



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
Scuola di Agraria e Medicina Veterinaria

*Tesi di laurea triennale in Tecnologie Forestali ed Ambientali*

---

**ANALISI DELLA SEDIMENTAZIONE ALLA PESCIARA DI BOLCA E  
CORRELAZIONE CON L'ATTIVITÀ VULCANICA DEI MONTI LESSINI**

Relatore:

Prof. Andrea Marzoli

Correlatore:

Dottor. Guido Roghi

Laureando:

Riccardo Girotto

Matricola: 2008728

ANNO ACCADEMICO 2023 – 2024



## INDICE

|   |    |
|---|----|
| RIASSUNTO .....   | 4  |
| 1. INTRODUZIONE .....   | 5  |
| 2. I RAPPORTI TRA I CALCARI E LE ROCCE VULCANICHE .....       | 6  |
| 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA.....                     | 7  |
| 3.1. Idrografia.....  | 8  |
| 4. LE ORIGINI DELLA ZONA.....                                 | 10 |
| 5. L'EVOLUZIONE GEOLOGICA DI BOLCA .....                      | 12 |
| 6. LA COMPOSIZIONE DELLE ROCCE .....                          | 15 |
| 6.1. Rocce vulcaniche.....                                    | 19 |
| 6.2. Lave a fessurazione colonnare .....                      | 19 |
| 7. LE PURGHE LESSINEE .....                                   | 21 |
| 8. MUSEO DEI FOSSILI DI BOLCA .....                           | 22 |
| 9. LA FOSSILIZZAZIONE .....                                   | 23 |
| 9.1. Processi di fossilizzazione .....                        | 24 |
| 9.2. Trasporto .....  | 24 |
| 10. POSSIBILI CAUSE ALTERNATIVE ALL'ESTINZIONE DEI PESCI..... | 26 |
| 11. LAVORAZIONI E RICERCHE.....                               | 27 |
| 12. RISULTATI E ANALISI .....                                 | 28 |
| 13. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.....                            | 29 |
| 14. BIBLIOGRAFIA.....   | 30 |

## RIASSUNTO

Questa tesi vuole valutare se esiste una possibile correlazione tra i ritrovamenti di resti fossili sedimentati nella Pesciara di Bolca e le attività vulcaniche contemporanee sui monti Lessini. Alcune teorie hanno cercato di giustificare l'abbondanza di pesci all'interno degli strati laminati della Pesciara, ipotizzando eventi catastrofici che si sono ripetuti nel tempo.

Una delle prime teorie ha ipotizzato l'esistenza di attività vulcanica (esalazioni di gas, eruzioni, ecc.) per giustificare l'elevata mortalità degli organismi marini.

Tramite delle analisi del suolo avvenute in loco e studi fatti sulle aree circostanti la zona di studio, si è cercato di capire se effettivamente potesse esserci una correlazione fra queste due zone.

Dalle ricerche è risultato che le attività vulcaniche e le colate laviche si sono alternate con periodi di sedimentazione di corpi di pesci in periodi di ripopolamento della zona.

All'interno di una depressione presente nella Pesciara si sono ritrovati materiali vulcanici per uno spessore di circa 400 m.

Non avendo trovato residui di ceneri o materiale vulcanico all'interno delle lastre che contenevano i resti fossilizzati, si è concluso che l'attività vulcanica non ha influenzato in modo significativo la mortalità dei pesci, e sono stati riconosciuti almeno sette cicli distinti dove l'attività vulcanica si alterna con locali episodi di sedimentazione marina.

Questo ha portato alla conclusione che dopo ogni eruzione, avveniva un momento di ripresa in cui il bioma si ripopolava.

## 1. INTRODUZIONE

La ricerca per la presente tesi ha avuto come obiettivo il monte Pesciara, appena sopra Bolca (una piccola frazione della Val d'Alpone in provincia di Verona), uno dei più famosi e meglio preservati depositi di fossili dell'Eocene (circa 45 milioni di anni fa).

È considerato uno dei siti di ritrovamenti fossili più famosi e importanti al mondo per l'eccezionale conservazione e l'abbondante diversità delle faune, in particolare dell'ittiofauna (l'insieme dei pesci di un dato bacino acquifero), rappresentata da più di 240 taxa (popolazione di organismi), e degli organismi a corpo molle, che lo rendono un vero parco paleontologico.

Il giacimento a pesci e piante denominato "Pesciara", noto da circa 5 secoli per l'eccezionale conservazione dei fossili di età eocenica inferiore, rappresenta un interessante soggetto di studio geologico in quanto è formato da un blocco di calcari stratificati isolato entro rocce vulcaniche e vulcano-clastiche.

Finora, lo studio più approfondito è stato dedicato quasi esclusivamente ai livelli calcarei fossiliferi, ma negli ultimi tempi si è iniziato ad affrontare anche lo studio del materiale vulcanico circostante, che affiora in modo discontinuo nella parte medio-alta della Val del Fiume.

I termini vulcanici affioranti sono costituiti prevalentemente da rocce vulcano-clastiche stratificate e da breccie vulcaniche.

Queste ultime caratterizzano i depositi che circondano la "Pesciara" e sono costituiti da depositi privi di stratificazione, i cui componenti sono prevalentemente frammenti basaltici, tufacei, proietti calcarei e microfossili (alveoline) sia sciolti che in clasti.

Pertanto, è chiaro quanto sia importante determinarne la biostratigrafia per ottenere una datazione e una composizione accurata ed aggiornata della sezione presa in esame.

## 2. I RAPPORTI TRA I CALCARI E LE ROCCE VULCANICHE

In affioramento i sedimenti calcarei mostrano un evidente contatto laterale con le rocce vulcanoclastiche mentre nulla si sapeva su ciò che stesse direttamente al di sotto dei livelli fossiliferi. Allo scopo di approfondire le relazioni tra il blocco calcareo della Pesciara e le rocce vulcanoclastiche che lo inglobano, è stato perciò effettuato un carotaggio continuo in roccia all'ingresso della galleria aperta nel secolo scorso alla base del giacimento eocenico (Fig.1).



Fig. 1: Inizio dello scavo all'imbocco della Cava: nella galleria scavata alla base della parete della Pesciara si può notare il contatto laterale tra le rocce sedimentarie stratificate (a sinistra) e la breccia vulcanica (a destra) (da Zorzin Roberto ResearchGate 2012).

In particolare, si è ritenuto di verificare lo spessore reale del giacimento e l'eventuale presenza di altri strati laminati, potenzialmente ricchi di materiale paleontologico.

Il carotaggio è stato realizzato grazie al finanziamento della Regione Veneto e del Comune di Verona, in base alla L.R. n. 7 del 30 giugno 2006 "Interventi per la valorizzazione del patrimonio culturale di Bolca", in collaborazione con l'Ente Parco Naturale Regionale della Lessinia.

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

La Lessinia, o Monti Lessini, è un altopiano e un super-gruppo alpino nelle Prealpi Vicentine, situato prevalentemente in provincia di Verona e parzialmente in quelle di Vicenza e Trento. Una parte del territorio lessinico costituisce il Parco naturale regionale della Lessinia (Fig.2).

