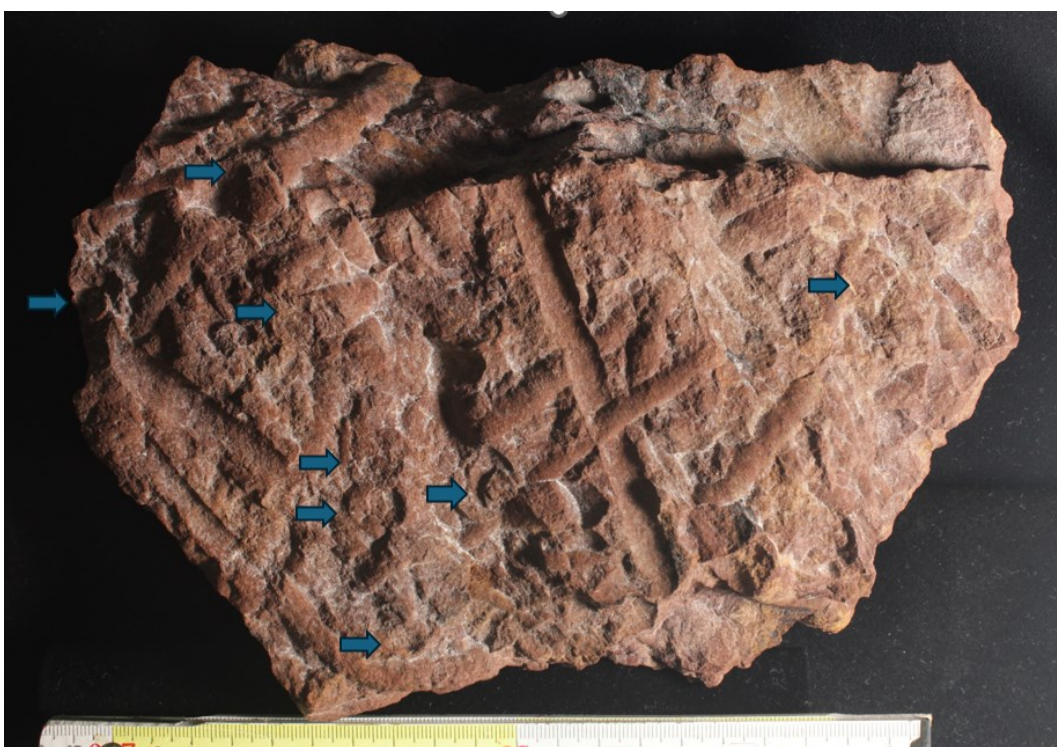


Fig. 6.3.4: Dettaglio del campione PZO 16204, dove si può notare l'aspetto semplice lineare della bioturbazione di tipo *Skolithos linearis*.

Bioturbazioni longitudinali di diametro variabile con un riempimento meniscato e rivestimento striato sulle pareti (Frey et al. 1984, p. 517; Häntzschel 1975) sono state attribuite all'ichnospecie *Scoyenia gracilis* (White, 1929) (Fig. 6.3.5).



Fig. 6.3.5: Dettaglio del campione PZO 16203, dove si può notare la bioturbazione *Scoyenia gracilis*.

In generale, la maggior parte delle bioturbazioni osservate nel Conglomerato di Sesto non presentano particolari ornamentazioni sulla parete esterna. La superficie di alcune tracce mostra però delle costrizioni (p. es. Fig. 6.3.6) che indicano che il movimento dell'organismo attraverso il substrato non era costante, ma suggerisce brevi periodi di sosta legati alla ricerca del cibo come per esempio particelle organiche, per poi riprendere.



Fig. 6.3.6: Dettaglio del campione PZO 16465, proveniente dal sito 7, nel quale si possono notare le costrizioni della bioturbazione *Scoyenia gracilis*.

#### 6.4 I PRODUTTORI DELLE BIOTRUBAZIONI

Un aspetto rilevante emerso dallo studio delle bioturbazioni del Conglomerato di Sesto è la variazione di dimensione delle tracce. Gli strati di arenaria possono presentare tracce solo di dimensioni piccole, di dimensioni prevalentemente grandi oppure di dimensioni grandi e piccole. Questi *pattern* potrebbero essere spiegati come bioturbazioni prodotte da organismi di dimensioni diverse, e quindi da almeno due tipologie di animali. Sulla base di questa ipotesi si dovrebbero distinguere tre tipi di ambiente: un ambiente più idoneo all'organismo di dimensioni maggiori, uno più adatto all'organismo di dimensioni minori e un ambiente "misto" in cui si ha la convivenza di entrambi gli organismi. Tuttavia, poiché la matrice dal punto di vista litologico non sembra cambiare non è stato possibile verificare tale ipotesi e la spiegazione più semplice è che le tracce siano state prodotte da un unico tipo di organismo e che la dimensione delle tane dipenda solo dai vari stadi ontogenetici di questo. Tutto ciò implicherebbe che le bioturbazioni di dimensioni piccole siano state causate da organismi giovanili, mentre quelle di dimensioni grandi da organismi adulti. Negli affioramenti dove sono presenti solo bioturbazioni di piccole dimensioni è possibile che il tempo di colonizzazione da parte degli organismi fosse molto breve a causa delle condizioni instabili dell'ambiente che avrebbero probabilmente impedito agli animali di svilupparsi fino all'età adulta. Al contrario, gli strati con prevalentemente bioturbazioni grandi oppure bioturbazioni miste, corrisponderebbero a periodi più stabili dove gli animali hanno potuto crescere più a lungo. Perciò si può ipotizzare che la variazione di dimensioni delle bioturbazioni sia correlata alla stabilità dell'ambiente. Nello specifico in ambienti più stabili il quantitativo di nutrimento era più elevato e gli organismi hanno potuto svilupparsi maggiormente rispetto ad ambienti meno stabili e più imprevedibili dove la disponibilità di cibo non era costante.

