



Maurizio Ponton

ANALISI STRUTTURALE PROFONDA DELLE DINARIDI ESTERNE FRA ALPI E PREALPI GIULIE (ITALIA E SLOVENIA)

DEPTH STRUCTURAL ANALYSIS OF THE EXTERNAL DINARIC CHAIN IN JULIAN ALPS AND PRE-ALPS (ITALY AND SLOVENIA)

Riassunto breve - Viene proposta una nuova sezione geologica profonda attraverso le Prealpi e le Alpi Giulie a cavallo fra Friuli e Slovenia occidentale. Essa passa per il Pozzo Cargnacco 1 e con una traccia orientata SW-NE giunge nella Valle della Sava presso Kranjska Gora. Vengono analizzate le strutture compressive dinariche, i loro rapporti con i depositi di avanfossa, il coinvolgimento del Basamento e la geometria delle faglie trascorrenti sismogeniche del settore sloveno.

Parole chiave: Tettonica, Alpi Meridionali, Dinaridi, Friuli, Slovenia.

Abstract - *The aim of this work is to propose a new deep geological section through the Julian Alps and Pre-Alps between Friuli and western Slovenia. It passes through the Pozzo Cargnacco 1 and with a track-oriented SW-NE arrives in the Sava Valley close to Kranjska Gora. Analyzes the Dinaric compressive structures, their relationships with foredeep turbidites, the involvement of the Basement and the geometry of the seismogenic strike-slip faults of Slovenian zone.*

Key words: Tectonic, Southern Alps, Dinarides Friuli, Slovenia.

Introduzione

La zona di raccordo fra la catena delle Dinaridi esterne e quella delle Alpi Meridionali orientali è oggetto, da qualche tempo, di studi sia nel campo della tettonica, a causa dell'estrema complessità derivante dall'interferenza fra gli elementi strutturali, sia in quello della sismologia perché proprio qui si concentrano rilevanti fenomeni sismici. In tutto l'arco alpino, infatti, questa è l'area sismicamente più attiva.

Nel precedente lavoro "Architettura delle Alpi Friulane" (PONTON 2010), attraverso una serie di 8 sezioni geologiche profonde appositamente realizzate e incrociate fra loro, veniva analizzata la struttura della catena alpina in particolare nella fascia di maggiore interferenza fra i due principali sistemi strutturali: quello dinarico e quello sudalpino, all'interno dei quali si evidenziavano i vari stadi evolutivi.

Successivamente a quella pubblicazione, era emersa la necessità di analizzare le sole strutture dinariche compressive evolutesi fra il Cretaceo Superiore e l'Eocene (strutture mesoalpine Auct.) orientate NW-SE. Questo era possibile eseguendo una sezione mirata, in una zona dove esse fossero meglio visibili e meno influenzate dalle strutture compressive delle successive fasi tettoniche nealpine. Altro obiettivo era l'analisi delle strutture ad alto angolo trascorrenti, sempre con orientamento

dinarico ma impostate nelle fasi tettoniche più recenti ed attualmente attive nella zona slovena. L'obiettivo, quindi, era la realizzazione di una nuova sezione orientata circa SW-NE (ortogonale alle strutture).

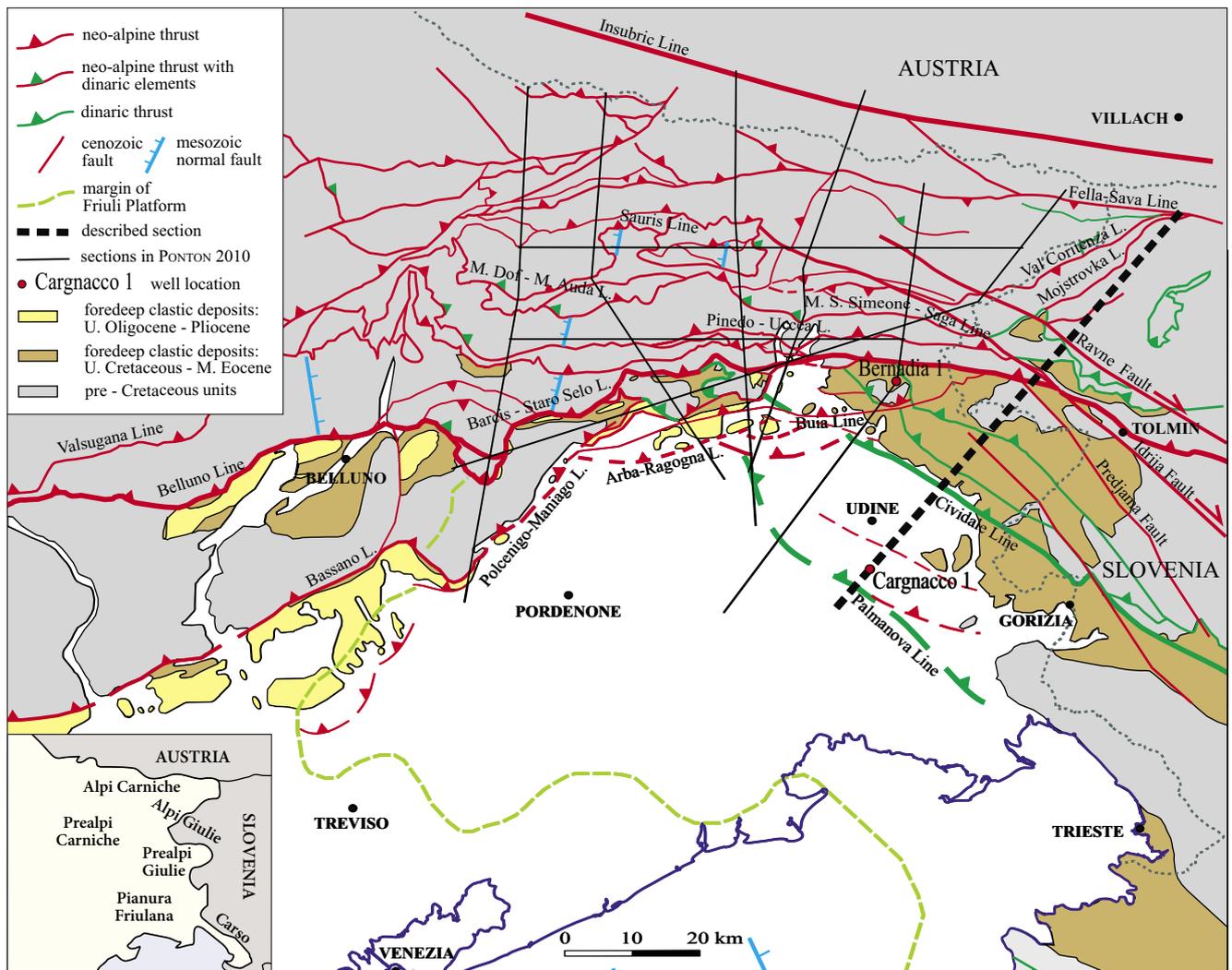
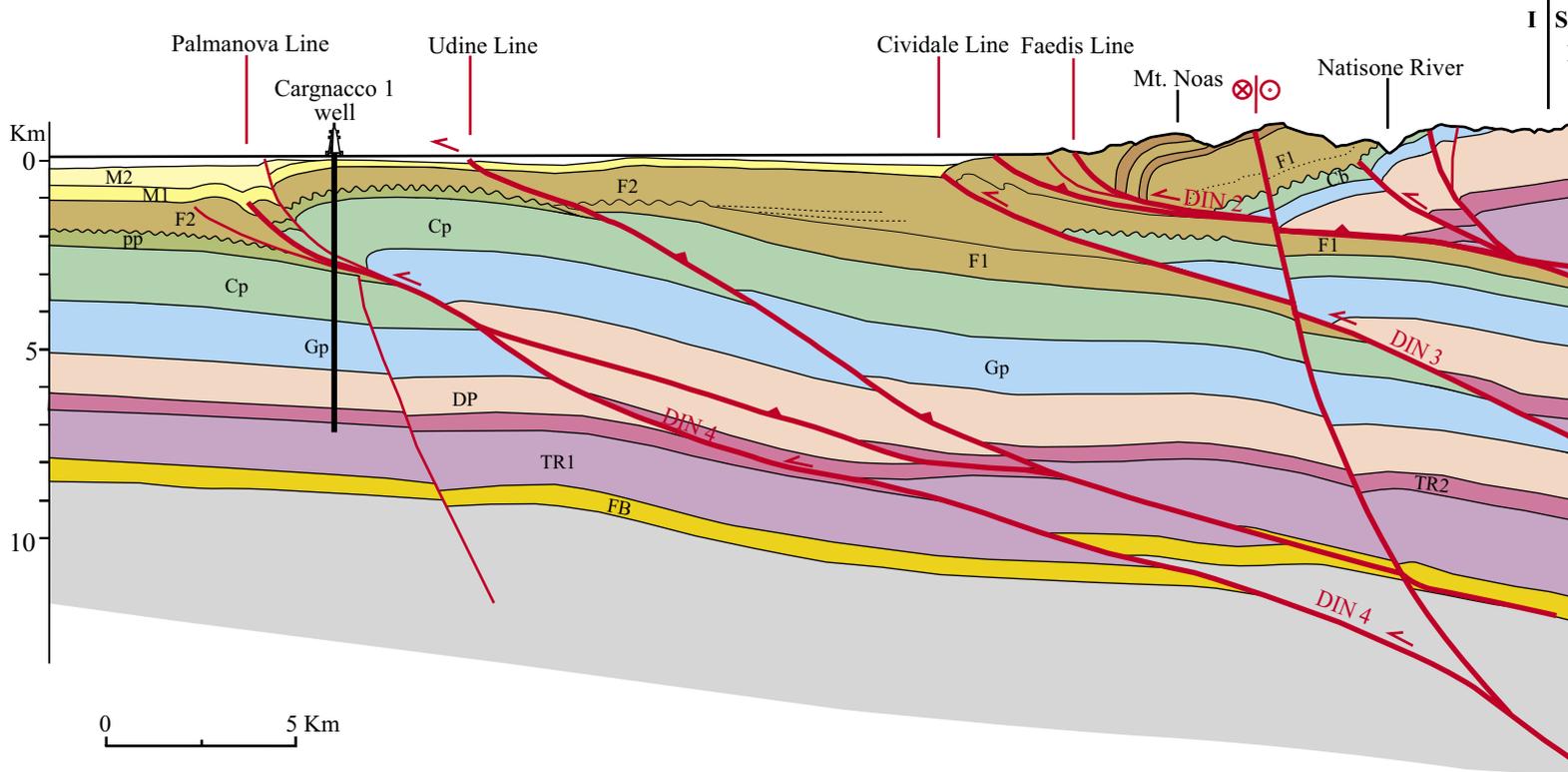
La scelta cadde nella zona, alcuni chilometri più a SE delle precedenti sezioni, che collega il Pozzo Cargnacco 1, le Prealpi Giulie, la zona del Monte Nero e le Alpi Giulie slovene fino alla Linea Fella-Sava, che delimita geologicamente il settore.