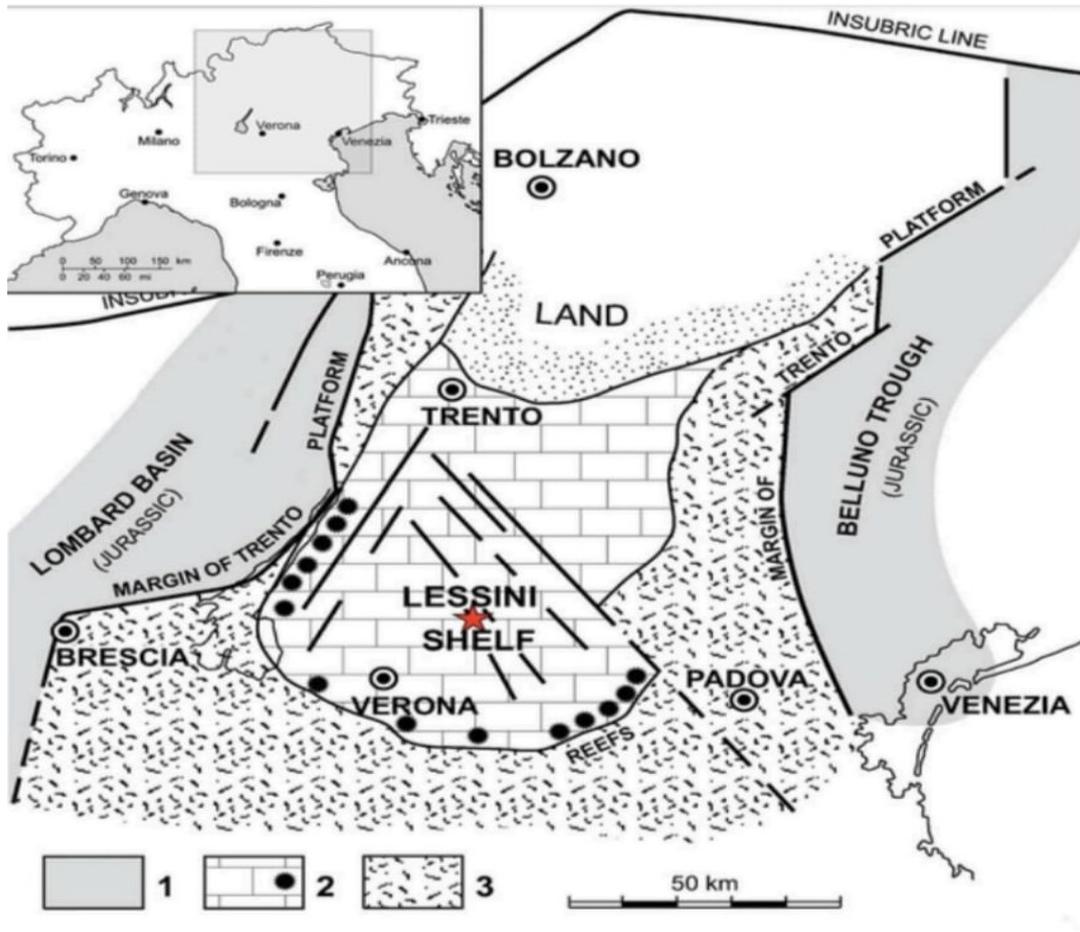


Fig. 2: Piattaforma carbonatica terziaria (Lessini Shelf) impostata sul carapace della Piattaforma di Trento di eta giurassica. 1) Depositi bacinali giurassici; 2) Depositi di piattaforma giurassici; 3) Carbonati terziari del Lessini Shelf. La posizione di Bolca è indicata dalla stella rossa. (Da Bosellini 1989).

Confina a nord con la Val di Ronchi e il Gruppo del Carega, a est con la Val Leogra, a sud con il corso dell'Adige e l'alta pianura veronese e a ovest con la Val Lagarina. Le sue cime raggiungono un'altitudine tra i 1500 e i 1800 m.

### 3.1. Idrografia

Il fenomeno del carsismo tipico delle rocce calcaree che formano la Lessinia ha reso la sua rete idrografica assai articolata e varia, caratterizzata da una grande ramificazione di torrenti che nel corso dei periodi glaciale e del Quaternario hanno contribuito a scavare le valli torrentizie che compongono il territorio.

Su tutto l'altopiano si annoverano diverse sorgenti, sia temporanee legate allo scioglimento delle nevi e alle piogge, sia permanenti, che sgorgano soprattutto allo sbocco delle valli.

Le più importanti si trovano sul versante trentino nella valle dei Ronchi, lunga circa 11 km e percorsa dal torrente Ala, e nella Val Bona mentre sugli altri versanti quelle della Val di Illasi e tra Velo e Val di Mazzano sono le più consistenti.

La Val d'Illasi, con i suoi 22 km, separa in due l'altopiano della Lessinia andando a insinuarsi fino nel gruppo del Carega.

La valle risulta assai stretta nelle sue porzioni più settentrionali, facendo registrare poco meno di 200 metri di larghezza a Selva di Progno per poi aprirsi all'altezza di Illasi fino a circa 3 km.

Nei pressi di Giazza si apre una vallata in direzione ovest est, la Val Fraselle percorsa dall'omonimo torrente.

L'ultima grande valle della provincia di Verona è la Val d'Alpone in cui scorre per circa 32 km, il torrente Alpone che, nato dal monte Purga, termina la sua corsa in Adige 7 km dopo aver attraversato San Bonifacio.

Infine, in provincia di Vicenza, la Val del Chiampo si estende per circa 31 km, interamente percorsi dal torrente Chiampo, anch'esso terminante nell'Adige (Fig.3).

