

Preliminary results of fault-related permeability structures associated to the Scicli-Ragusa fault segments, Hyblean Plateau, Sicily

ANTONINO CILONA (*), FABRIZIO AGOSTA (*), ALESSANDRO CRISCENTI (**), GIOVANNI DEIANA (*) GIUSEPPE GIUNTA (**), GIUSEPPE NAPOLI (**), PIETRO RENDA (**), EMANUELE TONDI (*).

RIASSUNTO

Risultati preliminari sulle strutture di permeabilità associate alle faglie del sistema di Scicli-Ragusa, Plateau Ibleo, Sicilia

Nella zona di Ragusa (Plateau Ibleo, Sicilia sud-orientale) la presenza di bitume all'interno di rocce carbonatiche di età oligo-miocenica, caratterizzate da una porosità primaria oggi compresa tra 0 e 10% (Formazione Ragusa), permette di osservare il ruolo esercitato da faglie e fratture nella circolazione degli idrocarburi. Con l'obiettivo quindi di effettuare studi mirati alla caratterizzazione petrofisica delle diverse tipologie di faglie e fratture affioranti, è stato condotto uno studio di terreno preliminare, che ha permesso la definizione dell'assetto geologico-strutturale della porzione occidentale del Plateau Ibleo, lungo il sistema di faglie denominato Scicli-Ragusa. Inoltre, sulla base dei dati acquisiti lungo le faglie viene effettuata una preliminare valutazione delle loro permeabilità strutturale.

Mediante il rilevamento di terreno è stata realizzata una carta geologica a scala 1:25.000 lungo il sistema di faglie denominato Scicli-Ragusa. Inoltre, un'analisi stratigrafica di dettaglio ha consentito di definire lo spessore e la distribuzione dei diversi membri e sotto-membri appartenenti alla Formazione Ragusa. Sulla base dei dati acquisiti è stato possibile identificare i diversi set di faglie affioranti e di valutare i rigetti dei singoli segmenti di faglia. Le faglie appartenenti al sistema di Scicli-Ragusa, sono orientate (i) NNE-SSO, con una cinematica prevalente di tipo trascorrente destro, (ii) NE-SO con una cinematica di tipo normale e (iii) ENE-OSO con una cinematica trascorrente di tipo sinistro. Indipendentemente dalla loro cinematica, sulla base dei loro rigetti le faglie affioranti sono state raggruppate in quattro diverse categorie: (a) "incipienti" (con rigetti di pochi cm), (b) "piccole" (con rigetti fino al m), (c) "medie" (con rigetti di decine di m) e (d) "grandi" (con rigetti di centinaia di m). Le faglie "incipienti", presenti negli strati poco porosi ($\Phi < 5\%$), sono costituite da discontinuità persistenti (joint e stiloliti) andate in taglio, mentre negli strati porosi ($\Phi > 5\%$) si rinvencono principalmente *single shear band* o *shear band zone*. Nelle faglie "piccole" le superfici di taglio si presentano discontinue con *fault core* isolati, costituiti principalmente da breccia di faglia e *damage zone* per lo più assente; le faglie "medie" presentano sempre *fault core* sottili e discontinui (breccia e/o cataclaste) ma *damage zone* spesse e ben sviluppate. Le faglie "grandi" sono costituite da *fault core* (breccia cementata o cataclaste) di spessore metrico e superfici di taglio ben sviluppate circondate da *damage zone* spesse decine di metri. Poiché la permeabilità delle faglie, come ampiamente dimostrato in letteratura, è fortemente influenzata dalla loro architettura interna, possiamo interpretare i dati ottenuti in termini di permeabilità strutturale. Le faglie "grandi" si comportano verosimilmente da sistemi condotto-barriera, in cui la circolazione dei fluidi avviene

principalmente all'interno delle *damage zone* (in direzione parallela alla faglia), ma al contempo è inibita dai *fault core* impermeabili (in direzione perpendicolare alla faglia). Nelle faglie "medie" e "piccole" i *core*, anche se impermeabili, sono comunque discontinui; quindi queste faglie possono rappresentare nel complesso dei condotti idraulici localizzati. Per quanto riguarda invece le faglie "incipienti", e le strutture deformative di *background* presenti all'interno dell'*host rock*, esse possono agire sia da barriera (*compactive shear band*, *compactive shear band zone*, *compaction band* e *stiloliti*) che da condotto (*joint*, *joint* e *stiloliti* andati in taglio) al flusso dei fluidi.