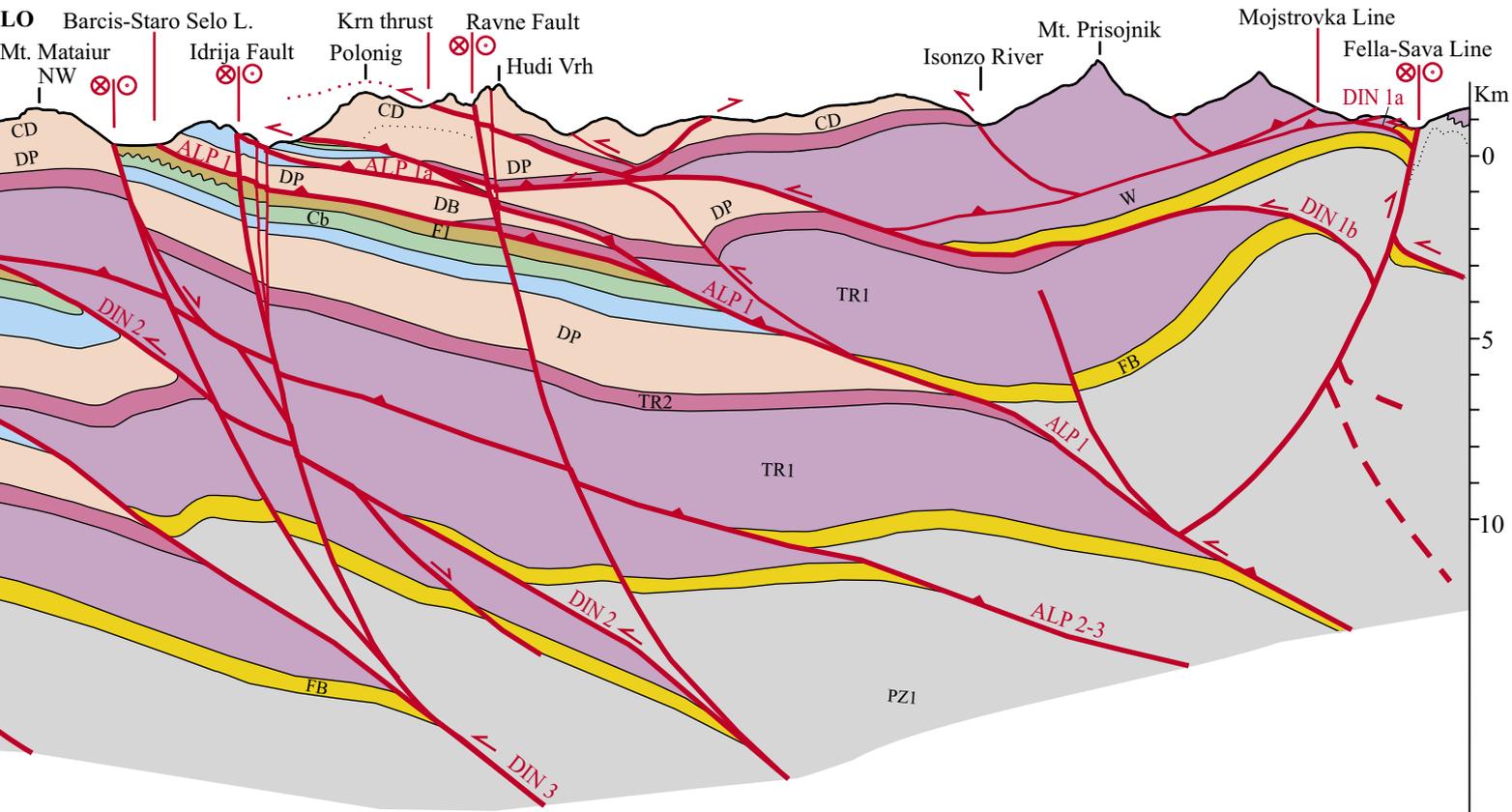
Dati utilizzati

Dati inediti di rilevamento sul terreno riguardano principalmente la zona delle Prealpi Giulie fino al confine italo-sloveno. In pianura i dati in profondità provengono dal profilo dei Pozzi Lavariano 1 e Cargnacco 1, quest'ultimo profondo 7250 m, realizzati dall'ENI (VENTURINI 2002); determinante anche la sismica a riflessione, sempre realizzata dall'ENI, in particolare la linea B di MERLINI et al. (2002) tarata con il Pozzo Cargnacco 1 e il conseguente lavoro di sintesi di NICOLICH et al. (2004).

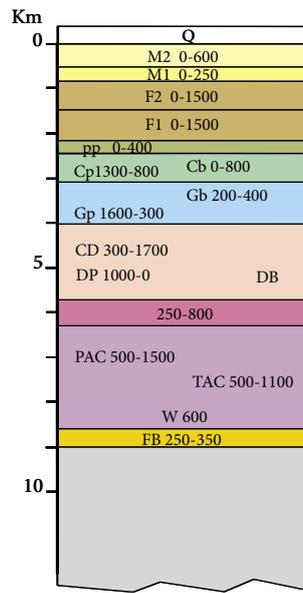
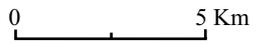
Per altri dati geofisici, come quelli gravimetrici e magnetici utili a definire la posizione in profondità di corpi di piattaforma, del basamento suscettivo o di vulcaniti, ci si rifà a CATI et al. (1989a). Come cartografia ricordiamo

SW —





- Dinaric thrust (Cretaceous-Paleogene) with prevalent movement along the section
- Neo-alpine thrust (Miocene-Quaternary) with prevalent movement orthogonal to the section
- Right strike-slip fault (circle with dot indicates the part moving toward the observer)



- Q** Quaternary
- M** Molasses: M2 - Serravallian-L. Pliocene M1 - Aquitanian-Langhian
- F** Flysch: F2 - L. Eocene-M.Eocene; F1 - U. Campanian-L. Eocene
- pp** Paleogenic platform
- C** Cretaceous carbonates: Cp - platform; Cb - basin
- G** Jurassic carbonates: Gp - platform; Gb - basin
- TR3** Upper Triassic carbonates (Norian-Retian): DP - Main Dolomite (Dol. Principale); DB - Basinal dolomite (Bača Fm); CD - Dachstein Limestone
- TR2** Upper Triassic evaporitic, carbonatic and terrigenous layers (Carnian)
- TR1** Lower - Middle - Upper p.p. Triassic units: PAC - Anisian-carnian carbonatic platform; TAC - Anisian-carnian terrigenous units; W-Werfen Fn
- PZ2** Upper Permian evaporitic - carbonatic layers
- PZ1** Paleozoic Basement

la Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia (CARULLI 2006), il Foglio CARG (1:50.000) "Udine" (ZANFERRARI et al. 2008), il Foglio GEO-CGT "Cividale" (ZANFERRARI coord. 2008), il vecchio Foglio (1:100.000) "Tolmino" (FABIANI et al. 1937), il vecchio Foglio (1:100.000) "Tarvisio" (GORTANI et al. 1954), il Foglio (1:100.000) "Tolmin in Videm" (BUSER 1986) e il Foglio (1:100.000) "Beljak in Ponteba" (JURKOVŠEK 1987). È stato utile il volume di sintesi "Geologia della Slovenia" (PLENIČAR et al. 2009) con la relativa carta geologica 1:250.000 (BUSER 2010), come anche il vasto lavoro di COUSIN (1981). Esiste poi l'ampia bibliografia specifica di Autori italiani e sloveni che verranno citati nel testo.

Inquadramento geologico

Volendo fornire un quadro sintetico della successione delle unità litostratigrafiche, come anche illustrato nella colonna stratigrafica di riferimento (vedi p. 25), si può iniziare definendo il basamento come l'insieme delle unità paleozoiche non metamorfosate o anchimetamorfiche che affiorano nella "Catena Carnica" e che ritroviamo in parte anche in Slovenia (Caravanche = Karavanke) a Nord della Linea Fella-Sava e in alcuni settori interni. È un basamento mediamente a bassa suscettività magnetica ($100-250 \times 10^{-6}$ unità c.g.s.) ma che, essendo eterogeneo, presenta corpi estesi di vulcaniti del Carbonifero che ne alzano il valore localmente; da una profondità di circa 8,5 km in bassa pianura esso si immerge verso Nord e Nord-Est fino a più di 11 km, per poi avere un improvviso rialzo in Carnia, nel Tarvisiano ma anche appena ad Est di Cividale (CATI et al. 1989a; PONTON 2010).