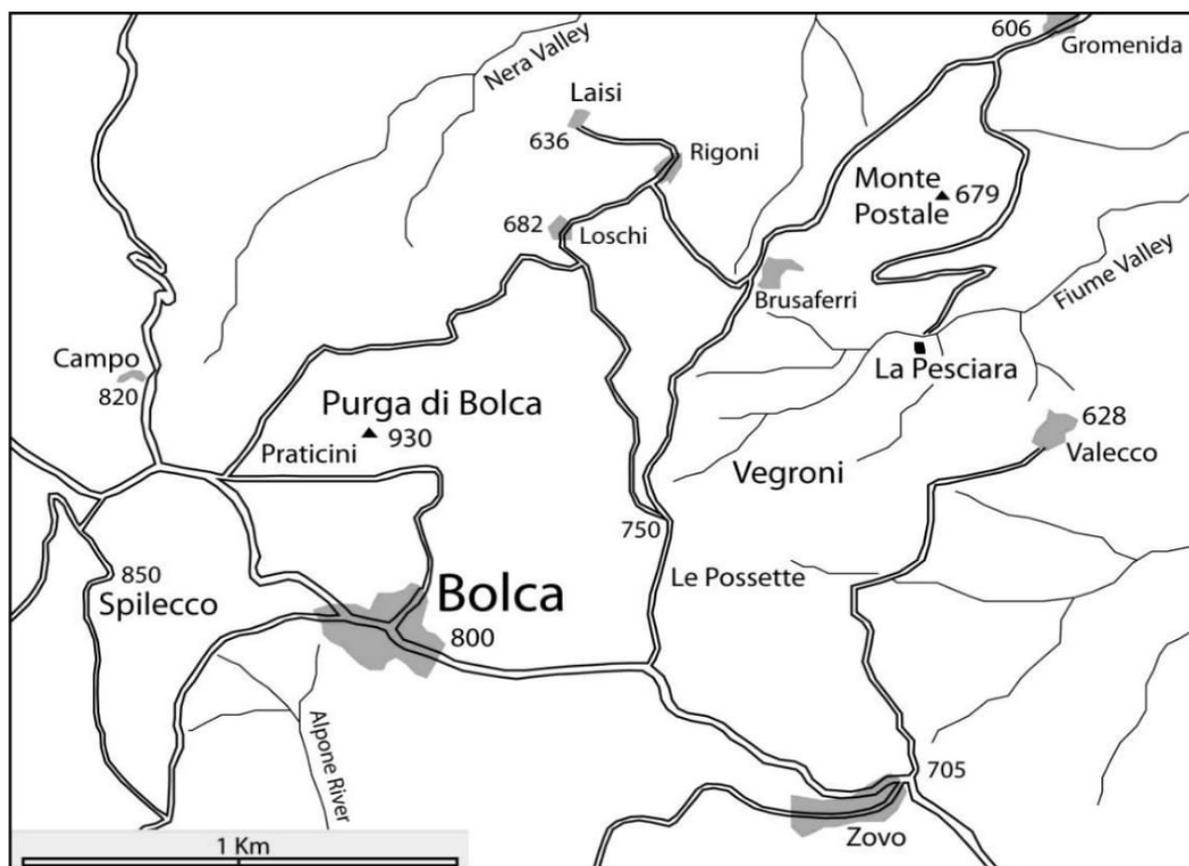


Fig. 3: Ubicazione geografica dei siti fossiliferi principali affioranti nei dintorni di Bolca (Verona) (Da Papazzoni).

## Clima

Climaticamente la Lessina può essere divisa in tre fasce: una temperata sub-continentale che si estende dalle zone pedemontane a circa 700 m, una successiva temperata fresca tra i 700 m e i 1500 m e, infine, una oltre i 1500 m temperata fredda.

Le temperature medie oscillano tra i 5 °C e i 13 °C con una diminuzione media di circa 0,5 °C ogni 100 m di quota.

Il mese più freddo è gennaio, con una media delle minime spesso inferiore a -1 °C, mentre il periodo più caldo è tra luglio e agosto quando le massime arrivano a essere comprese tra i 22 °C e i 29 °C.

L'umidità relativa è tra il 50% e il 70%.

A fondovalle si registrano precipitazioni medie intorno agli 850 mm che crescono sensibilmente in direzione nord.

Il minimo pluviometrico principale coincide con i mesi di gennaio e febbraio, mentre quello secondario tra luglio e settembre, con l'esclusione di agosto quando l'intensa attività convettiva comporta un aumento delle piogge.

I massimi pluviometrici principali si registrano nei mesi di ottobre e novembre, mentre tra aprile e giugno vi è il massimo secondario.

La neve, più frequente nella zona centrale e orientale, si presenta nei mesi invernali tra dicembre e metà febbraio non superando di media gli 80 centimetri.

## Sismicità

La Lessinia si presenta con un livello di sismicità medio.

I fenomeni sismici che comunque si riscontrano non sono ascrivibili a cause vulcaniche ma piuttosto all'avanzamento verso nord della catena appenninica che comporta una compressione e allo scollamento di masse rocciose cristalline.

Pertanto si tratta di terremoti inter-placca superficiali che interessano la fascia rocciosa posta tra i 5 e i 25 km di profondità.

La Val di Illasi, caratterizzata da un sistema di faglie che si estendono in direzione nord e sud, è quella a maggior rischio e che ha fatto registrare diversi eventi tellurici.

Altresì la porzione pedemontana subito a nord della città di Verona è stata, nel corso della storia, protagonista di numerosi terremoti.

#### 4. LE ORIGINI DELLA ZONA

I Monti Lessini sono il risultato dell'attività d'antichi vulcani che sollevarono il fondo del mare decine di milioni d'anni fa, portarono alla superficie materiali basaltici e depositarono considerevoli quantità di tufo; si vennero a creare in tal modo terreni ideali per l'agricoltura, soprattutto per la coltivazione della vite, poiché la conformazione dei suoli ha la capacità di trattenere in buona misura il calore del giorno, e la porosità fa sì che si accumulino le acque piovane, che sono rilasciate all'occorrenza.

Dal punto di vista geologico l'area è composta principalmente da rocce sedimentarie con una limitata presenza di nuclei vulcanici nel settore orientale.

L'intera area, emersa dal mare circa 40 milioni di anni fa, ha subito nel corso del tempo l'azione erosiva dell'acqua, del ghiaccio (al limite nord) e del vento, che hanno perforato le rocce calcaree producendo rilevanti fenomeni carsici.

Sono sicuramente da ricordare, in quanto caratteristiche di gran parte del territorio dei Lessini, le formazioni di Rosso Ammonitico Veronese (Fig.4).



Fig. 4: Una parete di Rosso Ammonitico: calcari marnosi mal stratificati, con tessitura nodulare, caratterizzati generalmente da una notevole frequenza di ammoniti fossili (da wikipedia Rosso Ammonitico Lombardy Domerian lithofacies 2008).

Questa formazione rocciosa, mediamente dura e compatta, composta da calcari e calcari marnosi mal stratificati, è caratterizzata da una notevole presenza di fossili di ammoniti - antichi cefalopodi che popolavano i mari poco profondi e che caratterizzano il periodo di deposito di questa tipologia di roccia (Giurassico medio-superiore) dal colore rosso o rosato dovuto all'ossidazione del ferro presente in essa.

L'abbondanza di fossili marini testimonia la ricca storia geologica del territorio: i ritrovamenti di Bolca sono famosi in tutto il mondo e rendono la Lessinia una zona di particolare pregio anche dal punto di vista paleontologico.

Dal punto di vista della vegetazione, l'altopiano è suddiviso principalmente in due parti: la parte settentrionale (la cosiddetta "Alta Lessinia") è occupata dai pascoli utilizzati per l'alpeggio; essa si presenta priva di copertura arborea, a causa dal processo di disboscamento avvenuto durante la dominazione veneziana dell'area.

La parte meridionale, è invece caratterizzata dalla presenza di estese faggete, talvolta a carattere mesotermo.

In quest'ultimo caso al faggio si associano l'abete bianco e l'abete rosso.

L'altopiano ospita la maggior parte delle specie tipiche della fauna alpina.

Per gli ungulati selvatici sono presenti il capriolo, il camoscio, e il cinghiale; la popolazione di cervo è attualmente in espansione.

Degna di nota è la presenza ormai consolidata dell'istrice, mentre il gallo cedrone raggiunge in quest'area i limiti più meridionali del suo areale di distribuzione.

L'area è di così pregevole valore ambientale da contenere al suo interno tre Siti di Interesse Comunitario (SIC) riconosciuti dalla rete ecologica europea Natura 2000.

## 5. L'EVOLUZIONE GEOLOGICA DI BOLCA

Circa 45-50 milioni di anni fa, l'area di Bolca è stata interessata dalla deposizione di fanghiglie calcaree di mare basso e da un'attività vulcanica più o meno intensa.

Nel settore occidentale e centrale dei Monti Lessini Veronesi l'attività vulcanica ha un'età paleocenica-eocenica mentre, ad oriente (Marostica, Berici ed Euganei) prosegue fino all'Oligocene.

La Valle d'Alpone è caratterizzata da grandi spessori di rocce vulcaniche rispetto a quelle di origine sedimentaria, generalmente rappresentate da calcari di età compresa tra il Cretaceo e l'Eocene.

Le ampie e copiose eruzioni vulcaniche avvenute in questa porzione orientale dei Monti Lessini Veronesi sono documentate dal prevalente affioramento di basalti e di prodotti vulcano-clastici.

Le formazioni carbonatiche marine, unitamente alle rocce vulcaniche, sono state coinvolte in una serie di processi deformativi che spesso rendono molto difficile il riconoscimento e la ricostruzione della serie stratigrafica locale.

