

# **GEOLOGIA DELLE CHIESE RUPESTRI DEL TIGRAI**

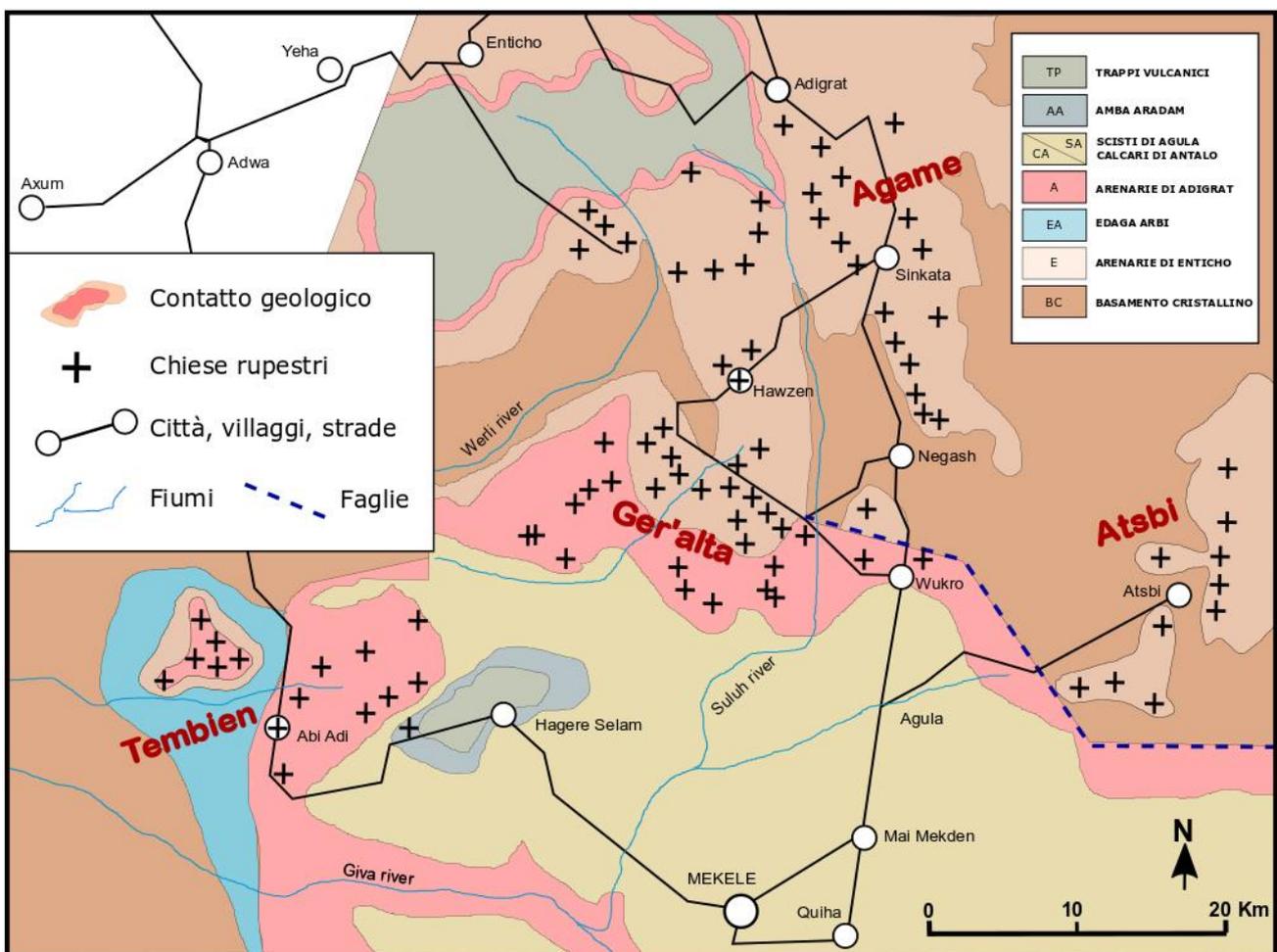
(confronti con le chiese ipogee di Lalibela e le steli monolitiche di Axum)

Luca Lupi

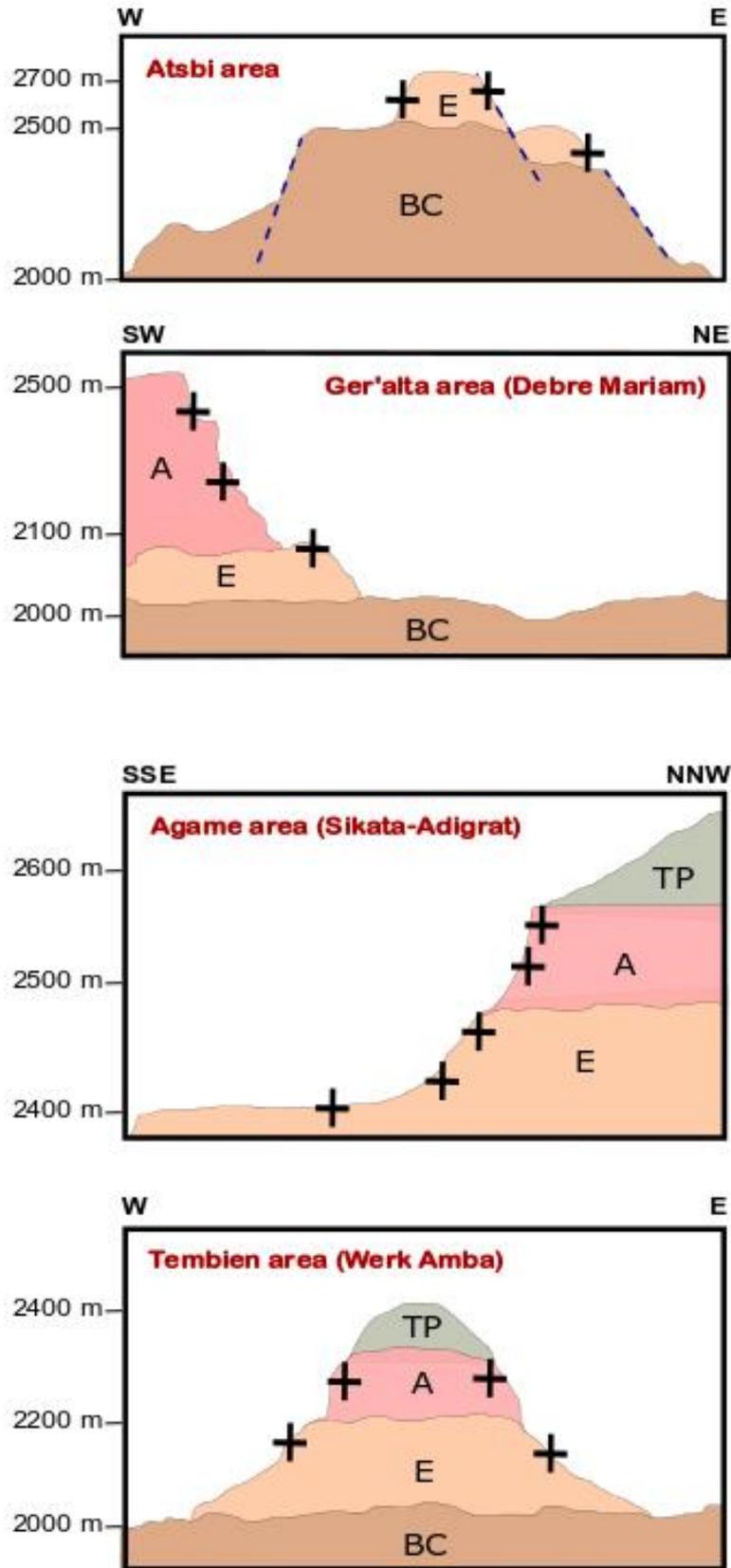


# GEOLOGIA DELLE CHIESE RUPESTRI DEL TIGRAI

L'Etiopia è dotata di molte chiese scavate nella roccia, con il più grande gruppo nel Tigray centrale e orientale. Il Tigray è situato nella porzione settentrionale dell'altopiano etiopico e una sua caratteristica distintiva sono le chiese rupestri scavate nelle rocce. La regione ospita 121 chiese scavate nella roccia, che si ritiene rappresentino il più grande gruppo unico di architettura scavata nella roccia del mondo. Ottanta di queste chiese risalgono dal 5° al 14° secolo d.C. Queste chiese possono essere divise in quattro zone: **Atsbi, Ger'alta, Agame e Tembien** (Fig.1), con chiese scavate nella roccia di diverse età, dimensioni e storie. Tuttavia, hanno una cosa in comune: sono tutte scolpite nell'arenaria e non in altre rocce comunque presenti nell'area (Fig.2). La realizzazione di queste meraviglie è dovuta alla tenacia dei tigrini ma soprattutto alla generosità della natura che ha plasmato la geomorfologia questa regione. Occorre conoscere la geologia della zona per capire come si è formato questo particolare ambiente che ha permesso la realizzazione delle chiese rupestri. Il risultato dei processi di frammentazione del supercontinente **Pangea** e successivamente, per quel che riguarda l'Africa, del **Gondwana** (Triassico 225 milioni di anni fa) hanno portato nel succedersi delle Ere geologiche all'attuale "temporanea" disposizione dei continenti. Il processo continua inarrestabile.



**Figura 1.** Carta geologica semplificata del Tigray centrale e orientale con posizionate le posizioni delle varie chiese rupestri. Dalla carta si apprezza bene il fatto che le chiese sono state tutte scavate nelle arenarie di Adigrat e in quelle di Enticho (Carta disegnata da L. Lupi, 2020, [www.dancalia.it](http://www.dancalia.it)).



**Figura 2.** Nella pagina successiva. Sezioni schematiche delle 4 aree di chiese rupestri del Tigray considerate nell'articolo e nella carta geologica di Figura 1. BC) Basamento Cristallino, E) Arenarie di Enticho, A) Arenarie di Adigrat, TP) Trappi vulcanici (disegnata da L. Lupi, 2020, [www.dancalia.it](http://www.dancalia.it)).

