

PROGRAMMA DI RICERCA STM 2017

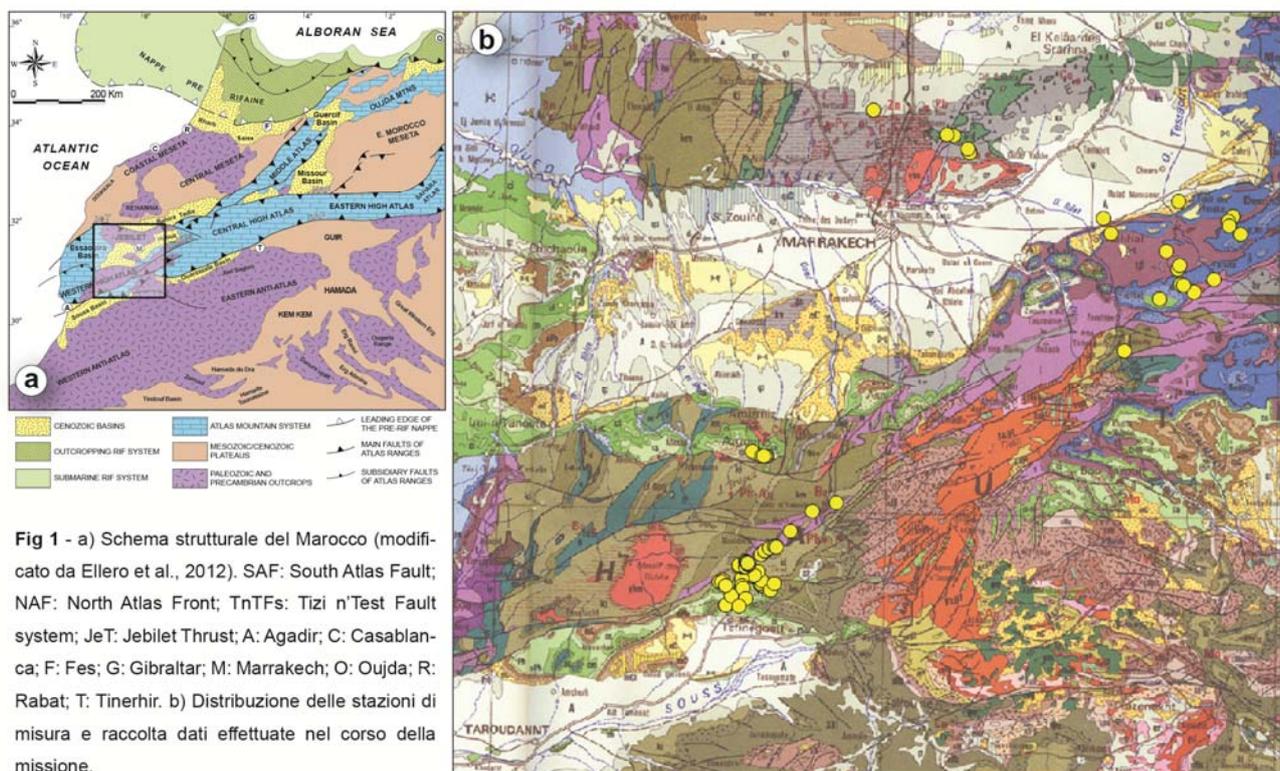
**STUDIO GEOLOGICO STRUTTURALE DEL RUOLO DEI SISTEMI DI FAGLIE TRASCORRENTI NELL'EVOLUZIONE DELLA CATENA ATLASICA (MAROCCO)**

RELAZIONE FINALE

*Introduzione*

Questo studio si inserisce nell'ambito di ricerche condotte a partire dal 2007 nel contesto di progetti di cartografia geologica (El Boukhari e Ottria, 2007; El Boukhari et al., 2007a, 2007b; El Boukhari and Musumeci, 2007; Malusà and Schiavo, 2007; Malusà et al., 2007; Cerrina Feroni et al., 2010), proseguito con due programmi STM (2009, 2014) ed un progetto bilaterale (2016-2017).

