



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI SCIENZE MM. FF. NN.

Dipartimento di Geoscienze

Direttore Prof. Cristina Stefani

TESI DI LAUREA TRIENNALE IN

GEOLOGIA

**MISURA IN REMOTO DI SERIE  
STRATIGRAFICHE: L'ESEMPIO DELLA GOLA  
DELLA ROSSA (GIURASSICO INFERIORE,  
APPENNINO UMBRO-MARCHIGIANO)**

*Relatore: Dott. Nereo Preto*

*Correlatore: Dott. Luca Penasa*

*Laureando: Paolo Greggio*

ANNO ACCADEMICO 2012 / 2013

# Indice

1. Introduzione	
1.1 Evoluzione tettonico-sedimentaria del bacino umbro-marchigiano	pg. 6-7
1.2 Calcare Massiccio	pg. 7-9
2. Metodi fotogrammetrici	
2.1 Generalità	pg. 10
2.2 Sviluppo del metodo	pg. 10-14
3. Risultati	
3.1 Personalizzazione del metodo e risultato	pg. 15-20
4. Discussioni	
4.1 Cicli sedimentari del Calcare Massiccio	pg. 21
4.2 Considerazioni sulla colonna stratigrafica ricostruita	pg. 22-23
5. Conclusioni	pg. 24
Bibliografia	pg. 26-27

## **Abstract**

The work of this thesis is to analyze a carbonate series of peritidal cycles through a remote sensing approach. The outcrop has been acquired with a laser scanner and through a set of digital photos. From the data we obtained a 3D geometric model from which a stratigraphic column has been extracted. The laser scanner acquisition has been used to scale the photogrammetric model.

## **Riassunto**

In questa tesi si è studiata una successione di cicli peritidali carbonatici ottenuta da un rilievo in remoto di tipo fotogrammetrico. L'affioramento è stato ricostruito da un set di fotografie digitali. Da questi dati è stato ottenuto un modello geometrico che è stato poi scalato con l'ausilio di una acquisizione laser scanner ed è stata ricostruita una colonna stratigrafica con misure reali.

# Introduzione

Il telerilevamento, o Remote Sensing, è una tecnica che permette di ricavare informazioni sull'ambiente e su oggetti posti a distanza, mediante misure di radiazione elettromagnetica che interagiscono con le superfici fisiche di interesse.

Esso utilizza foto o dati numerici rilevati da aerei, satelliti o sonde spaziali per caratterizzare la superficie di un pianeta o di una superficie d'interesse.

Tecniche di telerilevamento molto utilizzate ed efficaci sono ad esempio il rilievo satellitare, l'interferometria radar, il Lidar (telerilevamento ottico), la radiometria o il telerilevamento spaziale.

Le principali applicazioni del telerilevamento in ambito ambientale geologico sono monitoraggio dell'atmosfera, climatologia, glaciologia, geomorfologia, geodesia, stratigrafia, topografia e cartografia, idrologia e idrogeologia. In ambito stratigrafico, tecniche di rilevamento in remoto sono state usate in passato per il rilievo delle geometrie di corpi sedimentari di varie dimensioni per ricostruire serie temporali da usare in ciclostratigrafia, su base laser scanner (ad esempio, Franceschi et al., 2011; Preto et al., 2011). Tecniche di telerilevamento potrebbero rivelarsi utili ad esempio per serie stratigrafiche particolarmente potenti e inaccessibili, pareti verticali molto estese o in cave attive ad accesso ristretto per ragioni di sicurezza. Questa tesi si pone l'obiettivo di mostrare come una serie stratigrafica possa essere ricostruita per via fotogrammetrica, applicando soluzioni specifiche per l'estrazione dell'informazione stratigrafica dal dato fotogrammetrico. La serie stratigrafica che è stata ricostruita fa parte della formazione del "Calcere Massiccio", una formazione carbonatica giurassica degli Appennini Settentrionali. E' stato necessario utilizzare tecniche in remoto perché l'affioramento è situato all'interno in una cava, attualmente attiva e coltivata come *open pit*, quindi la successione stratigrafica risulta affiorante in parete verticale di circa 300 metri e l'accesso alle pareti è vietato (fig.1).



Le tecniche proposte prevedono l'uso di un set di immagini fotografiche appositamente realizzate, da cui la geometria della parete di cava viene ricostruita attraverso un software open-source. L'interpretazione viene fatta direttamente sulle immagini, tracciando i limiti di strato. Questi limiti, posizionati in uno spazio tridimensionale grazie al modello fotogrammetrico, permettono di ricostruire una sezione stratigrafica priva di deformazioni derivanti da effetti prospettici.