Paole chiave: *architettura di faglia, carbonati miocenici di piattaforma e rampa, permeabilità delle faglie, Plateau Ibleo.*

Key words: *fault permeability, fault architecture, platform-to-ramp Miocene carbonate, Hyblean Plateau.*

With the aim of studying the multi-scale fault architecture and fault permeability in hydrocarbon-rich porous carbonate rocks,

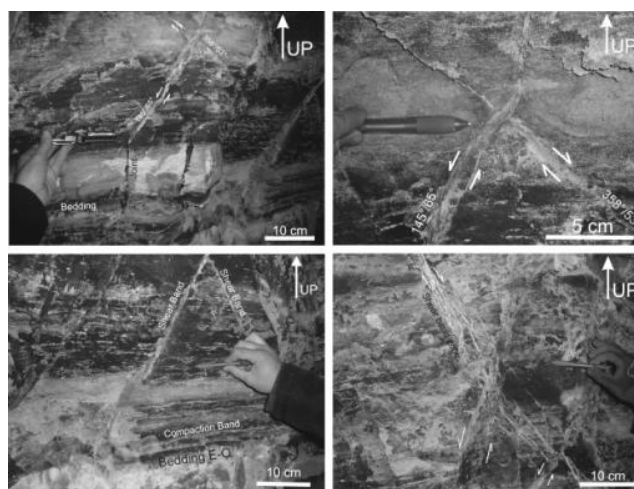


Fig. 1- Pictures collage of two sets of compactive shear bands (CSB's) and compactive shear band zones within tar rich packstones (Lower Irminio sub-member). CSB's are whiter than the surrounding porous rocks because not invaded by tar. Joints localized within more massive layers are filled by tar.

Fig. 1- Collage fotografico di due set coniugati di *compactive shear band* (CSB) e *compactive shear band zone* all'interno dei *packstone* ricchi in *tar* (Sotto-membro Irminio Inferiore). Le CSB sono più chiare della roccia incassante perché non sono state invase dal *tar*. Invece i *joint*, che si trovano nei livelli massivi, sono riempiti di *tar*.

(*) Faults & Fractures in Carbonates (F&FC) Project, Geology Division, School of Science and Technology, University of Camerino, MC, Italy.

(**) Department of Geology and Geodesy, University of Palermo, Italy. Work supported by University of Camerino, Shell Italia E&P, Statoil, Total Italia E&P.

we are currently involved in a project focused on the structural analysis of fractured and faulted platform-to-ramp carbonates cropping out in the Hyblean Plateau (Sicily, Italy), which represents an excellent example of an outcropping analogue of a fractured carbonate reservoir.

By taking advantage of the several oil shows located along the Scicli-Ragusa fault system, we combine stratigraphic-structural analyses, both at outcrop and microscopic scales, to assess the structural control exerted by faults and fractures on hydrocarbon migration and storage (fig. 1).

The Hyblean Plateau is part of the Maghrebian foreland and forms the northern portion of the African plate. The Plateau is a NE-oriented structural high crosscut by a large-scale N10°-20°E oriented strike-slip fault system, named Scicli-Ragusa, which, following Ghisetti & Vezzani (1980), was affected by right-lateral kinematics during the Lower Pleistocene.

Whereas, other authors documented a recent activity of the Scicli-Ragusa fault system, during late Quaternary time, characterized by left-lateral kinematics (Catalano et al., 2006). The field work focused on the geological mapping, at 1:25.000 scale (fig. 2), on detailed stratigraphic characterization of the outcropping layered carbonates of Ragusa Formation (fig. 3), and on mesostructural faults and fractures analysis. Sample collection was also performed in order to conduct, in the laboratory, optical microscope and image analyses of the outcropping rocks (fig. 3). The Oligo-Miocenic Ragusa Fm. is comprised of two main members (Grasso et al., 1999) Leonardo and Irminio. The Leonardo mb. ($\Phi < 1\%$) is comprised of well-cemented wackestones intercalated with marl-rich mudstones. The Irminio mb. ($1 < \Phi < 8\%$), which is subdivided into three different sub-members, is made up of grainstones marl-rich packstones. A phosphatic hardground separates the Lower and Middle sub-mb. of Irminio member

