

Lo sviluppo degli studi sismotettonici sulla regione Friuli Venezia Giulia prima e dopo il terremoto del Friuli del 1976

G.B. CARULLI

Già professore di Geologia all'Università degli Studi di Trieste



1. Introduzione

L'interesse dei geologi strutturali alla conoscenza del sottosuolo profondo è stato sempre più appagato dal progredire dei dati ottenuti dalla Geofisica Applicata per cui quelli ottenuti dalla sismica a rifrazione, e specialmente a riflessione, sono stati sempre oggetto di grande attenzione. Al di là del lavoro condotto con questo obiettivo dai geologi delle società petrolifere, la disponibilità dei dati, coperti dal segreto industriale, non è stata sempre immediata per cui i profili sismici erano spesso attesi dalla comunità scientifica di Scienze della Terra con grande impazienza.

La conoscenza della geologia profonda della catena e del sottosuolo friulano in genere ebbe inizio con la campagna di prospezioni svolte dall'AGIP per la ricerca di idrocarburi (Pieri, 1984). È noto che, a seguito della scoperta dei giacimenti gassiferi di Cortemaggiore, alla fine degli anni '40 del secolo scorso, l'azienda di stato aveva avuto dal Governo l'esclusiva per le prospezioni di olio e gas in tutta la Val Padana escludendo con tale atto le società private italiane come Edison e Montecatini anch'esse attive nella ricerca di idrocarburi.

Con gli anni '60, seguendo la lungimirante e intraprendente politica di Enrico Mattei, l'AGIP (struttura portante alla nascita dell'ENI nel 1952) iniziò una estesa serie di campagne di trivellazioni sul territorio nazionale che interessarono anche la pianura veneta orientale. Fra le più interessanti di queste ultime, per le conoscenze puntiformi del sottosuolo profondo del Friuli Venezia Giulia e per l'ancoraggio ad esse dei profili sismici, si ricordano (AGIP, 1977) il pozzo Cesarolo 1 (1960) e il Cavanella 1 (1961), prossimi al limite occidentale della regione e, fondamentale per le conoscenze acquisite nei 7305 m di profondità raggiunta, l'Amanda 1 (1979) nell'*offshore* dell'alto Adriatico.

Nel territorio regionale le perforazioni dell'AGIP iniziarono nel 1955 con il Buttrio 1 e, a seguire, con il Bernadia 1 (1959), il Lavariano 1 (1962), il Terenzano 1 (1963), ambedue di profondità limitata e a breve distanza, il Gemona 1 (1986) e il Cargnacco 1 (1993) che, con i 7163 m raggiunti dal fondo foro, rappresenta uno dei pozzi più profondi realizzati *onshore* nell'intero territorio nazionale¹.

Prima, e in parallelo, le ricerche profonde svolte al di fuori degli interessi industriali, ad opera specie dell'Osservatorio Geofisico Sperimentale (OGS, ora Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale), avevano riguardato essenzialmente l'ambiente marino e quello costiero con una serie di campagne esplorative svolte sin dal 1949 con ricerche gravimetriche (Morelli, 1975) e di sismica a rifrazione (Finetti, 1967).

⁽¹⁾ Ad essi si aggiungono il pozzo SPAN 1 (acronimo di San Pietro al Natisone, realizzato nel 1976 da un consorzio industriale privato) e i recenti pozzi per ricerche geotermiche Grado 1 e Grado 2 perforati rispettivamente nel 2008 e nel 2014 (con profondità raggiunte di 791 e 1005 m) ad opera della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia con fondi europei e destinati al teleriscaldamento della località balneare.