*Fig.1\_Panoramica della Cava Gola della Rossa.*

## **1.1 Evoluzione tettonico-sedimentaria del bacino umbro-marchigiano**

La serie stratigrafica oggetto di questo studio è la parete della cava di Gola della Rossa, presso Frasassi, nell'Appennino Umbro-Marchigiano. La parete di cava espone una successione della Formazione del Calcarea Massiccio, di età giurassica. Di seguito viene descritta la collocazione del Calcarea Massiccio nel contesto della successione sedimentaria del Bacino Umbro-Marchigiano. Nel Triassico medio-superiore il bacino umbro-marchigiano rappresentava il margine interno di una grande piattaforma carbonatica, articolato in bacini costieri, lagune ristrette e sabkha, cioè un ambiente evaporitico di acqua bassa

dove si depositava la Formazione delle Anidriti di Burano. La fine del Triassico fu accompagnata da importanti variazioni climatiche per cui successivamente su tutta l'area si instaurava un ambiente marino di acque basse, o piattaforma carbonatica, in cui si deponeva, dal Trias superiore al Lias inferiore, la Formazione del Calcarea Massiccio. All'inizio del Lias medio un'intensa fase tettonica distensiva, connessa con i movimenti iniziali dell'apertura dell'oceano ligure, ha provocato l'annegamento della precedente piattaforma carbonatica. Il dominio umbro-marchigiano e quello laziale-abruzzese vennero così separati da un'importante faglia, la Linea Anzio-Ancona.

Nei due domini, si ebbero differenti tassi di subsidenza che portarono alla formazione del bacino pelagico umbro-marchigiano (R. Colacicchi et al., 1994) e alla persistenza invece di una piattaforma carbonatica nel dominio laziale-abruzzese

## **1.2. Calcarea Massiccio**

Il termine formazionale "Calcarea Massiccio" è usato fin dalla fine del XIX secolo per indicare calcari, posti stratigraficamente alla base delle successioni giurassiche (dall'Hettangiano fino al Sinemuriano inferiore in Toscana), dell'Appennino centro-settentrionale. Il Calcarea Massiccio è costituito da banchi calcarei biancastri di spessore metrico, che conferiscono a questa formazione l'aspetto massivo che ne ha originato il nome e che la differenzia dalle altre formazioni giurassiche, tutte fittamente stratificate. Le bancate sono potenti da 1 a 10 metri (Marino et al., 2004), le litologie prevalenti sono grainstone con oncoidi e peloidi. Il suo spessore è difficilmente valutabile perché, almeno nell'Appennino Umbro-Marchigiano, la sua base affiora raramente, comunque si stima un valore massimo di 700-800 m e un minimo di 150 m. La formazione descritta si trovava in ambiente di piattaforma carbonatica (Verri et al., 1883). La formazione al Calcarea Massiccio poggia sulle Anidriti di Burano ed è

sovrastata con limiti netti dalla Corniola nelle successioni bacinali, e dal “gruppo del Bugarone” nelle successioni di alto strutturale. In entrambi i casi il limite è caratterizzato dal passaggio da facies di piattaforma massiva a facies pelagiche con stratificazione netta. L’ambiente deposizionale del Calcare Massiccio può essere confrontato (fig.2) con quello attuale dell’arcipelago delle Bahamas (Moretti et al., 2007). Questo presenta ampie lagune carbonatiche di acqua molto bassa, circa 10 m, piane tidali protette ed aree marginali con barre oolitiche e bioclastiche, localmente con reefs a coralli e alghe.



*fig.2\_Confronto tra l’ambiente deposizionale del Calcare Massiccio nel Giurassico, oggi rappresentato nelle Bahamas, e come si presenta oggi.*



Il Calcare Massiccio si depose in una piattaforma carbonatica di acqua bassa in condizioni variabili da subtidale a inter-sopratidale, ed è organizzato in cicli sedimentari plurimetrici formati da un’unità massiva inferiore, ovvero la parte subtidale di alta o di bassa energia, seguita da un’unità sopratidale a lamine stromatolitiche (Colacicchi et al., (1970); Passeri et al., (1970); Piali et al., (1970).

Le facies subtidali di alta energia sono rappresentate da banchi massivi costituiti da granuli carbonatici di taglia variabile da arenitica a ruditica, con matrice da assente a scarsa; i granuli sono di varia natura e possono essere formati da ooidi, da peloidi, da oncoidi oltre che da bioclasti. Tra i fossili si osservano: *Palaeodasycladus mediterraneus*, *Thaumatoporella parvovesiculifera*, *Cayeuxia*, *Solenoporaceae*, *Aeolisaccus sp.*, *Nubeculariidae*, *Glomospira sp.*, *Ammobaculites spp.*, *Lagenidae*, *Valvulinidae*, *Ophthalmididae*, *Trochamminidae*, *Trocholina sp.*, *Ostracodi*, *Coralli*, *Gasteropodi*, *Echinodermi* e *Brachiopodi* (Marino et al., 2004).

Le facies subtidali di bassa energia sono invece dominate dalla presenza di micrite con un variabile contenuto di granuli.

Le facies intertidali e sopratidali contengono strutture sedimentarie quali lamine stromatolitiche con fenestrae tabulari, deposte in ambiente di piana tidale, o banchi di grainstone con piccole cavità globose riempite da calcite spatica di ambiente di spiaggia (Ciarapica et al., 1994).

Le facies sopratidali comprendono anche banchi di calcare a grana fine, di colore rosato o giallastro, contenente pisoidi di forma da sferoidale a subpoligonale. Il Calcare Massiccio dell'area umbro-marchigiana è stato suddiviso in più unità litostratigrafiche di rango inferiore: "Calcare Massiccio A", "Calcare Massiccio B", "Calcare Massiccio C" (Centamore et al., 1971). Il Calcare Massiccio affiorante a Cava Gola della Rossa appartiene al membro "A".