Le coperture, in questi lavori prettamente strutturali, si fanno iniziare con la Formazione a Bellerophon del Permiano superiore poiché spesso rappresenta il primo importante livello di scollamento nella struttura a thrust della catena: è costituito da calcari, dolomie cariate e talora da livelli di gessi.

Il Triassico è abbastanza complesso come evoluzione e varietà di formazioni ma per il settore qui considerato possiamo riassumerlo come descritto di seguito (per la bibliografia del Mesozoico ci si rifà a quella citata nel paragrafo precedente). Alla base ovunque vi è la Formazione di Werfen per qualche centinaio di metri di spessore. Nella Valle della Sava si trovano decine di metri di breccie policrome discordanti su formazioni paleozoiche o sulla Formazione di Werfen, chiamate Breccia di Ugovizza, riconducibile quindi al Conglomerato di Richtofen. Nel settore giulio seguono facies di piattaforma carbonatica quali la Formazione del Serla, la Formazione di Contrin e la Dolomia dello Sciliar per parecchie centinaia di metri, localmente sostituite da facies bacinali riconducibili alla Formazione di Buchenstein e alla Formazione di Wengen. Al di sopra della Dolomia

dello Sciliar poggia il "Gruppo di Raibl", costituito da varie unità con litologie quali calcari scuri e selciferi, banchi di dolomie massicce, dolomie marnose e peliti; queste unità hanno il loro massimo spessore a Cave del Predil (= Raibl) e si riduce progressivamente verso Est. Segue il potente spessore della piattaforma del Triassico superiore rappresentata dalla Dolomia Principale e dal Calcarea del Dachstein che in Slovenia arriva a sostituire completamente la prima; in alcuni settori delle Alpi Giulie slovene si riscontrano invece dolomie grigio scure selciferi del Norico (Formazione della Bača) coeve alla piattaforma che rappresentano il lembo più settentrionale del Bacino di Tolmino o Bacino Sloveno. Quest'ultimo separa la Piattaforma Friulana ad Ovest dalla Piattaforma Giulia ad Est (BUSER 1989; GALE et al. 2015).

Dal Giurassico si verifica una netta differenziazione fra il settore SW, italiano, dove prevalgono facies di piattaforma carbonatica (Piattaforma Friulana, CATI et al. 1989b) potenti centinaia di metri (Calcari Grigi, Calcarea del Cellina, Calcarea ad Ellipsactinie), e quello NE, sloveno, dove si delinea il Bacino Sloveno; qui si possono trovare facies carbonatiche pelagiche e con sequenze condensate, o con importanti lacune, potenti poche decine di metri, seguite da spessori esigui di calcari bacinali cretaci tipo "Biancone" (Maiolica) o localmente da calcareniti selciferi come il Calcarea di Volzana (Volče) (TUNIS & VENTURINI 1986) o da facies calcarea-marnose tipo Scaglia.

La differenziazione è regolata dall'azione di faglie orientate NW-SE, forse già attive dalla fine del Triassico. Una di esse, la più evidente, la Linea Kolovrat-Mataiur (VENTURINI & TUNIS 1989) sicuramente ha svolto una importante funzione nella fase tettonica santoniana, delimitando il Bacino Sloveno nel Cretaceo. Dal Campaniano in poi nel Bacino si depositano le varie unità di Flysch, inglobando potenti corpi di frane sottomarine e torbiditi sia carbonatiche che silicoclastiche che qui raggiungono il massimo spessore (fino a 3000 m): Unità di Drenchia; Flysch di Clodig; Flysch dello Iudrio; Flysch di M. Brieka; Flysch di Calla; Flysch di Masarolis; Flysch del Grivò; Arenarie e marne di Savorgnano (TUNIS & VENTURINI 1985, 1987, 1992; SARTORIO et al. 1997). Chiudono la successione, nel settore settentrionale della Pianura Friulana, i depositi terrigeni di avansfossa sudalpina (Molasse Auct.), divisi in due sequenze: Cattiano-Langhiano (Gruppo Cavanella) e Serravalliano-Pliocene (MELLERE et al. 2000 cum bibl.).

Questo settore nord-occidentale delle Dinaridi esterne si sviluppò fra la fine del Cretaceo (Maastrichtiano) e il Paleogene (Eocene medio) con la formazione di un sistema a thrust orientato circa NW-SE e vergente a SW. Connessa allo sviluppo di thrust è la migrazione verso SW dei bacini di sedimentazione delle torbiditi con fenomeni di "cannibalismo" dei depositi precedenti da parte delle torbide successive. Nel frattempo la Piattaforma Friulana arretrava per flessurazione litosferica

con fenomeni di tettonica distensiva, collassi di vari settori e franamenti del margine orientale.

Dalla fine del Paleogene (Oligocene) fino a tutto il Neogene si sviluppò un sistema di thrust embriciati più fitto di quello dinarico, orientati principalmente E-W; le unità strutturali mostrano vergenza prevalentemente a Sud. Verso le fasi finali si sviluppano strutture anche SW-NE con vergenza a SE delle unità strutturali; nel settore sloveno si attivarono faglie trascorrenti destrorse in molti casi riattivazioni delle vecchie faglie distensive mesozoiche (fase neoalpina e suoi stadi). Naturalmente questi nuovi sistemi riattivarono o ristrutturano il vecchio edificio mesoalpino.

La sezione

La traccia scelta per la sezione è lunga 80 km e va dal campanile del paese di Mortegliano ($45^{\circ} 56' 36.85''$ N - $13^{\circ} 10' 16.56''$ E) fino ad un rilievo a Nord di Gozd Martuljek ($46^{\circ} 29' 22.50''$ N - $13^{\circ} 51' 15.03''$ E) nella Valle della Sava in Slovenia. È subparallela al primo tratto SW della sezione 1 e al secondo tratto NE della sezione 6 del lavoro di PONTON (2010) e distante circa 15 km a SE rispetto a questi segmenti. A partire da NE la sezione interessa il Gruppo montuoso Martuljek fra lo Spik e Riglica (fig. 4), la cima del Prisojnik, la Val Trenta, Sonzia (Soča), il monte Hudi Vrh nel Gruppo del Krn (M. Nero), la spalla orientale del Polonig, l'Isonzo presso Kobarid (Caporetto, fig. 1), il versante Nord e NW del M. Mataiur, il M. Craguenza, il M. Noas (fig. 2), la pianura nei pressi di Remanzacco fino al Pozzo

Cargnacco 1 per poi giungere a Mortegliano, sua terminazione Sud-occidentale.

Descrivendo la sezione a partire dal suo estremo Nord-orientale, la parte interna della catena fa intravedere in affioramento il basamento con i calcari permiani della Fm del Trogkofel ricoperti dalle unità anisiche in discordanza angolare e notevolmente tettonizzati (KASTELIC 2007); la Linea Fella-Sava, attualmente trascorrente, evidenzia un'attività inversa con rigetto verticale di un paio di chilometri del settore Sud. In questo settore almeno due importanti unità strutturali, una dinarica (DIN1b) e una alpina (ALP1) rialzano notevolmente con vergenza Sud il basamento, raddoppiando le unità del Triassico inferiore e medio, che affiorano presso i Gruppi montuosi di Martuljek e Prisojnik con le dolomie e calcari ladinici e in parte carnici (CELARC & JURKOVŠEK 2008; CELARC et al. 2013). In affioramento presso la Linea Fella-Sava compare un piano che raddoppia la Formazione a Bellerophon (FB) e rappresenta un residuo di un piano dinarico più interno, responsabile dei sovrascorrimenti di vetta delle Alpi Giulie (cfr. DIN1a in PONTON 2010). Si noti la deformazione indotta dall'azione della Linea Fella-Sava neoalpina a DIN1a e DIN1b. Sempre in quel settore si evidenzia l'interferenza della Linea della Mojstrovka (SELLI 1953, 1963), faglia neoalpina inversa orientata NE-SW e vergente a NW, con le strutture dinariche. Nella Linea della Mojstrovka confluisce la Linea della Val Coritenza (Koritnika Fault, fig. 3), altra faglia NW-vergente che poi continua nel Gruppo del M. Canin e in Val Resia (PONTON 2002). Il sovrascorrimento DIN1b, dopo una serie di "ramp and flat" affiora in corrispondenza del M. Nero (Krn thrust)