Alla fine del Cretaceo superiore i Monti Lessini orientali e, pertanto, tutto il territorio di Bolca, sono stati caratterizzati da una lacuna stratigrafica (assenza di sedimentazione) durata fino al Paleocene superiore quando si è formato il cosiddetto graben o semigraben dell'Alpone-Agno.

Questa ampia depressione risulta delimitata ad Ovest dalla faglia di Castelvero che, insieme ad altre faglie sub-parallele, suddividono l'area in diverse zone, determinando un forte abbassamento di quella orientale.

All'interno di questa depressione si sono depositati materiali vulcanici per uno spessore massimo di circa 400 m e sono stati riconosciuti almeno sette cicli distinti dove l'attività vulcanica si alterna con locali episodi di sedimentazione marina (marne e calcari marnosi) (Fig.5).



Fig. 5: Stratificazione delle rocce calcaree nella depressione di Bolca (foto scattata in loco 2023).

Successivamente, nell'Eocene inferiore e medio, all'interno del graben si sono depositati materiali di natura carbonatica, prevalentemente calcarenitici (Calcari Nummulitici).

Durante uno di questi intervalli a sedimentazione esclusivamente carbonatica si depositarono le fanghiglie calcaree che costituiscono i famosi giacimenti fossiliferi della Pesciara.

L'intensa attività vulcanica che ha caratterizzato l'area di Bolca durante l'Eocene medio-superiore ha profondamente deformato le rocce precedentemente depositate.

È probabile che queste manifestazioni vulcaniche abbiano provocato una serie di estese frane sottomarine che hanno smembrato gli originari calcari fossiliferi nei "blocchi" che oggi rappresentano i rilievi collinari della Pesciara e del Monte Postale.

Il territorio circostante Bolca è caratterizzato dall'abbondanza e dall'estensione di rocce vulcaniche di vario tipo tra cui i basalti.

All'interno di queste rocce si rinvengono numerosi minerali e, in particolare, bellissimi cristalli verdi di olivina.

L'intensa attività vulcanica è avvenuta prevalentemente in ambiente subacqueo.

Solamente nelle ultime fasi l'attività vulcanica diventa subaerea, in seguito all'emersione dovuta all'abbondante produzione di lave ed altre rocce vulcaniche.

Queste descrizioni storiche ben rispecchiano l'antico ambiente in cui si sono formati i maggiori edifici vulcanici subaerei della Valle d'Alpone.

Il Monte Calvarina, insieme al Monte Crocetta e al Monte Duello, formavano, infatti, un maestoso complesso vulcanico attivo che emergeva dall'antico mare della Tetide di circa 40 milioni di anni fa.

Nell'area di Bolca sono noti altri rilievi vulcanici (le cosiddette purghe di Bolca, Vegroni e Durlo), costituiti da rocce che si sono formate tra l'Eocene e l'Oligocene inferiore.

In particolare, i basalti che costituiscono la cima del camino vulcanico della Purga di Bolca sono stati datati a circa 36 milioni di anni fa.

Successivamente, durante l'Oligocene superiore e medio, riprendono le manifestazioni vulcaniche nell'area anche se risultano maggiormente documentate ad Est.

Alla fine del Cenozoico (Pliocene), l'orogenesi alpina determina l'emersione completa del veronese con il sollevamento delle rocce fino a raggiungere e superare l'attuale quota.

Contemporaneamente al sollevamento, l'intero territorio viene sottoposto all'azione degli agenti esogeni (acqua, vento, ghiaccio) che lo modelleranno fino ad assumere l'attuale aspetto.

La valle d'Alpone è ricca di rocce d'origine vulcanica per il cui riconoscimento sommario sono sufficienti alcune semplici osservazioni che si possono fare direttamente sul terreno.

La giacitura, l'estensione, l'aspetto e la tessitura potranno darci importanti informazioni sull'ambiente e sulle modalità di solidificazione.

Possiamo, infatti, distinguere una lava basaltica dai prodotti vulcano-clastici e una vulcanite sottomarina da una subaerea.

Sono dei caratteristici rilievi costituiti da basalti colonnari, residui di antichi camini vulcanici riempiti di lava.

Il piede di questi rilievi è caratterizzato dalla presenza di potenti depositi di blocchi basaltici che si sono staccati dalle pareti del camino e sono rotolati alla base accumulandosi.

## 6. LA COMPOSIZIONE DELLE ROCCE

Nell'area di Bolca, le formazioni affioranti sono il Biancone, la Scaglia Rossa, i Calcari di Spilecco e i Calcari Nummulitici (Fig.6).

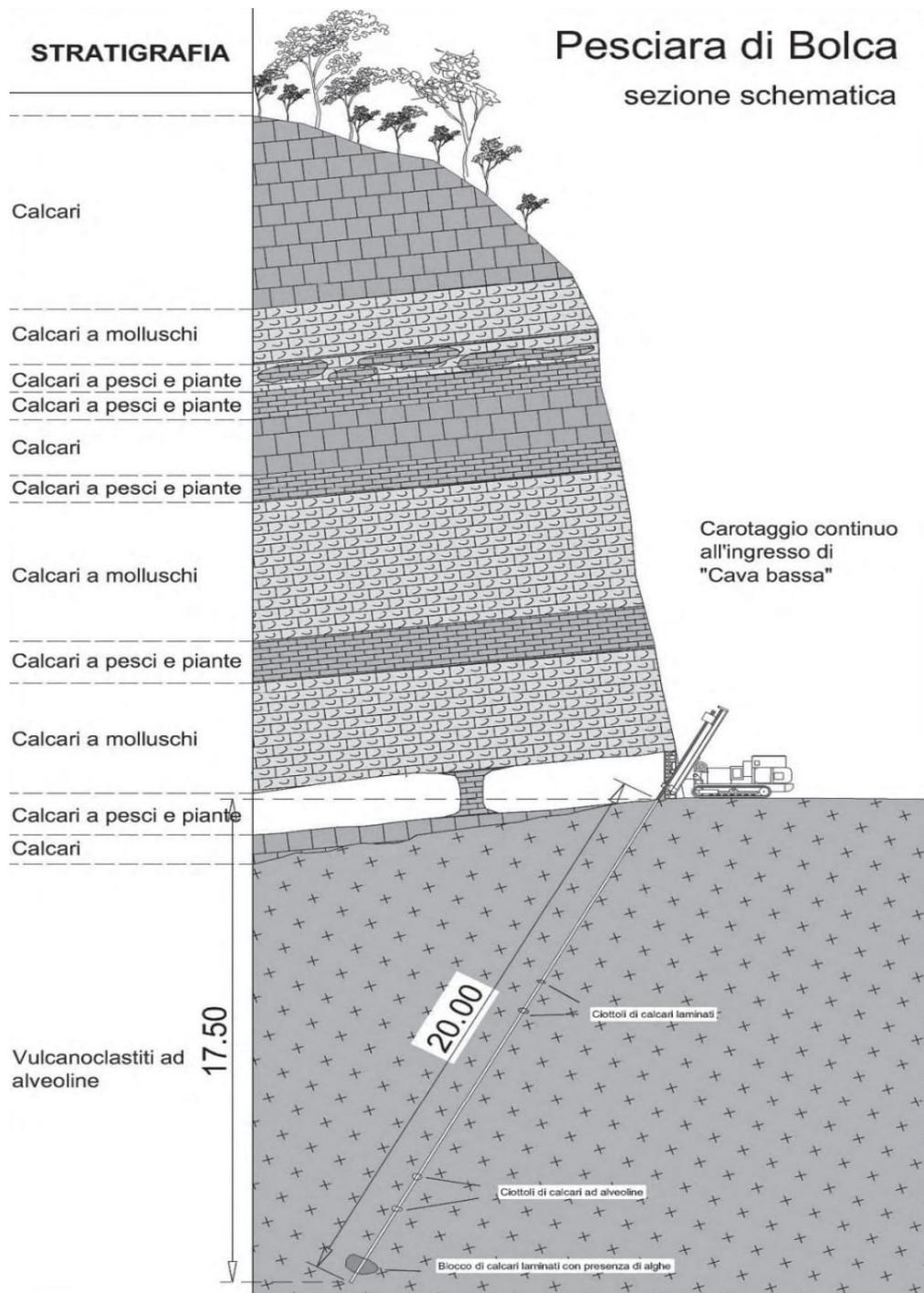


Fig. 6: Stratificazione della Pesciara e della zona interessata al carotaggio (da Zorzin Roberto ResearchGate 2012).