Le attività sono finalizzate alla raccolta di dati strutturali con l'obiettivo di ricostruire l'evoluzione geodinamica della catena dell'Alto Atlas e determinare il ruolo cinematico svolto dai grandi sistemi di faglie con orientazione parallela alle direzioni assiali della catena. L'Alto Atlas costituisce il maggior elemento orografico del Marocco, sviluppandosi con asse WSW-ENE per circa 700 km di lunghezza e raggiungendo quote superiori a 4000 m s.l.m. (M. Toubkal, 4167 m) (Fig. 1a).



Dal punto di vista geologico, l'Alto Atlas rappresenta, nell'area perimediterranea, l'elemento più meridionale del sistema orogenico alpino, originatosi all'interno della placca nord-africana durante il Cenozoico. Si tratta quindi di una tipica catena intracontinentale caratterizzata da una doppia vergenza delle strutture, rispettivamente a NNW nei settori settentrionali ed a SSE in quelli meridionali.

Nell'ambito del programma STM 2017 è stata svolta una campagna di terreno nel periodo compreso tra il 6 ed il 27 febbraio 2018, condotta in collaborazione con il dr. Giuseppe Ottria, ricercatore dell'Istituto di Geoscienze e Georisorse e con il prof. Hassan Ouanaimi dell'École Normale Supérieure, Département de Géologie dell'Università Cadi Ayyad di Marrakech (Marocco) che ha rappresentato l'istituzione ospitante.

Nel corso della campagna di terreno è stata rivolta particolare attenzione al sistema di faglie del Tizi n'Test, una delle strutture più significative alla scala dell'intera catena. Sono stati inoltre raccolti dati in corrispondenza del limite settentrionale dell'Alto Atlas e dei rilievi del Jebilet, un sistema montuoso a Nord di Marrakech la cui evoluzione alpina può essere correlata a quella del sistema alto atlasico (Fig. 1b).

#### *Attività svolta*

La ricerca si è concentrata principalmente nella raccolta di dati riferiti al sistema di faglie del Tizi n'Test, un sistema complesso e attivato più volte dal Cambriano all'attuale nel corso di diverse fasi orogenetiche (Proust et al., 1977; Ouanaimi & Petit, 1992; Qarbous et al., 2003). Questa struttura di importanza regionale è stata studiata nel settore compreso tra Tafinegoult ed il passo del Tizi n'Test, in corrispondenza del versante meridionale dell'Alto Atlas, e nell'area tra Taddert e Demnate, a nord del passo del Tizi n'Tichka (Fig. 1b).

In entrambi questi settori sono state individuate le strutture geologiche principali (faglie e pieghe) in corrispondenza delle quali sono stati raccolti dati geometrici e cinematici alla mesoscala, ponendo particolare attenzione alle vergenze delle deformazioni e alla possibile sovrapposizione di fasi tettoniche successive (tettonica ercinica vs. tettonica alpina). Complessivamente sono state realizzate 87 stazioni strutturali, per un totale di circa 300 dati misurati, raccolti in un database georiferito.

Il motivo strutturale dominante rilevato in corrispondenza del sistema del Tizi n'Test è rappresentato dalla presenza di zone di faglia principali orientate secondo direzioni ENE-WSW, associate a sistemi di faglie coniugate con orientazioni NW-SE. Queste strutture sono rappresentate da faglie ad alto angolo lungo le quali la deformazione si distribuisce anche su piani a più basso angolo con cinematica down-dip a formare delle "flower structure", strutture tipiche di un contesto transpressivo in cui la deformazione viene ripartita su piani ad alto angolo caratterizzati da una cinematica prevalentemente trascorrente e piani a basso angolo con movimento inverso.

In corrispondenza dell'area meridionale il sistema di faglie del Tizi n'Test è rappresentato da una zona di faglia principale che mette in contatto un blocco settentrionale, rappresentato da unità cambriane con la loro copertura discordante permo-triassica, con un blocco meridionale costituito da rocce cambriane ricoperte in discordanza da una successione cretacica (Fig. 2).