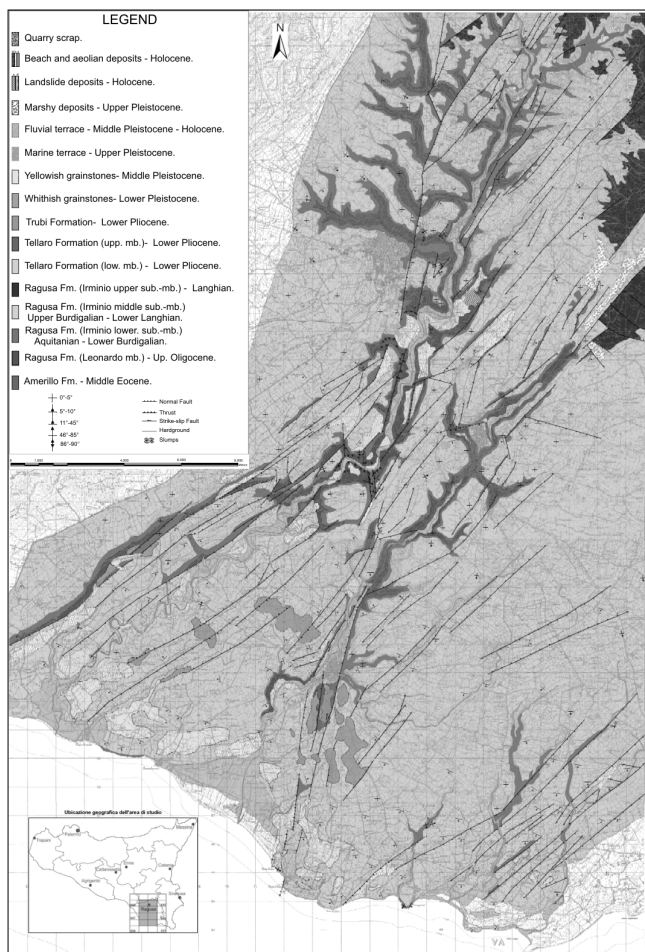


Fig. 2 - Geological map of the study area.

Fig. 2 - Carta geologica dell'area di studio.

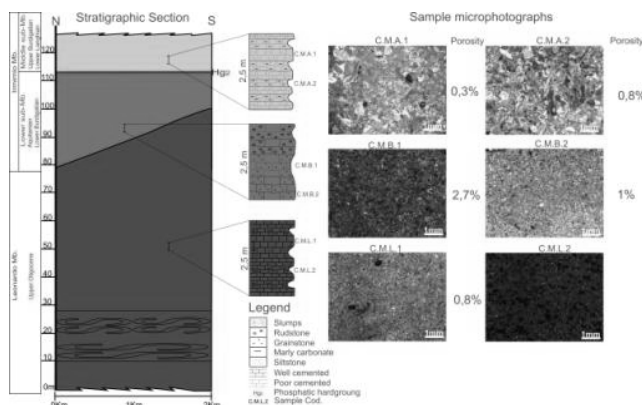


Fig. 3 - Stratigraphic section of the Ragusa Formation. On the right microphotographs and porosities values of the different members and sub-members.

Fig. 3 - Sezione stratigrafica della Formazione Ragusa. A destra immagini delle sezioni sottili dei diversi membri e sotto-membri della formazione con relativi valori di porosità

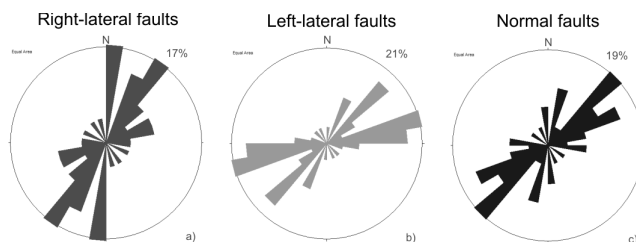


Fig. 4 - Rose diagrams of the three fault set, each petal represents a value of 10°.

Fig. 4 Diagrammi a rosa dei tre set di faglie, ogni petalo ha un valore di 10°.

(Grasso et al., 1999).

The meso-structural analysis performed to define the background deformation allowed us to identify mainly three different typologies of structures: i) joints, ii) stylolites, and iii) compaction bands. On the basis of their abutting relationships first originated bed-parallel stylolites and compaction bands then the two coeval sets of cross-orthogonal bed-perpendicular joints (NE and NW oriented respectively).