Esplorazioni geofisiche ben più profonde, condotte sempre dall'OGS con il metodo della sismica a rifrazione DSS (*Deep Seismic Soundings*), si erano indirizzate all'intera litosfera adriatica tracciando il limite inferiore della crosta (Moho) e definendo profondità e spessore delle unità intracrostali sulla base delle variazioni delle velocità sismiche (Finetti e Morelli, 1972; Morelli e Giese, 1973; Aric *et al.*, 1976; Italian Explosion Seismology Group e Institute of Geophysics - E.T.H. Zürich, 1981; Giese *et al.*, 1980, 1981; Nicolich e Dal Piaz, 1990). Per i ricercatori che non avevano accesso ai dati dell'AGIP esisteva dunque un *gap* di conoscenze fra le strutture tettoniche di superficie, rilevate sul terreno dai geologi², e quelle molto profonde interpretate dai geofisici.

2. L'interpretazione moderna dello stile strutturale profondo

La svolta determinante per iniziare a colmare questa lacuna fu il lavoro di Martinis³ (1966) che già nel titolo ("Prove di ampi sovrascorrimenti nelle Prealpi Friulane e Venete") proponeva lo stile tettonico dominante reinterpretando certe strutture plicative esasperate dominanti fino a quell'epoca. Il suo lavoro si basò sui dati ottenuti dal pozzo Bernadia 1, perforato dall'AGIP nel 1959 raggiungendo i -2.570,50 m di fondo foro (Fig. 1). Esso individuava ampi sovrascorrimenti, confermati anche ad occidente (Zanferrari, 1973), che coinvolgono unità strutturali S- SO- e SE-vergenti che interessano tutto il settore prealpino (Fig. 2). Da allora tale modello verrà esteso a tutta la strutturazione tettonica dell'avampaese. È doveroso ricordare che già Feruglio (1925) aveva ipotizzato che la "flessura pedealpina" interpretata da Dainelli (1921) che caratterizza il fronte degli ellissoidi cretacei (Ciaurlec, Pala, Bernadia, Matajur, Mia, ecc.) (Fig. 3) fosse sradicata e traslata a meridione a causa di estese faglie a basso angolo.

In realtà la collaborazione tra geologi e geofisici non era limitata solo all'interno delle aziende petrolifere ma estesa anche tra aziende e università e fra istituzioni accademiche e scientifiche diverse all'interno e all'esterno delle università. Questo genere di collaborazioni troverà poi, a partire dagli anni '90, la sua massima espressione nei progetti nazionali CROP e transfrontalieri TRANSALP.

Prima dell'attivazione di tali progetti l'interpretazione dei dati forniti dalla ricerca geofisica mirava essenzialmente alla conoscenza e all'affinamento dell'assetto strutturale profondo senza prendere in considerazione, se non raramente, l'associazione di strutture alla sismicità, cioè la sismogenesi dell'area regionale.

Pertanto i terremoti che colpirono il Friuli nel 1976 (Carulli e Slejko, 2005; Slejko, 2018) trovarono la comunità scientifica di Scienze della Terra abbastanza impreparata di fronte ad un evento così drammatico del quale non aveva esperienza diretta. L'unica struttura di ricerca regionale che cercava di stare al passo con i tempi, anche perché suo compito istituzionale, era l'OGS che divenne l'organo di riferimento scientifico principale anche per le comunicazioni,

⁽²⁾ Le sezioni geologiche allegate alle note illustrative dei fogli regionali della vecchia Carta geologica d'Italia, realizzate fra gli anni '20 e '50, estrapolavano i dati di superficie fino ad una profondità massima di poche centinaia di metri sotto il livello del mare.

⁽³⁾ Bruno Martinis (che diventerà professore ordinario di Geologia prima all'Università di Milano dove, allievo di Ardito Desio gli succederà nella cattedra, poi all'Università di Roma) aveva lavorato per alcuni decenni nell'AGIP prima di dedicarsi alla carriera accademica.