Nel Conglomerato di Sesto i quattro tipi di bioturbazioni identificati, potrebbero essere stati prodotti tutti dallo stesso organismo oppure da organismi diversi. Comunque, non può essere esclusa la possibilità che organismi distinti abbiano generato tracce simili (Buatois e Mángano, 2011), il che potrebbe aumentare il numero dei potenziali organismi presenti che, in quest'ultimo caso, sarebbe maggiore di quattro. Tuttavia, il fatto che le quattro tracce fossili del Conglomerato di Sesto presentino dimensioni e forma comparabili può permettere di ipotizzare che siano state prodotte dallo stesso organismo o dallo stesso gruppo di organismi (vedi anche Baucon et al., 2024; Fig. 6.4.1).

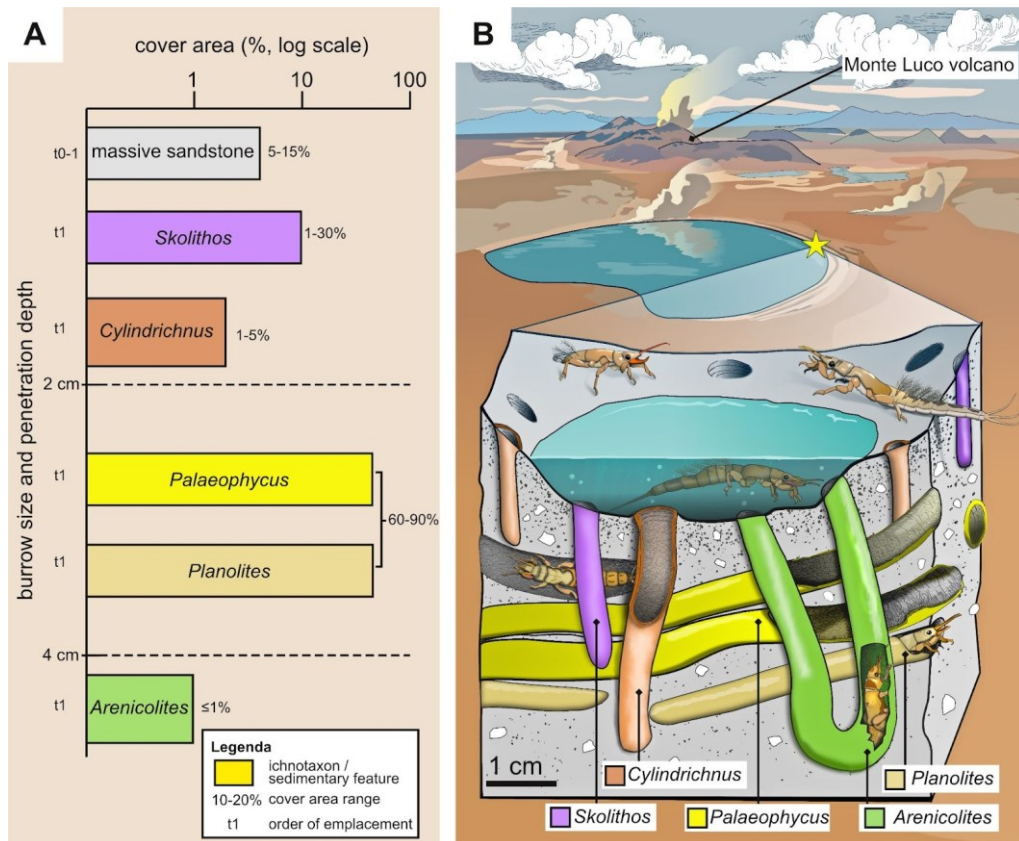


Fig. 6.4.1: Modello di distribuzione degli organismi fossili nel sito di Silberhof/Maso Argentio. A. Diagramma dell'icnofabric. B. Diagramma di distribuzione e ricostruzione paleoambientale in un ipotetico punto (indicato come stella) di un sistema lacustre nel punto indicato da una stella (da Baucon et al., 2024).

Tra i potenziali produttori di queste bioturbazioni, i più probabili sono artropodi come le larve di insetti oppure organismi vermiformi come ad esempio gli attuali anellidi. In realtà dei quattro tipi di bioturbazioni identificati nel Conglomerato di Sesto, tre (*T. barretti*, *S. linearis* e *S. gracilis*) potrebbero essere stati causati dal movimento di artropodi, mentre uno (*P. beverleyensis*) da organismi simili ad attuali anellidi anche se non si può escludere sia stato prodotto anch'esso da artropodi.

Una evidenza che suggerisce che gli artropodi possano essere stati i produttori principali delle bioturbazioni del Conglomerato di Sesto, è la presenza di bioturbazioni con strutture tipiche di tipo "backfilling". Esse sono prodotte da animali che muovendosi attraverso il sedimento, formano con le zampe una sfera di detriti che poi distribuiscono dietro di sé (Bromley, 1990, 1996) il che è tipico di molti coleotteri moderni (p. es. Smith e Hasiotis, 2008; Nascimento et al., 2023). A questa si aggiunge il fatto che le bioturbazioni osservate hanno generalmente pareti piuttosto sottili e meno distinte come quelle causate da insetti quando manipolano il sedimento, al contrario di quelle prodotte da organismi vermiformi che sono invece spesse. Infatti, gli organismi vermiformi espellono i loro escrementi o possono produrre un rivestimento mucoso che rende la parete più spessa (Ratcliffe e Fagerstrom, 1980).