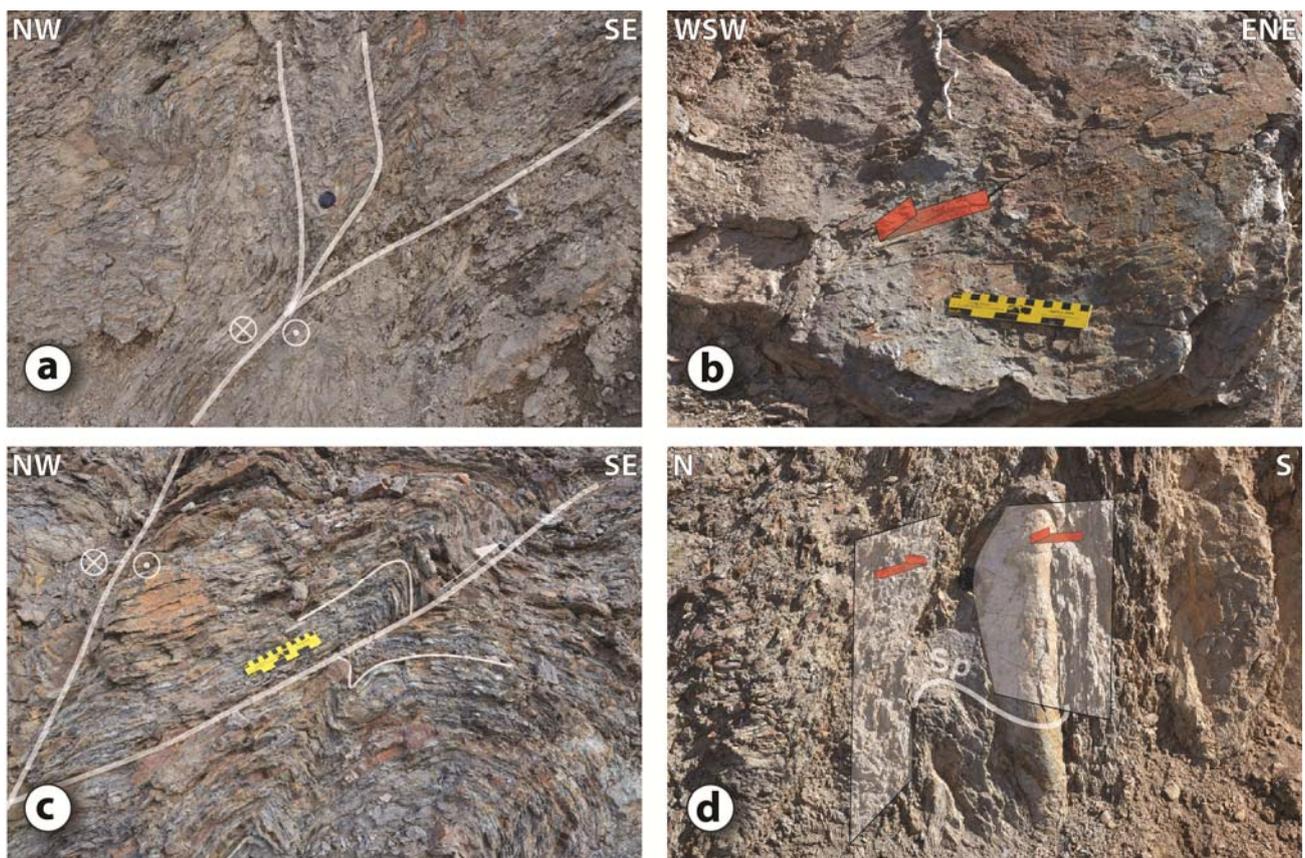
Il blocco meridionale è deformato secondo sistemi di pieghe anticlinali e sinclinali con assi suborizzontali orientati parallelamente alle faglie principali e vergenza verso sud. Le pieghe coinvolgono il substrato cambriano e la sovrastante successione mesozoico-cenozoica, con quest'ultima che in alcuni casi sembra dislocarsi in corrispondenza di livelli di scollamento preferenziali.



**Fig. 2** – Panoramica del sistema di faglia di Tizi n'Test in corrispondenza della area compresa tra Tafinegoult ed il passo di Tizi n'Test. TnTF: Tizi n'Test Fault.

In corrispondenza del settore settentrionale, a nord del passo del Tizi n'Tichka, il sistema Tizi n'Test è rappresentato da un complicato sistema di faglie che nel complesso separano un blocco paleozoico da successioni mesozoiche, prevalentemente triassiche.