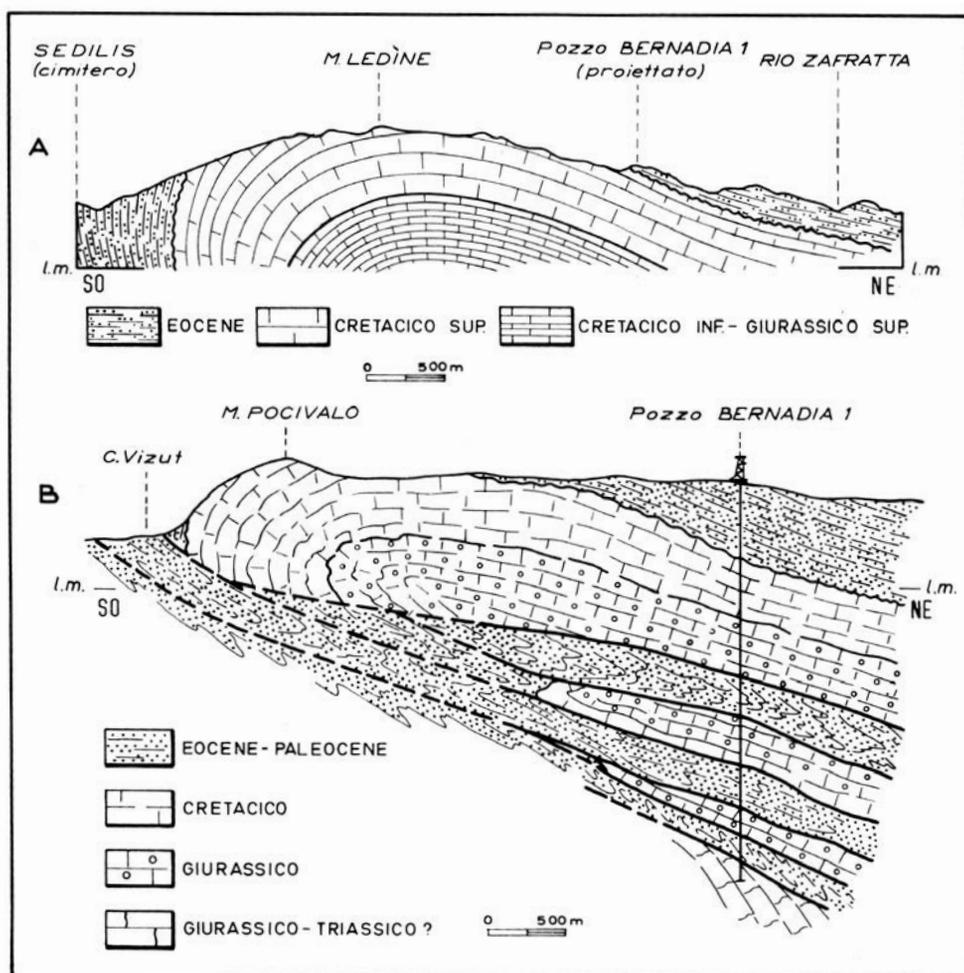


Fig. 1 - Sezione geologica trasversale attraverso il Monte Bernadia: A) antica interpretazione come struttura asimmetrica della piega; B) interpretazione moderna come sovrascorrimento sulla base dei dati del pozzo Bernadia 1 (da Martinis, 1971).

scientificamente corrette, alla popolazione e ai mezzi d'informazione⁴. Fra gli altri documenti apparsi fu di dominio pubblico la carta delle isosiste (Fig. 4) realizzata da Giorgetti (1976).

La serie di scosse iniziate con il 6 maggio provocò un brusco risveglio nei ricercatori e negli ordini professionali e rese consapevole la comunità scientifica (geologi, geofisici, ingegneri, architetti, ecc.) del problema del rischio sismico in Italia segnando una pietra miliare nella ricerca finalizzata alla sua mitigazione.