PERIODO (ERA)	ETÀ (Ma)	UNITÀ GEOLOGICA	TIPOLOGIA DI ROCCIA
<b>OLOCENE - PLEISTOCENE</b> (Quaternario)	Presente  - 2.58 Ma	<b>DEPOSITI ALLUVIONALI</b>	Limo, sabbia, ghiaia
<b>NEOGENE</b> (Cenozoico 65.05 – 2.58 Ma)	- 23.03 Ma	<b>DOLERITE DI MACALLÈ</b> ( <i>Mekele Dolerite</i> )	Intrusioni di rocce femiche subvulcaniche (Dicchi, Sills e batoliti di piccole dimensioni) attraverso le altre rocce
<b>PALEOGENE</b> (Cenozoico 65.05 – 2.58 Ma)	- 65.05 Ma	<b>TRAPPI VULCANICI</b> ( <i>Trap Volcanics</i> )	Enormi colate laviche di Basalti, Trachiti e Basaniti (Oligocene-Eocene) che da 45 a 25 Ma hanno coperto l'altopiano etiopico e tutte le formazioni precedenti
<b>GIURASSICO</b> (Mesozoico 251- 65.5 Ma)	- 145 Ma	<b>AMBA ARADAM</b> ( <i>Ambaradam Formation</i> )	Formazione composta da Arenaria fluviale e scisti, compatta e variegata (arenaria superiore)
		<b>ARGILLITI DI AGULA</b> ( <i>Agula Shale</i> )	marna e scisto con calcare nero minore e sottili letti di gesso e dolerite
		<b>CALCARI DI ANTALO</b> ( <i>Antalo Limestone</i> )	calcare, marna, scisto, intercalazione di gesso, in aree fossilifere
		<b>ARENARIE DI ADIGRAT</b> ( <i>Adigrat Sandstone</i> )	arenaria da fine a grossa, stratificazione incrociata, siltiti, arenaria calcarea minore, limo ferruginoso e argilla (arenaria inferiore)
<b>ORDOVICIANO</b> (Paleozoico 542 – 252 Ma)	- 443.8	<b>EDAGA ARBI</b> ( <i>Edaga Arbi Glacials</i> )	tilliti (sedimenti morenici depositi da un ghiacciaio) con grossi massi granitici e siltiti
	- 485,4	<b>ARENARIE DI ENTICHO</b> ( <i>Enticho Sandstone</i> )	arenaria calcarea con lenti di conglomerati e tilliti, con fossili
<b>PRE CAMBRIANO</b> (542 Ma – 4.6 miliardi di anni fa)		<b>BASAMENTO CRISTALLINO</b>	Rocce vulcaniche e sedimentarie che poi erose e metamorfosate hanno formato marmi, gneiss, quarziti, ardesie etc..

**Figura 3. Tabella** scala geologica delle successioni di sequenze geologiche che caratterizzano le rocce dell'altopiano etiopico e della regione del Tigray con evidenziati i colori riportati sulla carta e sulle sezioni geologiche dove sono indicate posizioni delle chiese rupestri (disegnata da L. Lupi, 2020, [www.dancalia.it](http://www.dancalia.it)).

Nel **Corno d’Africa**, la porzione nord dell’Africa Orientale (comprendente l’areale di Etiopia, Eritrea, Gibuti, Somalia), si concentra la tettonica più attiva dell’intero sistema come risultato dell’allontanamento in direzione Nord Est – Sud Ovest della placca araba rispetto a quella africana. Questi movimenti delle placche sono iniziati circa 30/25 milioni di anni fa (Oligocene).

La regione del **Tigrai** è inserita in questo importante complesso quadro geo-tettonico e il suo territorio non è altro che il risultato delle successive deposizioni di enormi strati di rocce di varia natura che testimoniano i vari avvenimenti succedutisi fino ad oggi. La geologia di questa regione etiopica è ben conosciuta soprattutto a partire dai primi contributi di scienziati italiani come Giotto Dainelli e Olinto Marinelli (missione Geologica del 1904-05 e altre negli anni ‘40) poi Giovanni Merla e Enzo Minucci missione geologica nel Tigrai del 1938) e negli anni ‘70 Bruno Zanettin e molti altri che tra i primi studiarono le sequenze geologiche e attribuirono nomi ad esse.

Qui di seguito sono descritte le formazioni geologiche del Tigrai, in ordine cronologico, dalla più bassa e antica fino a quella più giovane posizionata in alto (rappresentate **in tabella di Fig. 3**).

Alla base delle successioni di tutto l’altopiano etiopico, troviamo formazioni antichissime, quelle del **Basamento PreCambriano** (formatesi ai tempi della Pangea e del Gondwana o **Basamento Cristallino**, prima di 600 milioni di anni fa), essenzialmente rocce vulcaniche e sedimentarie che poi erose e metamorfosate hanno formato gneiss, quarziti, ardesie, marmi, etc. Le rocce del basamento sono state intensamente piegate e fratturate prima della deposizione delle serie posteriori.

Dopo lunghi periodi di glaciazione del Precambriano il ghiaccio iniziò a sciogliersi e il livello del mare prese a salire. Allora, durante il *Paleozoico* e il *Mesozoico*, fu depositata una fitta sequenza di sedimenti continentali e poi marini, che si depositarono sopra il basamento cristallino precambriano e che rappresentano i differenti strati di rocce nei quali sono state scavate le chiese rupestri del Tigrai. Tutto questo fu poi seguito da eventi compressivi (terminati nel Periodo del Paleogene, da 65 a 23 Ma) che innalzarono le montagne e dall’erosione degli agenti atmosferici che modellarono il territorio.

La successione sedimentaria inizia con rocce di età *paleozoica*, e più precisamente del periodo *Ordoviciano* (485,4-483,8 Ma), con la sequenza deposizionale delle **Arenarie di Enticho** (*Enticho Sandstone formation*) diffusa dal nord-est del Tigrai fino centro-sud dell’Eritrea con uno spessore fino a 150 metri (**Fig.4**). Si tratta di arenarie calcaree ricche in quarzo a grana grossa deposte in mari poco profondi che circondavano lo scudo di ghiaccio del Gondwana settentrionale, ricche in fossili marini e spore di piante primitive. È in questa formazione del Paleozoico che sono scavate la gran parte delle chiese rupestri di Atsbi e Sinkata (A. Enticho), e anche alcune chiese del Geralta.

Nello stesso periodo si depone anche la formazione di **Edaga Arbi** (*Edaga Arbi Glacials formation*) costituita da sedimenti morenici, detti *tilliti*, deposti dalla fusione dei ghiacciai che raggiungono spessori da 150 a 180 metri. Queste rocce sedimentarie affiorano in un’area circolare intorno alla città di Macallè con un raggio tra 40 e 50 km, una delle rare località al mondo dove si possono osservare questi i depositi paleozoici glaciali e fluvio-glaciali.

All’inizio del *Triassico* (nell’Era *Mesozoica*), il supercontinente Gondwana iniziò di nuovo a dividersi, dando origine a una seconda fase di eventi di *rift* (Wolela, 2008), cioè della frammentazione della crosta terrestre superficiale ed il successivo allontanamento reciproco delle varie porzioni a causa della spinta distensiva dei moti convettivi del Mantello.



**Figura 4.** Massiccio del Ger'Alta (fotografato dal Ger'alta lodge) formato dalle Arenarie di Enticho, a sud-ovest di Hauzien (Hawzen), dove si trovano molte chiese rupestri che possono essere raggiunte arrampicandosi solo con delle corde.

La fase continentale passata, che durò quasi tutta l'era paleozoica, con la deposizione delle due formazioni citate, aveva creato una grande pianura. Successivamente, nel periodo *Giurassico* (201-145 Ma), con una trasgressione marina dovuta alla subsidenza del Corno d'Africa, si formò un'ambiente costiero con depositi alluvionali e sedimenti costieri sabbiosi che si deposero al di sopra di questa pianura formata da depositi continentali e triassici (Blanford, 1869). Tutte queste formazioni sono conosciute come le **Sequenze sedimentarie del Mesozoico** e sono formate da 4 unità geologiche.

La prima sequenza sedimentaria del Giurassico (sempre Era *Mesozoica*) è quella costituita dalla formazione **dell'Arenarie di Adigrat** (*Adigrat Sandstone formation*) a grana media, con granelli di sabbia arrotondati e ben ordinata, caratterizzata da una vasta gamma di colori rossastri e divisa in tre parti (**Fig.5**): una parte inferiore molto friabile e contenente strati argillosi, una parte intermedia più dura che forma spesso pareti rocciose verticali di colore da bianco a rosso scuro, e una parte superiore, sabbiosa, di colore bianco. Gli strati sono da 10 a 30 m di spessore e presentano "**stratificazione incrociata**". Lo spessore totale della formazione è compreso tra 300 e 600 m (Tesfamichael et al., 2010). Gran parte della formazione di Adigrat è stata depositata in un mare poco profondo come testimoniato dalla presenza di fossili tipici delle acque salmastre e dell'ambiente marino poco profondo (bivalvi, foraminiferi e addirittura coccodrilli marini), e in parte depositata in ambiente continentale. Ed è proprio in questa formazione di Adigrat che è iniziato il processo di erosione e modellazione delle montagne del Tigray che ha portato all'attuale conformazione. Una gran parte delle chiese rupestri de Tigray sono scavate nell'Arenarie di Adigrat soprattutto quelle della porzione meridionale del Ger'alta, e dell'area del Tembien (Kola Tembien e Dogu'a Tembien, etc.): ad esempio la chiesa di *Abraha-Atsebaha* (**Fig. 6, 7 e 8**); quella di *Gebre Mikael* (**Fig. 9,10**) e quella di *Wukro Cherkos* (**Fig.11,12**).



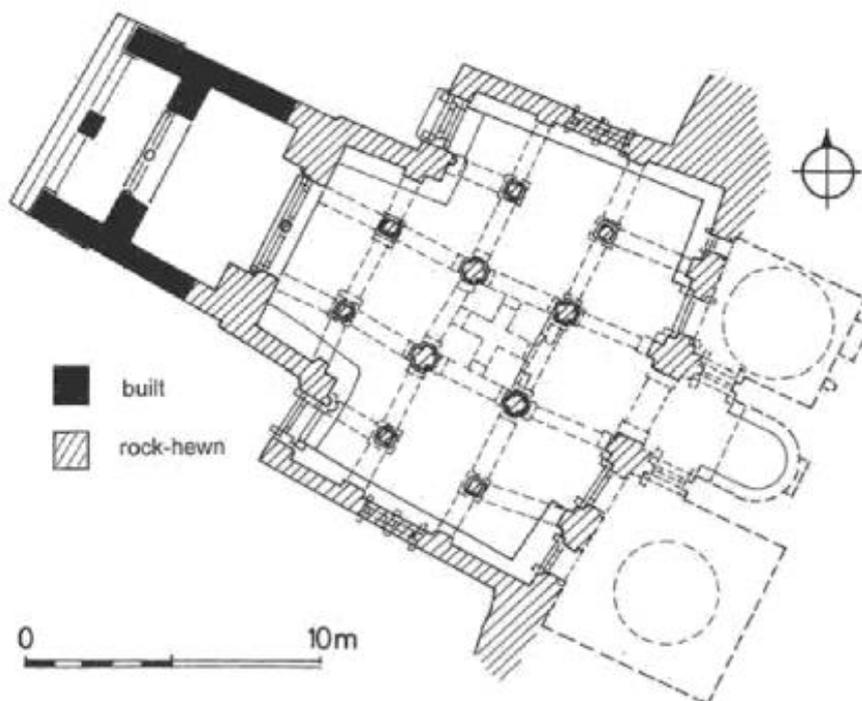
**Figura 5.** Arenarie di Adigrat che affiorano nei dintorni della chiesa di Abraha-Atsebaha.

**Figura 6.** In alto tra le rocce, col muro esterno colorato di bianco, la chiesa rupestre di Abraha-Atsbeha scolpita nelle Arenarie di Adigrat che rappresentano la formazione principale dell'area di Ger'alta.





**Figura 7 e 8.** Sopra Vista laterale dell'ingresso della chiesa rupestre di Abraha-Atsbeha e delle rocce arenarie nelle quali è scavato l'interno. Sotto disegno della pianta (da David W. Phillipson in *The Oxford Handbook of African Archaeology*, 2013).