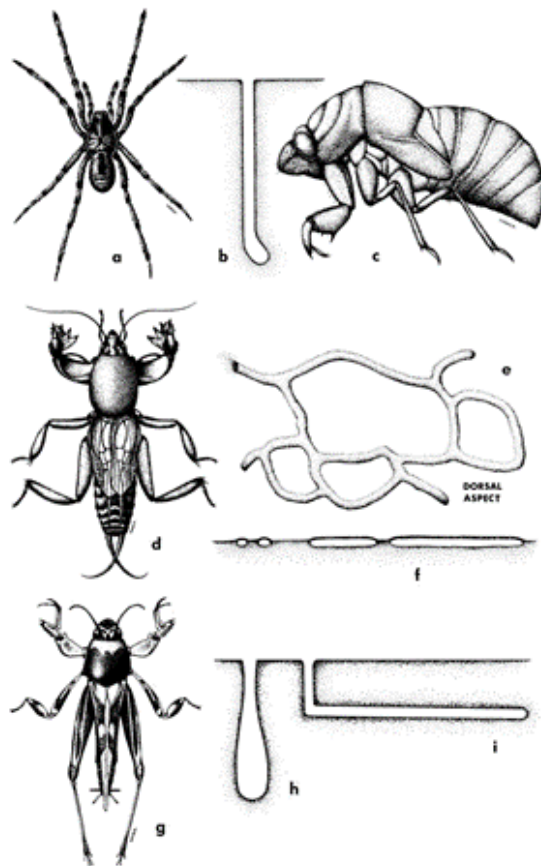


Fig. 6.4.4: Habitus di ragni e insetti con esempi di tane associate. a, *Lycosa* sp. (Araneida: Lycosidae), 5-25 mm; b, tipologia di traccia tipica di *Lycosa* e ninfe di cicale attribuibile a *Skolithos*; c, ninfa di *Tibicen* sp. (Homoptera: Cicadidae), 15-25 mm.; d, *Gryllotalpa* sp. (Orthoptera: Gryllotalpidae), 25-35 mm.; e, f, aspetto dorsale e laterale di tane in prossimità della superficie prodotte da *Gryllotalpa* sp.; g, *Tridactylus* sp. (Orthoptera: Tridactylidae), 2-10 mm; h, i, tipologia di tracce prodotte da *Tridactylus* sp. dove i è attribuibile a *Planolites* (Ratcliffe e Fagerstrom, 1980).

I dati della letteratura indicano inoltre che l'ichnospecie *Scoyenia gracilis* (White, 1929) caratterizzata dalla presenza di ornamentazioni sulla superficie, può essere attribuita a insetti (Frey et al., 1984), policheti (D'Alessandro et al., 1987) e crostacei decapodi (Olsen, 1977). Infatti, le ornamentazioni della superficie, definite "bioglifi", sono il risultato del graffiare, rosicchiare o incidere dell'organismo nel sedimento (Ekdale e Gibert, 2010) e suggerisce che gli organismi del Conglomerato di Sesto fossero dotati di zampe.

L'ichnogenere *Skolithos* viene in genere prodotto da insetti, aracnidi e altri artropodi terrestri (Ratcliffe e Fagerstrom, 1980; Netto, 2007). L'ichnogenere *Taenidium* comprende bioturbazioni molto simili all'ichnogenere *Planolites*, ma queste tracce presentano menischi, che si formano a causa del movimento dell'organismo quando, spostandosi in avanti, spinge contemporaneamente il sedimento in direzione posteriore (movimento simile a quello delle attuali talpe). In letteratura i potenziali produttori di questa tipologia di tracce sono artropodi come millepiedi, ninfe di cicale o larve di coleotteri (Nascimento et al., 2023 e riferimenti bibliografici) (Figg. 6.4.4, 6.4.5). Infine, l'ichnospecie *Planolites beverleyensis* viene causata da organismi depositivori che riempiono le tracce

con i loro escrementi quando si spostano in avanti, comportamento tipico di organismi vermiformi.

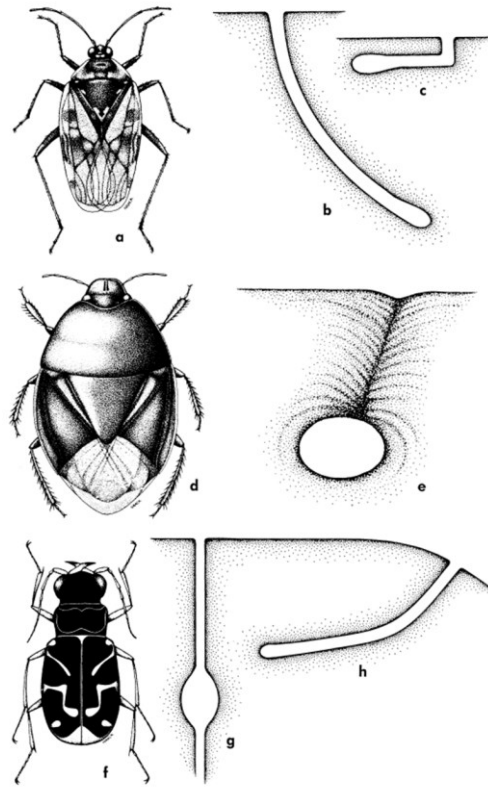


Fig. 6.4.5: Habitus di insetti associati alle loro tane. a, *Pentocera* sp. (Hemiptera: Saldidae), 5-8 mm; b,c, tane di insetti Hemiptera dove c è attribuibile a *Planolites*; d, *Pangaeus* sp. (Hemiptera: Cydnidae), 3-10 mm; e, tana dell'insetto scavatore dove la rottura delle lamine sedimentarie adiacenti è causata dal collasso delle pareti della tana; f, *Cicindela* sp. (Coleoptera: Cicindelidae), 7-15 mm; g,h, tane di larve di scarafaggi (Shelford, 1908); g, tana per ospitare la pupa dell'insetto. (Ratcliffe e Fagerstrom, 1980).