Infatti, dopo gli interventi immediati dell'emergenza, anche la risposta scientifica fu pronta. A soli sette mesi dagli eventi del maggio e a due mesi e mezzo da quelli del settembre, dal 4 al 5 dicembre 1976 si tenne a Udine un convegno internazionale sul terremoto del Friuli organizzato

⁽⁴⁾ Si deve sottolineare che a un anno esatto dal terremoto del 6 maggio furono installati dall'OGS 3 sismografi ponendo le basi di una rete sismometrica, finanziata dalla Regione, che è attualmente composta da 15 stazioni a corto periodo e 5 a banda larga, ubicate prevalentemente nell'area montana e pedemontana del Friuli. La strumentazione ha raggiunto nel corso dei decenni un livello di tecnologia sempre più avanzato tale da permettere la trasmissione dei dati in tempo reale via *radio-link*, via Internet o via satellite alla Protezione Civile e alle prefetture.

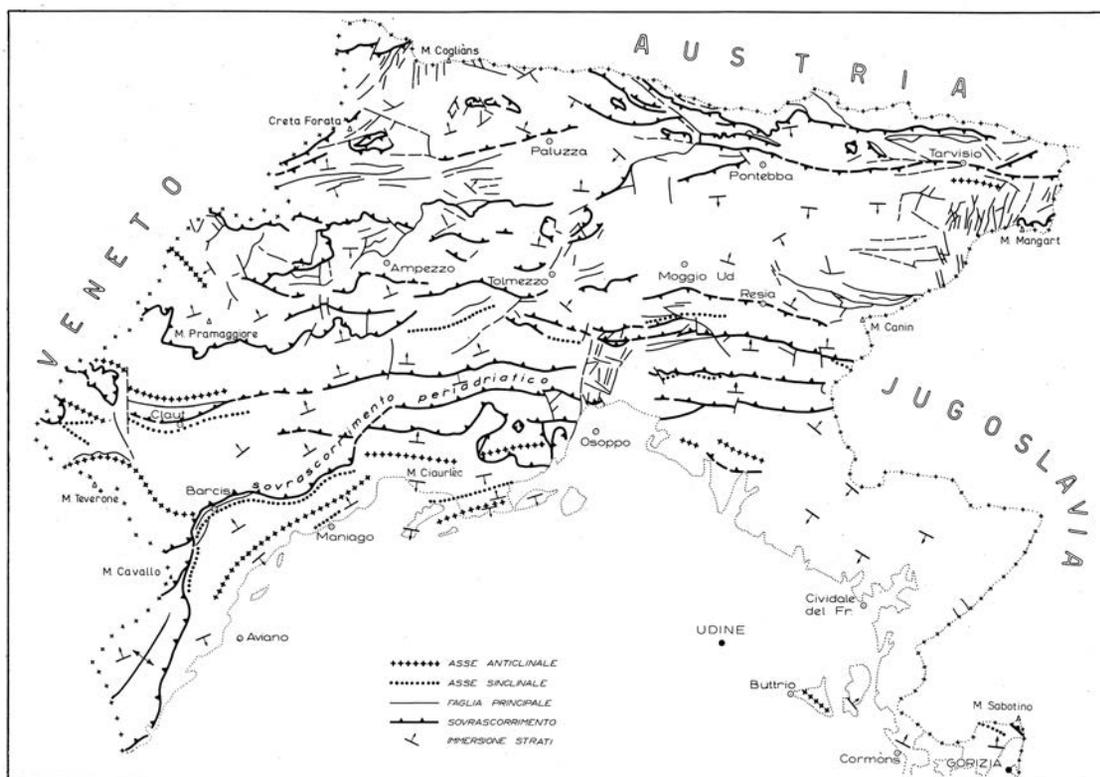


Fig. 2 - Mappa tettonica delle Prealpi friulane e delle Alpi (da Amato *et al.*, 1976).