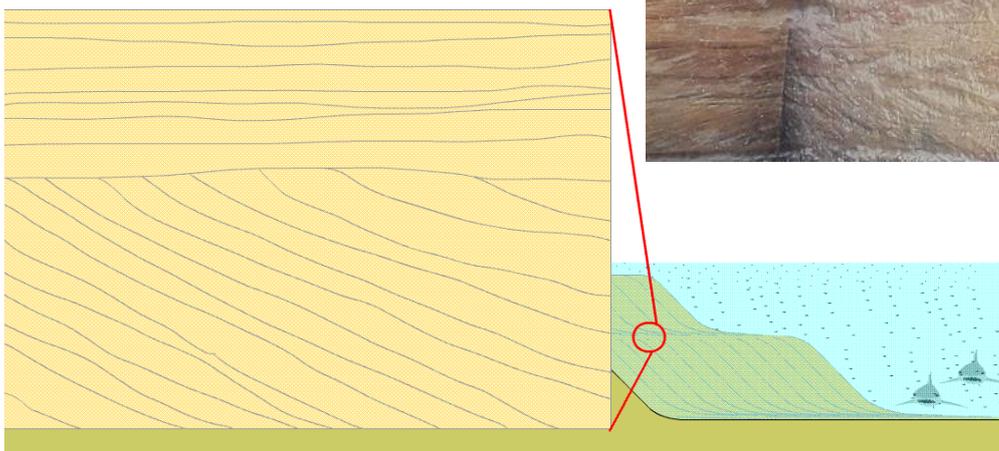
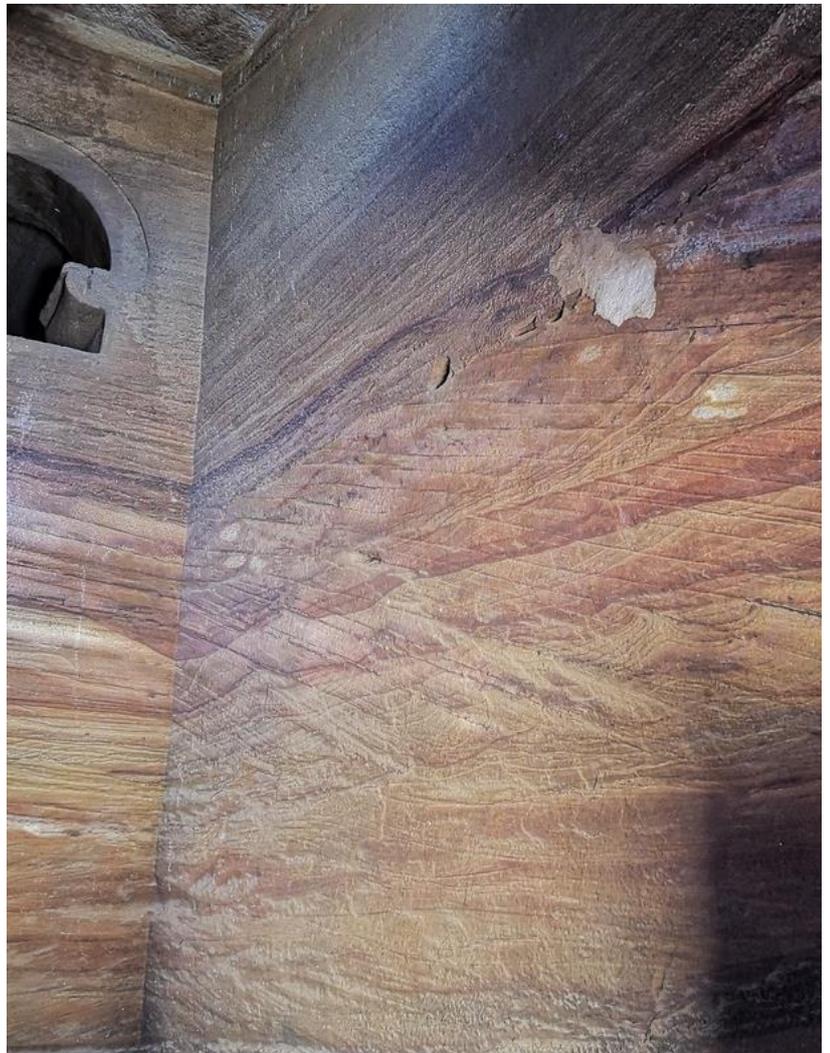




**Figura 9.** Vista frontale dell'ingresso della chiesa rupestre di Gebre Mikael a 16 km da Macallè. Sul lato destro del fronte si possono notare le stratificazioni incrociate delle Arenarie di Adigrat.

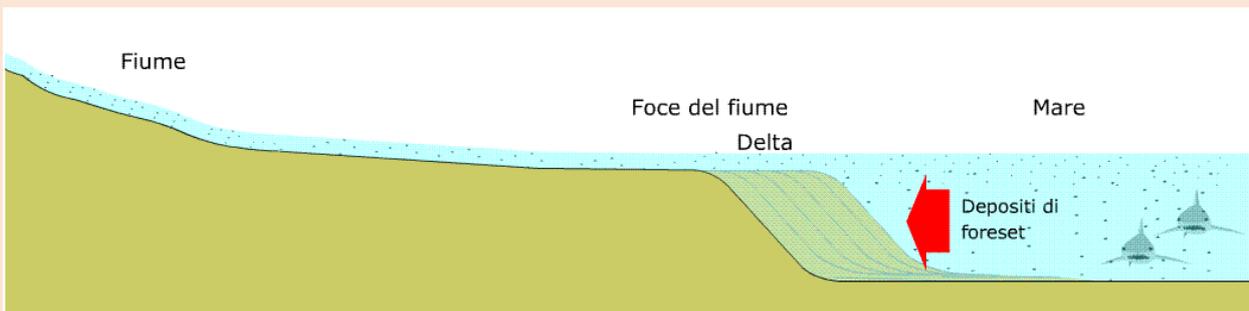
**Figura 10.** Particolare delle mura interne della chiesa di Gebre Mikael che permette di apprezzare delle "stratificazioni incrociate" e la composizione a grana grossa delle Arenarie di Adigrat. Sotto si vedono benissimo le lamine inclinate (foreset) di una deposizione più antica lungo gli strati della scarpata fluviale. Sopra le lamine orizzontali (bottomset) di una deposizione più recente avvenuta oltre la scarpata del delta fluviale arretrata rispetto a quella dell'evento deposizionale precedente.

Sotto: figura schematica delle stratificazioni incrociate tipiche che si trovano nella formazione dell'Arenarie di Adigrat e ben evidenti all'interno delle mura della chiesa di Gebre Mikael.

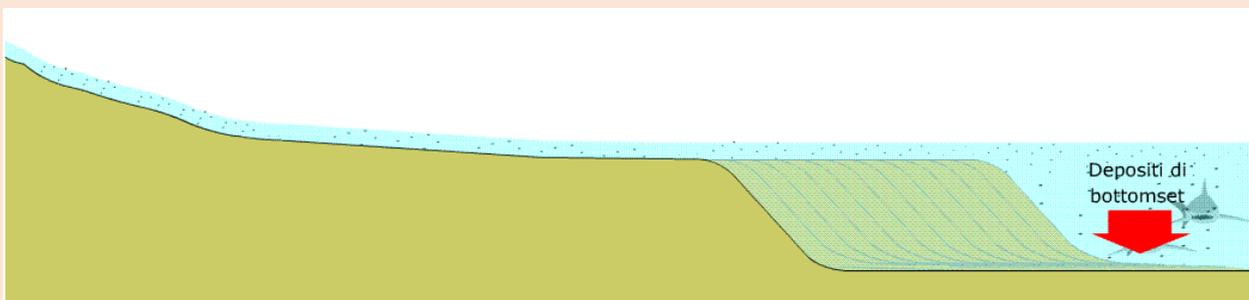


## Stratificazione incrociata

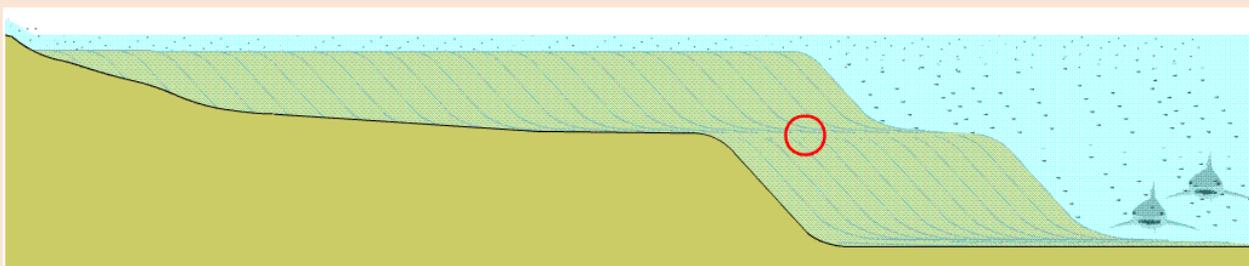
Gli strati di roccia differentemente orientati che si trovano all'interno delle mura delle chiese rupestri del Tigrai scavate nelle *Arenarie di Adigrat* sono "*stratificazioni incrociate*" si formano nei delta fluviali che sfociano in mare o in un lago. I fiumi trasportano grandi quantità di argille e sabbie che erodono. Appena giungono al mare la velocità del flusso diminuisce e le acque depositano sabbia lungo gli strati inclinati della scarpata. Questi granuli che precipitano verso il basso e formano una serie di lamine inclinate chiamate *foreset* che si muovono sotto corrente nella direzione di alimentazione e trasporto.



Man a mano che avviene la deposizione la scarpata avanza. Parte del materiale sabbioso è trasportato più avanti dalla corrente fluviale e si deposita oltre la scarpata del delta del fiume formando strati orizzontali chiamati *bottomset*.



Innalzamenti del livello del mare fanno regredire verso la terraferma la foce del fiume e si forma quindi un nuovo delta sopra quello vecchio ma più arretrato. Quindi tra i nuovi depositi di *foreset* e quelli vecchi si troveranno interposti i depositi di *bottomset* legati al precedente ciclo deposizionale (il punto di contatto fra i due depositi è indicato dal cerchio rosso).