L'analisi cinematica di dettaglio condotta sul terreno ha consentito di evidenziare tutta una serie di strutture alla mesoscala che caratterizzano la zona deformativa sviluppata in corrispondenza del sistema del Tizi n'Test. Queste strutture sono particolarmente evidenti nel caso in cui la deformazione interessi rocce costituite da un "multilayer", come nel caso della successione cambriana (Fig. 3).



**Fig. 3** – Zona di deformazione del sistema di faglia di Tizi n'Test nel settore nord. a) Struttura transpressiva di tipo "flower" alla mesoscala. b) Indicatori cinematici su piano di faglia. c) Superfici di sovrascorrimento a basso angolo associate con faglie trascorrenti ad alto angolo. d) Pieghie ad asse verticale sviluppate in corrispondenza di piani di taglio coniugati.

In questo caso è possibile osservare alla scala dell'affioramento frequenti geometrie di tipo “flower” (Fig. 3a) tipiche di un contesto transpressivo, dove a faglie trascorrenti ad alto angolo (Fig. 3b), si associano piano di sovrascorrimento a basso angolo (Fig. 3c) spesso caratterizzati da vergenze opposte.

In questo settore si osservano inoltre delle strutture particolari, costituite da pieghe ad asse verticale che deformano la foliazione principale Sp del multilayer, originate in corrispondenza di piani di taglio coniugati che si sviluppano lungo le due direzioni principali del sistema Tizi n' Test (Fig. 3d).

La raccolta di dati cinematici ha inoltre riguardato settori localizzati lungo il limite settentrionale dell'Alto Atlas, in particolare in corrispondenza della Faglia di Medinat e nell'area di Amez Miz.

La Faglia di Medinat è una faglia ad alto angolo che giustappone rocce cambriane alla successione mesozoico-cenozoica (Fig. 4).



**Fig. 4** – Panoramica della Faglia di Medinat. MF: Medinat Fault. TF: Tassila Fault.

La faglia di Medinat è in realtà rappresentata da una zona di deformazione con più superfici di faglia parallele (Faglia di Medinat, Faglia di Tassila) al di sotto delle quali la successione mesozoico-cenozoica, costituita da depositi eocenici discordanti sul Cretacico superiore, è piegata in una sinclinale di footwall.

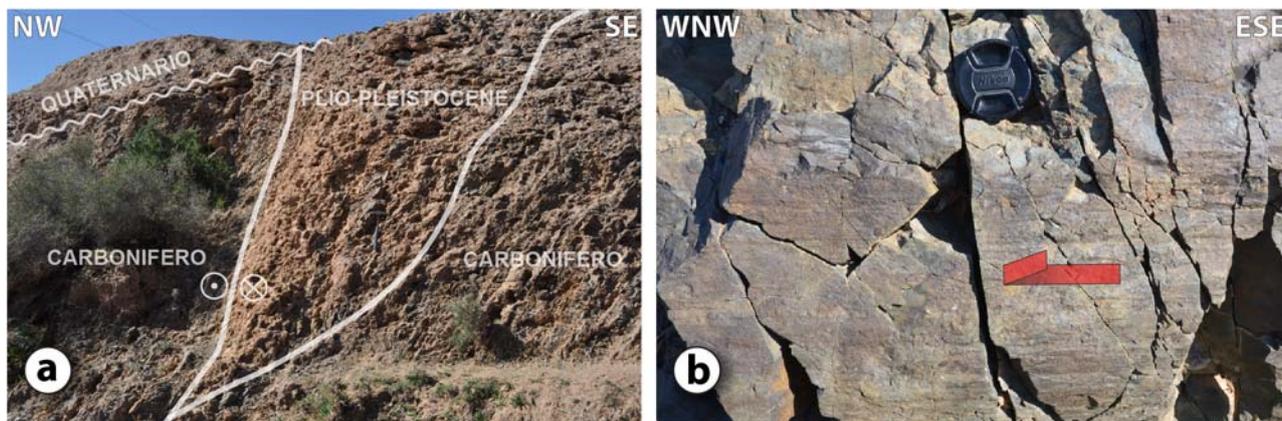
Una situazione analoga si ritrova nel settore di Amez Miz, dove l'intera successione mesozoico-cenozoica è piegata in corrispondenza della zona deformativa che caratterizza il limite settentrionale dell'Alto Atlas (Fig.5).