Il biancone: la formazione del Biancone è caratterizzata da calcari dalla granulometria fine e dal colore chiaro (Fig.7).



Fig. 7: Una parete di Biancone o Maiolica: un calcare bianco a grana finissima, deposto tra i 135 e i 90 milioni di anni fa (da G.M.P.E. Le rocce sedimentarie 2005).

Alla base, i calcari sono biancastri, fittamente stratificati, con lenti di selce grigio-gialla e procedendo verso l'alto, diventano grigio-biancastri, ancor più fittamente stratificati, a volte bituminosi, con intercalazioni di marne e lenti di selce grigio-nera.

Il Biancone è la formazione più antica che affiora nell'area di Bolca, è stato rilevato a Monte Pergo e in qualche altro punto isolato e nel settore occidentale, ha subito dolomitizzazione metasomatica tardiva innescata da fenomeni idrotermali legati alla faglia di Castelvero.

Tale dolomitizzazione ha fatto assumere al Biancone un colore grigio-giallastro e la perdita della facies caratteristica, rendendolo di difficile distinzione rispetto alla Scaglia.

La Scaglia Rossa: il termine "scaglia" è dovuto alla tendenza che ha questa roccia a lasciarsi suddividere in frammenti piatti di piccole dimensioni, conseguentemente alla combinazione tra la fitta stratificazione e le numerose fratture tettoniche (Fig.8).



Fig. 8: Una parete di Scaglia Rossa: un calcare argilloso rosso mattone (che si decolora vicino ai corpi vulcanici) in sottili strati, deposto tra i 90 e i 55 milioni di anni fa (da G.M.P.E. Le rocce sedimentarie 2005).

La Formazione della Scaglia Rossa è divisa in due membri da un hard-ground irregolare, con incrostazioni e alterazioni (ossidi di ferro, manganese e fosfato).

Il membro inferiore presenta, dalla base verso l'alto: calcari micritici da rosa a rossi, stratificati e con liste di selce bruna, con abbondante contenuto paleontologico dato da rudiste, ammoniti, inoceramidi ed echinoidi, e soprattutto, globotruncane.

Il membro superiore è formato da calcari biancastri o rosati, più debolmente stratificati dei sottostanti e contenenti numerose globotruncane del Maastrichtiano inferiore e superiore hanno permesso di datare il membro superiore.

La Scaglia Rossa presenta spesso slumpings, che potrebbero essere la testimonianza di modeste frane di origine tettonica e di microtremiti determinati dall'attività vulcanica.

I Calcari di Spilecco: la formazione dei Calcari di Spilecco è costituita da 4 livelli, dalla base verso l'alto: calcari grigio-verdi, finemente brecciati, leggermente sparitici.

I Calcari Nummulitici: il Calcare Nummulitico è un tipo di roccia carbonatica di origine prevalentemente organogena, è caratterizzato dall'abbondante presenza di gusci fossilizzati di nummuliti (Fig.9).



Fig. 9: Un campione di Calcarea nummulitica: un tipo di roccia carbonatica di origine organogena, è caratterizzato dall'abbondante presenza di gusci fossilizzati di nummuliti (da geologia-e-paleontologia-della-toscana/rocce-sedimentarie).

Questi possono essere soggetti a fenomeni diagenetici che li fanno trasformare in calcari dolomitici mediante assorbimento del magnesio dall'acqua marina ove questo elemento è presente.

## 6.1. Rocce vulcaniche

A Bolca, le rocce vulcaniche si dividono in due gruppi: il primo è situato a Nord della Purga di Bolca, ha una potenza di 20 m e sembra appartenere alla fase dell'Eocene inferiore; il secondo comprende i basalti distribuiti su tutto il versante orientale della Purga, sopra ad orizzonti calcarei più recenti e sembra appartenere alla fase eruttiva dell'Eocene medio, riconoscibile in tutti i Lessini. Fu in questo periodo, vicino al limite Luteziano-Bartoniano, che l'attività vulcanica raggiunse la massima intensità e la velocità di sedimentazione delle vulcano-clastiti superò quella della subsidenza consentendo lo sviluppo di un ridge vulcanico.

Questa struttura mostra un'alterazione da weathering diffusa che ne attesta l'emersione per quasi tutto l'Eocene superiore, eccetto episodi locali e temporanei di immersione che hanno condotto alla deposizione del cosiddetto "Orizzonte di Roncà".

## 6.2. Lave a fessurazione colonnare

Si tratta della suddivisione della lava in colonne a sezione poligonale.

È un fenomeno molto particolare e suggestivo che aveva già colpito l'attenzione dei Naturalisti dei primi del Settecento.

Le colonne, generalmente lunghe alcuni metri ma in qualche caso eccezionale superano i dieci metri, risultano parallele le une alle altre oppure sono divergenti (Fig.10).



Fig. 10: Esempio di basalto colonnare in Sardegna (da Vialattea.net 2006).

I lati delle colonne in sezione possono misurare da qualche centimetro ad oltre un metro. Comunemente presentano sezione esagonale, ma sono frequenti anche quelle a sezione pentagonale o con un numero di lati superiore a sei.

L'origine di queste particolari forme si deve al raffreddamento di una colata lavica che determina una più o meno rapida contrazione della massa magmatica: se il raffreddamento avviene molto rapidamente si formano fratturazioni che delimitano colonne di piccolo diametro e viceversa.

A seconda del punto di osservazione le colonne possono apparire come un enorme alveare o come le canne d'organo.

## 7. LE PURGHE LESSINEE

Sono dei caratteristici rilievi costituiti da basalti colonnari, residui di antichi camini vulcanici riempiti di lava (Fig.11).



Fig. 11: Esempio di basalti colonnari presente nel sito Purga di Bolca (dal Portale del museo di fossili di Bolca e della cava della Pesciara 2006).

Il piede di questi rilievi è caratterizzato dalla presenza di potenti depositi di blocchi basaltici che si sono staccati dalle pareti del camino e sono rotolati alla base accumulandosi.

La scarsità di affioramenti rocciosi rende difficile il riconoscimento dei basalti colonnari della Purga di Durlo, mentre presso la chiesetta della Purga di Bolca esiste un potente accumulo di frana costituito da blocchi prismatici di basalto dove si può facilmente individuare qualche bel cristallo verde di olivina.