## 2. Metodi fotogrammetrici

### 2.1. Generalità

Il rilievo fotogrammetrico rappresenta uno strumento di acquisizione di dati spaziali tra i più affidabili e immediati. Essa costituisce una procedura di rilevamento in remoto, che sfrutta fotogrammi dell'area d'interesse. Il processo fotogrammetrico tradizionale è riassumibile in 3 principali fasi: 1-Acquisizione delle immagini, ovvero set di fotografie precedentemente scattate; 2-Orientamento delle immagini e ricostruzione del modello tridimensionale attraverso software specifici; 3-Restituzione, cioè informazioni numeriche e grafiche dell'oggetto, ovvero caratteristiche dimensionali.

### 2.2. Sviluppo del metodo

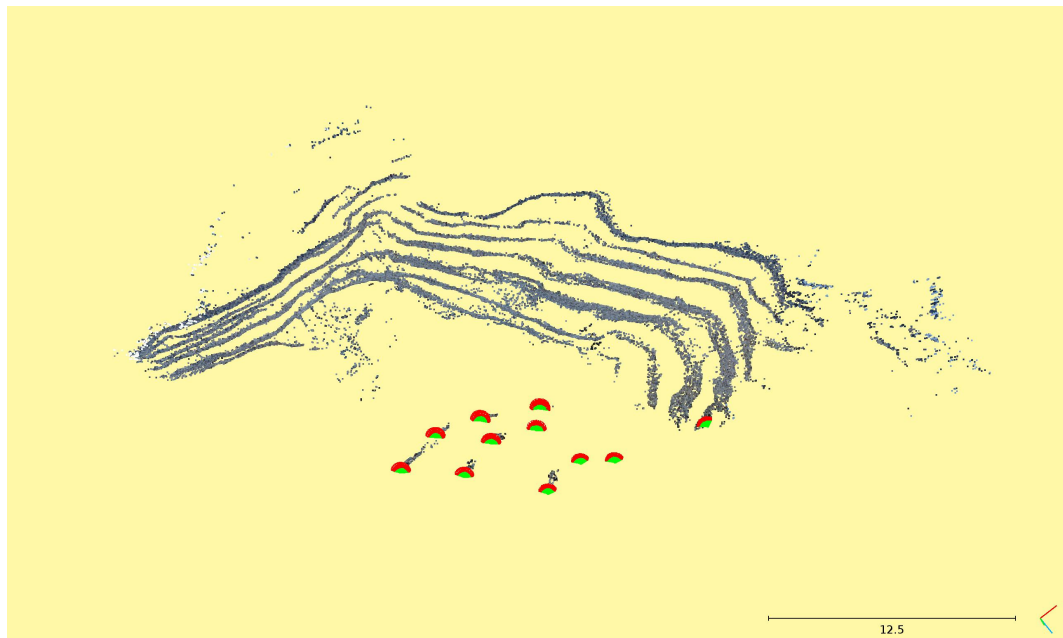
Nel caso in esame in questa tesi, si è utilizzato un metodo di fotogrammetria digitale. La ricostruzione del modello è avvenuta in maniera analitica, ovvero modellazione matematica supportata dall'elaborazione digitale. Il prodotto di questo procedimento fotogrammetrico è un modello numerico tridimensionale dell'affioramento. Su questo modello si è poi misurata una serie stratigrafica che non è affetta da deformazioni prospettiche.



*Fig.3 Immagine delle attività di campagna, durante le riprese fotografiche del fronte di cava.*

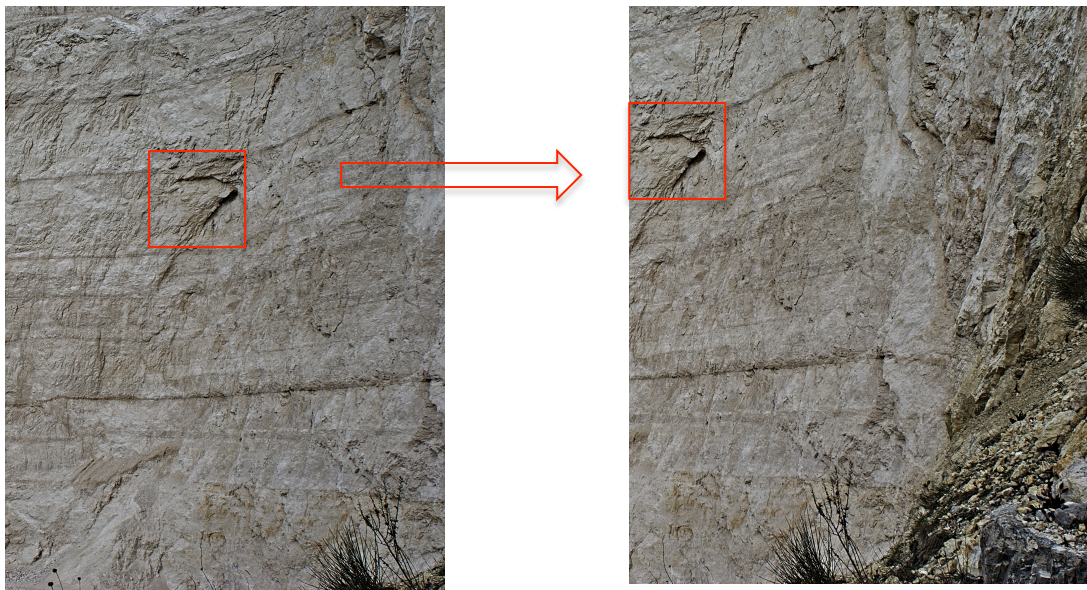
Il lavoro svolto comporta una prima fase di campagna e una seconda fase di elaborazione dati.