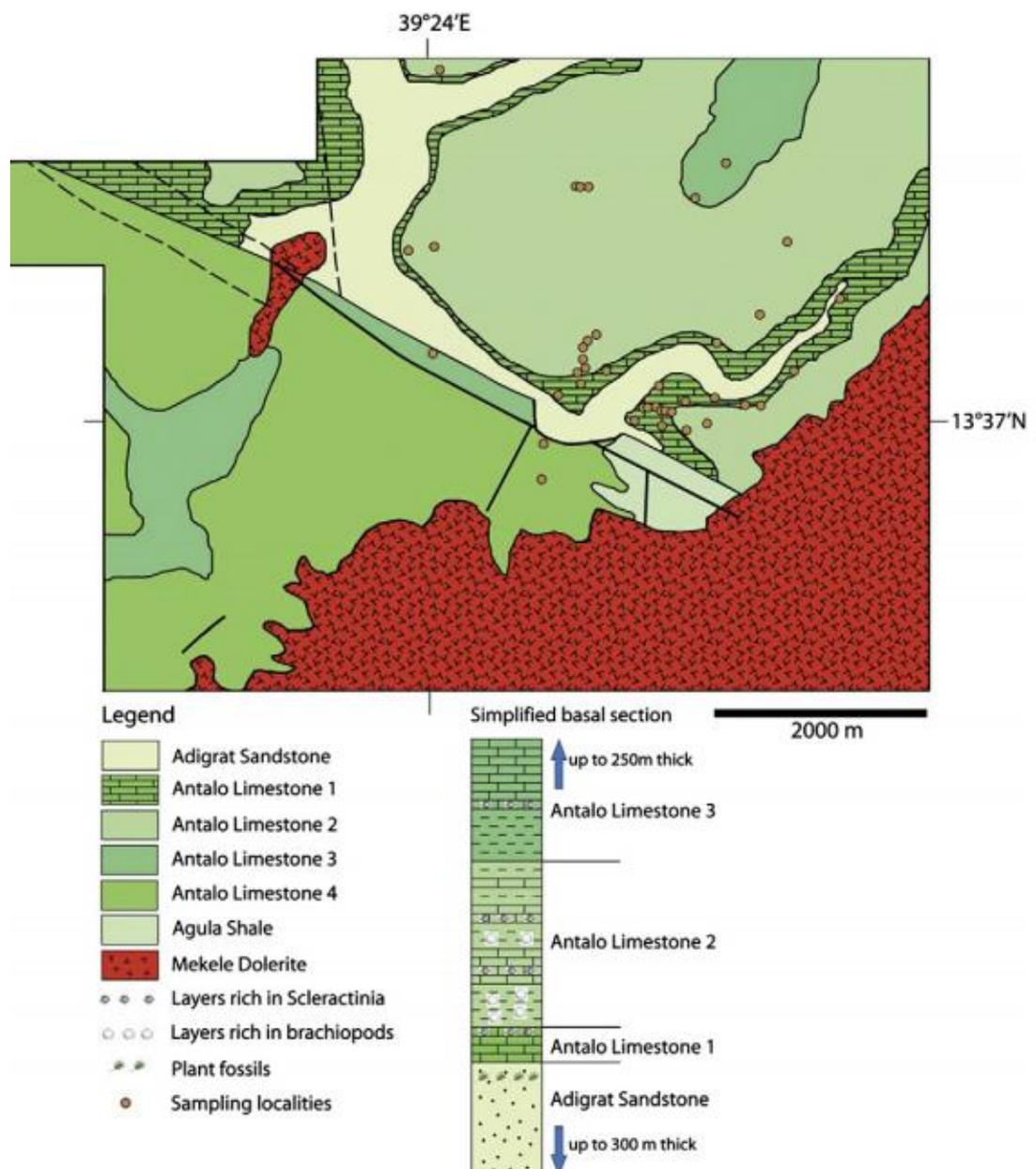


**Figura 11.** Facciata e vista laterale della chiesa di Wukro Cherkos, scavata nella roccia, scolpita nelle Arenarie di Adigrat nella zona di Hawzen-Ger'alta, che permette di vedere le stratificazioni incrociate che si formano nella zona di battigia in ambiente marino.

**Figura 12.** Una colonna della chiesa di Wukro Cherkos scavata nella roccia e particolare, dove si notano le stratificazioni ondulate dell'Arenarie di Adigrat.



La seconda sequenza sedimentaria del Giurassico chiamata **Calcari di Antalo** (*Antalo Limestone formation*) è imponente con spessori totali stimati tra 700 e 800 m (**Fig. 13, 14 e 15**). La continua subsidenza del Corno d'Africa ha causato successive e molteplici trasgressioni dell'Oceano Indiano durante il Giurassico. Questa formazione è caratterizzata da sedimenti marini costituiti da una parte inferiore più calcarea, fossilifera, con bivalvi, coralli, gasteropodi ed echinodermi (**Fig. 16, 17 e 18**) e una parte superiore è caratterizzata da marna gialla, brachiopodi e calcare oolitico. Questi calcari costituiscono il materiale base con cui sono costruite le case del Tigrai. L'ambiente marino persistette fino alla fine del Giurassico e oltre a calcari furono depositati anche scisti neri, marne terrigene (cioè composte in parte da calcare e in parte da argille) che andarono a formare la terza sequenza chiamata **Argilliti di Agula** (*Agula Shale formation*). Contrariamente ai calcari di Antalo, le Argilliti di Agula oltre che marne argillose contengono una maggiore quantità di argille rispetto al calcare e vi si possono trovare alcuni brachiopodi e gasteropodi che ne hanno permesso la datazione; negli strati si vedono spesso "ripples mark" cioè segni di increspatura lasciati dalle onde sulla battigia (Beyth, 1972). La seconda (*Antalo*) e la terza (*Agula*) sequenza costituiscono la così detta **Successione di Antalo** (**Fig. 19**) e sono spesso rappresentate unite nelle carte geologiche perché facenti parte dello stesso sistema deposizionale del Giurassico legato alle ingressioni e regressioni marine che depositarono quegli strati.



**Figura 13.** Carta geologica e sezione semplificata dei Calcari di Antalo nella regione di Makallè poco a sud dell'area delle chiese rupestri oggetto dell'articolo (da Kiessling et. al., 2011)



**Figura 14 e 15.** Sequenza sedimentaria dei Calcari di Antalo che affiora lungo il corso del fiume Sabba, nel percorso che dal mesopiano conduce fino alla depressione della Dancalia. In alto l'autore sugli strati di calcare con una bella piega anticlinale simmetrica.

**Figura 16.** Calcarea di Antalo con fossili.



## Fossili nell'area di Wukro

Quando si visita la chiesa rupestre di *Abraha-Atsbeha*, all'ingresso del suo recinto posto alla base delle formazioni rocciose, i visitatori vengono circondati da bambini che vogliono vendere loro dei fossili. Questi fossili non provengono dalle *Arenarie di Adigrat* in cui è scavata la chiesa ma dalla sovrastante *Successione di Antalo* del Giurassico ed in particolare dalla sequenza sedimentaria chiamata **Calcari di Antalo** che sono rocce di colore grigio che si sono formate in un ambiente francamente marino non molto profondo (ambiente subtidale).



**Figura 17.** Bambini che attorniano una turista all'ingresso della chiesa rupestre e mostrano i loro fossili in vendita.



**Figura 18:** Esempio di fossili venduti dai bambini all'ingresso dell'area della chiesa rupestre di *Abraha-Atsbeha*:

In alto a sinistra un'echinoderma (riccio di mare) *Hemicidaris abyssinica* (Blanford, 1870)

Al centro un bivalve *Actinostreon solitarium* (J. de C. Sowerby, 1824)

In basso a destra un brachiopode *Somalirhynchia africana* (Weir, 1925)



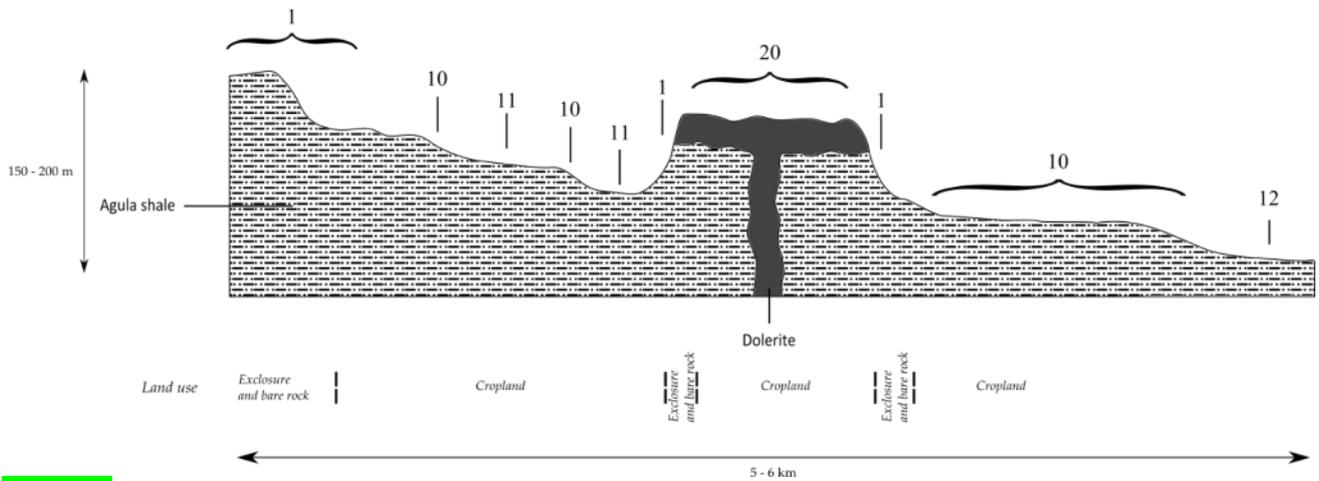
**Figura 19.** Strati della sequenza sedimentaria della **Successione di Antalo** sul bordo della strada che dalla Dancalia settentrionale (Amhed Ela, Berahle) conduce a Wukro in Tigrai.

Nel *Giurassico superiore* il continente etiopico iniziò nuovamente il suo sollevamento, l'Oceano Indiano regredi e ne seguì la deposizione in acque poco profonde o in ambiente subaereo di strati di una arenaria limosa o argillosa sopra il tetto della formazione **delle argilliti di Agula**. Questa formazione di strati incoerenti, chiamata da Giotto Dainelli (1943) "The Upper Sandstone", è conosciuta come formazione di **Amba Aradam** (*Amba Aradam Sandstone*).

Alla sommità della sequenza geologica mesozoica, nell'era del *Cenozoico* (o Terziario), periodo *Paleogene* (65,5 – 23,03 Ma), a partire dell'*Eocene* e fino all'*Oligocene* compreso, l'area dell'intero corno d'Africa fu caratterizzata da enormi fratturazioni che originarono un intenso e diffuso vulcanismo. Enormi colate di lava chiamate **Trappi Vulcanici** (*Trap Volcanics formation*), basalti, trachiti e basaniti, da 45 a 25 milioni di anni fa ricoprirono con enormi spessori fino a 2.000 metri l'altopiano etiopico, somalo e la parte meridionale dello Yemen, tutte terre all'epoca adiacenti.

Tutte queste formazioni sedimentarie, sopra descritte, sono ricoperte dai Trappi Vulcanici del Terziario ma a volte anche attraversati da filoni e dicchi di quella che viene chiamata **Dolerite di Macallè** (Carta di *Fig. 13 e Fig. 20 e 21*). Questa roccia ignea, anche essa dello stesso periodo ma più recente delle enormi colate dei trappi basaltici, provenendo da grandi profondità si è incuneata nelle fratture delle rocce ed è rimasta intrusa nelle rocce raffreddando lentamente. Soprattutto nell'area a nord di Macallè la dolerite si è incuneata soprattutto nella morbida formazione delle Argilliti di Agula. L'area intorno a Macallè, compresa l'attuale area analizzata, è attraversata da numerose intrusioni basaltiche la maggior parte delle quali sono filoni di spessore variabile da 0,5 a 30 metri, sebbene siano comuni anche piccoli corpi intrusivi (Levitte, 1970). Le rocce sono nere, a grana fine e media e molto dure.

### Undulating Agula shale plateau with dolerite - CeP1



**Figura 20.** Schema della risalita di una intrusione filone di Dolerite che attraversa gli strati della Successione di Antalo, in particolare le Argilliti di Agula, posizionandosi sopra di esse.



**Figura 21.** Un filone intrusivo doleritico che attraversa gli strati sedimentari della Successione di Antalo. Nell'area di Macallè.