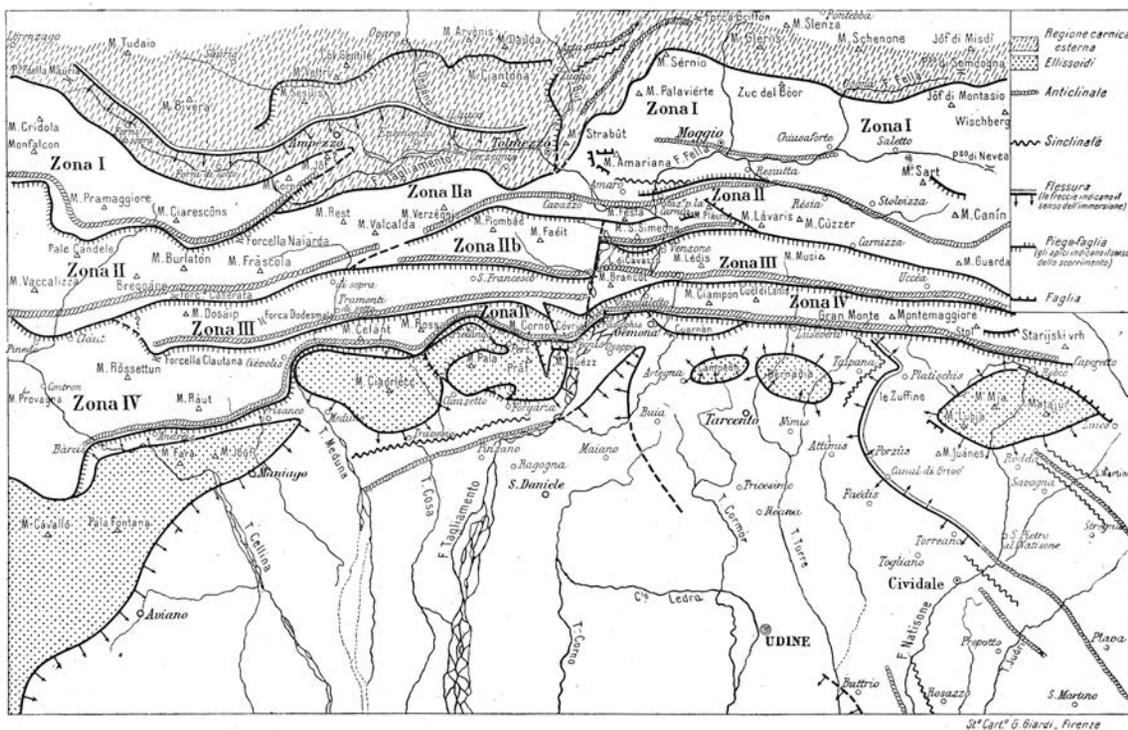


Fig. 3 - Mappa tettonica delle Prealpi friulane (da Feruglio, 1925).