La fase di campagna è consistita nello scattare una serie di foto che riprendessero l'intera cava (fig.3), ed in una scansione laser dell'affioramento. Le foto sono state scattate con fotocamere digitali Nikon A200 e Nikon D3100, utilizzando 4 diversi obiettivi con lunghezze focali di 15 mm, 28 mm, 70 mm, 300 mm), per poter avere a disposizione immagini che ritraevano zone più estese ma con una risoluzione non ottimale, e foto più dettagliate e precise sebbene raffigurative di piccole aree. Sono state scelte delle stazioni di ripresa (fig.4) a diversi livelli della cava per minimizzare la distorsione prospettica, e per ogni stazione sono state scattate foto della cava con ogni obiettivo; gli scatti sono stati eseguiti da sinistra a destra, mantenendo una sovrapposizione di almeno il 50% tra uno scatto e quello successivo.



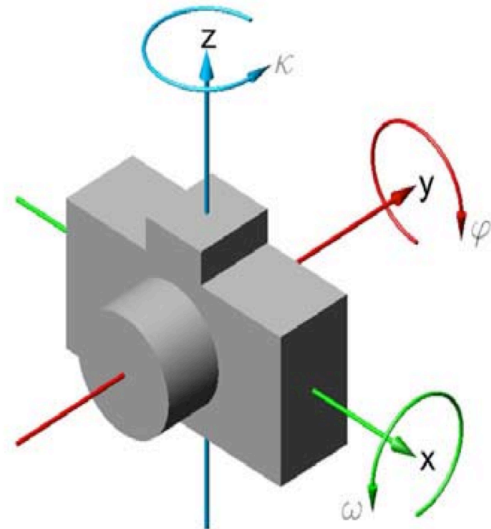
*Fig.4\_Posizioni delle stazioni di ripresa rispetto alla cava.*

Le foto sono state scattate in formato “RAW”. Sono state poi selezionate circa 200 foto che sono state sviluppate digitalmente attraverso il software “Darktable”, esportandole in formato “JPEG”. Le foto così elaborate sono state utilizzate per produrre il modello fotogrammetrico con Micmac. Micmac è un software open-source sviluppato dall’IGN (Insitut Géographique National) francese, ed è nato come calcolatore automatico di corrispondenza tra immagini simili per un utilizzo di mapping cartografico. La costruzione del modello tridimensionale attraverso Micmac, può essere suddivisa in 3 principali fasi: 1 - Ricerca dei punti omologhi su coppie di fotogrammi adiacenti. I punti omologhi sono le diverse rappresentazioni, nei vari fotogrammi, del medesimo punto fisico; questi punti vengono riconosciuti dal programma in modo automatico e validati dall'utente (fig.5).



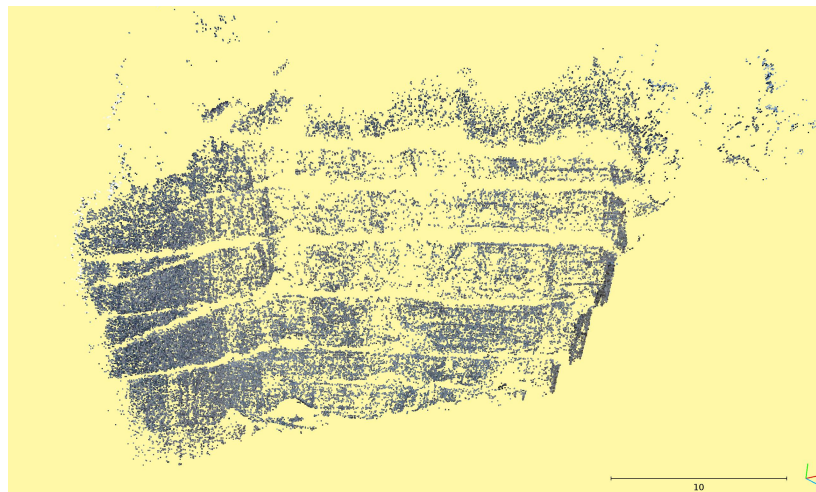
*Fig.5\_Punti omologhi.*

2- I punti omologhi vengono impiegati per risolvere le orientazioni interne ed esterne delle camere. Per orientazione interna si intende un set di parametri che descrivono il sistema ottico della fotocamera: la lunghezza focale, il punto principale, e i coefficienti di distorsione dell'ottica. I parametri esterni descrivono l'orientazione della fotocamera al momento dello scatto e sono perciò matrici di rototraslazione per ogni scatto (fig.6).