## 8. MUSEO DEI FOSSILI DI BOLCA

Nel 1971 venne inaugurato a Bolca il “Museo dei Fossili”, un edificio di piccole dimensioni che esponeva i migliori reperti paleontologici suddivisi per giacimento ed affiancati da un dipinto che ricostruiva l’antico ambiente (Fig.12).



Fig. 12: Ingresso del museo dei fossili di Bolca (dal Corriere della Sera 2022).

Si voleva trasmettere un primo messaggio di come doveva essere l’area di Bolca durante l’Eocene, circa 50 milioni di anni fa.

Il percorso didattico inizia con un inquadramento geografico e geologico delle principali località fossilifere della Valle d’Alpone.

La vetrina “I gioielli di Bolca” preannuncia gli stupendi pesci fossili che il visitatore potrà vedere. Proseguendo, vengono presentati i principali giacimenti paleontologici della Valle d’Alpone (Roncà, S. Giovanni Ilarione, Spilecco, Monte Postale) e descritti alcuni campioni di roccia della serie stratigrafica locale con esaurienti notizie sui processi di fossilizzazione e le tecniche di estrazione dei reperti.

Inoltre, attraverso testi, immagini e campioni di rocce viene spiegata/rappresentata la serie stratigrafica della Pesciara.

## 9. LA FOSSILIZZAZIONE

La fossilizzazione è quell'insieme di processi che permettono la conservazione del resto, animale o vegetale, all'interno delle rocce (Fig.13).

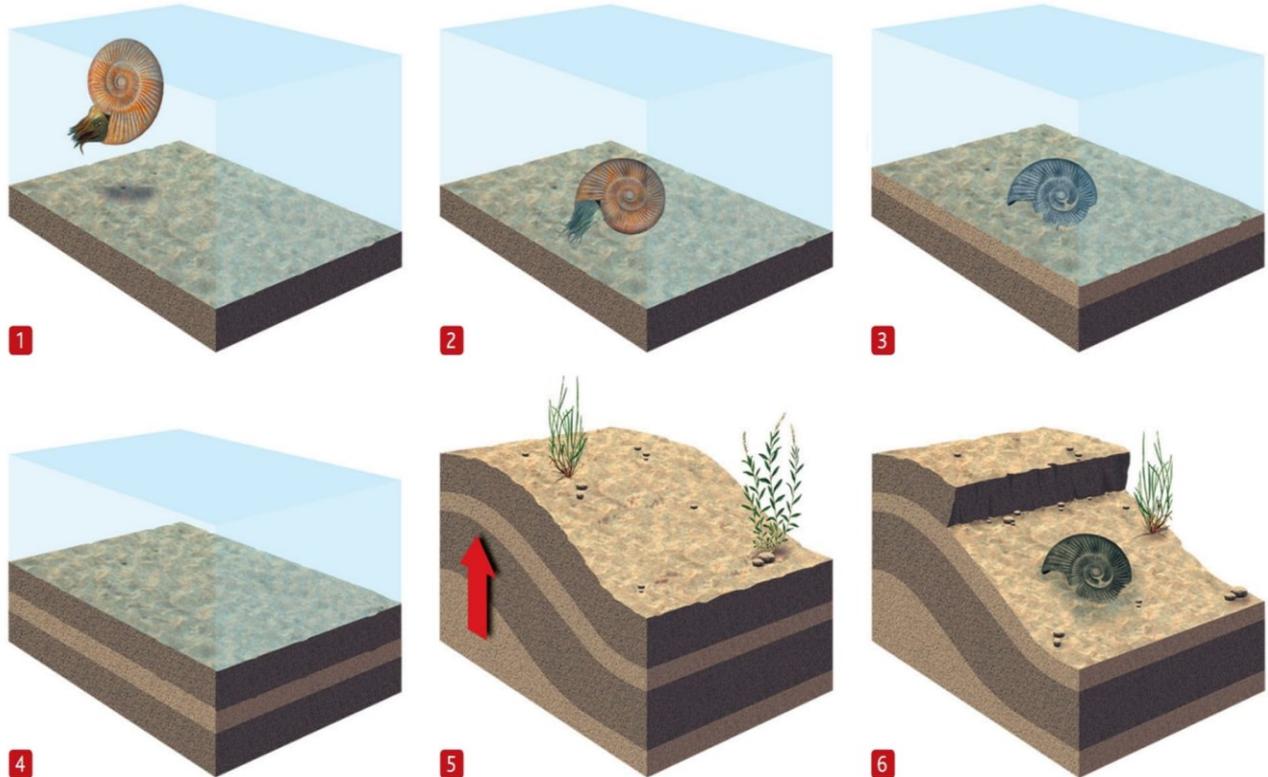


Fig. 13: Un esempio della successione di eventi che portano alla fossilizzazione di un organismo: una volta morto, (1) il cadavere dell'organismo si deposita sul fondo (2), le parti molli si decompongono in breve tempo, mentre il guscio viene lentamente ricoperto dal sedimento (3), col procedere della sedimentazione lo scheletro viene completamente sepolto (4), col tempo la litogenesi trasforma i sedimenti in rocce e l'orogenesi le porta in condizioni di emersione (5), in fine l'erosione mostra il fossile in superficie (6) (da BioPills fossilizzazione 2021 e Wikipedia fossilizzazione 2023).

La fossilizzazione è un processo molto raro e solo una parte molto bassa (circa l'8%) di organismi può fossilizzare.

Perché ciò si verifichi sono necessarie alcune condizioni: composizione degli organismi: le parti molli, costituite da C, H, O, N e P, contenuti nei composti organici come i glucidi, i lipidi e le proteine, sono facilmente soggetti alla decomposizione, mentre più resistente è il carbonio della chitina, cellulosa, lignina, collagene.

Di conseguenza, gli organismi con questo tipo di struttura hanno una bassissima possibilità di conservarsi.

I composti inorganici come ossa, denti, gusci, più duri, resistono per un tempo maggiore.

Il carbonato di calcio, costituisce lo scheletro di alcuni organismi; l'opale, un gel di silice idrata, è il costituente di alcuni protisti; il fosfato di calcio è il componente dello scheletro di alcuni Brachiopodi e dei Vertebrati.

Tutti questi organismi hanno la probabilità del 40% di fossilizzare.

Seppellimento rapido: quanto più rapidamente l'organismo viene sottratto dall'azione degli agenti chimici, fisici e biologici, tanto più ha la possibilità di conservarsi.

La rapida copertura del resto con sedimenti, che nei bacini marini vengono continuamente portati dai fiumi, lo sottrae dai suddetti fenomeni e ha più probabilità di conservarsi, tanto più se i sedimenti sono fini.

Condizioni ambientali: l'ambiente marino è il più favorevole alla fossilizzazione rispetto a quello terrestre, perché la sedimentazione è rapida e costante, mentre la superficie terrestre è prevalentemente sede di erosione.

Granulometria: nella conservazione ha molta influenza anche la granulometria del sedimento: tanto più sono fini le particelle, tanto meglio si conservano i particolari dell'animale.

Infatti, la ghiaia e la sabbia sono molto permeabili e lasciano filtrare l'acqua, mentre l'argilla è impermeabile e permette una migliore conservazione dell'organismo.

La conservazione differenziata dà una visione molto frammentaria della storia dei viventi.

## 9.1. Processi di fossilizzazione

Processi biostratinomici: tra la morte e il seppellimento si ha una serie di processi biostratinomici chimici, fisici e biologici, ad azione distruttiva, comprendenti la necrolisi, la disarticolazione, l'erosione, il trasporto, ecc.