Nella sequenza geologica sopra esposta e **dalla carta geologica e dalle sezioni indicate si può ben dedurre che le chiese rupestri del Tigray sono esclusivamente scavate nelle formazioni geologiche composte da arenarie come quella di Enticho e Adigrat.** Le arenarie sono ampiamente esposte in queste aree e sono caratterizzate da strati spessi e massicci di successioni grossolane a grana variabile e ben ordinate. Queste arenarie possono essere facilmente scavate e lavorate, ma sono allo stesso tempo abbastanza compatte da permettere alle pareti dotate di arcate e finestrate di resistere alla pressione. Sebbene nelle stesse aree siano presenti altre tipologie di rocce con spessori imponenti come le rocce calcaree, basaltiche e cristalline, pochissime chiese scavate nella roccia sono state scavate in esse. Questo perché o sono eccessivamente friabili e quindi poco resistenti alla pressione, come ad esempio le rocce calcaree (Antalo), o perché, pur essendo più resistenti, sono però troppo dure e difficili da scavare come le basaltiche (Trappi vulcanici) e le rocce del basamento cristallino. **Il tipo di roccia è, quindi, il fattore più importante nella scelta posizione di queste chiese scavate nella roccia prevalentemente arenaria perché rappresenta il miglior compromesso tra compattezza e resistenza della roccia e possibilità di escavazione.** Le popolazioni del Tigray hanno quindi avuto a disposizione una particolare natura geologica e la tenacia dei lavoratori tigrini, capaci di arrivare a scavare nelle arenarie un metro cubo di roccia al giorno, ha permesso di realizzare queste opere sacre uniche al mondo.

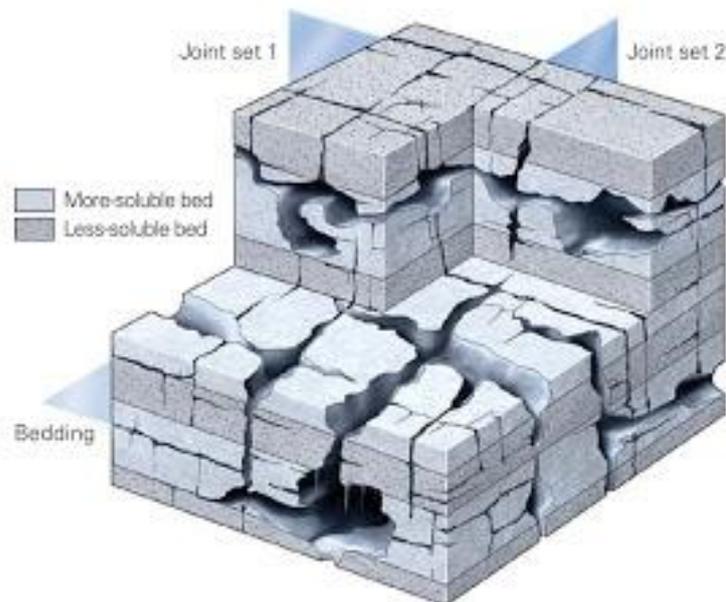
*Figura 22. Prete etiopico davanti all'ingresso della chiesa rupestre di Gebre Mikael.*



## Perché le pareti di roccia di alcune chiese rupestri sono così ripide e isolate?

Le arenarie del Paleozoico e del Mesozoico sono molto compatte e omogenee ed intersecate da una rete ortogonale di linee e fratture che si uniscono in punti precisi. I sollevamenti tettonici degli altopiani etiopici (che da 30 a 20 milioni di anni fa durante il Cenozoico hanno dato inizio alla formazione della Rift Valley) provocarono enormi fratturazioni principali che scavate profondamente dai fiumi formarono blocchi di forma rettangolare separati gli uni dagli altri (Fig.23). Analogamente come successe il Gran Canyon si formarono altopiani isolati (mesa), colline e pinnacoli alti fino a 300 metri. In un processo di “erosione differenziale” in aggiunta all’imponente azione dei ghiacciai e dei fiumi fu determinante quella del vento, dell’acqua e della temperatura. L’acqua piovana e quella derivata dallo scioglimento dei ghiacciai fluirono in profondità nelle fenditure della roccia create dai sollevamenti tettonici e con il variare estremo delle temperature, congelando allargarono le fratture. Le acque delle grandi piogge continuarono il lavoro incidendo nettamente gli strati determinando il grande distanziamento tra i massicci rocciosi. Anche l’elevata escursione termica, tipica delle zone desertiche e di alta montagna, caratterizzate da ripetute dilatazioni e contrazioni che la porzione superficiale di una roccia subisce durante il riscaldamento e il raffreddamento, creò fratture minori (*termoclastismo*) poi erodibili dagli altri agenti atmosferici. Infine, l’azione del vento erose il calcare e l’arenaria. Gli strati più teneri furono rapidamente erosi, le rocce più dure resistettero all’erosione e le pareti rimasero verticali (Fig.24, 25).

**Figura 23.** Rappresentazione schematica delle fratturazioni tipiche causate da vento, acqua e temperatura nelle rocce sedimentarie caratterizzate da differenti gradi di erosione.



L’altopiano del **Tigrai**, con una elevazione media di circa 2000 metri, continuazione naturale dell’altopiano etiopico verso nord, si affaccia in maniera nettissima su un altro mondo, la **Dancalia**, facente parte dello stesso processo tettonico ma completamente diverso a partire da una geologia molto più recente. Il passaggio da una regione all’altra è epocale: si va dalle montagne del Tigrai che a volte possono superare i 4000 metri alla depressione dancala che arriva anche a – 120 metri sul livello del mare. Due mondi a confronto, il mondo di sopra e quello di sotto, uno con una geologia antica e uno con una geologia giovane e giovanissima (dal Miocene 23, 03 – 0,3 Ma fino all’Olocene cioè l’epoca in cui ci troviamo), uno con un mondo cristiano e uno con un mondo musulmano, uno con l’acqua e coltivazioni e uno con un deserto formato di lava, sale e sabbia.



**Figura 24.** Pareti verticali dell' Ingresso alla Chiesa rupestre di Debra Damo situata nella parte settentrionale del Tigray, poco distante da Axum



**Figura 25. Pareti verticali** della chiesa rupestre di Abba Yohani, situata a 13-14 chilometri dalla cittadina di Abi Adi, circa 60 km a ovest di Macallè. Posto nella metà di una parete rocciosa di 300 metri, per arrivarci è necessario arrampicarsi su gradini e creste per circa mezz'ora.

## Confronto con le chiese ipogee di Lalibela

Se è vero che la tradizione di scolpire nella pietra per realizzare luoghi di culto, è iniziata molto tempo prima in Tigrai e che a una prima vista, o guardando in foto le chiese ipogee di Lalibela (Fig.26, 27), sembrano avere, per colore e consistenza, l'aspetto di un'arenaria, si potrebbe erroneamente pensare che la roccia usata sia la stessa. In realtà a Lalibela la situazione è differente ed è sempre la geologia a darci la risposta. Mi spiego meglio: mentre le rocce delle chiese rupestri del Tigrai sono state esclusivamente scavate nelle due formazioni di arenarie (Enticho e Adigrat), quindi in rocce sedimentarie, queste chiese monolitiche sono scavate invece in rocce di origine vulcanica di età molto più recente. Entrambe le rocce hanno tuttavia le stesse caratteristiche di compattezza ma al tempo stesso di relativa facilità di escavazione. Come si può vedere dalla scala geologica riprodotta all'inizio dell'articolo (Fig.1), sopra le sequenze sedimentarie prevalentemente arenacee di età paleozoica e mesozoica si sono depositi grandi spessori di colate di lava del Paleogene (Trappi Vulcanici) che da 45 fino a 25 milioni di anni fa hanno ricoperto il 70% dell'altopiano etiopico. Nell'area di Lalibela le rocce vulcaniche dello stesso periodo (trappi) sono rappresentate dalle unità basaltiche di *Ashangi e Amba Aiba*. Sopra queste lave, nell'area dell'Amara e non nel Tigrai, da 25 a 10 milioni di anni fa, si sono depositi ancora altri prodotti di un'attività vulcanica però di tipo esplosivo (carte a Fig.28 e 29). L'area di Lalibela si trova infatti alla sommità di una formazione di ignimbriti tufacee chiamata **Rioliti dell'Amba Alagi** (*Amba Alaji Ryolites*).

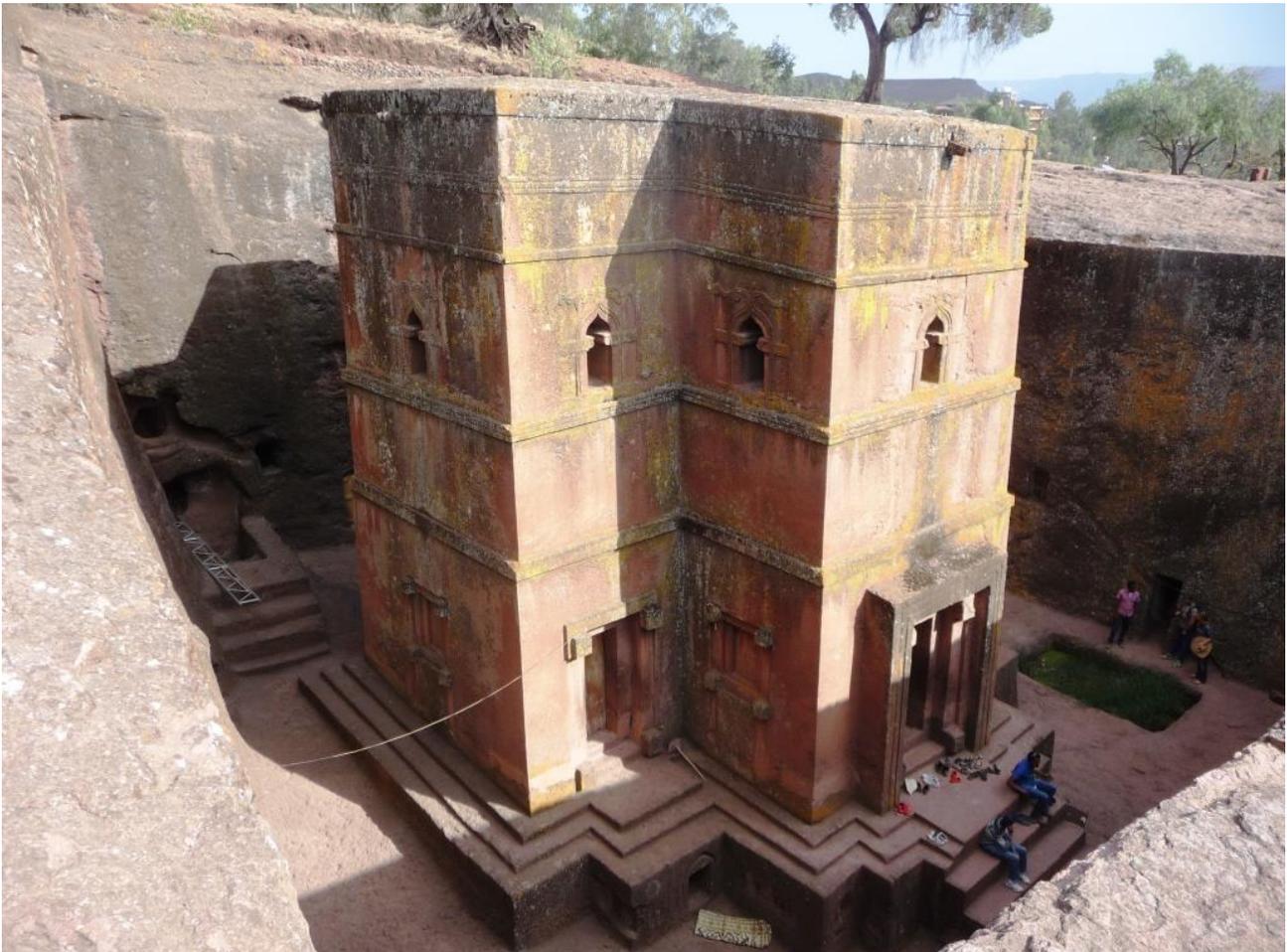
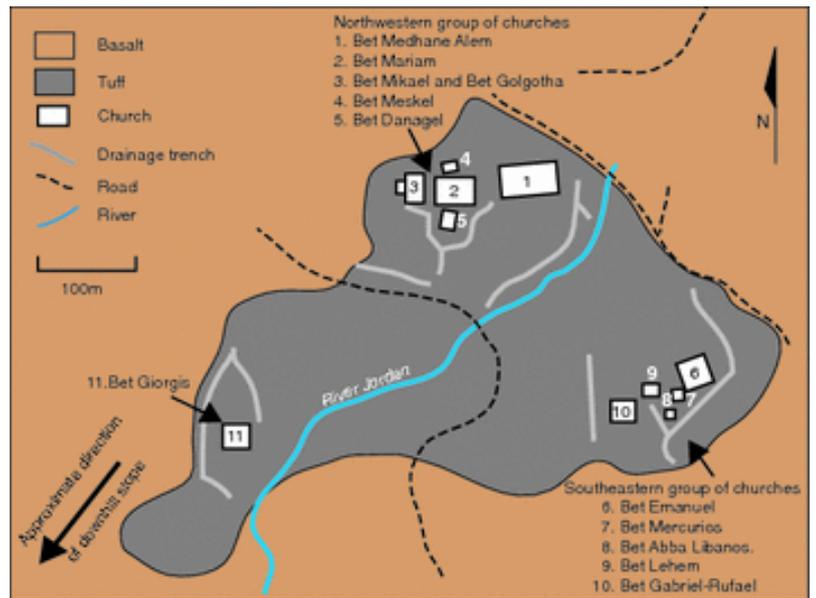