*Fig.6\_Rototraslazioni delle camere per la risoluzione dei parametri esterni.*

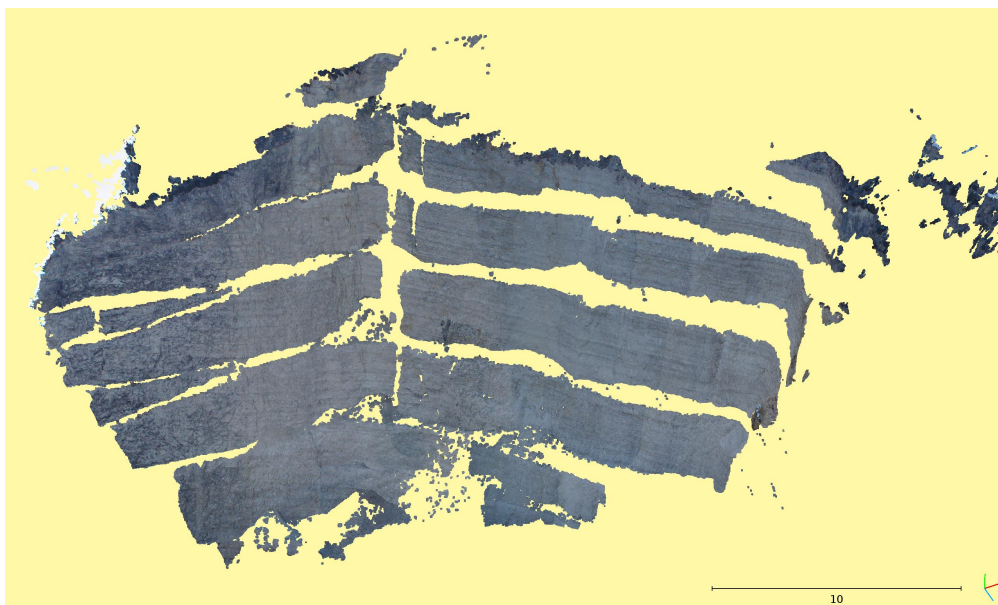
Al termine dell'operazione, viene calcolata la posizione nello spazio di ogni punto omologo, componendo così una nuvola di punti "sparsa" (fig.7).



*Fig.7\_Nuvola sparsa creata da Micmac.*

3 – Ricostruzione del modello: per ogni immagine viene prodotta una "nuvola densa". Durante questa fase il software utilizza i parametri interni ed esterni risolti

precedentemente per realizzare una mappa di profondità, basata sulla ricostruzione dei raggi che congiungono la fotocamera ad ognuno dei pixel dell'immagine.



*Fig.8\_Nuvola densa: questo è il modello tridimensionale della cava.*

## 3. Risultati

### 3.1. Personalizzazione del metodo e risultato

Il risultato finale di questa tesi è la costruzione di una colonna stratigrafica, con misure reali, di una porzione della cava di Gola della Rossa. Tale misura è impossibile con metodi tradizionali perché la parte di cava è inaccessibile. Si è scelto perciò un approccio in remoto, attraverso fotogrammetria, costruendo un modello tridimensionale dell'affioramento, scrivendo un'apposita

funzione del software fotogrammetrico impiegato (Micmac) per ricavarne una colonna stratigrafica.

Il "Calcare Massiccio" della cava di Gola della Rossa presenta un'evidente stratificazione costituita da porzioni di colore biancastro e di colore più scuro (fig.9). Da osservazioni di una porzione rappresentativa della cava, si è inferito che le porzioni scure rappresentano facies inter-sopratidali, mentre quelle chiare sono bancate di calcari di ambiente

subtidale (tesi Greggio e Rocca). La distinzione degli strati sulla parte di cava si è basata su questa differenza

cromatica.

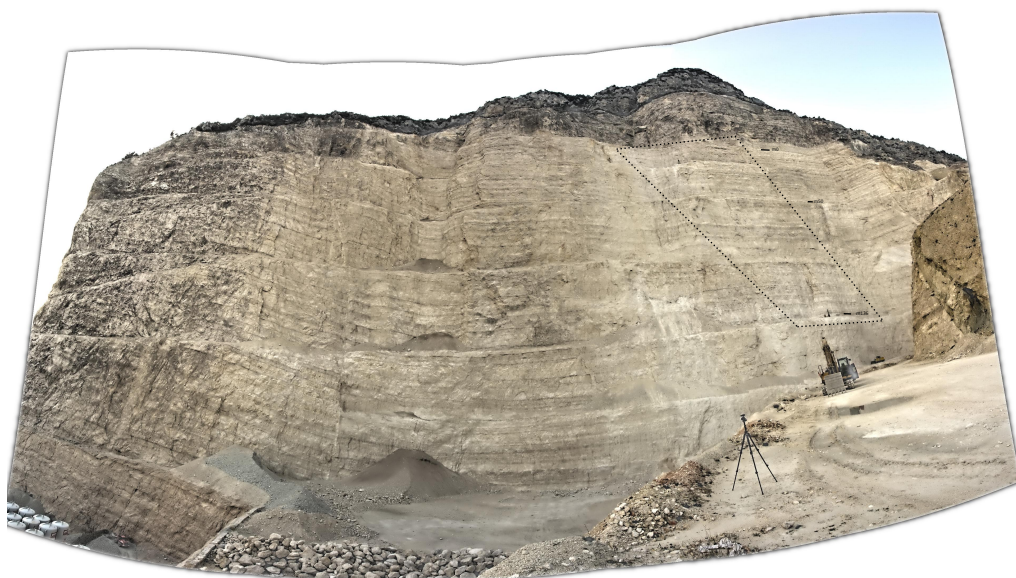
Con un'apposita funzione sviluppata per Micmac si sono tracciati manualmente questi i piani corrispondenti a un cambio di colore direttamente sul modello tridimensionale della parete di cava, e poi ne è stata ricavata una colonna



Fig.9\_Calcare Massiccio: si nota una marcata stratificazione caratterizzata da porzioni più chiare (sub-intratidali) e porzioni più scure (sopratidali).

stratigrafica.