## CAPITOLO 7

### RICOSTRUZIONE PALEOAMBIENTALE

Lo studio della morfologia e della presenza di bioturbazione, integrato con l'analisi della stratigrafia degli affioramenti del Conglomerato di Sesto considerati, ha permesso di ricostruire l'ambiente che era presente in quest'area di margine del Supervulcano di Bolzano nel Permiano inferiore. Nello specifico, la determinazione delle tracce fossili del Conglomerato di Sesto permette l'applicazione del metodo delle ichnofacies, sviluppato da Adolf Seilacher a partire dagli anni '50 (Seilacher, 1954, 1955b, 1958, 1963b). Un'ichnofacies è un'associazione di ichnotaxa che ricorre nel tempo geologico e che è caratteristica di un dato insieme di condizioni ambientali (Buatois e Mángano, 2011). L'insieme di bioturbazioni osservate, ed in particolare gli ichnogenere *Scoyenia*, *Skolithos* e *Taenidium*, è tipico dell'ichnofacies *Scoyenia* (p. es. Seilacher, 1967b; Pemberton e Frey, 1984b) (Fig. 7.1). Questa ichnofacies mostra generalmente una ichnodiversità da bassa a moderata ed un'elevata intensità di bioturbazione. Essa è caratterizzata in generale dalla presenza di tracce di locomozione da parte di organismi depositivori mobili (Buatois e Mángano, 2011).

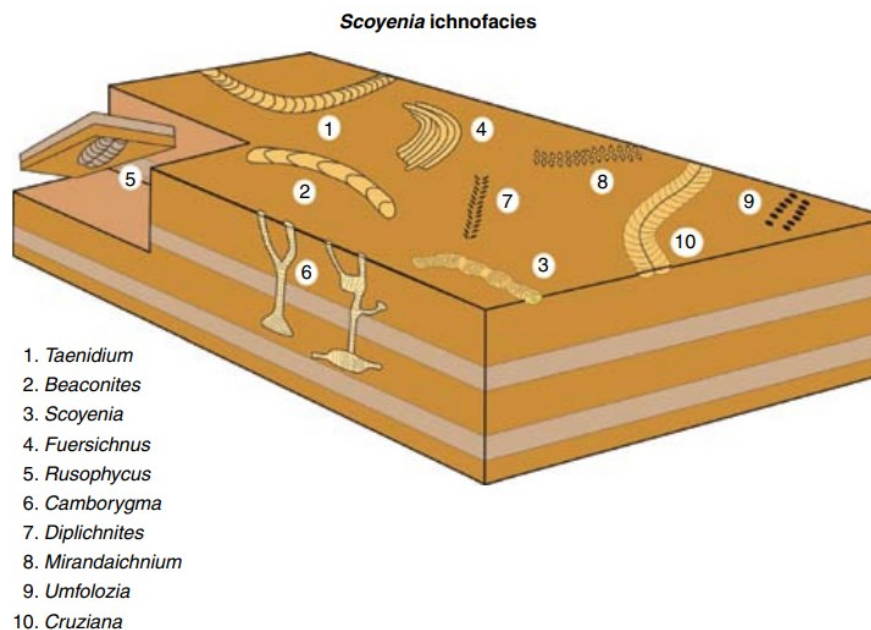


Fig. 7.1: Ricostruzione schematica dell'ichnofacies *Scoyenia* dove si può notare in particolare l'ichnogenere *Taenidium* (1) e *Scoyenia* (3) (Buatois e Mángano, 2011).

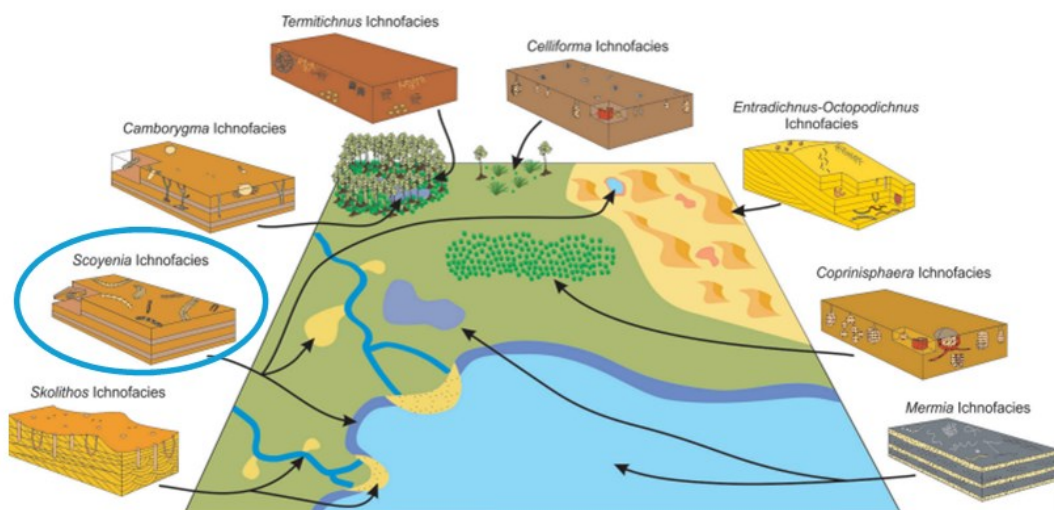


Fig. 7.2: Illustrazione delle ichnofacies presenti in ambiente continentale, tra cui l'ichnofacies *Scoyenia*. Da ICCI2019 - Abstract Volume e Field Trip Guide, 2019 ([https://sites.google.com/view/3rd-icci-2019/home/abstract-volume-field-trip-guide#h.p\\_y8a7fMp1zFgH](https://sites.google.com/view/3rd-icci-2019/home/abstract-volume-field-trip-guide#h.p_y8a7fMp1zFgH)).