By measuring geological offsets and analysing kinematics indicators we identified three main fault sets present within the Scicli-Ragusa fault zone and characterized by different kinematics: (i) NNE-striking with predominant right-lateral slip, (ii) ENE-striking with predominant left-lateral slip, and (iii) NE-striking characterized by predominant normal slip.

Independently on their kinematics, on the basis of their offsets

we grouped the mapped faults into 4 main categories: (i) “Incipient” faults (< 10 cm), consist of sheared pre-existing fractures within massive beds and compactive shear band or compactive shear band zones within porous beds; (ii) “Small” faults (10 cm < offset < a few meters), that are made up of through-going slip surfaces and isolated and discontinuous fault breccias, whereas the damage zones are absent; (iii) “Medium” faults (a few meters < offset < 10's of meters) contain thin but discontinuous fault breccias and cataclasis. Here, the through-going slip surfaces are surrounded by thick fault damage zones; (iv) “Major” faults (offset up to 100's of meters), where well-developed, m-thick fault breccias and cataclasis and main slip surfaces flanked by 10's m-thick fault damage zones of fractured and faulted damage zones are present (fig. 5)

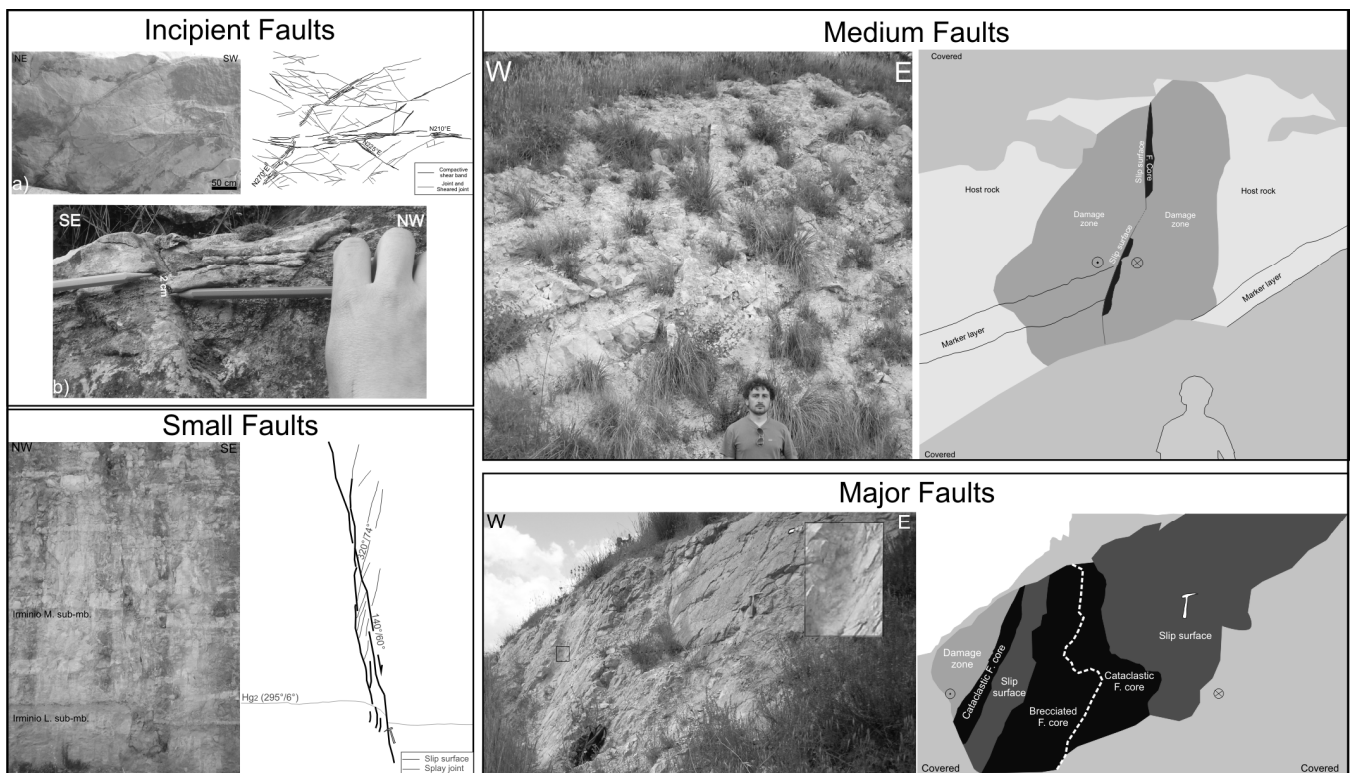


Fig. 5- Exemples of different fault architectures. Incipient fault: a) pavement of porous carbonate beds, compactive shear bands and compactive shear band zone are represented in black, they show few cm off-set; joints and sheared joints are represented in grey. b) Incipient fault in a massive carbonate bed with 2 cm's of throw. Small fault: about 40 cm of normal offset. This fault is comprised of two main slip surfaces which link together upward and bound a thin fault core of fault breccia. Left-lateral medium fault with about 10 m offset. This fault is comprised of a few meters thick damage zone and a well-cemented, brecciated and cataclastic fault core bounded by two main, through-going, 10's of m-long slip surfaces. Right-lateral major fault with more than 100 m of offset comprised of several 10's of m-thick damage zone in which cataclastic and brecciated fault rocks made up two fault cores flanked by slip surfaces.

Fig. 5- Esempi di diverse architetture di faglia; a) Faglie incipienti al tetto di uno strato carbonatico poroso, le *compactive shear band* e le *compactive shear band zone* sono rappresentate in nero, mostrano qualche cm di *offset*; i *joint* ed i *joint* andati in taglio, invece, sono rappresentati in grigio. b) Faglia incipiente in un uno strato massivo (2 cm di rigetto verticale). Faglia piccola con circa 40 cm di rigetto normale. Essa è costituita da due principali superfici