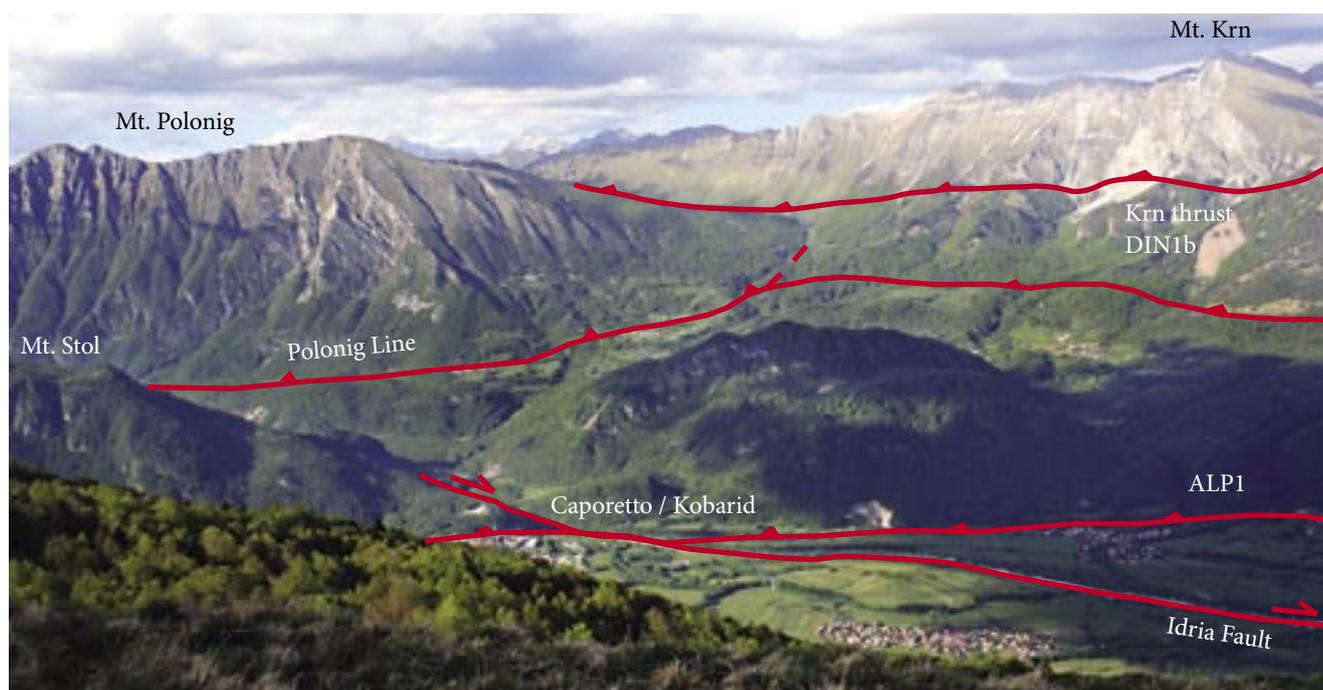


Fig. 1 - La Valle dell'Isonzo e la Catena del Monte Nero (Mt. Krn), visti da SW, nel tratto attraversato dalla sezione geologica.
- Isonzo valley and Monte Nero chain (Mt. Krn), view from SW: the central sector of the described Geological Section.

e, secondo PLACER (1999) è da porre in relazione con la “falda delle Giulie” (Julian nappe). La sua naturale prosecuzione in Italia è nella Linea M. San Simeone-Saga (PONTON 2010). DIN1b forma un doppio fronte con la struttura del M. Polonig connessa al Krn Thrust. La Linea del M. Polonig separa due sottobacini di Flysch cretaci, quindi è coeva a quei depositi (KUŠČER et al. 1974; PIRINI et al. 1986). La successiva riattivazione di questo ramo di DIN1b e l’attivazione delle fasi iniziali per ALP1a (cfr. Linea Pinedo-Uccea) è probabilmente connessa con le prime fasi neoalpine (fase insubrica, CASTELLARIN et al. 1992, 2006; PONTON 2010). È qui evidente un caso di complessa interferenza fra strutture compressive dinariche e neoalpine che purtroppo complica l’analisi delle sole strutture dinariche nel settore interno di catena.

In aggiunta a tutto ciò osserviamo il taglio subverticale netto della Faglia di Ravne su tutto l’impianto descritto. È una faglia attivata nelle ultimissime fasi neoalpine ed è una faglia sismogenica responsabile dei terremoti del 1998 e 2004 (BAJC et al. 2001; ZUPANČIČ et al. 2001; KASTELIC et al. 2008). La presente sezione è stata utilizzata per la localizzazione e l’analisi degli ipocentri di quei terremoti e successivi (BRESSAN et al. in stampa). Appena a SW nella sezione, si attraversa il fascio di faglie verticali con strutture a fiore della Faglia di Idria che fra le trascorrenti destre ad andamento dinarico è la più evidente a livello morfologico, anch’essa sismogenica ma che negli ultimi anni non ha dato importanti fenomeni (CUNNINGHAM et al. 2007). Essa corre lungo la valle dell’Isonzo a Nord del M. Stol, di cui la sezione taglia la propaggine meridionale (fig. 1). Questo settore delle Alpi Giulie costituisce una zona sismogenica (Idrija right-lateral fault system) particolarmente attiva, sottoposta a uno sforzo di massima compressione orientato mediamente NNE-SSW (BRESSAN et al. 2003; BURRATO et al. 2008). Qui affiorano successioni giurassiche e cretache di ambiente pelagico seguite dai primi Flysch, quelli cretaci. Queste unità vengono sovrascorse più volte dalle dolomie e calcari norico-retici costituiti prevalentemente dal Calcare del Dachstein.

Appena a Sud vediamo il sovrascorrimento alpino più importante: ALP1 (Linea Barcis-Starò Selo o Sovrascorrimento Periadriatico), che porta la Dolomia Principale sul Flysch del Grivò, del Paleocene-Eocene inf.. Il piano qui appare tagliato obliquamente, avendo esso una direzione circa E-W. Anche le altre strutture neoalpine mostrano in sezione la stessa geometria: lungo questa sezione, quindi, i raccordi reali di queste strutture e delle riattivazioni lungo piani dinarici non sono correttamente misurabili e hanno un angolo di inclinazione apparente in quanto la sezione non è ortogonale alle strutture neoalpine.

Si noti, anche solo qualitativamente (considerando sempre l’obliquità della sezione), l’importanza del raccordo lungo ALP1, e di quanto il Flysch venga sovrascorso.

Appena sotto il Flysch viene evidenziata la discordanza con i calcari cretaci, dato che fra la fine del Cretaceo e il Paleogene quella era una zona di by-pass fra piattaforma e bacino, sede di frequenti franamenti sottomarini e canyon, sotto il controllo di faglie distensive molto attive. Viene qui indicata quella più evidente, la Linea Kolovrat-Mataiur (cfr. schema tettonico a pag. 24), attualmente con evidenze di trascorrenza, specialmente nel tratto chiamato Faglia di Predjama (TUNIS & VENTURINI 1989; VENTURINI & TUNIS 1989; PLACER et al. 2010).

Segue a SW il massiccio del M. Mataiur con la piattaforma norica seguita dai Calcari Grigi di piattaforma del Giurassico inferiore. In questo settore la piattaforma annega quindi precocemente seguita da facies bacinali giurassiche (Calcare del Vajont) e cretache (Biancone). Su queste facies carbonatiche si appoggia la potente successione di Flysch cretaco-paleogenici che inizia con megabrecce del Campaniano-Maastrichtiano in discordanza sul Biancone (Breccia di Montefosca) (TUNIS & VENTURINI 1987).

All’interno del Flysch F1, presso il M. Noas, vengono evidenziati in scala i due megabanchi più imponenti dell’intera successione torbiditica, originati da grandi frane sottomarine: il megabanco di M. Joanaz e il megabanco di Vernasso (Flysch del Grivò) (TUNIS &



Fig. 2 - Le Prealpi Giulie nel tratto attraversato dalla sezione. In questo settore affiorano le torbiditi del Cretaceo-Eocene (F1 e F2). Vista da SW.
- The part of the Julian Prealps crossed by the Geological Section. In this sector the Cretaceous-Eocene turbidites (F1 and F2) outcrop. View from SW.

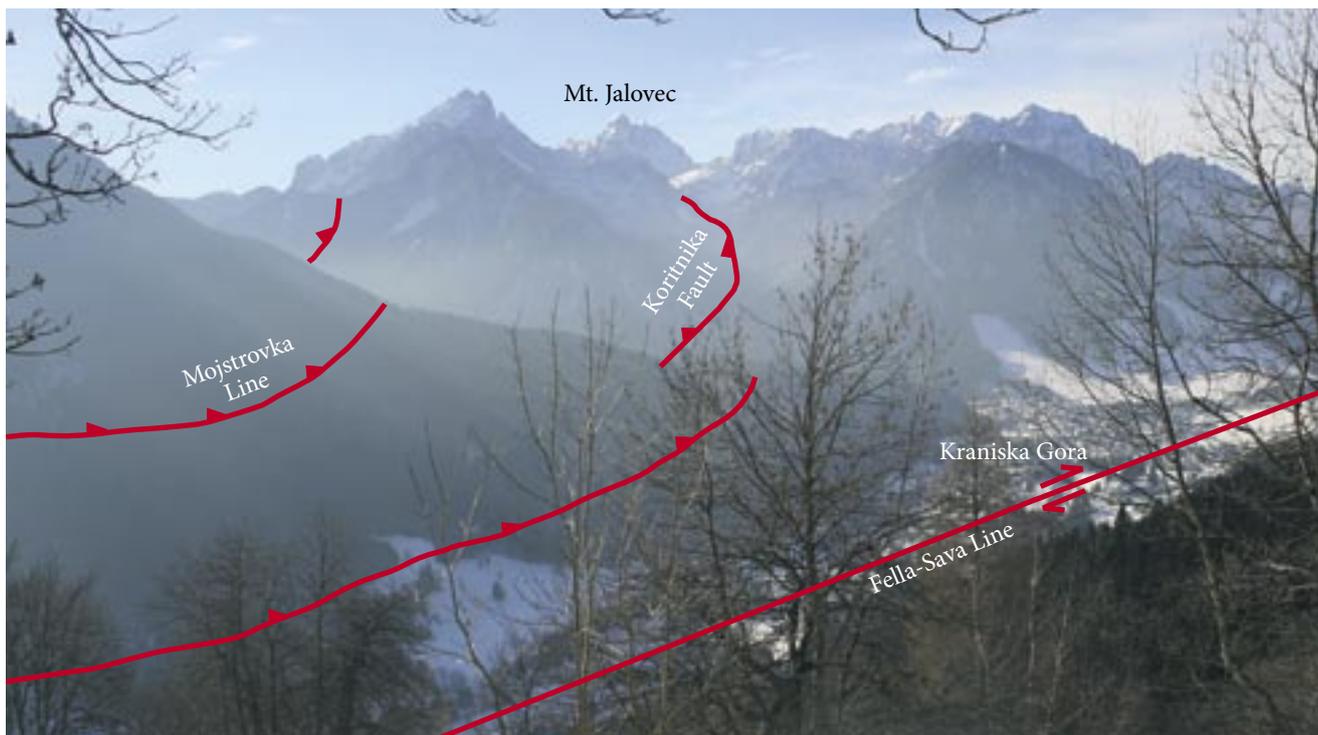


Fig. 3 - La valle della Sava presso Kranjska Gora (Slovenia), vista da N, con le Alpi Giulie sullo sfondo.
 - The Sava Valley in the surroundings of Kranjska Gora (Slovenia), with the Julian Alps, view from N.