L'ichnofacies *Scoyenia* (Fig. 7.2) è caratteristica di ambienti fluvio-lacustri soggetti a periodiche esposizioni subaeree o di ambienti di pianura alluvionale e sistemi marginali a bassa energia (Nascimento et al., 2023). I grafici dell'intensità di bioturbazione (Figg. 6.1.1, 6.1.2, 6.1.3, 6.1.5) mostrano un'alternanza dell'intensità di bioturbazione da 0% nella facies conglomeratica a >70% nella facies arenacea. Le condizioni ambientali quindi non erano costanti, ma si assiste ad un andamento ritmico con periodi instabili e periodi più stabili. Questo dimostra che l'ambiente era molto dinamico, caratterizzato da eventi deposizionali in massa e veloci, dove gli organismi non potevano bioturbare il sedimento, ed eventi con una deposizione più lenta di un minor apporto di sedimento, nel quale gli organismi riuscirono a bioturbare il sedimento. Negli strati con un'intensità di bioturbazione del 90%, il tasso di sedimentazione era più lento del tasso di bioturbazione da parte degli organismi. Inoltre, l'elevata intensità di bioturbazione e la bassa diversità dell'associazione è tipica di comunità r-strategie (Nascimento et al., 2023). Questi organismi, infatti, si riproducono molto velocemente, generando una prole numerosa e sfruttando ogni risorsa possibile, per riuscire a sopravvivere in un ambiente per lo più instabile.

Solo gli strati ad arenaria sono bioturbati, quindi gli organismi avevano una preferenza di sedimento. Tuttavia, è stata notata anche la presenza di bioturbazioni in strati di arenaria a granulometria medio-grossolana con presenza di clasti flottanti. Probabilmente in questi sedimenti di conglomerati matrice-sostenuti, gli organismi riuscivano a muoversi attraverso la matrice più fine tra un clasto e l'altro. Le bioturbazioni possono essersi formate in un ambiente subaereo o subacqueo. Probabilmente gli organismi iniziavano a disturbare il sedimento quando era ancora saturo di acqua: in queste condizioni, la loro locomozione era facilitata. Questo sedimento poi subiva un progressivo



disseccamento. Alcune bioturbazioni, infatti, presentano un insieme di ulteriori tracce su di esse (p. es. PZO 16466, Fig. 7.3). La conservazione dell'insieme di queste due tracce può verificarsi solo se la traccia precedente riesce a seccarsi prima della formazione della seconda traccia sulla sua superficie o attraverso di essa. Inoltre, le tracce che non presentano determinate ornamentazioni sono tipiche della fase pre-essiccazione dell'ichnofacies *Scoyenia*, ovvero si sono formate in un sedimento esposto all'aria (Buatois e Mángano, 2002). Anche *Taenidium barretti* si ritrova comunemente in ambienti a bassa energia di conoidi alluvionali o bacini alluvionali di acqua dolce (Keighley e Pickerill, 1994).



Fig. 7.3: Campione PZO 16466, proveniente dal sito 7.

Un caso particolare è quello del sito 3 (Figg. 4.1.1, 5.1.6) dove si può osservare una variazione laterale delle dimensioni delle bioturbazioni da zone con bioturbazioni a diametro più piccolo a zone con bioturbazioni a diametro più grandi. Questo indica la presenza di una variazione spaziale delle condizioni ambientali. Probabilmente erano presenti aree con un ristagno di acqua che formava delle "pozze" in cui gli organismi potevano proliferare, e aree meno favorevoli con una minore quantità di acqua. Nell'insieme lo studio delle bioturbazioni fornisce importanti informazioni per l'interpretazione paleoambientale che suggerisce che l'ambiente in cui si è depositato il Conglomerato di Sesto fosse un ambiente di conoide alluvionale. Questa interpretazione è corroborata e sostenuta anche dall'analisi stratigrafico-sedimentologica degli affioramenti nei vari siti, dove si può osservare chiaramente l'alternanza ritmica tra facies conglomeratica e facies arenacea, che riflette il periodico susseguirsi di diversi episodi deposizionali. La facies conglomeratica si è formata durante eventi ad elevata energia, durante i quali sono state trasportate notevoli quantità di materiale. I clasti sono stati trasportati per brevi distanze, come evidenziato dal loro aspetto spigoloso e poco arrotondato. I depositi di conglomerati caratterizzati da clasti mal classificati e disposti in maniera caotica (p. es. nel sito 2), indicano un evento deposizionale di massa non organizzato. La facies arenacea, invece, è costituita da materiale a granulometria medio-grossolana o fine e rappresenta un evento deposizionale a

minor energia, caratterizzato dalla sedimentazione di particelle a granulometria più fine, trasportate per tempi più lunghi. L'alternanza tra facies conglomeratica e facies arenacea è tipica di un ambiente continentale attribuibile a conoidi alluvionali (*alluvial fan*), come descritto anche nelle "Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia" del foglio di Dobbiaco (Gianolla et al., 2018). Il clima, probabilmente molto caldo e arido, ha portato all'episodica evaporazione dei corsi d'acqua, formando conoidi terminali (*terminal fan*) continentali (Gianolla et al., 2018). La presenza di strutture sedimentarie che suggeriscono la presenza di conoidi terminali è particolarmente evidente nei siti 1 e 7, dove gli strati di arenaria o di conglomerati si chiudono lateralmente a formare delle "tasche" (Figg. 7.4, 7.5)



Fig. 7.4: Dettaglio dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 1.