**Fig. 5** – Panoramica della zona di deformazione coincidente con il limite settentrionale dell'Alto Atlas nel settore di Amez Miz. NAD: North Atlasic Detachment. NAF: North Atlasic Fault.

In quest'area il limite settentrionale della catena è rappresentato da un'ampia zona di deformazione caratterizzata da una faglia trascorrente ad alto angolo, la faglia nordatlantica (NAF), che giustappone un blocco meridionale costituito da un substrato cambriano con una copertura cretacica ad un blocco settentrionale caratterizzato da una successione mesozoico-cenozoica. Nella faglia atlantica ad alto angolo si radica una superficie a basso angolo, il detachment nordatlantico (NAD) lungo il quale una parte della successione mesozoica piegata sovrascorre sui depositi mio-pliocenici.

Infine, è stato svolto un sopralluogo nell'area del Jebilet, una zona di rilievi montuosi a nord di Marrakech costituiti fondamentalmente da rocce paleozoiche strutturate nel corso dell'orogenesi varisca. L'attuale espressione morfologica è tuttavia legata alle fasi alpine che hanno originato la catena atlasica, portando ad interpretare il Jebilet come blocco di hanging-wall di una superficie di thrust a basso angolo (Hafid, 2006; Hafid et al., 2008), possibilmente radicata in corrispondenza dei sistemi trascorrenti ad alto angolo dell'Alto Atlas (Ellero et al., 2012).



**Fig. 6** – Probabile deformazione alpina nel massiccio del Jebilet. a) Faglie ad alto angolo che coinvolgono depositi plio-pleistocenici. b) Indicatori cinematici su una superficie di faglia con direzioni atlasiche in rocce carbonifere.

I dati preliminari raccolti sembrano indicare la possibilità di registrare una deformazione post-varisca legata alle fasi alpine. In particolare, depositi plio-pleistocenici sembrano essere coinvolti in sistemi di faglie trascorrenti (Fig. 6a) caratterizzati da sistemi coniugati di faglie ad alto angolo caratterizzati da direzioni e cinematica perfettamente confrontabili con quelli atlasici (Fig. 6b).

### *Conclusioni e prospettive*

I dati acquisiti nel corso della campagna di ricerca svolta verranno preliminarmente discussi con il prof. Ouanimi sia sulla base delle interpretazioni presenti nella letteratura geologica sia nell'ottica di possibili nuove soluzioni derivanti da questi studi, per poi essere elaborati statisticamente con l'obiettivo di distinguere i diversi sistemi di strutture e ricostruire le variazioni del campo di paleostress. I risultati preliminari delle attività svolte sembrano confermare quanto ipotizzato sulla base dei dati acquisiti nel corso delle ricerche precedenti, suggerendo come i grandi sistemi di faglia che si estendono parallelamente alle direzioni della catena atlasica abbiano giocato un ruolo fondamentale nel corso delle diverse fasi orogenetiche, con una cinematica dominata da un'importante componente trascorrente, probabilmente già a partire dalla tettonica ercinica. Una ricaduta importante di questa interpretazione risiede nella possibilità di riferire alla tettonica transpressiva anche l'anomalo sollevamento della catena atlasica, recentemente spiegato secondo modelli che implicano la presenza di un mantello poco profondo al di sotto dell'Alto Atlas (Miller & Becker, 2014). Nel nostro modello l'elevazione della catena potrebbe essere interpretata come il risultato della riattivazione di strutture transpressive a scala regionale secondo geometrie del tipo "flower" con radici a scala litosferica.