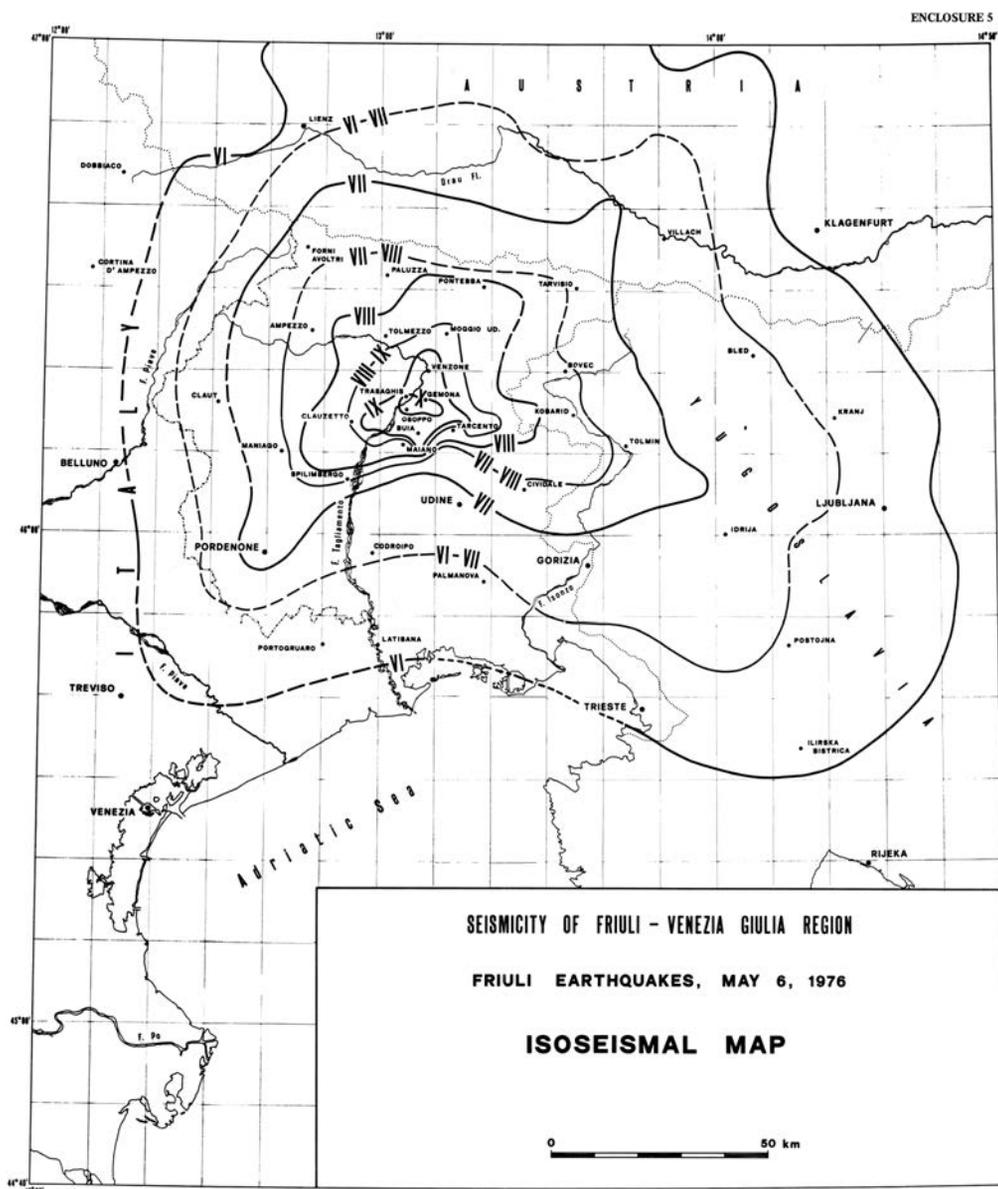


Fig. 4 - Carta delle isosiste del terremoto del Friuli del 6 maggio 1976 (da Giorgetti, 1976).

dal CISM (Centro Internazionale di Scienze Meccaniche) con il patrocinio della Regione Friuli Venezia Giulia e dell'European Seismic Engineering Association. Fu un importantissimo momento di confronto nella comunità scientifica, di acculturamento e di trasferimento dei dati per una corretta informazione, attraverso la presentazione e la discussione di ben 67 lavori scientifici legati a temi di sismologia, geofisica, geologia e ingegneria sismica. Il convegno ebbe partecipazione e risonanza internazionali con la presenza di diverse centinaia di ricercatori e segnò l'inizio fecondo della interdisciplinarietà. Gli atti del convegno furono stampati in un corposo volume di ben 1626 pagine del Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata (BGTA), periodico dell'OGS, che fu messo a disposizione della comunità scientifica in brevissimo tempo.

In esso comparve, a cura di Amato *et al.* (1976), per la prima volta la carta geologica dell'intera regione, sia pure in piccolissima scala ed in bianco e nero (Fig. 5), realizzata sulla base dei dati forniti dall'AGIP-Attività Minerarie e della SNIA Viscosa.