Fig. 7.5: Dettaglio dell'affioramento del Conglomerato di Sesto nel sito 7, dove si può notare la deposizione iniziale di strati conglomeratici (**strati di conglomerati**), e successivamente di strati arenacei (**strati di arenaria**).

Nel sito 1 si nota una differenza nella dinamica deposizionale rispetto, ad esempio, ai siti 3 e 6. Sono presenti, infatti, delle lenti di conglomerati con clasti orientati e più arrotondati che indicano un trasporto del materiale maggiore e per distanze più lunghe, rispetto ai depositi caotici e meno organizzati osservati frequentemente nei siti 3 e 6. Il sistema risulta quindi più organizzato a causa della netta alternanza della facies conglomeratica e della facies arenacea e alla presenza di stratificazioni parallele ed incrociate. I vari strati inoltre, terminano spesso lateralmente, mostrando la chiusura di conoidi terminali. Questo significa che il trasporto dei clasti è avvenuto a più lunga distanza.

Considerando gli aspetti sedimentologici e le bioturbazioni investigati negli affioramenti lungo la Valle di Sesto, si può dedurre che nel Permiano inferiore in quest'area l'ambiente fosse caratterizzato dalla presenza di vari conoidi alluvionali e specchi d'acqua. Queste aree presentavano caratteristiche favorevoli alla vita degli organismi, probabilmente rappresentati da larve di insetti, data la presenza di una sottile lamina d'acqua. Tuttavia, questa zona era instabile per occasionali eventi di *debris flow*. La deposizione di materiale grossolano ad elevate quantità poteva coprire queste aree più tranquille e prosperose, portando alla scomparsa degli organismi bioturbatori. Durante le fasi di trasporto di materiale fine, da parte di corsi d'acqua oppure a causa di innalzamenti degli specchi d'acqua, si accumulò materiale a granulometria più fine, arricchendo questi ambienti di particelle organiche come sostanza di nutrimento degli organismi.

Una situazione attuale molto simile è stata osservata al Lago di Anterselva (64.88 N, 12.17 E), localizzato nella Val Anterselva, una diramazione della Val Pusteria in Alto Adige. Lungo la strada che percorre il lago di Anterselva in direzione del Passo Stalle, è presente un delta formatosi da un fiume immissario (Fig. 7.6).



Fig. 7.6: Delta presente al Lago di Anterselva.

Nel sedimento fangoso imbevuto d'acqua si possono notare tracce rilasciate da organismi simili alle bioturbazioni studiate negli strati arenacei del Conglomerato di Sesto (Fig. 7.7). Questo fa pensare che l'ambiente che persisteva in quel periodo, fosse simile a quello che si può notare oggi in questo delta al Lago di Anterselva. Ovvero sono presenti zone, dove è evidente la locomozione degli organismi nel sedimento, che possono essere occasionalmente coperte di acqua durante periodi a piovosità elevata ed eventualmente sotterrate dalla deposizione di materiale trasportato, oppure esposte all'aria durante periodi asciutti.



Fig. 7.7: Dettaglio del sedimento nel delta al Lago di Anterselva dove si possono notare tracce prodotte da organismi.

## CAPITOLO 8

### CONCLUSIONI

Durante lo studio di questa tesi è stato effettuato, sulla base della distribuzione del Conglomerato di Sesto, un rilevamento sul campo di 14 affioramenti utilizzando la carta geologica di Dobbiaco. Gli affioramenti, localizzati lungo la Valle di Sesto in Val Pusteria, sono stati studiati sia dal punto di vista stratigrafico, sia dal punto di vista paleontologico, analizzando in dettaglio la presenza/assenza di bioturbazioni e la loro morfologia. I risultati ottenuti all'interno di questo studio si possono riassumere come segue:

- Il Conglomerato di Sesto è costituito da un'alternanza di due facies, una facies arenacea e una facies conglomeratica.
- Esiste una correlazione tra la presenza di bioturbazioni e la granulometria del sedimento, con la presenza di bioturbazioni limitata alla facies arenacea. Questo si può spiegare sia con il movimento facilitato degli organismi nella facies arenacea, sia con una più alta possibilità di preservazione delle tracce in sedimenti a granulometria fine.
- La distribuzione geografica delle bioturbazioni non è omogenea, in quanto non in tutta la Valle di Sesto sono stati osservati affioramenti della facies arenacea del Conglomerato di Sesto; la maggior parte degli affioramenti contenenti ichnofossili si trovano nella zona di Sesto.
- Nei vari affioramenti sono state osservate associazioni con bioturbazioni di dimensioni variabili (solo piccole, prevalentemente grandi oppure grandi e piccole). Le diverse dimensioni sono dovute molto probabilmente alla presenza di vari stadi ontogenetici degli organismi.
- In base alle loro caratteristiche morfologiche, gli ichnofossili rilevati sono stati attribuiti a 4 ichnotaxa diversi (*Planolites beverleyensis*, *Taenidium barretti*, *Skolithos linearis* e *Scoyenia gracilis*).
- L'insieme di bioturbazioni osservate è tipica dell'ichnofacies *Scoyenia* che generalmente è caratterizzata da un'elevata intensità di bioturbazione ed una ichnodiversità da bassa a moderata.
- I produttori più probabili di queste tracce sono artropodi, tuttavia non si possono escludere organismi vermiformi.
- Sulla base della litologia riscontrata negli affioramenti del Conglomerato di Sesto e le caratteristiche delle bioturbazioni, il paleoambiente che persisteva può essere attribuito ad un ambiente continentale a conoidi alluvionali (*alluvial fan*) caratterizzato dall'alternanza di episodi ad elevata energia (facies conglomeratica non bioturbata) ed episodi più tranquilli a minor energia (facies arenacea bioturbata).