VENTURINI 1992). Anche essi descrivono un'ampia piega all'interno della grande anticlinale asimmetrica del M. Matajur che costituisce l'anticlinale da rampa del thrust dinarico DIN2 (Linea di Faedis). Al suo interno, paleofaglie dirette invertite in inverse complicano la struttura. In questo settore anche DIN2 interferisce con piani nealpini ALP2-3, che in parte la dislocano traslandola verso Sud. L'anticlinale fa parte del sistema dinarico descritto in Slovenia come un insieme di falde di ricoprimento che fanno capo al "Trnovo Thrust" (PLACER 1999; PLACER et al. 2010) ovvero alla Linea di Cividale DIN3, qui rappresentata poco più a Sud coperta dai depositi quaternari. Questo è l'insieme di thrust dinarici più importante. Anche qui viene riportata una faglia trascorrente destra che taglia le precedenti strutture; potrebbe essere riconducibile alla Faglia di Raša (PLACER et al. 2010).

Sotto la pianura si osservi ora il potente cuneo sedimentario dei Flysch che viene sovrascorso dalla Linea di Cividale e che si rastrema verso la culminazione assiale della successiva anticlinale, quella legata alla Linea di Palmanova DIN4. Il Pozzo Carnagacco 1 e la sismica (VENTURINI 2002; MERLINI et al. 2002; FANTONI et al. 2002) hanno messo in evidenza dei dati fondamentali per la comprensione dell'evoluzione del settore esterno della catena: presenza di unità torbiditiche paleoceno-eoceniche (F1) che si chiudono piegandosi parzialmente sul fianco lungo dell'anticlinale asimmetrica di Palmanova, sostituite sul culmine da facies coeve di rampa carbonatica (Calcari a Miliolidi e Calcari a Nummuliti

e Alveoline) che poggiano, con ampia lacuna, su calcari di piattaforma del Senoniano inferiore (cfr. VENTURINI 2002; CIMOLINO et al. 2010). A loro volta essi sono troncati a tetto a livello dell'Ypresiano (Eocene inferiore); il Flysch più recente F2 colma i bassi, appoggiandosi in on-lap su F1 ed è a sua volta deformato specialmente nei settori più meridionali (Pozzo Carnagacco 1 e Carso); segue una nuova lacuna frutto di una lunga emersione. La successione trasgressiva molassica miocenica M1 sigilla il tutto ma viene tagliata e rigettata di 700 metri da una faglia ad alto angolo, che in parte riattiva la Linea di Palmanova (vedi Linea di Pozzuolo del Friuli di ZANFERRARI et al. 2008); questo avviene durante le fasi finali della deposizione di M2 e nel Plio-Quaternario. Questi ultimi depositi chiudono la successione, anche loro parzialmente deformati.

Dello stesso intervallo di tempo sono alcune faglie inverse con trasporto verso Sud e quindi ad andamento obliquo rispetto alla Linea di Palmanova DIN4: la Linea di Udine e la Linea di Medea che nascono dallo stesso livello di scollamento (Carnico) e in parte utilizzano DIN4 come rampa laterale. La Linea di Udine viene qui interpretata come un piano che taglia anche la successione carbonatica sottostante il Flysch, come del resto già suggerito nella sezione D-D1 di NICOLICH et al. (2004). La Linea di Medea viene rappresentata in profondità nel tratto in cui raddoppia la Dolomia Principale e dove si innesta nella Linea di Palmanova.

la Linea di Pozzuolo potrebbe essere la rampa laterale in traspressione destra della Linea di Medea.

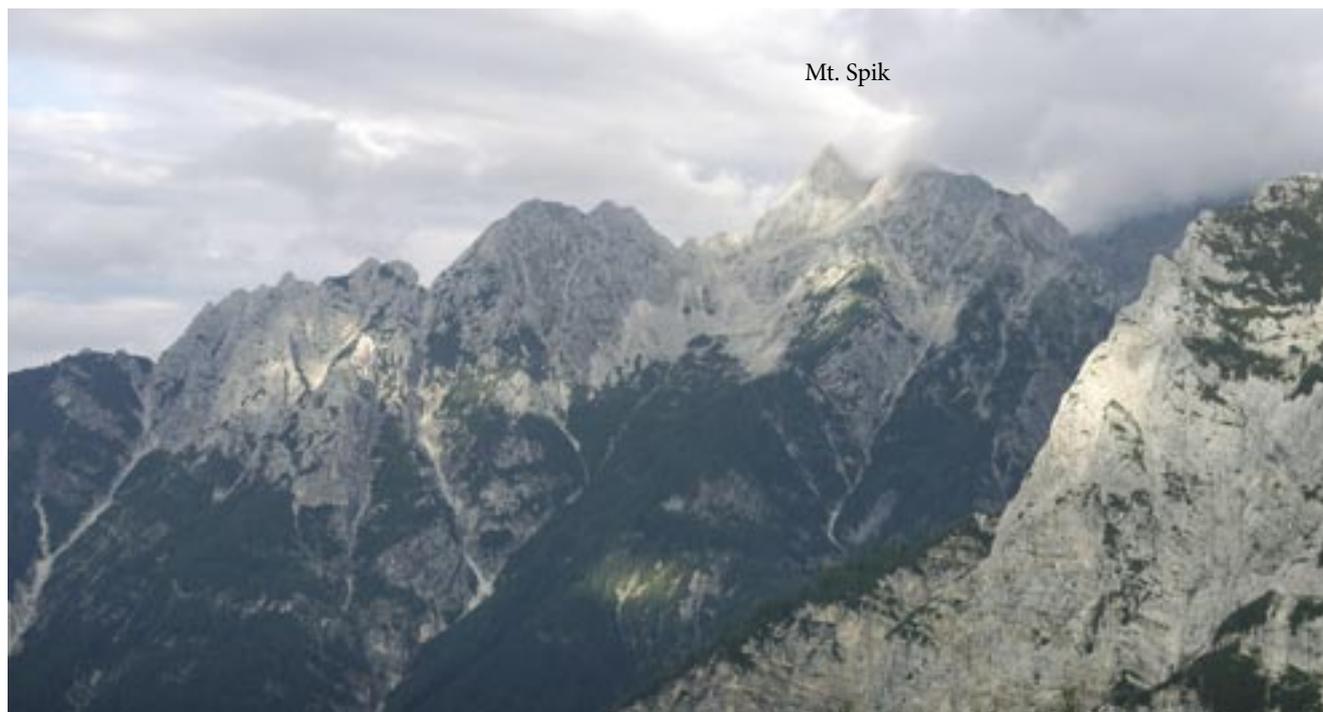


Fig. 4 - Il Gruppo montuoso Martuljek, vista da SW, dal Passo della Moistrovca (Vršič), con la cima del Monte Spik a destra (coperta dalle nuvole) e il fianco settentrionale del Monte Prisojnik. La sezione passa circa al centro della foto.

- *The Martuljek massif, viewed from SW, from the Moistrovca Pass (Vršič), the peak of Mount Spik right (blanket of clouds) and the northern side of Mount Prisojnik. The Geological Section cut the massif at the center of the image.*

Conclusioni

La sezione illustrata fornisce molti spunti di discussione sull'evoluzione della catena: in sintesi ne vengono esposti qui di seguito alcuni fra i principali. Emerge l'importanza della strutturazione cretaco-paleogenica della Catena Dinarica che fa da base all'edificio sudalpino orientale. I raccorciamenti sono notevoli, in un calcolo conservativo si aggirano sui 30 km a cui vanno aggiunti ulteriori raccorciamenti di qualche chilometro quasi coassiali della prima fase neoalpina, quella insubrica. Anche in questo settore sono poi notevoli gli effetti dell'interferenza delle successive fasi neoalpine di cui però in questa sezione non si possono valutare i raccorciamenti essendo i relativi piani rappresentati obliquamente. La sezione mette bene in evidenza il notevole cuneo clastico delle torbiditi sintettoniche, anch'esse coinvolte nelle varie fasi deformative dinariche.

Sulla base dei rapporti fra thrust e età delle torbiditi coinvolte si può stimare che DIN1b si sia impostato dal Maastrichtiano in poi quando il margine della Piattaforma Friulana, nel suo progressivo arretramento, era attestata appena a Sud dell'attuale confine Italia-Slovenia. Si presume che essa fra il Santoniano e l'inizio del Maastrichtiano fosse emersa in varie parti poco più a SW (lacune stratigrafiche), forse per effetto del rialzo periferico ("peripheral bulge") sempre indotto dall'avanzata della Catena Dinarica. Il thrust DIN2 si sarebbe attivato dall'Ypresiano (Eocene inf.) come DIN3, coevo

o appena successivo. In questo periodo la piattaforma era ulteriormente arretrata e sulla lacuna maastrichtiana (Cargnacco e Carso triestino) si erano impostate facies di rampa carbonatica con le Nummuliti e Alveoline; in scarpata e bacino ad Est il Flysch del Grivò colmava con notevoli spessori i bassi strutturali. Già durante l'Ypresiano inizia l'attività della Faglia di Palmanova che comincia a deformare queste successioni e si blocca la produzione carbonatica. A questo punto sembra che il settore meridionale dell'anticlinale (da Cargnacco verso Sud) collassi parzialmente e venga coperta dal nuovo Flysch mentre appena più a Nord si ha emersione (vedi sez. 1 in PONTON 2010, o sez. A in MERLINI et al. 2002). La deformazione compressiva continua poi su tutta la struttura durante l'Eocene medio e porta all'emersione anche del segmento meridionale.