Figura 26. La famosa chiesa di Saint George scavata nel rosso tufo ignimbrico di Lalibela.

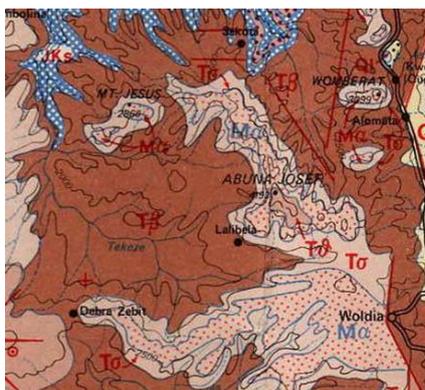


**Figura 27.** Vista esterna allo della chiesa di Saint George

**Figura 28.** Rappresentazione schematica del blocco di tufo vulcanico rosso, posto sopra le rocce basaltiche del Paleogene, sul quale sono state scolpite le chiese ipogee di Lalibela.



**Figura 29.** Estratto della carta geologica della regione di Lalibela (dopo Merla et al. 1979). Il vulcanismo cenozoico dell'altopiano dell'Etiopia nord-occidentale è suddiviso in quattro formazioni (Berhe et al., 1987); le unità basaltiche Ashangi e Amba Aiba (facenti parte dei Trappi Vulcanici), sormontati localmente dall'unità ignimbratica delle Rioliti dell'Amba Alaji (Zanettin, 1992), e in altri punti ricoperto da altri basalti miocenici dell'unità di Termaber.



MIOCENE TO PLIOCENE



**Termaber Basalts**, sometimes porphyritic, with frequent tuffs and paleosols, often connected to volcanic centers.

MIOCENE



**Amba Alaji Rhyolites**: rhyolitic ignimbrites with acidic tuffs and some basalts.

OLIGOCENE TO MIOCENE



**Amba Aiba Basalts**: flood basalts in thick flows with rare basic tuffs. Wolkefit basalts and trachybasalts.

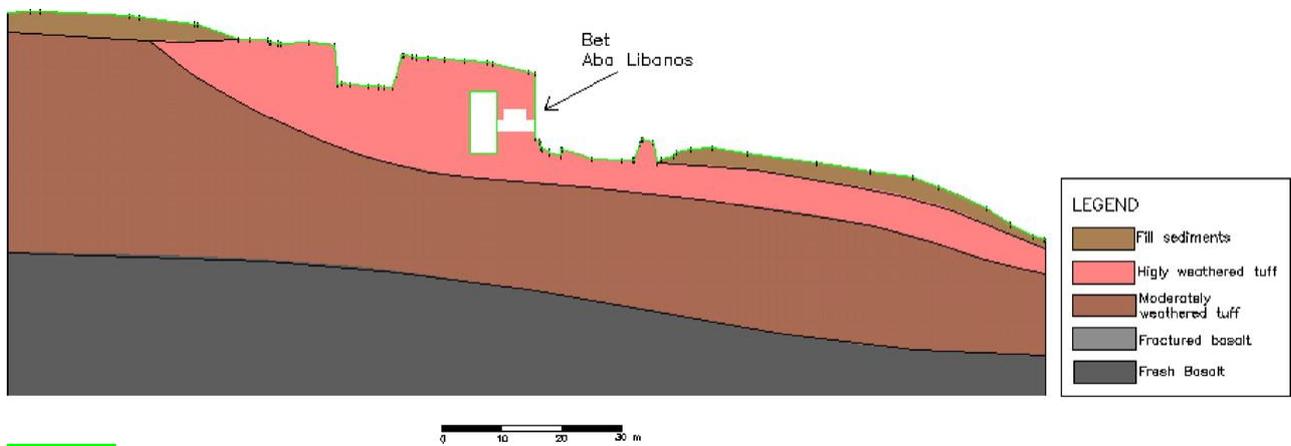
OLIGOCENE TO MIOCENE



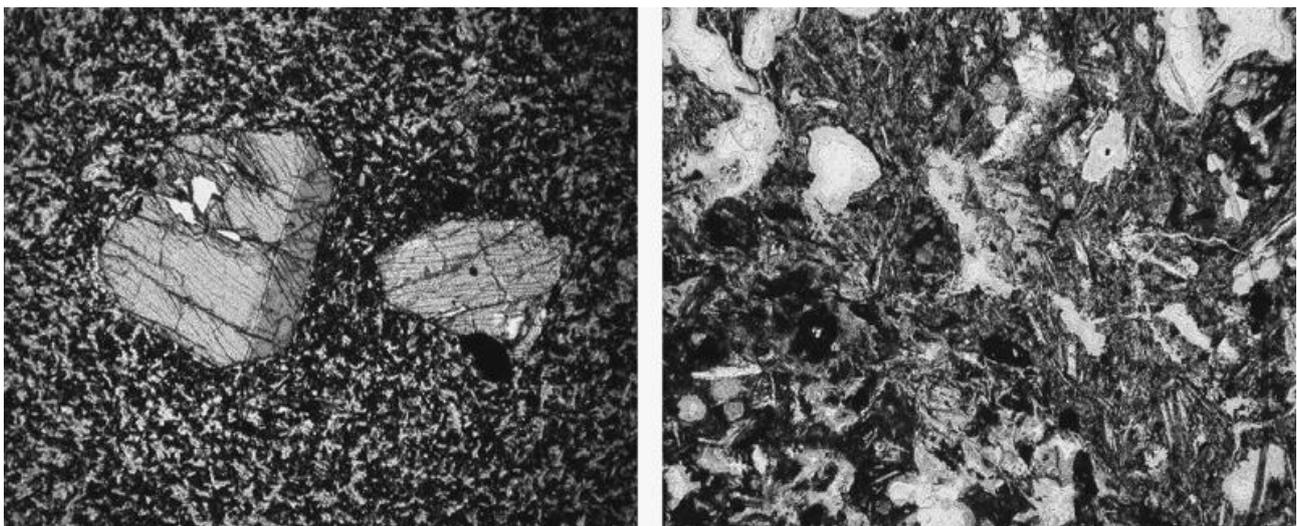
**Ashangi Basalts**: poorly defined and deeply weathered basalt flows with scarce tuffs; sometimes tilted with respect to the overlying volcanics.

I prodotti vulcanici di composizione riolitica, quindi molto acidi e ricchi in silice ( $\text{SiO}_2$ ), sono stati depositi come colate “ignimbriche” (un tipo di manifestazione vulcanica esplosiva molto potente) molto simili a quello che i Campi Flegrei produssero 39.000 anni fa e che ricoprì di tufo  $2\frac{2}{3}$  della Campania con coltri di tufi con spessori fino a 100 metri.

Il blocco isolato di **tufo vulcanico rosso** di Lalibela galleggia come un tappo di sughero sopra un mare di basalto che domina l’area dell’altopiano (**Fig.30**). Gli antichi tigrini, che scolpivano le chiese, conoscevano bene la differenza tra il tufo compatto ma facilmente lavorabile (come le arenarie) e il duro basalto (dei trappi vulcanici) (**Fig. 31**).



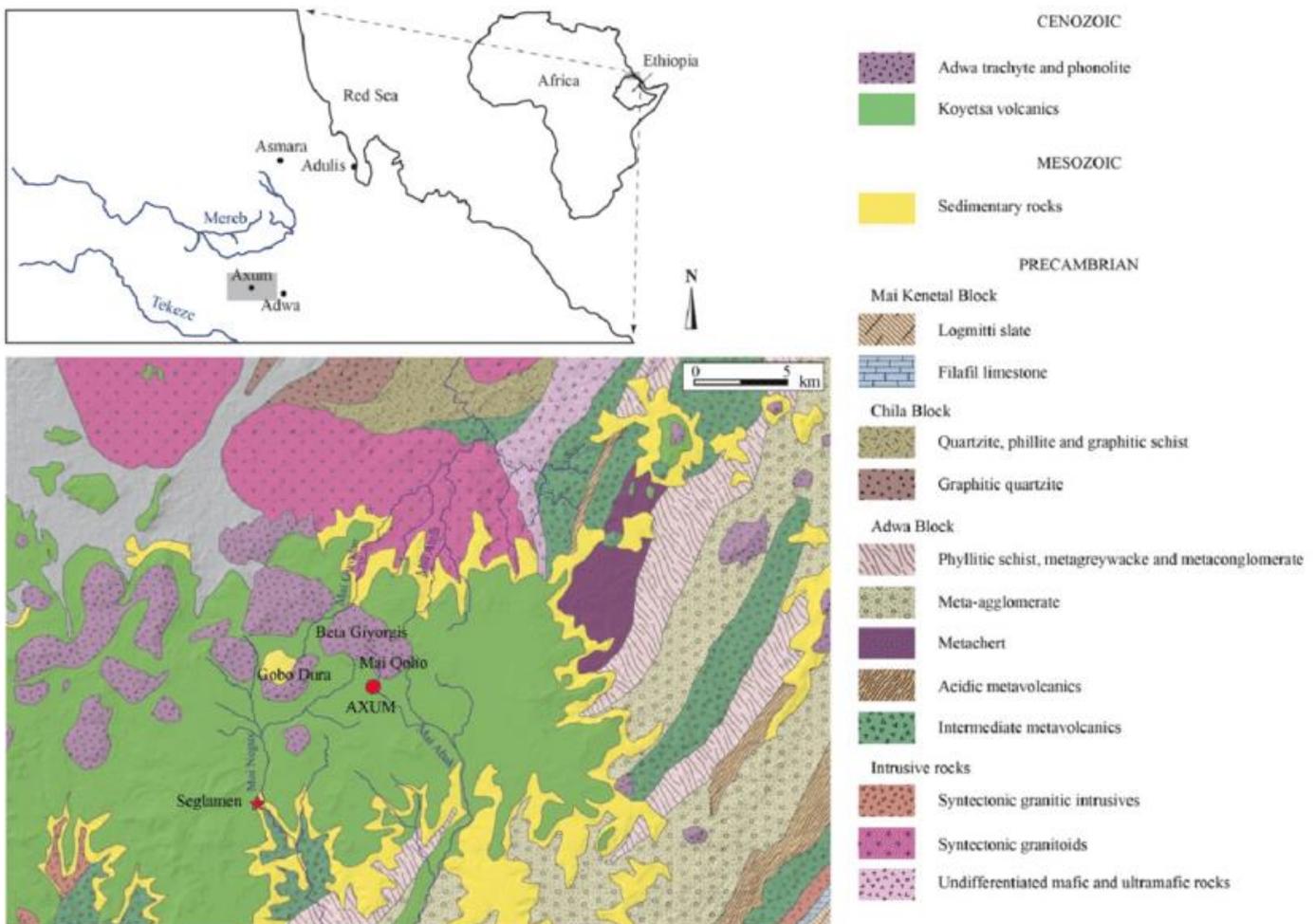
**Figura 30.** Sezione geologica all’altezza della chiesa di Biet Abba Libanos