Questo studio sottolinea l'importanza dell'ichnologia come indicatore paleoambientale visto che nel Permiano inferiore della Valle di Sesto gli ichnofossili sono le uniche evidenze biotiche. Questo studio non solo ha permesso di ricostruire le condizioni ambientali che caratterizzavano il margine

più orientale dell'estensione del Supervulcano di Bolzano, ma contribuisce ad implementare la nostra conoscenza sull'ichnologia in ambienti fluviali che purtroppo, allo stato attuale, è piuttosto carente come dimostrano i pochi dati presenti in letteratura.

## BIBLIOGRAFIA

- Aspmair, C., (1994). Zur Geologie der Permischen Grobklastika im Raum Sexten/Comelico superiore (Südtirol/Belluno). Tesi all'università di Innsbruck, 27-35.
- Baucon, A., Morelli, C., Neto de Carvalho, C. N. & Kustatscher, E. (2024). Life in an Artinskian (Cisuralian) Permian megacaldera: Benthic palaeoecology in the shadow of the Bolzano Supervolcano (Athesian Volcanic District, Italy). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 638: 112027.
- Baucon, A., Trümper, S., Morelli, C., Neto de Carvalho, C.N. & Kustatscher, E. (submitted). Can habitat disturbance promote biodiversity? Disturbance ecology of an alluvial fan deposited in the caldera of the Bolzano supervolcano (Gocciadoro: Trento, Italy) – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.
- Bradshaw, M.A. (1981). Palaeoenvironmental interpretations and systematics of Devonian trace fossils from the Taylor Group (Lower Beacon Supergroup), Antarctica. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 24, 615–652.
- Bromley, R.G. & D'Alessandro, A. (1990). Comparative analysis of bioerosion in deep and shallow water, Pliocene to recent, Mediterranean Sea. *Ichnos*, 1, 43–49.
- Bromley, R.G. (1996). *Trace fossils. Biology, Taphonomy and Applications*. London: Chapman & Hall.
- Buatois, L.A. & Mángano, G. (2002). Trace fossils from Carboniferous floodplain deposits in western Argentina: implications for ichnofacies models of continental environments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 183, 71–86.
- Buatois, L. & Mangano, G. (2011). *Ichnology: Organism-Substrate Interactions in Space and Time*. United States of America: Cambridge University Press.
- D'Alessandro, A., Ekdale, A.A. & Picard, M.D. (1987). Trace fossils in fluvial deposits of the Duchesne River Formation (Eocene), Uinta Basin, Utah. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 61, 285–301.
- Ekdale, A.A. & Gibert, J.M. de. (2010). Paleoethologic significance of bioglyphs: fingerprints of the subterraneans. *Palaios*, 25(8), 540–545.
- Forte, G., Vallè, F. & Kustatscher, E. (2023). Unveiling the evolution of the Kungurian (Cisuralian) flora in the paleotropics (Southern Alps, Northern Italy). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 318: 104984.
- Frey, R.W. & Pemberton, S.G. (1984). Trace fossils Facies Models. In Walker, R.G. (ed), *Geoscience Canada Reprint Series*, 189–207.
- Gianolla, P., Morelli, C., Cucato, M., Siorpaes, C. (2018). Note Illustrative Della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000, Foglio 016 Dobbiaco. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia, Roma, p. 283.

Haldeman, S.S. (1840). Supplement to Number One of "A Monograph of the Limniades, Or Freshwater Univalve Shells of North America": Containing descriptions of apparently new animals in different classes and the names and characters of the subgenera in *Paludina* and *Anculosa*.

Häntzschel, W. (1975). Treatise on invertebrate paleontology. Part W. Miscellanea. Supplement 1. Trace fossils and problematica. Geological Society of America, Boulder, and University of Kansas Press, Lawrence, 269 pp.

Keighley, D.G., Pickerill, R.K. (1994). The ichnogenus *Beaconites* and its distinction from *Ancorichnus* and *Taenidium*. *Palaeontology*, 37, 305–337.

Marchetti, L., Forte, G., Kustatscher, E., DiMichele, W.A., Lucas, S.G., Roghi, G., Juncal, M.A., Hartkopf-Froder, C., Krainer, K., Morelli, C., Ronchi, A., (2022). The Artinskian Warming Event: an Euramerican change in climate and the terrestrial biota during the early Permian. *Earth Science Reviews*, 226, 103922 <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103922>.

Marocchi, M., Morelli, C., Mair, V., Klotzli, U., Bargossi, G.M. (2008). Evolution of large Silicic Magma Systems: New U-Pb Zircon Data on the NW Permian Athesian Volcanic Group (Southern Alps, Italy). *Journal of Geology*, 116, 480–498. <https://doi.org/10.1086/590135>.