Per ottenere la colonna stratigrafica si è seguita la seguente procedura:  
1 - Selezione di una immagine bidimensionale rappresentativa: osservando a grande scala la cava oggetto di studio, è stata scelta l'area della parete meglio esposta (fig.10).



*Fig.10\_Foto panoramica della cava con un riquadro nella porzione oggetto di studio.*

E' stata quindi selezionata la foto con maggior risoluzione e contrasto che ritrae questa porzione di cava (fig.11).



*Fig.11\_Foto selezionata per realizzare la colonna stratigrafica.*

2 - Ottimizzazione del fotogramma: per facilitare il riconoscimento dei limiti di strato, è stato aumentato il microcontrasto del fotogramma (fig.12).



*Fig.12\_Foto precedentemente selezionata ed opportunamente modificata: è stato aumentato il contrasto.*

3 - Suddivisione stratigrafica: in questa fase sono state tracciate delle polilinee che rappresentano i cambi di colore lungo la stratigrafia (fig.13). Questa procedura è stata eseguita con “Inkscape”, un programma di grafica vettoriale. Le polilinee così tracciate separano porzioni della serie, interpretate come

subtidali (chiare) da porzioni probabilmente sopratidali (scure).



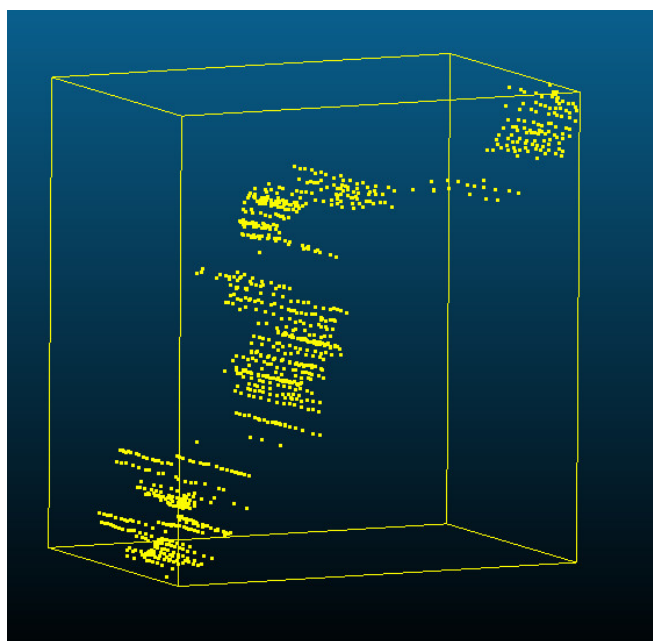
*Fig.13\_Polilinee tracciate sulla foto modificata.*

4 - Codifica degli strati: ogni polilinea è stata classificata con un codice. I codici indicano se lo strato sopra alla polilinea è chiaro o scuro. I codici scelti sono pertanto “lit:b” o “lit:w”; “lit” significa litologia, “b” corrisponde a black e “w” corrisponde a white.