**Figura 31.** Sezione sottile di basalto (a sinistra) e tufo stagionato (a destra).

## Confronto con le steli monolitiche di Axum

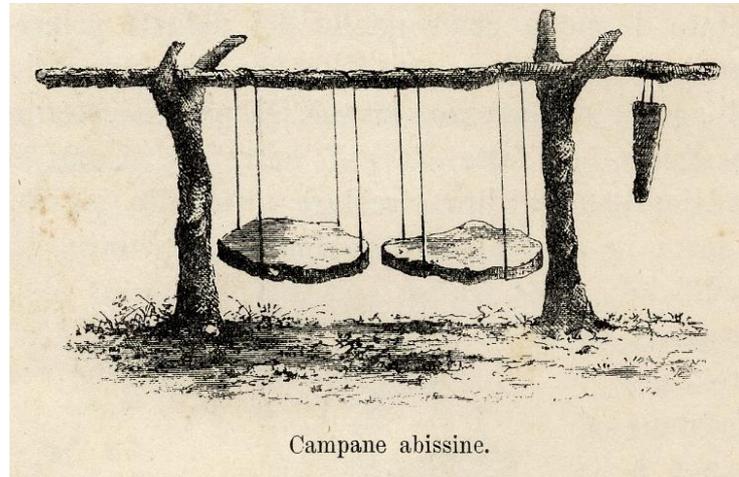
Il regno etiope settentrionale di Axum (circa 100-700 d.C.) è noto per le sue **tombe** reali sotterranee e gli **obelischi** monolitici, che probabilmente furono scolpiti ed eretti prima o durante il IV secolo d.C. La maggior parte o quasi tutte queste strutture sono state scolpite o realizzate solo in rocce fonolitiche e trachitiche, che fanno parte delle sequenze vulcaniche etiopiche più recenti. Nonostante il gran numero di siti di cava nell'area di Axum, la maggior parte delle reliquie di Axum sono state estratte da tre cave locali: due dei siti di cava si trovano ai fianchi della cresta *Gobo-Dura* che hanno fornito le rocce fonolitiche nelle quali sono state stati scolpiti i monumenti, mentre il terzo sito di cava si trova nella Villaggio Adi-Tsehafi con rocce trachi-fonolitiche da dove provengono altri manufatti in pietra (carta di Fig.32). Ma allora se le chiese del Tigrai e quelle di Lalibela furono scavate in rocce, si compatte, ma “relativamente morbide” come le arenarie e i tufi vulcanici, come sono state scavate le steli di Axum in rocce ben più dure? Anche in questo caso la geologia e la storia ci danno la spiegazione necessaria per capire come i tenaci uomini del nord Etiopia siano riusciti a lavorare una roccia molto più dura come la **fonolite** dell'Etiopia settentrionale, una roccia magmatica effusiva poco profonda e molto compatta e solida.



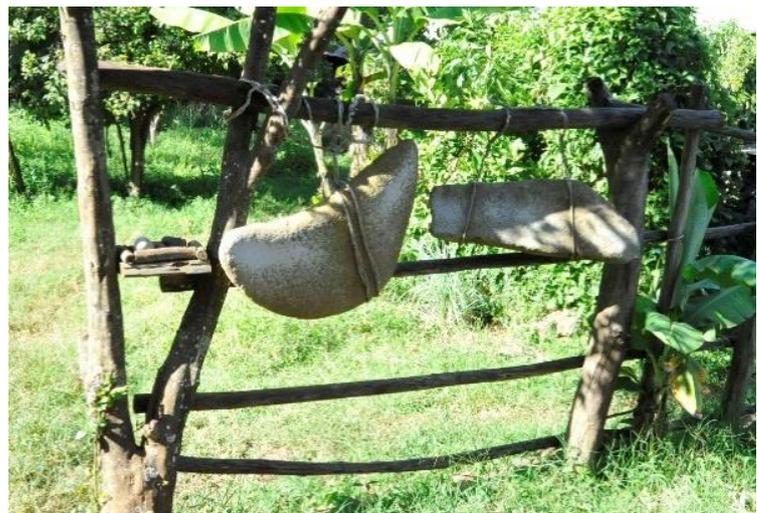
**Figura 32.** Carta geologica dell'area di Axum con indicata l'area della cava di estrazione di Gobo-Dura. La roccia fonolitica è genericamente indicata come facente parte di “rocce indifferenziate mafiche ed ultramafiche” (Geological sketch map of the Aksum area (adapted from the 1:250,000 Aksum map sheet ND 37-6, Ethiopian Institute of Geological Survey, 1999).

La *fonolite*, dal termine derivante dal Greco *phonos* (suono) e *lithos* (roccia) e introdotto da Klaproth nel 1801, è una pietra utilizzata in Tigrai anche per ricavarne **campane** per chiamare i fedeli alla messa (**Fig.33, 34**), a causa del suono metallico che produce se viene colpita una lastra intera non frantumata (da qui il nome inglese *clinkstone*).

**Figura 33.** Disegno delle tipiche **campane** abissine fatte di pietre attaccate con delle funi ad pali orizzontali che percosse emettono un suono per richiamare i fedeli alla preghiera e in chiesa, tratto da Gustavo Bianchi *Alla terra dei Galla, Treves, Milano 1886, p. 108*



**Figura 34.** Fotografie di **campane** nei dintorni di una chiesa etiopica realizzate con roccia fonolitiche.



Questa particolare lava, che si forma da un magma povero di silice ma ricco di allumina, facente parte di quella formazione chiamata **Serie Fonolitica** del Nord Etiopia, giunse in superficie circa 19-11 milioni di anni fa, attraversando le rocce sedimentarie paleozoiche e mesozoiche e i trappi basaltici paleogenici. Queste rocce consistono talvolta di blocchi massicci, compatti e privi di fratture, (lungi fino a 25 metri) generalmente di forma allungata, e in alcune località, formano anche affioramenti sferici e presentano colorazioni dal colore rosa al grigio chiaro. Queste rocce, **povere di silice**, sono localizzate nei campi vulcanici trachi-fonolitici presenti nelle aree di Adua e Axum. Le fonoliti sono tra le rocce meglio sfruttate dell'Etiopia settentrionale. In particolare, furono usati per scolpire gli obelischi monolitici e altre pietre monumentali durante l'*Impero di Axum*. Fu proprio nelle fonoliti del massiccio di *Gobo Dura* che furono estratti i grandi **obelischi di Axum** (**Fig. 35**). Situato a 5 km a ovest di Axum, lungo la strada per Shire, è presente un grandissimo affioramento fonolitico a forma di cupola circa 200 - 250 m di spessore, circolare (3,5 km di diametro) di colore che va dal grigio scuro al rosa. Questo corpo roccioso è estremamente massiccio, in alcuni punti presenta blocchi tabulari allungati che raggiungono i 40 metri.

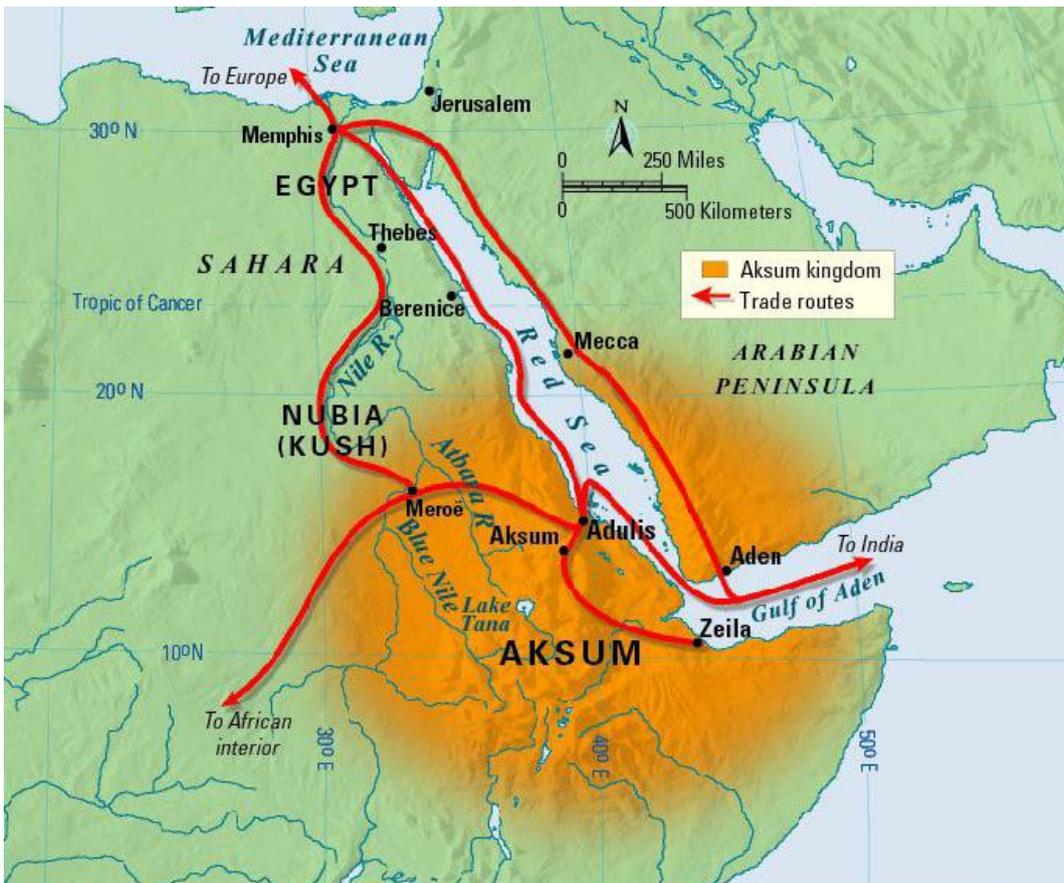


**Figura 35.** La stele di Axum in fonolite alta 23,40 metri e pesante 150 tonnellate riportata da Roma in Etiopia nel febbraio 2009.