I depositi clastici del Cattiano-Langhiano (molasse mioceniche M1) coprono i settori NW dell'anticlinale di Palmanova indicando una flessurazione del settore friulano settentrionale verso Nord che andrà aumentando durante il Miocene sotto il peso della Catena Neoalpina in formazione. Dal Tortoniano in poi si ha una forte riattivazione della struttura di Palmanova lungo una nuova faglia ad alto angolo che presenta un rigetto verticale di circa 700 m nei settori più a Sud (Cargnacco). Questa attività si protrae anche nel Quaternario accompagnata da quella lungo la Linea di Udine; ne sono testimonianza l'allineamento dei colli o ondulazioni della zona di Sammardenchia, Pozzuolo,

Carpeneto, Orgnano, Variano per la Linea di Palmanova e i rilievi di Udine e Pasian di Prato per la Linea di Udine, dove sono coinvolti depositi del Pleistocene.

Una ultima nota riguarda ancora le faglie trascorrenti destre: in questo lavoro si ipotizza una loro origine come faglie distensive mesozoiche (almeno le principali); le porzioni più in profondità (circa 10 km) di tali faglie sarebbero state poi utilizzate nella fase contrazionale dinarica come rampe profonde dei principali thrust; nelle fasi neogeniche lungo quelle stesse rampe profonde si sarebbero innescati i movimenti trascorrenti propagando il taglio destro lungo piani verticali.

Il quadro è complesso ma, analizzando punto per punto sia gli aspetti stratigrafici che le relazioni geometriche fra sistemi strutturali diversi, si scoprono moltissimi elementi per poter ricostruire l'evoluzione di questo settore chiave della catena Alpina.

Manoscritto pervenuto il 28.IV.2015, approvato il 10.XI.2015.

Ringraziamenti

Ringrazio i prof. Giovanni Battista Carulli e Alberto Castellarin per la revisione critica del manoscritto e gli utili consigli. Grazie a Stefano Turco per la traduzione in inglese del riassunto esteso.

Extended abstract

In "Architettura delle Alpi Friulane" (PONTON 2010) a series of eight deep geological cross sections analysed the structure of the Alpine chain, especially in the interference area of the two main structural systems: the Dinarides and the Southern Alps, showing the evolving phasis. The necessity of a deeper analysis of Dinaric NW-SE compressive structures that evolved between the Upper Cretaceous and Eocene (Mesoalpine structures Auct.) was highlighted. Another purpose was the analysis of high-angle strike-slip fault with Dinaric trend but set in the most recent tectonic phases and currently active.

This report intends to solve these problems building a geological section along direction SW-NE (orthogonal to structures) connecting the Cargnacco 1 Well, the Julian Pre-Alps, the area of the Mt. Krn and the Julian Pre-Alps in Slovenia to the Fella-Sava Line.

Data

Geological survey data were collected mainly in the area of Julian PreAlps. Friuli plain data come from the depth profile of Lavariano 1 Well and Cargnacco 1 Well, 7250 m deep, drilled by ENI (VENTURINI 2002). Very useful were the seismic reflection lines made by ENI, in particular the line B of MERLINI et al. 2002, calibrated with the Cargnacco Well and the synthesis published by NICOLICH et al. (2004).

For other geophysical data, such as gravimetric and magnetometric survey, used to define the depth and/or position of platform bodies, magnetic basement or volcanic rocks, we refer to CATI et al. (1989a). Moreover Geological Map of Friuli Venezia Giulia (CARULLI 2006), the sheet CARG (1:50.000) sheet "Udine" (ZANFERRARI et al. 2008),

the GEO-CGT sheet "Cividale" (ZANFERRARI coord. 2008), the old sheets (1:100,000) "Tolmin" (FABIANI et al. 1937) and "Tarvisio" (GORTANI et al. 1954), the sheet (1:100,000) "Tolmin in Videm" (BUSER 1986) and the sheet (1:100,000) "Beljak in Ponteča" (JURKOVŠEK 1987), were considered. Data were collected from the volume "Geology of Slovenia" (PLENIČAR et al. 2009) and its geological map 1:250,000 (BUSER 2010) as well as COUSIN (1981). Finally, it must be considered the contribution of various Italian and Slovenian authors that are mentioned in the text.

Geological context

The Basement is made of non-metamorphosed or archimeta-morfoch Paleozoic units that outcrops in the "Carnic Chain" and in Northern Slovenia. The magnetic susceptibility is on average lower ($100-250 \times 10^{-6}$ cgs units), the value locally raises depending on the heterogeneous composition and the presence of extended bodies of Carboniferous volcanic rocks. Under the Friuli Plain the basement has a depth of about 8.5 km getting deeper heading to N and NE up to more than 11 km, with sudden rises in Carnia, and NE of Cividale (CATI et al. 1989a; PONTON 2010).

The sedimentary series starts with the Bellerophon Formation of Permian, the first important detachment level. It consists of limestone, dolomite and sometimes levels of gypsum. At the base of the Triassic succession there is anywhere Werfen Formation for a few hundred meters. In the Sava Valley there are tens of meters of discordant polychrome breccias with Paleozoic formations or Werfen Formation fragments, the so called Breccia Ugovizza, (cfr. Richtofen Conglomerate). In the Julian sector follows carbonate platform facies, Serla Dolomite, Contrin Fm., Sciliar Dolomite for several hundred meters, locally replaced by basinal facies related to the Buchenstein and Wengen Formations. Then we find the "Raibl Group", made up of various units such as dark limestones with chert, massive dolomite, marly dolomite and dolomitic big beds. These units have their maximum thickness in Raibl (=Cave del del Predil, Tarvisio) and gradually decreases towards east. Follows the powerful thickness of Upper Triassic platform represented by the Main Dolomite and Dachstein Limestone. In some areas of the Julian Alps in Slovenia you can find Norian dark grey dolomite with chert (Bača Fm.) coeval to the platform representing the northernmost part of the Tolmin Basin (Slovenian Basin). The later separates the Friuli Platform, at west, from the Julian one at east (BUSER 1989; GALE et al. 2015).

From the Jurassic there is a clear differentiation between the SW sector, Italian, where prevail carbonate platform facies (Friuli Platform, CATI et al. 1989b) several hundred meters thick (Calcari Grigi, Cellina Limestone, Ellipsactinie Limestone), and the NE sector, Slovenian, with basinal facies. Here you can find shortened sequences of pelagic carbonate facies, sometimes with important gaps, few tens of meters thick, followed by a minimal thickness of Cretaceous basinal limestones like "Biancone" (Majolica) or by cherty calcarenites as Volče Limestone (TUNIS & VENTURINI 1986) or by calcareous marl facies as Scaglia. The differentiation is regulated by the action of faults oriented NW-SE, perhaps already active by the end of the Triassic. One of them, the Kolovrat-Mataiur Line (VENTURINI & TUNIS 1989) certainly played a relevant role in the Santonian tectonic phase, delimiting the Slovenian Basin.

From Campanian various units of Flysch settled in the Basin, including thick bodies of submarine landslides and turbidites

both carbonatic and silicoclastic, reaching the maximum thickness (up to 3000 m). They are: Unità di Drenchia; Flysch di Clodig; Flysch dello Iudrio; Flysch del M. Brieka; Flysch di Calla; Flysch di Masarolis; Flysch del Grivò; Arenarie e marne di Savorgnano (TUNIS & VENTURINI 1985, 1987, 1992; SARTORIO et al. 1997). In Friulian plain southern alpine foredeep terrigenous deposits close the succession (Molasse Auct.). They are divided into two sequences: Cattiano-Langhiano (Group Cavanella) and Serravallian-Pliocene (MELLERE et al. 2000 cum bibl.). From the late Cretaceous (Maastrichtian) to Paleogene (Middle Eocene), this north-western area of the external Dinarides developed with the formation of a Thrust system oriented approximately NW-SE and immersion SW. Related to the development of thrusts is the migration to the SW of the turbidites sedimentation basins with phenomena of “cannibalism” of earlier deposits. Meanwhile the Friuli Platform retreated due to lithospheric flexure with distensive tectonic, collapses and landslides in several areas of the eastern edge. From the end of the Paleogene (Oligocene) until the Neogene, a system of embricate thrust oriented EW developed with prevalent vergence to the south. In the final stages structures SW-NE and SE vergence also developed. In Slovenia active right-handed strike-slip faults developed, in many cases reactivating old Mesozoic distensive faults (neo-alpine phase and its stages).

The Section

The section is 80 km long and goes from the bell tower of Mortegliano (45° 56' 36.85" N - 13° 10' 16.56" E) up to Gozd Martuljek (46° 29' 22.50" N - 13° 51' 15.03" E) in the Sava Valley in Slovenia. The section crosses the Martuljek Mountain chain between the Spik and Riglica, Prisojnik, Trenta Valley, Sonzia (Soča), Mt. Hudi Vrh (Krn Group), SE of Mt. Polonig, Isonzo River near Caporetto, the Northern and the NW Mt. Mataiur, Mt. Craguenza, Mt. Noas, the plain near Remanzacco until the Cargnacco 1 Well and then Mortegliano.