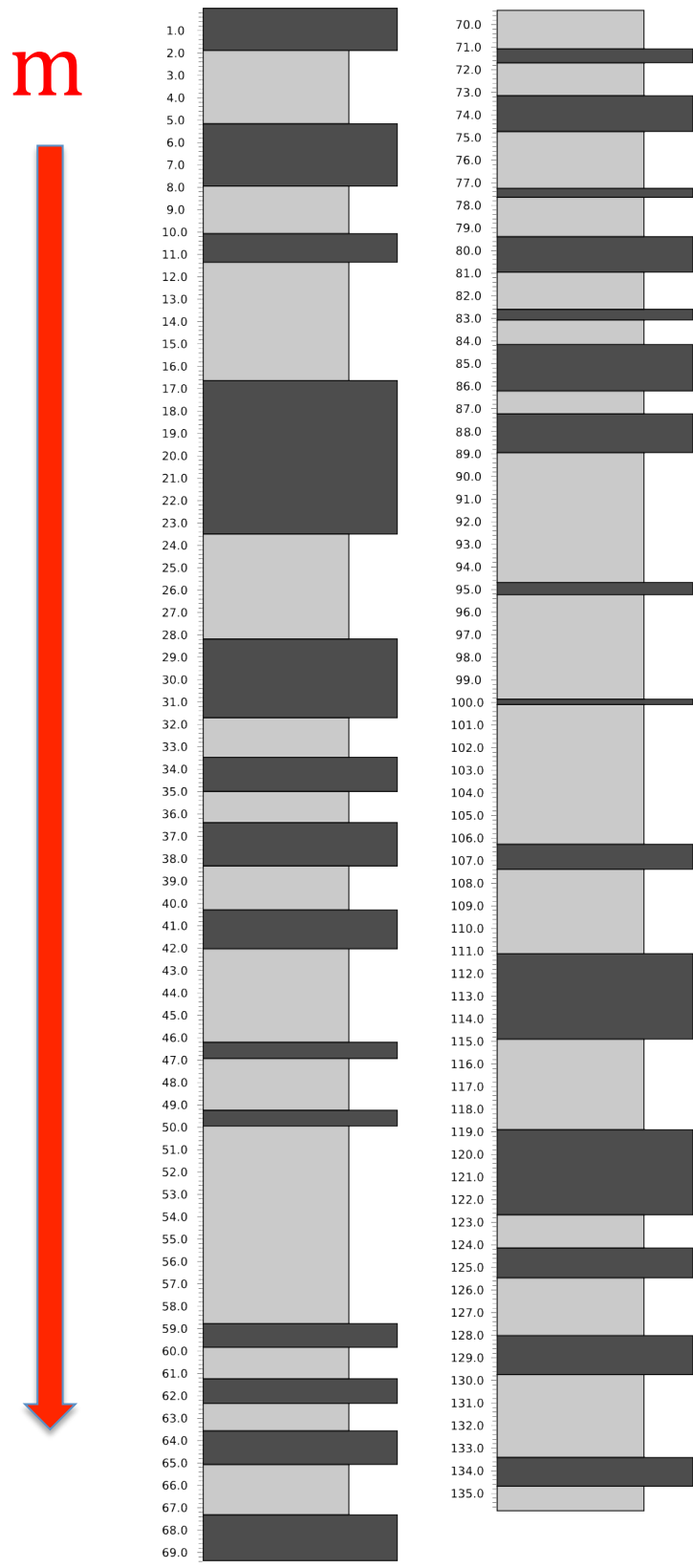
Per ognuna delle polilinee così tracciate, attraverso Micmac:

- sono state ricavate le coordinate immagine per ogni immagine importata su “Inkscape”;
- sono state ricavate le coordinate nello spazio tridimensionale per ogni punto della polilinea;
- sono stati tracciati i limiti litologici nel modello tridimensionale (fig.14);

-dai limiti di strato riportati nel modello tridimensionale, si è calcolata una colonna stratigrafica con un programma appositamente scritto in “Python” (fig.15).



*Fig.14\_Punti che rappresentano i limiti di strato nel modello tridimensionale.*



*Fig.15\_Colonna stratigrafica ricostruita.*

## 4. Discussioni

### *4.1 Cicli sedimentari del Calcare Massiccio*

Nella colonna stratigrafica sopra riportata, si osserva che la successione è organizzata in cicli sedimentari, in quanto strati chiari e strati scuri si alternano in modo regolare. Questa ciclicità è tipica del Calcare Massiccio. La Formazione del Calcare Massiccio si è deposta, dall'Hettangiano fino al Pleisbachiano, in un ambiente di piattaforma carbonatica (Verri et al., 1883), rappresentato da ampie lagune di acqua bassa, piane tidali e barre oolitiche nelle porzioni più marginali. Le facies di laguna, subtidali, e quelle di piana tidale e sopratidale sono organizzate in cicli sedimentari asimmetrici regressivi (cicli peritidali) che corrispondono ad una coppia di strati chiaro e scuro identificati in questa tesi. Il tetto di ogni strato scuro, costituito da facies sopratidali, coincide con un limite di ciclo.

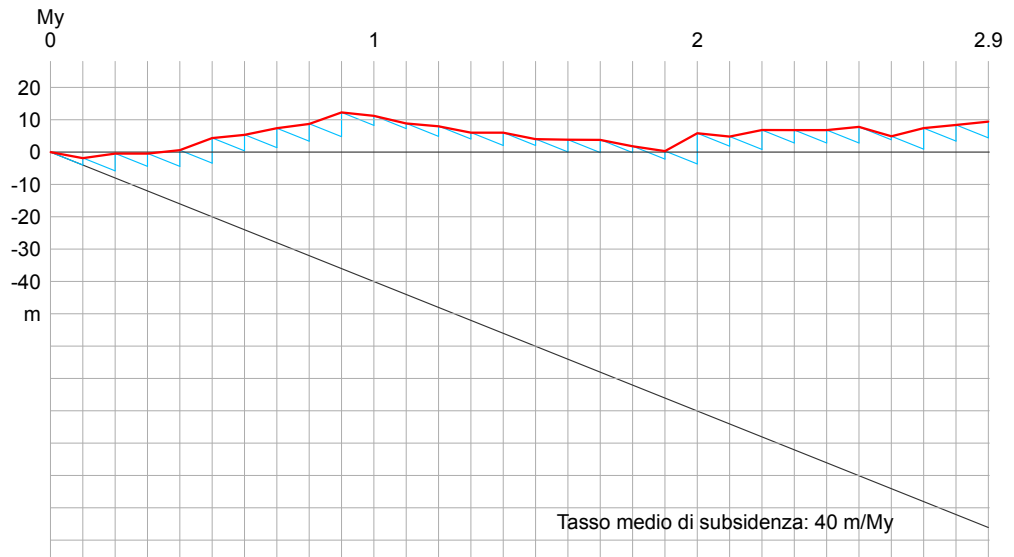
Spesso, questi strati scuri si riconoscono in fotografia, oltre che per il colore, per la presenza di laminazione e di strutture a “teepee”. Laminazione stromatolitica e “teepee” (fig.16) sono strutture tipiche delle piane sopratidali in condizioni di clima arido (Assereto e Kendall, 1977; Demicco e Hardie, 1994).