Morelli, C., Marocchi, M., Moretti, A., Bargossi, G.M., Gasparotto, G., de Waele, B., Klotzli, U., Mair, V. (2012). Volcanic stratigraphy and radiometric age constraints at the northern margin of a mega-caldera system: Athesian Volcanic Group (Southern Alps, Italy). *GeoActa* 11, 51–67.

Nascimento, D.L., Guimarães Netto, R., Batezelli, A., Bernardes Ladeira, F.R., Sedorko, D., (2023). *Taenidium Barretti* Ichnofabric and Rainfall Seasonality: Insights into Dryland Suites of *Scoyenia* Ichnofacies. *Journal of Palaeogeography* 12 (1): 28–49.

Netto, R. (2007). *Skolithos*-dominated piperock in nonmarine environments: an example from the triassic Caturrita formation, Southern Brazil. *Sediment–Organism Interactions: a multifaceted ichnology*. *SEPM Spec. Publ.* 88, 109–121.

Nicholson, H. A. (1873). III. Contributions to the study of the errant Annelides of the older palaeozoic rocks. *Proceedings of the Royal Society of London*, 21 (139-147): 288-290.

Olsen, P. (1977). Stop 11. Triangle Brick Quarry. 59±60. In Bain, G. L. & Harvey, B. W. (eds). *Field guide to the geology of the Durham Triassic Basin*. Carolina Geological Survey, Raleigh, North Carolina, 139 pp. O'NEILL, R. V. 1969. Adaptive responses to desiccation in the diplopod *Narceus americanus* (Beauvois). *American Midland Naturalist*, 81, 578–583.

Pemberton, S.G. & Frey, R.W. (1982). Trace fossil nomenclature and the *Planolites–Palaeophycus* dilemma. *Journal of Paleontology*, 56, 843–881.

Pemberton, S.G. & Frey, R.W. (1984b). Quantitative methods in ichnology; spatial distribution among populations. *Lethaia*, 17, 33–49.



Powers M. C. (1953). A new roundness scale for sedimentary particles. *SEPM Journal of Sedimentary Research*, 23 (2), 117–119.

Raffi, M., Serpagli, E. (2003). *Introduzione alla Paleontologia*. Edizioni Universitarie, 2024.

Ratcliffe, B.C., Fagerstrom, J.A., (1980). Invertebrate Lebensspuren of Holocene flood plains: their morphology, origin and paleoecological significance. *Journal of Paleontology*, 54, 614–630.

Seilacher, A. (1953a). Studien zur Palichnologie. I. Über die Methoden der Palichnologie. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 96, 421–452.

Seilacher, A. (1954). Die geologische Bedeutung fossiler Lebensspuren. *Zeitschrift der Deutschen Geologische Gesellschaft*, 105, 214–227.

Seilacher, A. (1955b). Spuren und Fazies im Unterkambrium. In *Beiträge zur Kenntnis des Kambriums in der Salt Range (Pakistan)*, Schindewolf, O.H. & Seilacher A. (ed.), Akademie der Wissenschaften und der Literatur zu Mainz, Mathematisch Naturwissenschaftliche Klasse, *Abhandlungen*, 10, 373–39.

Seilacher, A. (1958). Zur ökologische n Charakteristik von Flysch und Molasse. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 51, 1062–1078.

Seilacher, A. (1963b). Lebensspuren und sakinitsfazies. *Fortschritte in der Geologie Rheinland und Westfalen*, 10, 81–94.

Seilacher, A. (1967a). Fossil behaviour. *Scientific American*, 217, 72–80.

Seilacher, A. (1967b). Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology*, 5, 413–428.

Smith, J.J., Hasiotis, S.T., Kraus, M.J., Woody, D.T. (2008). Relationship of floodplain ichnocoenoses to paleopedology, paleohydrology, and paleoclimate in the Willwood Formation, Wyoming, during the Paleocene–Eocene Thermal Maximum. *Palaios*, 23, 683–699.

Taylor, A.M., Goldring, R. (1993). Description and analysis of bioturbation and ichnofabric. *Journal of the Geological Society*, 150, 141–148.

Vallé, F., Morelli C., Krainer K., Roghi G., & Kustatscher E. (2024). Depositional Environments and Plant Communities in the Exceptional Context of the Kungurian Megacaldera of the Athesian Volcanic Group (Southern Alps, N-Italy). *Review of Palaeobotany and Palynology* 324.

Wentworth, C.K. (1922). A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology* 30, 377–92.

White, C. D. (1929). *Flora of the Hermit Shale, Grand Canyon, Arizona*. Publications of the Carnegie Institution of Washington, 405, 221.

## RINGRAZIAMENTI

Dopo il mio percorso universitario ed un entusiasmante tirocinio, vorrei ringraziare tutti coloro che mi hanno permesso di raggiungere questo traguardo.

Prima di tutto vorrei ringraziare la prof.ssa Fornaciari, relatrice della mia tesi di laurea, per l'aiuto fornitomi durante la stesura e per la pazienza, la disponibilità e la conoscenza che mi ha donato.

Un particolare ringraziamento alla dott.ssa Evelyn Kustatscher, correlatrice di questa tesi, per la costante disponibilità e precisione, indispensabili per la realizzazione del lavoro, come anche per le numerose opportunità e l'entusiasmo che mi ha sempre offerto e che mi saranno utili in futuro. Vorrei ringraziare il dott. Andrea Baucon, il geologo dott. Corrado Morelli e il dott. Steffen Trümper, collaboratori del progetto del Supervulcano di Bolzano, per il loro aiuto e sostegno nelle ricerche per la tesi di laurea.

Un sentito grazie a tutti!

Bianca Müller