di taglio interconnesse, queste delimitano un sottile *fault core* costituito da breccia di faglia. Faglia media con cinematica trascorrente sinistra, circa 10 m di *offset*. Essa è costituita da una *damage zone* spessa qualche metro ed un *fault core* ben cementato (beccia e cataclaste) delimitato da due superfici di taglio principali. Faglia grande con cinematica trascorrente destra, rigetto >100 m. Questa faglia comprende una *damage zone* spessa decine di metri e due *fault core* costituiti cataclaste e/o breccia di faglia, due grandi superfici di taglio delimitano i *core*.

It is well-known that faults permeability is strongly related to their architecture (Caine et al., 1996), so starting from the collected fault architecture data we can assume the structural permeability of the different fault categories affecting the Hyblean Plateau. “Major” faults behave as combined fluid barrier-conduits, in which the continuous, up to 1 m-thick fault cores inhibit the cross-fault fluid flow whereas the thick fault damage zones may enhance the fault-parallel fluid flow. Conversely, medium and small faults act as local fluid conduits due to discontinuous impermeable fault cores. Within the fault damage zones of small to large sized faults, the incipient faults and background structures present within individual beds may either inhibit (stylolites, compaction bands, compactive shear bands and compactive shear band zones) or enhance (joints, sheared joints, sheared stylolites) the fluid flow (figg. 1-5a).

REFERENCES

CATALANO, S., DE GUIDI, G., LANZAFAME, G., MONACO, C., TORRISI, S., TORTORICI, G., & TORTORICI, L. (2006) - *Inversione tettonica positiva tarso-quadernaria nel Plateau Ibleo (Sicilia SE)*. Rend. Soc. Geol. It., **2**, Nuova Serie, 118-120, 1 f.

CAINE, J. S., EVANS, J.P. & FORSTER, C.B. (1996) - *Fault zone architecture and permeability structure*. Geology, **11**, 1025-1028.

GRASSO M. (1999) – *Carta geologica del settore centro-meridionale dell’altopiano ibleo. (Provincia di Ragusa, Sicilia Sud-orientale)*. Istituto di Geologia e Geofisica dell’Università di Catania.

GHISETTI, F. & VEZZANI, L. (1980) – *The structural features of the Hyblean Plateau and of the Mount Judica area (South-Eastern Sicily): a microtectonic contribution to the deformation history of the Calabrian Arc*. Bollettino Società Geologica Italiana; **99**, 57-102.

KAFKA, F. T. & KIRKBRIDE, R. K. (1959) – *The Ragusa oil field, Sicily*. Fifth World Petr. Congr., **sect. 1/12**. New York.

MONACO, C., ALICATA, A., DE GUIDI, G. & NUCIFORA, S. (2003) - *Tettonica trascorrente pleistocenica lungo il margine occidentale del Plateau Ibleo (Sicilia sud-orientale)*. Bollettino Società Geologica Italiana; **122**, 355-364, 10 ff.