**Figura 36.** La stele in granito rosa alta 25 metri pesante 227 tonnellate all'ingresso del tempio di Luxor

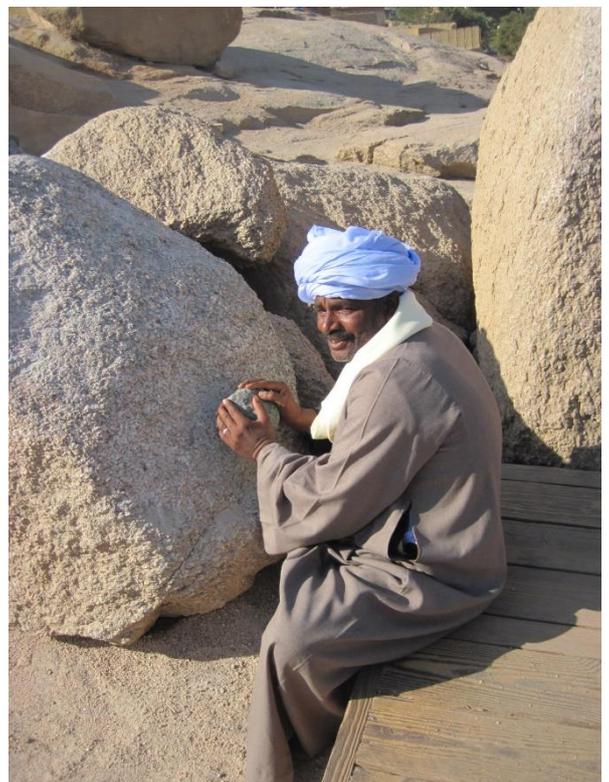
Nella parte settentrionale del massiccio di Gobo-Dura si trova una antica cava, utilizzata dall'antico Impero Axum, che ospita dozzine di semilavorati obelischi. La lavorazione di pietre dure in steli e obelischi senza dubbio fu importata dalla cultura egizia (Fig.36). Nell'Antico Egitto si lavoravano da millenni dure pietre granitiche, molto dure, per ricavarne in obelischi, anch'essi alti decine di metri, quindi l'influenza di questa arte arrivò anche all'impero axumita col quale intratteneva da tempo rapporti politici e commerciali (Fig. 37). Per realizzare delle opere così alte e pesanti, oltretutto non avendo bisogno di scavarle internamente, agli egiziani occorreva una pietra molto compatta e molto dura come il granito.



**Figura 37.** Carta dell'area Nilotica e del Corno 'D'Africa con riportata l'area di massima espansione del Regno di Axum (300-700 A.D.) e le vie commerciali che portavano merci nel Mar Rosso, nell'Impero Egizio e nel Mediterraneo.

**Figura 38.** Dimostrazione dell'utilizzo di una palla di diorite utilizzata dagli egizi per tagliare la roccia.

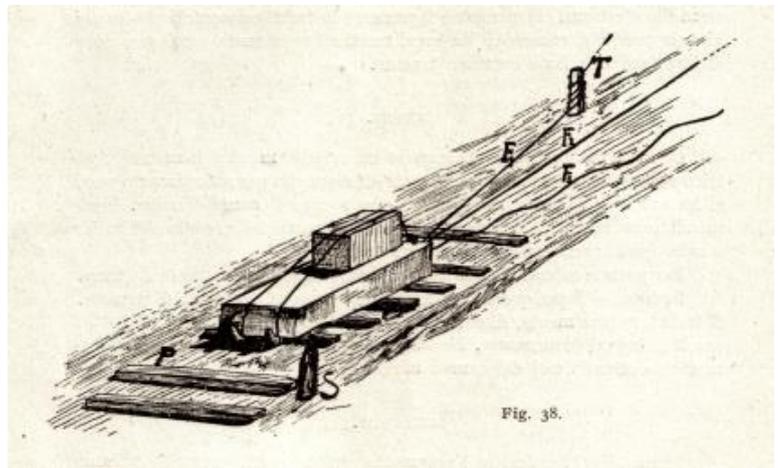
Lo scavo di questa era effettuato direttamente sulla superficie della cava tagliando prima i quattro lati che definivano la stele. Gli egizi utilizzavano piccole palle di **diorite**, una **roccia ignea intrusiva come il granito estremamente dura e grana molto più fine e quindi più abrasiva (Fig. 38)**. Una volta tagliati i lati, erano scavati una serie di fori poi riempiti di legno poi imbevuto d'acqua. Il legno assorbendo l'acqua si espandeva rompendo la roccia rimasta tra i vari fori e separando il monolite dal suolo. È stato possibile capire questo tipo di lavorazione da molti residui lasciati sulle rocce della cava di escavazione e su obelischi famosi (come l'ago di Cleopatra, obelisco situato a Londra) che hanno permesso di capire in che modo le rocce fossero lavorate per estrarle dalle cave.



Così come per gli egizi il granito, la fonolite rappresentò per gli axumiti la pietra adatta per realizzare strutture così allungate e imponenti come le steli. Essi appresero queste tecniche scavando rocce simili al granito, per durezza e compattezza, tagliandole direttamente in blocchi monolitici dalle cave del massiccio di Gobo Dura dove erano presenti grandi lastre di questa pietra. Contrariamente alle chiese rupestri del Tigray e alle chiese ipogee di Lalibela dove si scavò anche all'interno dei blocchi arenarie e tufi ignimbricitici, i lavoratori, individuato il pezzo giusto di roccia fonolitica, scavarono solo esternamente tutto il superfluo lasciando un solo corpo roccioso compatto da rifinire esternamente. Una volta tagliato il blocco di roccia era poi trasportato fino alla vicina Axum e rifinito esternamente.

Per trasportare dalle montagne a valle questi grandi monolitici blocchi di pietra probabilmente utilizzarono tecniche simili a quelle ancora utilizzate fino a poche decine di anni fa per portare a valle enormi blocchi di marmo giù dalle cave delle Alpi Apuane (*lizzatura*, Fig. 39). Una volta in pianura questi grandi pietroni potevano essere trainati da decine di animali (buoi, cavalli, elefanti) e centinaia di uomini a destinazione finale ad esempio facendoli scorrere e scivolare su tronchi di legno così come sembra sia avvenuto per trasportare i pesantissimi Moai basaltici dell'Isola di Pasqua (Fig. 40).

**Figura 39.** Disegno della tecnica storicamente utilizzata nelle Apuane per trasportare i blocchi monolitici di marmo (*lizzatura*).



**Figura 40.** Isola di Pasqua, cava di lava basaltica dove erano estratti i blocchi monolitici dei famosi Moai.

## Bibliografia

- Asrat A., *The Rock-hewn Churches of Tigray, Northern Ethiopia: A Geological Perspective*. Ge archaeology, 2002, pp. 652-55.
- David G. Roberts, *Regional Geology and Tectonics: Phanerozoic Passive Margins, Cratonic Basins and Global Tectonic Maps*, Elsevier, 29 mag 2012
- Beyth, M., *To the geology of Central-Western Tigre* (Ph.D. thesis), Friedrichs Wilhelms Universität, Bonn, 1972
- Beyth, M. (b). *Paleozoic–Mesozoic sedimentary basin of Mekelle Outlier, Northern Ethiopia*. AAPG Bulletin, 56, 1972, pp., 2426–2439
- Bosellini, A., Russo, A., Fantozzi, P. L., Assefa, G., & Tadesse, S. *The Mesozoic succession of the Mekelle Outlier (Tigray Province, Ethiopia)*. Memoirs of the National Science Museum (Tokyo) Sciences Géologiques - Memoires, 1997, pp. 49, 95–116.
- Corti, G. *Continental rift evolution: From rift initiation to incipient break-up in the main Ethiopian Rift*. *Earth-Science Reviews*, 96, 2009 pp.1–53
- Dow, D. B., Beyth, M., & Hailu, T. *Palaeozoic glacial rocks recently discovered in northern Ethiopia*. *Geological Magazine*, 108, 1971, pp. 53–60
- Enkurie, D. L. *Adigrat Sandstone in Northern and Central Ethiopia: Stratigraphy, Facies, Depositional Environments and Palynology* (PhD thesis), University of Berlin, 2010.
- Garland, C. R. *Geology of the Adigrat Area*. Ministry of Mines, Addis Ababa Memoir No.1, 1980, p. 51
- Gebremariam S.G., *Nature and characteristics of metasedimentary rock hosted gold and base metal mineralization in the Workamba area, central Tigray, northern Ethiopia*. Thesis, Faculty of Geosciences at Ludwig Maximilians University, Munich. 2009
- George, R., Rogers, N., & Kelley, S. *Earliest magmatism in Ethiopia: Evidence for two mantle plumes in one flood Basalt Province*. *Geology*, 26, 1998, pp.923–926
- Hagos, M., Koeberl, C., Kabeto, K., & Koller, F. *Geochemical characteristics of the alkaline basalts and the phonolite–trachyte plugs of the Axum area, northern Ethiopia*. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 103, 2010, pp. 153–170.
- Justin-Visentin, E. *Petrografia, chimismo e petrogenesi dei corpi subvulcanici di Macallè (Tigray Etiopia)*. *Memorie dell’Istituto di Geologia e Mineralogia Università di Padova*, 31, 1974, pp. 1–33.
- Kieffer, B., Arndt, N., Lapierre, H., Bastien, F., Bosch, D., Pecher, A., ... Meugniot, C. *Flood and shield basalts from Ethiopia: Magmas from the African Superswell*. *Journal of Petrology*, 45, 2004, pp.793–834.
- Merla, G., & Minucci, E. *Missione geologica nel Tigray*. Roma: Regia Accademia Italiana, 1938
- Miller, N. R., Alene, M., Sacchi, R., Stern, R. J., Conti, A., Kröner, A., & Zuppi, G. *Significance of the Tambien Group (Tigray, Northern Ethiopia) for snowball earth events in the Arabian-Nubian Shield*. *Precambrian Research*, 121, 2003, pp. 263–283
- Mohr, P. A. *The geology of Ethiopia*. Addis Ababa University Press, Addis Ababa, 1972
- Ronsse S., *Sustainable Exploitation of the Groundwater Reservoir of Mendae (Abrha Atsbha, Tigray, Ethiopia)*. Universiteit Gent. Faculteit Wetenschappen. Vakgroep WE13, 2013, XVII, 178 p.

Russo, A., Fantozzi, P. L., & Solomon, T. *Geological map of Mekelle Outlier (Western Sheet)*, 1:100,000. Italian cooperation – Addis Ababa University, 1997

Sembroni A., Molin P., Dramis F. & Abebe B., *Geology of the Tekeze River basin (Northern Ethiopia)*, Journal of Maps, 2017, pp. 621-631

Yibas, B., Reimold, W. U., Armstrong, R., Koeberl, C., Anhaeusser, C. R., & Phillips, D. *The tectonostratigraphy, granitoid geochronology and geological evolution of the Precambrian of southern Ethiopia*. Journal of African Earth Sciences, 34, 2002, pp. 57–84