## Riferimenti bibliografici

- Cerrina Feroni A., **Ellero A.**, Malusà M.G., Musumeci G., Ottria G., Polino R. & Leoni L. (2010) - Transpressional tectonics and nappe stacking along the Southern Variscan Front of Morocco. *Int. J. Earth Sci.*, 99, 1111-1122.
- El Boukhari A, Musumeci G (Coord.) - Levés de terrain, couvertures paléozoïques: Baidder L., Cerrina Feroni A., **Ellero A.**, Ghiselli F, Malusà M, Mazzarini F, Musumeci G, Ottria G, Ouanaimi H, Pertusati Pc, Polino R (2007). Carte Géologique du Maroc au 1/50 000, feuille Imi n'Ouzrou. In: Notes et Mémoires, Serv. Géol. Maroc, N° 517.
- El Boukhari A, Ottria G, Algouti Ab, Cerrina Feroni A, Dal Piaz G.V, **Ellero A.**, Ghiselli F, Malusà M, Massironi M, Musumeci G, Ouanaimi H, Pertusati P.C, Schiavo A, Taj-Eddine K (2007a). Carte Géologique du Maroc au 1/50 000, feuille Taroucht - Notice explicative. Notes et Mémoires, Serv. Géol. Maroc, N° 520 bis. p. 1-78, Rabat: Editions du Service Geologique du Maroc, ISBN: 9954-8846-1-0
- El Boukhari A, Musumeci G, Algouti Ab, Cerrina Feroni A, Ghiselli F, Ottria G, Ouanaimi H, Pertusati P.C, Taj-Eddine K, Visona' D (2007b). Carte Géologique du Maroc au 1/50 000, feuille Imi n'Ouzrou - Notice explicative. Notes et Mémoires, Serv. Géol. Maroc, N° 517 bis. p. 1-72, Rabat: Editions du Service Geologique du Maroc, ISBN: 9954-8846-1-0.
- Ellero A.**, Ottria G., Malusà M.G., Ouanaimi H. (2012). Structural Geological Analysis of the High Atlas (Morocco): Evidences of a Transpressional Fold-Thrust Belt. In: "Tectonics - Recent Advances", Evgenii Sharkov (Ed.), pp. 229-258, ISBN: 978-953-51-0675-3, InTech (Available from: <http://www.intechopen.com/books>).
- Hafid, M. (2006). Styles structuraux du Haut Atlas de Cap Tafelney et de la partie septentrionale du Haut Atlas occidental: tectonique salifère et relation entre l'Atlas et l'Atlantique. Notes Mémoire du Serv. Géologique du Maroc 465, 172.
- Hafid, M., Tari, G., Bouhadioui, B., Moussaid, El I., Eccharfaoui, H., Aït Salem, A., Nahim, M., Dakki, M. (2008). Atlantic Basins. Continental Evolution. The Geology of Morocco, pp. 301–329.
- Malusà M.G., Polino R., Cerrina Feroni A., **Ellero A.**, Ottria G., Baidder L. & Musumeci G. (2007) – Post-Variscan tectonics in eastern Anti-Atlas (Morocco). *Terra Nova*, 19, 481-489.
- Malusà M, Schiavo A (Coord.) Levés de terrain, couvertures paléozoïques: Baidder L, Cerrina Feroni A, **Ellero A.**, Ghiselli F, Malusà M, Mazzarini F, Musumeci G, Ottria G, Ouanaimi H, Pertusati PC, Polino R (2007). Carte Géologique du Maroc au 1/50 000, feuille Taghazout. In: Notes et Mémoires, Serv. Géol. Maroc, N° 519.
- Miller, M.S., Becker, T.W., (2014). Reactivated lithospheric-scale discontinuities localize dynamic uplift of the Moroccan Atlas Mountains. *Geology*42, 35–38.
- Ouanaimi, H. & Petit, J.P. (1992). La limite sud de la chaîne hercynienne dans le Haut Atlas marocain: reconstitution d'un saillant non déformé. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 163: 63-72.
- Proust, F.; Petit, J-P. & Tapponnier, P. (1977). L'accident de Tizi n'Test et le rôle des décrochements dans la tectonique du Haut Atlas occidental (Maroc). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7: 541-551.
- Qarbaus, A.; Medina, F. & Hoepffner, Ch. (2003). Le bassin de Tizi n'Test (Haut Atlas, Maroc): exemple d'évolution d'un segment oblique au rift de l'Atlantique central au Trias. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 40: 949-964.

Pisa, 13 marzo 2018

Alessandro Ellero