The Basement outcrops in the middle of the chain with the Permian limestones (Fm Trogkofel) covered by the Anisic units in angular unconformity and greatly tectonized (KASTELIC 2007). The Fella-Sava Line, currently transcurrent and with dipping S, shows activity with inverse vertical displacement of 2000 m. In this area at least two major structural units, Dinaric (DIN1b) and Alpine (ALP1) rise significantly the basement with south-vergence. They double the units of the Lower and Middle Triassic, that outcrop in Martuljek and Prisojnik mountains with Ladinian and partly Carnian dolomite and limestones (CELARC & JURKOVŠEK 2008; CELARC et al. 2013). In the section, near the Fella-Sava Line, appears a fault that doubles the Bellerophon Formation (FB), it is probably part of an inner Dinaric thrust (see DIN1a in PONTON 2010). The deformation induced by the neo-alpine Fella-Sava Line to DIN1a and DIN1b is evident. In this area it's possible to highlight the interference of the Mojstrovka Line (SELLI 1953, 1963), neo-alpine reverse fault oriented NE-SW NW-verging, with the Dinaric structures. The Mojstrovka Line joins the Val Coritenza Line (Koritnika Fault, fig. 3), another NW-verging fault which then continues to Mt. Canin and Resia (PONTON 2002). The overthrust DIN1b, after a series of “ramp and flat”, outcrops at the Mt. Krn (Mt. Krn thrust) and constitutes the Julian Nappe (PLACER 1999). Its natural continuation in Italy is in Mt. San Simeone-Saga Line (PONTON 2010). DIN1b forms a double front with the structure of Mt. Polonig connected

to Krn Thrust. The structure of Mt. Polonig separates two sub-basins of Cretaceous flysch, so it is coeval to those deposits (KUŠČER et al. 1974; PIRINI et al. 1986). The later reactivation of this part of DIN1b and the initial activation of ALP1a (Pinedo-Uccea Line) are probably related with the early Neo-alpine stages (Insudric phase, CASTELLARIN et al. 1992, 2006; PONTON 2010).

The clear subvertical Ravne Fault cuts all these structures. It is a Neo-alpine seismogenic fault responsible for the 1998 and 2004 earthquakes (BAJC et al. 2001; ZUPANČIČ et al. 2001; KASTELIC et al. 2008). This section was used to localize and analyse the hypocenters of those (and subsequent) earthquakes (BRESSAN et al. in press). Heading SW the section crosses the Idria fault, morphologically the most evident, but not so seismogenic in recent years (CUNNINGHAM et al. 2007). It runs along the Soca Valley, north of Mt. Stol. This sector of the Julian Alps is a seismogenic zone (Idrija right-lateral fault system) particularly active subjected to maximum compression oriented NNE-SSW (BRESSAN et al. 2003; BURRATO et al. 2008). Here outcrop Cretaceous and Jurassic successions of pelagic environment followed by Cretaceous Flysch. These units are overthrust by Norian-Rhaetian dolomite and limestone. Heading south the section crosses the most important alpine overthrust: ALP1 (Barcis-Staro Selo Line or Periadriatic Thrust), which carries the Main Dolomite on Grivò Flysch. The fault, having EW direction, has a slanting cut, like other neo-alpine structures, therefore along the section the actual shortening of these structures and reactivations along Dinaric fault planes appear distorted and are not measurable. Just below the Flysch is highlighted the unconformity with the cretaceous limestones: this area was a by-pass between platform and basin, a site of frequent landslides and submarine canyons, controlled by very active extensional faults.

The Kolovrat-Mataiur Line (Predjama Fault), with actual strike-slip evidence, is one of these (TUNIS & VENTURINI 1987; VENTURINI & TUNIS 1989; PLACER et al. 2010). Keeping SW we encounter the Mt. Mataiur with the Norian platform followed by the Lower Jurassic platform (Calcarì Grigi). In this area the platform lowers, is then buried by Jurassic basinal facies (Vajont Limestone) and Cretaceous (Biancone). On these carbonate facies the thick Cretaceous-Paleogene flysch succession rests, starting with the Campanian-Maastrichtian megabreccias in unconformity on Biancone (Breccia di Montefosca) (TUNIS & VENTURINI 1987). In the Flysch F1, at the Mt. Noas, the two most impressive megabeds of the entire turbidite succession, originated by large submarine landslides, are highlighted: the Mt. Joanaz Megabed and the Vernasso Megabed (Flysch del Grivò) (TUNIS & VENTURINI 1992). They appear as a wide bend in the large asymmetrical Mataiur anticline; it's the ramp anticline of the Dinaric thrust DIN2 (Faedis Line). Direct paleofaults inverted in reverse faults can be noticed. In this area also DIN2 interferes with neo-alpine ALP2-3 faults, which partly displace DIN2.

To the South follows the Cividale Line DIN3, the more important Dinaric thrust. It is part of a set of thrusts described in Slovenia as “Trnovo Thrust” (PLACER 1999; PLACER et al. 2010). Here is also reported a strike-slip fault that cuts previous structures probably related to the Rasa Fault (PLACER et al., 2010). The Cargnacco 1 Well and the seismic line (VENTURINI 2002; MERLINI et al. 2002; FANTONI et al. 2002) have highlighted the presence of paleocene-eocene turbidite units (F1) that close partially folding on

the long side of the Palmanova asymmetric anticline. On the top of the anticline, F1 is replaced by coeval facies of carbonate ramp (Miliolides Limestones and Nummulites and Alveoline Limestones) which lay, with a large gap, on the Lower Senonian platform limestone (VENTURINI 2002; CIMOLINO et al. 2010). They are truncated at the top, at the level of Ypresian (Eocene). The latest Flysch F2 fills the hollow, lying on on-lap on F1 (Pozzo Cargnacco and Karst). A new unconformity due to a long emersion follows. The miocenic transgressive succession M1 covers the Dinaric structures but is cut and displaced for 700 meters by a reactivation of the Palmanova Line. This happens during the deposition of M2 and the Plio-Quaternary. In the same time interval some reverse faults with a slanting trend respect to the Palmanova Line DIN4 occurred. These are the Udine Line and the Medea Line (the latter in the section doubles the Dolomia Principale) which partly used DIN4 as lateral ramp. Pozzuolo Line could represent the lateral ramp, in right transpression, of the Medea Line.

Conclusions

The section proposed shows the importance of the Cretaceous-Paleogene evolution of Dinaric Chain, it is the base of the eastern Southalpine. The shortening is remarkable, in a conservative calculation it's around 30 km; it should be added a further shortening of a few kilometers due to the first Neo-alpine stage (Insubric) almost coaxial to Dinaric one. The section clearly highlights the considerable wedge of clastic sintectonic turbidites, they are involved in the various Dinaric deformation phases. Considering the relationship between thrust and age of turbidites it can be estimated that DIN1b was set in the Maastrichtian, when the margin of Friuli Platform, in its gradual retreat, was just south of the Italy-Slovenia border. It is assumed that the Friuli Platform between the Santonian and early Maastrichtian had emerged in various parts (stratigraphic gaps) probably as a "peripheral bulge" related to the Dinaric Chain forward movement. The thrust DIN2 would have been activated from Ypresian (Eocene inf.), DIN3 is probably coeval or just successive. In this period the platform was moving further back and over the Maastrichtian hiatus (Cargnacco and Trieste Karst) facies of carbonate ramp with Nummulites and Alveoline settled. The slope and the east basin were filled by the Flysch del Grivò with considerable thickness. During the Ypresian, Palmanova Fault started activity deforming these sequences, the carbonate production stopped. At that time the southern sector of the anticline (from Cargnacco southward) apparently collapsed and was partially covered by the new Flysch, the northern sector was emerging (see section 1 in PONTON 2010, or section A in MERLINI et al. 2002). The compressive deformation continues on the entire structure during the Middle Eocene and leads to the emergence the southern part.

The clastic deposits of Cattiano-Langhiano (Miocenic molasses M1) cover the NW areas of Palmanova anticline indicating a northward flexure of Friuli foreland which will increase during the Upper Miocene under the weight of the neo-alpine chain. From Tortonian on there is a reactivation of the Palmanova structure along a new high angle fault that has a vertical displacement of about 700 m. This activity continues even in the Quaternary. During this period the little thrusts Udine Line and Medea Line start their activity. The right-lateral strike-slip faults of the eastern sector were

activated from the Upper Miocene, in this work their origin is assumed as extensional faults in Mesozoic. The deeper parts (about 10 km) of these faults were then used in the Dinaric contractional phase as deep ramps of the main thrust. During Neogene stages along these deep ramps transcurrent movements propagated right lateral cutting along vertical planes.