Decomposizione: la decomposizione, o necrolisi, che si verifica sulle parti molli, è operata da organismi necrofagi o da organismi decompositori.

Se la decomposizione avviene in ambiente aerobico si verifica rapidamente, mentre in ambiente anaerobico, poiché non esistono necrofagi, è molto più lenta e ciò permette in alcuni casi la conservazione delle parti molli.

Disarticolazione: i gusci e gli scheletri degli organismi si separano a causa della putrefazione delle parti molli dell'organismo.

Dissoluzione chimica: la distruzione chimica si basa soprattutto sulla dissoluzione delle parti inorganiche, che dipende dalla natura del resto (composizione, dimensioni, porosità, ecc.) e dalle caratteristiche ambientali.

Distruzione biologica: la distruzione biologica può essere operata da moltissimi organismi come batteri e animali predatori, che attaccano principalmente le parti molli, oppure prodotta dalla perforazione di gusci e scheletri ad opera di organismi perforanti quali Briozoi, Vermi, Molluschi, Crostacei, Pesci, ecc ..., o ancora dalla bioerosione di organismi che erodono i resti inorganici.

Distruzione meccanica: la distruzione meccanica influisce notevolmente sulle strutture resistenti e può essere dovuta all'azione delle correnti marine, delle onde e del vento, per cui nel fossile si riconoscono abrasioni, sfaccettature o vere e proprie rotture.

## 9.2. Trasporto

Un fenomeno molto importante è il trasporto post mortem.

L'organismo infatti può essere trasportato anche molto lontano e in un ambiente diverso da quello originario ad opera delle acque dei fiumi e dei torrenti, delle acque di dilavamento, delle correnti marine o del vento.

Gli organismi sessili, cioè quelli che vivono attaccati al substrato, generalmente sono autoctoni. In questo caso possiamo avere la fossilizzazione in posizione di vita, come per esempio le piante della foresta fossile di Dunarobba in Umbria.

Gli organismi liberi, invece, sono più soggetti all'azione di trasporto, per cui i fossili sono alloctoni, con trasporto in senso verticale (un'ammonite che cade lentamente sul fondo) o orizzontale.

Nel trasporto, molto spesso gli organismi subiscono delle alterazioni e si scompongono in vari pezzi: le valve di Lamellibranchi si separano, si staccano gli opercoli delle Ammoniti, si staccano spine e braccia negli Echinodermi, si ha la frammentazione dei pesci per liberazione di gas di putrefazione.

È questa la causa dell'incompletezza, di alcuni ritrovamenti.

Il flusso del mezzo provoca una orientazione delle strutture come ad esempio la deposizione sempre dallo stesso lato delle valve delle conchiglie per opporsi alla corrente.

Questo fatto può essere sfruttato per capire se gli strati sedimentari conservano ancora la deposizione originale o se sono stati rovesciati.

Il trasporto si presenta inoltre selettivo delle varie parti dell'organismo a seconda della loro forma, dimensione e peso.

## Seppellimento

La disgregazione continuerebbe se l'organismo non venisse sottratto agli agenti esterni con il seppellimento.

Si tratta di una fase piuttosto breve che comporta una lenta copertura in caso di normale sedimentazione, oppure può avvenire in modo catastrofico in presenza di una frana, limo alluvionale, mareggiata, cenere vulcanica.

Forme particolari di seppellimento sono l'incrostazione (copertura del resto con carbonato di calcio) e l'inclusione in asfalto o ambra.

## Diagenesi

Dopo il seppellimento inizia la diagenesi che comprende una serie di processi litogenetici che intervengono quando il sedimento si trova sottoposto a condizioni di pressione, temperatura e azione delle acque circolanti diverse da quelle di formazione e che portano alla formazione del fossile.

Tra i processi ricordiamo la ricristallizzazione, in cui la struttura originaria è trasformata e sostituita da cristalli più grandi.

Il fenomeno di ricristallizzazione di uno stesso minerale in un'altra forma, come ad esempio l'aragonite che si trasforma in calcite, prende il nome di epigenesi e porta ad una modificazione del volume anche sensibile.

Con la micritizzazione, il materiale scheletrico si trasforma in un aggregato microcristallino senza alcuna struttura.

Abbiamo inoltre la formazione di concrezioni nodulari calcitiche o di altro minerale che proteggono il reperto; la corrosione per mezzo di acqua acidula e alcalina che scioglie selettivamente gli scheletri; l'impregnazione e l'incrostazione.

Se la roccia subisce una deformazione per cause tettoniche, anche il fossile si modifica.

Possiamo avere deformazioni di tipo plastico senza rotture, che causano problemi nella classificazione dell'organismo e spesso la creazione artificiosa di nuove varietà.

## 10. POSSIBILI CAUSE ALTERNATIVE ALL'ESTINZIONE DEI PESCI

Abbiamo già detto che una delle teorie più plausibili dell'abbondante ritrovamento di resti fossili nella zona, sia quella di un'intensa attività vulcanica del sito, ma potrebbe essere successo ciò che ancora oggi accade nelle lagune tropicali, ossia il fenomeno delle *red water*.

Con il termine *red water* si indica la caratteristica colorazione assunta dalle acque marino-costiere in seguito alla rapida crescita di determinate microalghe fitoplanctoniche generalmente rappresentate da dinoflagellati o diatomee.

La colorazione assunta dalla colonna d'acqua dipende dalla presenza di pigmenti fotosintetici quali la clorofilla e i carotenoidi.

In base alle diverse dimensioni, forma e concentrazione cellulare delle specie coinvolte risulta possibile spiegare la colorazione variabile dal giallo al blu passando per diverse tonalità di rosso (Fig.14).



Fig. 15: Esempio di *red water* in prossimità di una spiaggia (da Manuel Gavini on the blue 2018).

Le *red water* possono verificarsi in modo naturale, quando le condizioni ambientali sono ottimali per la fioritura algale, oppure a causa dell'inquinamento derivato da attività antropica. Solitamente ne derivano conseguenze ecologiche che portano alla morte di organismi marini per via diretta, dalle tossine prodotte da talune microalghe, oppure per via indiretta, in seguito alla carenza di ossigeno dovuta alla decomposizione di tutta la biomassa algale.

Una volta terminato questo evento, l'ossigenazione dell'acqua torna a livelli normali e le lagune si ripopolano.

Un'ulteriore fattore che può aver determinato la massiccia presenza di fossili in questa area è la presenza di deboli correnti, che permettevano il trasporto degli organismi morti verso fondali con acque povere d'ossigeno dove potevano essere ricoperti dalle sottili fanghiglie calcaree senza essere predati da quegli animali che generalmente vivono sui fondali nutrendosi di cadaveri.

Che sia per un motivo o per l'altro non lo sapremo mai con certezza, sta di fatto che gli organismi morti si sono sedimentati sul fondo e fossilizzati per azione del fango.

## 11. LAVORAZIONI E RICERCHE

Fino al primo dopoguerra le ligniti sono state oggetto di estrazione e commercializzate come combustibile.

In particolare, alla fine del mese di agosto 2011, con lo scopo di approfondire le relazioni tra il blocco calcareo della Pesciara e le rocce vulcano-clastiche che lo inglobano, è stato effettuato un carotaggio in roccia dal Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche dell'Università di Modena e Reggio Emilia (Fig.14).



Fig. 14: Campioni delle carote di roccia della Pesciara di Bolca (da Zorzin Roberto ResearchGate 2011).