*Fig.16 \_Teepee: si notano di colore scuro queste strutture arcuate indice di emersione.*

#### ***4.2. Considerazioni sulla colonna stratigrafica ricostruita***

Noto il tasso di sedimentazione del Calcarea Massiccio, è possibile ricavare la durata media dei cicli sedimentari. La formazione del Calcarea Massiccio si è deposita in circa 20 My (Centamore et al.; 1971), per uno spessore di circa 800m. Il tasso di sedimentazione di questa Formazione risulta pertanto di circa 40 m/My. La colonna stratigrafica misurata per questa tesi ha uno spessore di 135 metri e contiene 29 cicli sedimentari. Date le nostre assunzioni sul tasso di sedimentazione, il tempo intercorso durante la deposizione della serie misurata risulterebbe di circa 3,3 My, pertanto il tempo rappresentato da ognuno dei cicli sedimentari sarebbe di circa 115 Ky. Questo valore cade nella banda della eccentricità breve (95-125Ky). Questa è ovviamente una stima preliminare e che va considerata con estrema prudenza. Tra le fonti di incertezza, la stessa colonna stratigrafica potrebbe contenere errori nella identificazione dei cicli. Alcuni di questi risultano di spessore doppio (10 m) rispetto alla media (5 m), e ciò può essere spiegato dal mancato riconoscimento di un limite di ciclo. Dai dati a disposizione è stato ricavato un “Fischer plot”. Il Fischer plot (fig.17) è una rappresentazione grafica di una successione di cicli peritidali che può, sotto alcune assunzioni, essere interpretato come curva eustatica. Le principali assunzioni per la costruzione di un Fischer plot sono che durata dei cicli peritidali e tasso di subsidenza siano costanti.



*Fig.17\_Fischer plot.*

## **5 Conclusioni**

In questa tesi si è studiata una successione di cicli peritidali carbonatici ottenuta da un rilievo in remoto di tipo fotogrammetrico. L'affioramento è stato scansionato con un laser scanner terrestre e ricostruito da un set di fotografie digitali. Da questi dati è stato ottenuto un modello geometrico tridimensionale su cui sono stati identificati 29 cicli sedimentari. Il processo per ottenere questi risultati si è dimostrato complesso e dispendioso in termini di tempo. Tali limitazioni potranno forse essere superate dalla scrittura di un software integrato che permetta di realizzare tutti i passaggi di questo processo in un unico ambiente. Tale strumento sarebbe di sicura utilità, visto che condizioni di inaccessibilità di aree oggetto di rilevamento sono molto frequenti.

## **Ringraziamenti:**

Osservatorio geologico di Coldigioco

Dott. Alessandro Montanari

Dott. Nereo Preto

Dott. Luca Penasa

Dott. Giovanni Gattolin

## Bibliografia

- M. Franceschi, N. Preto (2011); “Terrestrial laser scanner imaging reveals astronomical forcing in the Early Cretaceous of the Tethys realm”, *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 305, pp 359-370.
- R. Colacicchi (1994); “le successioni pelagiche del giurassico”, 15 itinerari Appennino Umbro Marchigiano, BE-MA Editrice, Milano.
- M. Marino (2004); Multidisciplinary analysis of the geological record of a carbonate platform drowning: the Calcarea Massiccio-Corniola boundary in the Lower Jurassic of the Umbria-Marche-Sabina Apennines (Central Italy), tesi di Dottorato in Scienze della Terra, XVI ciclo, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”: pp. 129, Roma.
- Verri (1883); “Appunti sul bacino del Cascio e del Topino”, *Boll. Soc. Geol. It.*, 2: 108-125, Roma.
- E. Moretti (2007); “Calcarea Massiccio nella Gola del Furlo”, *La Valle del Metauro*.
- R. Colacicchi, L. Passeri, G. Pialli (1970); “Nuovi dati sul Giurese umbro-marchigiano ed ipotesi per un suo inquadramento regionale” *Mem. Soc. Geol. It.*, 9: 839-874, 1 fig., 1 tav., Pisa.
- G. Ciarapica (1994); “Le successioni di piattaforma del trias superiore e del lias inferiore”, 15 itinerari Appennino Umbro Marchigiano, pp.27, BE-MA Editrice, Milano.
- E. Centamore, M. Chiocchini, G. Deiana, A. Micarelli, U. Pieruccini (1971); “Contributo alla conoscenza del Giurassico dell’Appennino Umbro-Marchigiano” *Studi Geol. Camerti*, 1: 7-89, 7

figg., 45 tavv., 2 allegati, Camerino.

- L. Passeri, F. Venturi (2005); “Timing and cause of drowning of the Calcare Massiccio platform in Northern Apennines”, *Boll. Soc. Geol. It.*, 124 (1): 247-258, 11 figg., Roma.
- R. Assereto, C. G. st C. Kendall (1977); “Nature, origin and classification of peritidal tepee structures and related breccias”, *Sedimentology*, vol.24, pp. 153-210