Bibliografia

- BAJC, J., A. AOUDIA, A. SARAÒ & P. SUHADOLC. 2001. The 1998 Bovec-Krn mountains (Slovenia) earthquake sequence. *Geophys. Res. Letters* 28, n. 9: 1839-42.
- BRESSAN, G., L.P. BRAGATO & C. VENTURINI. 2003. Stress and strain tensors based on focal mechanisms in the seismotectonic framework of the Friuli-Venezia Giulia region (Northeastern Italy). *Bull. Seismol. Soc. America* 93, n. 3: 1280-97.
- BRESSAN, G., M. PONTON, G. ROSSI & S. URBAN. in stampa. Spatial organization of Seismicity and fracture pattern in NE-Italy and W-Slovenia. *Journal of Seismology*.
- BURRATO, P.F., M.E. POLI, P. VANNOLI, A. ZANFERRARI, R. BASILI & F. GALADINI. 2008. Sources of Mw 5+ earthquakes in northeastern Italy and western Slovenia: an updated view based on geological and seismological evidence. *Tectonophysics* 453, n. 1-4: 157-76.
- BUSER, S. 1986. *Basic geological map of SFRJ, scale 1:100.000 - Sheet Tolmin and Udine. With Comment to Sheet Tolmin and Udine*. Zvezni geološki zavod.
- BUSER, S. 1989. Development of the Dinaric and Julian Carbonate Platforms, and of the Intermediate Slovene Basin (NW Yugoslavia). *Mem. Soc. Geol. Ital.* 40: 313-20.
- BUSER, S. 2010. *Geološka Karta Slovenije (1:250.000)*. Geološki Zavod Slovenije.
- CARULLI, G.B. (a cura di). 2006. *Carta geologica del Friuli Venezia Giulia (scala 1:150.000 con note ill.)*. Servizio Geologico della Regione Friuli Venezia Giulia, SELCA Firenze.
- CASTELLARIN, A., L. CANTELLI, A.M. FESCE, J.L. MERCIER, V. PICOTTI, G.A. PINI, G. PROSSER & L. SELLI. 1992. Alpine compressional tectonics in the Southern Alps. Relationships with the N-Apenines. *Annales Tectonicae* 6: 62-94.
- CASTELLARIN, A., R. NICOLICH, R. FANTONI, L. CANTELLI, M. SELLA & L. SELLI. 2006. Structure of the lithosphere beneath the Eastern Alps (southern sector of the TRANSALP transect). *Tectonophysics* 414: 259-82.
- CATI, A., R. FICHERA & V. CAPPPELLI. 1989a. Northeastern Italy. Integrated processing of geophysical and geological data. *Mem. Soc. Geol. It.* 40: 273-88.
- CATI, A., D. SARTORIO & S. VENTURINI. 1989b. Carbonate platform in the subsurface of the Northern Adriatic area. *Mem. Soc. Geol. It.* 40: 295-308.
- CELARC, B., & T. KOLAR-JURKOVŠEK. 2008. The Carnian-Norian basin-platform system of the Martuljek Mountain Group (Julian Alps, Slovenia): progradation of the Dachstein carbonate platform. *Geol. Carpathica* 59, n. 3: 211-24.
- CELARC, B., VRABEC M., ROŽIČ B., KRALJ P., RUPNIK P.J., KOLAR-JURKOVŠEK T., GALE L. & A. ŠMUC. 2013. Field Trip A1: Southern Alps of Slovenia in a nutshell: paleogeography, tectonics and active deformation. 11th Workshop on alpine Geological Studies & 7th IFAA *Berichte Geol. B-A* 99.

- CIMOLINO, A., B. DELLA VEDOVA, R. NICOLICH, E. BARISON & G. BRANCATELLI. 2010. New evidence of the outer Dinaric deformation front in the Grado area (NE-Italy). In *Conv. Natura e geodinamica della litosfera nell'Alto Adriatico, Venezia novembre 2009*, 167-79. Rend. Fis. Accad. Lincei 21, n. 1.
- COUSIN, M. 1981. *Les rapports Alpes-Dinarides. Les confins de l'Italie et de la Yougoslavie*. Soc. Géol. Nord., pubbl. 5.
- CUNNINGHAM, D., A. GOSAR, V. KASTELIC, S. GREBBY & K. TANSEY. 2007. Multidisciplinary investigations of active faults in the Julian Alps, Slovenia. *Acta Geodyn. Geomater.* 4, n. 1: 77-85.
- FABIANI, R., P. LEONARDI, F. KOSSMAT & A. WINKLER. 1937. *Carta geologica delle Tre Venezie. Foglio "Tolmino"*. Uff. Idrogr. R. Magistr. Acque di Venezia.
- FANTONI, R., D. CATELLANI, S. MERLINI, S. ROGLEDI & S. VENTURINI. 2002. La registrazione degli eventi deformativi cenozoici nell'avampese Veneto-Friulano. *Mem. Soc. Geol.* 57: 301-13.
- GALE, L., B. CELARC, M. CAGGIATI, T. KOLAR-JURKOVŠEK, B. JURKOVŠEK & P. GIANOLLA. 2015. Paleogeographic significance of Upper Triassic basinal succession of the Tamar Valley, northern Julian Alps (Slovenia). *Geol. Carpathica* 66, n. 4: 269-83.
- GORTANI, M., R. SELLI & D. DI COLBERTALDO. 1954. *Carta Geologica delle Tre Venezie. Foglio 14° "Tarvisio" (1:100.000)*. Uff. Idrogr. R. Magistr. Acque di Venezia.
- KASTELICH, V. 2007. Structural conditions within Sava Fault zone in the western Karavanke mountains, NW Slovenia. *Geologija* 50, n. 2: 323-34.
- KASTELICH, V., M. VRABEK, D. CUNNINGHAM & A. GOSAR. 2008. Neo-alpine Structural Evolution and present-day Tectonic activity of the Eastern Southern Alps: the case of the Ravne Fault, NW Slovenia. *J. Struct. Geol.* 30: 963-75.
- KUŠČER, D., K. GRAD, A. NOSAN & B. OGORELEC. 1974. Geološke raziskave soške doline med Bovcem in Kobaridom. *Geologija* 17: 425-76.
- JURKOVŠEK, B. 1987. *Basic geological map of SFRY, sheet Beljak and Pontebba, 1:100.000*. Federal Geological Survey.
- MELLERE, D., C. STEFANI & C. ANGEVINE. 2000. Polyphase tectonics through subsidence analysis: the Oligo-Miocene Venetian and Friuli Basin, north-east Italy. *Basin Res.* 12: 159-82.
- MERLINI, S., C. DOGLIONI, R. FANTONI & M. PONTON. 2002. Analisi strutturale lungo un profilo geologico tra la linea Fella Sava e l'avampese adriatico (Friuli Venezia Giulia - Italia). *Mem. Soc. Geol. It.* 57: 293-300.
- NICOLICH, R., B. DELLA VEDOVA, M. GIUSTINIANI & R. FANTONI. 2004. *Carta del sottosuolo della Pianura Friulana e Note Illustrative*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.
- PIRINI RADRIZZANI, C., G. TUNIS & S. VENTURINI. 1986. Biostratigrafia e paleogeografia dell'area sudoccidentale dell'anticlinale M. Mia-M. Matajur (Prealpi Giulie). *Riv. It. Paleont. Strat.* 92, n. 3: 327-82.
- PLACER, L. 1999. Contribution to the macrotectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides. *Geologija* 41: 223-55.
- PLACER, L., M. VRABEC & B. CELARC. 2010. The bases for understanding of the NW Dinarides and Istria Peninsula tectonics. *Geologija* 53: 55-86.
- PLENIČAR, M., B. OGORELEC & M. NOVAK (eds). 2009. *Geologija Slovenije (The geology of Slovenia)*. Geološki Zavod Slovenije.
- PONTON, M. 2002. La tettonica del gruppo del M. Canin e la linea Val Resia-Val Coritenza (Alpi Giulie occidentali). *Mem. Soc. Geol. It.* 57: 283-92.
- PONTON, M. 2010. *Architettura delle Alpi Friulane*. Pubblicazioni del Museo Friulano di Storia Naturale, 52: 1-111.
- SARTORIO, D., G. TUNIS & S. VENTURINI. 1997. Evolution of the northeastern margin of the Friuli Platform: the Judrio valley section. *Mem. Sc. Geol.* 49: 163-93.
- SELLI, R. 1953. La geologia dell'Alto Bacino dell'Isonzo. *Giorn. Geol. s. 2*, 19: 1-153.
- SELLI, R. 1963. Schema geologico delle Alpi Carniche e Giulie occidentali. *Giorn. Geol. s. 2*, 30: 1-136.
- TUNIS, G., & S. VENTURINI. 1985. Stratigrafia e sedimentologia del flysch maastrichtiano-paleoceno del Friuli orientale. *Gortania. Atti del Museo Friul. St. Nat.* 6: 5-58.
- TUNIS, G., & S. VENTURINI. 1986. Nuove osservazioni stratigrafiche sul Mesozoico delle Valli del Natisone (Friuli orientale). *Gortania. Atti del Museo Friul. St. Nat.* 8: 17-68.
- TUNIS, G., & S. VENTURINI. 1987. New data and interpretation on the geology of the southern Julian Prealps (eastern Friuli). *Mem. Soc. Geol. It.* 40: 219-29.
- TUNIS, G., & S. VENTURINI. 1989. Nuovi dati sulla tettonica delle Prealpi Giulie meridionali ed ipotesi paleotettoniche. *RMZ - Materials & Geoenviron.* 36, n. 4: 675-88.
- TUNIS, G., & S. VENTURINI. 1992. Evolution of the southern margin of the Julian Basin with emphasis on the megabeds and turbidites sequence of the Southern Julian Prealps (NE Italy). *Geol. Croatica* 45: 127-50.
- VENTURINI, S. 2002. Il pozzo Cargnacco 1: un punto di taratura stratigrafica nella pianura friulana. *Mem. Sc. Geol.* 57: 11-8.
- VENTURINI, S., & G. TUNIS. 1989. Nuovi dati ed interpretazioni sulla tettonica del settore meridionale delle Prealpi Giulie e della regione al confine fra Italia e Jugoslavia. *Gortania. Atti del Museo Friul. St. Nat.* 10: 5-34.
- ZANFERRARI, A. (coord.). 2008. *Foglio Cividale, Progetto GeoCGT*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Centrale Ambiente e Lavori Pubblici.
- ZANFERRARI, A. (coord.). 2008. *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000: Foglio 066 "Udine"*. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Udine.
- ZANFERRARI, A., R. AVIGLIANO, G. MONEGATO, G. PAIERO & M.E. POLI. 2008. *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000: Foglio 066 "Udine"*. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Udine.
- ZUPANČIČ, P., I. CECIĆ, A. GOSAR, L. PLACER, M. POLJAK & M. ŽIVČIĆ. 2001. The earthquake of 12 April 1998 in the Krn Mountains (Upper Soca Valley, Slovenia) and its seismotectonic characteristics. *Geologija* 44, n. 1: 169-92.

Author's address - Indirizzo dell'Autore:

- Maurizio PONTON
Dipartimento di Matematica e Geoscienze
Università degli Studi di Trieste
Via Weiss 2, I-34127 TRIESTE
e-mail: ponton@units.it