Il sondaggio ha permesso di individuare che le rocce vulcano-clastiche presenti in superficie, attorno ai calcari fossiliferi continuano per almeno 20 metri al di sotto degli strati calcarei inferiori. Le abbondanti alveoline, sia isolate che entro clasti calcarei inglobati nelle vulcano-clastiti, sono della stessa età (Cuisiano medio) di quelle trovate in posto negli strati calcarei della Pesciara. I dati preliminari hanno suggerito che il materiale vulcanico si sia depositato quasi contemporaneamente alla formazione del giacimento fossilifero. La giacitura, l'estensione, l'aspetto e la tessitura hanno fornito importanti informazioni sull'ambiente e sulle modalità di solidificazione. Si può, infatti, distinguere una lava basaltica dai prodotti vulcano-clastici e una vulcanite sottomarina da una subaerea.

## 12. RISULTATI E ANALISI

I carotaggi e le estrazioni eseguite sono state analizzate ed è risultato che dal tetto alla base sono state individuate le seguenti litologie:

da 0 a 19m: -vulcano-clastiti prevalenti con all'interno rari ciottoli di calcari laminati;

da 19 a 19,5m: -calcari laminati con alghe e gasteropodi;

da 19,5 a 20m: -vulcano-clastiti ricche di alveoline.

Dalle analisi delle rocce che circondano la Pesciara è risultato che il carotaggio ha perforato un'unità vulcano-clastica omogenea.

Analisi paleontologica: dato il contenuto fossilifero visibile già in affioramento, è stato eseguito un campionamento speditivo dalle vulcano-clastiti per determinare l'associazione fossile presente, nonché lo stato di conservazione dei bioclasti.

I campioni sono apparsi macroscopicamente tutti molto simili.

Le alveoline determinate preliminarmente indicano le stesse associazioni riscontrate durante lo studio dei sedimenti calcarei della Pesciara.

Si sono trovate alveoline sia come gusci singoli inglobati nella matrice vulcano-clastica, sia come elementi contenuti all'interno di clasti calcarei, anch'essi a loro volta inglobati nel materiale non carbonatico.

I clasti calcarei sono di diversa natura: alcuni sono calcari micritici omogenei (mudstones) con ostracodi, altri sono calcari con piccoli foraminiferi, alghe e frammenti di coralli.

In qualche caso i clasti non presentano fossili visibili in quanto trasformati in marmo cristallino, per l'azione del calore.

Le alveoline isolate presentano tracce di riscaldamento, ovvero ricristallizzazione con aumento della dimensione dei micro-cristalli che normalmente ne formano la parete e colorazione bruno-rossastra probabilmente generata dall'ossidazione del ferro contenuto nella materia organica.

### 13. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Il sondaggio al di sotto della Pesciara ha per la prima volta permesso di verificare l'estensione degli strati calcarei al di sotto della parte affiorante.

I dati ottenuti indicano che le vulcano-clastiti si estendono effettivamente al di sotto del blocco calcareo visibile, rendendo estremamente improbabile l'esistenza di livelli più antichi di quelli già noti.

Le rocce vulcano-clastiche contengono al loro interno frammenti di roccia calcarea, a volte fortemente alterata dal calore, che verosimilmente rappresentano lembi delle rocce incassanti il camino vulcanico dal quale sono fuoriusciti i prodotti effusivi.

Per la maggior parte questi clasti calcarei sono coevi agli strati della Pesciara, qualcuno è leggermente più antico, ma extra-clasti rimaneggiati di calcari del Cuisiano Inferiore erano stati trovati anche nei livelli calcarei più antichi della Pesciara, altri (i mudstones) sono enigmatici e potrebbero rappresentare facies oggi non più affioranti o completamente erose.

Il fatto che le alveoline isolate, presumibilmente contemporanee alle eruzioni, siano di età cuisiana media, suggerisce che i prodotti piroclastici siano della medesima età e conferma ulteriormente che le eruzioni siano avvenute in ambiente sottomarino.

È possibile che l'attività vulcanica sia in qualche misura responsabile dell'isolamento del blocco calcareo della Pesciara, che potrebbe essere stato staccato dal resto della piattaforma e ricoperto dal materiale vulcano-clastico in un momento di poco successivo alla sua deposizione.

In ogni caso, i dati di questo carotaggio rappresentano una testimonianza unica del sottosuolo al di sotto della Pesciara, base di partenza fondamentale per studiare e capire l'origine geologica di questo giacimento.

Per concludere, personalmente ho trovato questo studio molto interessante poiché la ricerca mi ha permesso di trovare molte informazioni sulla storia passata del territorio di Bolca, sull'origine, l'evoluzione, sui cambiamenti e adattamenti del territorio nelle diverse ere geologiche.

Inoltre è stata interessante la scoperta delle gallerie sotterranee scavate tra gli strati calcarei e i bellissimi ritrovamenti esposti al museo.

A questo si aggiunge anche un personale interesse per la mineralogia e la paleontologia.

## 14. BIBLIOGRAFIA

Barbieri G., Medizza F., 1969, Contributo alla conoscenza geologica della regione di Bolca (Monti Lessini). Memorie degli Istituti di Geologia e Mineralogia dell'Università di Pado.

Barbieri G., De Zanche V., Sedea R., 1991, Vulcanismo Paleogenico ed evoluzione del semigraben Alpone-Chiampo (Monti Lessini). Rend. Soc. Geol.

CARNEVALE G., BANNIKOV A. F., MARRAMÀ G., TYLER J. C., AND ZORZIN R. (2014), The Pesciara-Monte Postale Fossil-Lagerstätte: 2. Fishes and other vertebrates, in PAPAZZONI C. A., GIUSBERTI L., CARNEVALE G., ROGHI, G., BASSI D., e ZORZIN R., eds., The Bolca Fossil-Lagerstätten: a window into the Eocene World: Rendiconti della Società Paleontologica Italiana.

DAL DEGAN D. e BARBIERI S. (2005), Rilievo geologico dell'area di Bolca (Monti Lessini orientali). Bollettino del Museo civico di Storia Naturale di Verona.

MEDIZZA F. (1975), Il nannoplancton calcareo della Pesciara di Bolca (Monti Lessini): Studi e Ricerche sui Giacimenti Terziari di Bolca.

Relazione preliminare sul carotaggio effettuato in prossimità della Pesciara di Bolca - giugno 2015, editors: G. Roghi, L. Giusberti, C. A. Papazzoni, E. Fornaciari, R. Zorzin & R. Deian.

Sito del G.M.P.E.: Gruppo Mineralogico Paleontologico Euganeo; <https://www.gmpe.it/>

Sito del Parco Naturale Regionale della Lessinia; <https://lessiniapark.it/>

Sito del MFB. Portale del museo di fossili di Bolca e della cava della Pesciara; <https://www.museofossilibolca.eu/>

Sito di visitverona.it  
<https://www.visitverona.it/it/esplora/il-richiamo-di-archeologi-e-paleontologi>

Sito di Collezionismo Tuscia  
<https://collezionismotuscia.jimdo.com/geologia-e-paleontologia-della-tuscia/rocce-sedimentarie/>

Sito del Corriere della Sera  
<https://www.corriere.it/bello-italia/notizie/bolca-borgo-fossili-che-stregarono-napoleone-9ad7bb38-ed86-11ec-96f8-928391ee2cf6.shtml>

Sito di BioPills fossilizzazione  
<https://www.biopills.net/fossilizzazione/>

Sito di Unimore  
<http://www.museopaleo.unimore.it/fossil.html>

Sito di Wikipedia  
<https://it.wikipedia.org/wiki/Fossilizzazione>