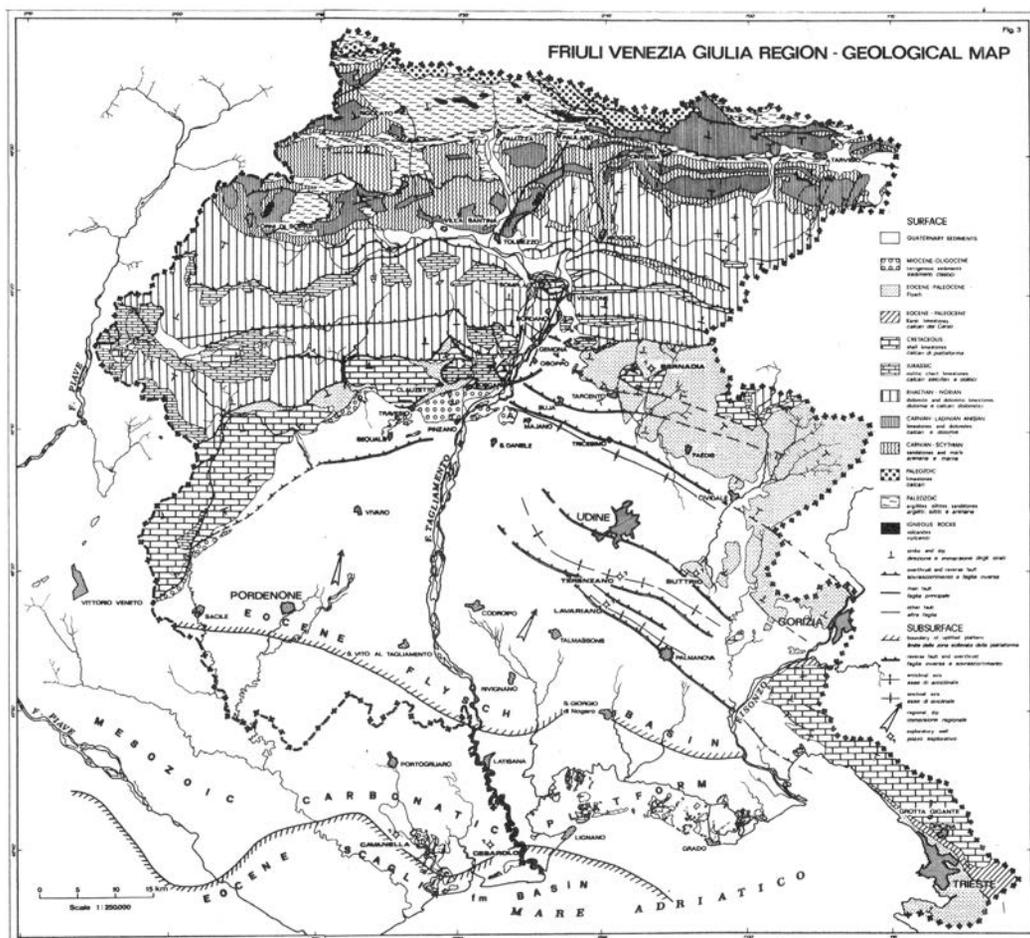


Fig. 5 - Carta geologica della regione del Friuli Venezia Giulia (da Amato *et al.*, 1976).

Gli stessi autori pubblicarono anche la carta sismotettonica della regione sovrapponendo al quadro dei principali lineamenti tettonici le isosiste (scala MCS) della massima intensità attesa per un periodo di ritorno di 1.000 anni (Fig. 6) e una sezione geologica sulla quale erano proiettati gli ipocentri che evidenziavano la correlazione con il piano di scorrimento profondo noto come "linea Buia-Tricesimo" (Fig. 7).

Nello stesso volume furono pubblicati anche una carta sismotettonica della regione, della Slovenia occidentale e dell'Istria (Arsovski *et al.*, 1976), nonché uno schema tettonico (Fig. 8) con la distribuzione degli epicentri (Finetti *et al.*, 1976).

L'AGIP contribuì alla conoscenza geologica profonda del territorio colpito dal sisma attraverso la competenza acquisita da oltre 1.000 km di profili sismici a riflessione ad acquisizione digitale

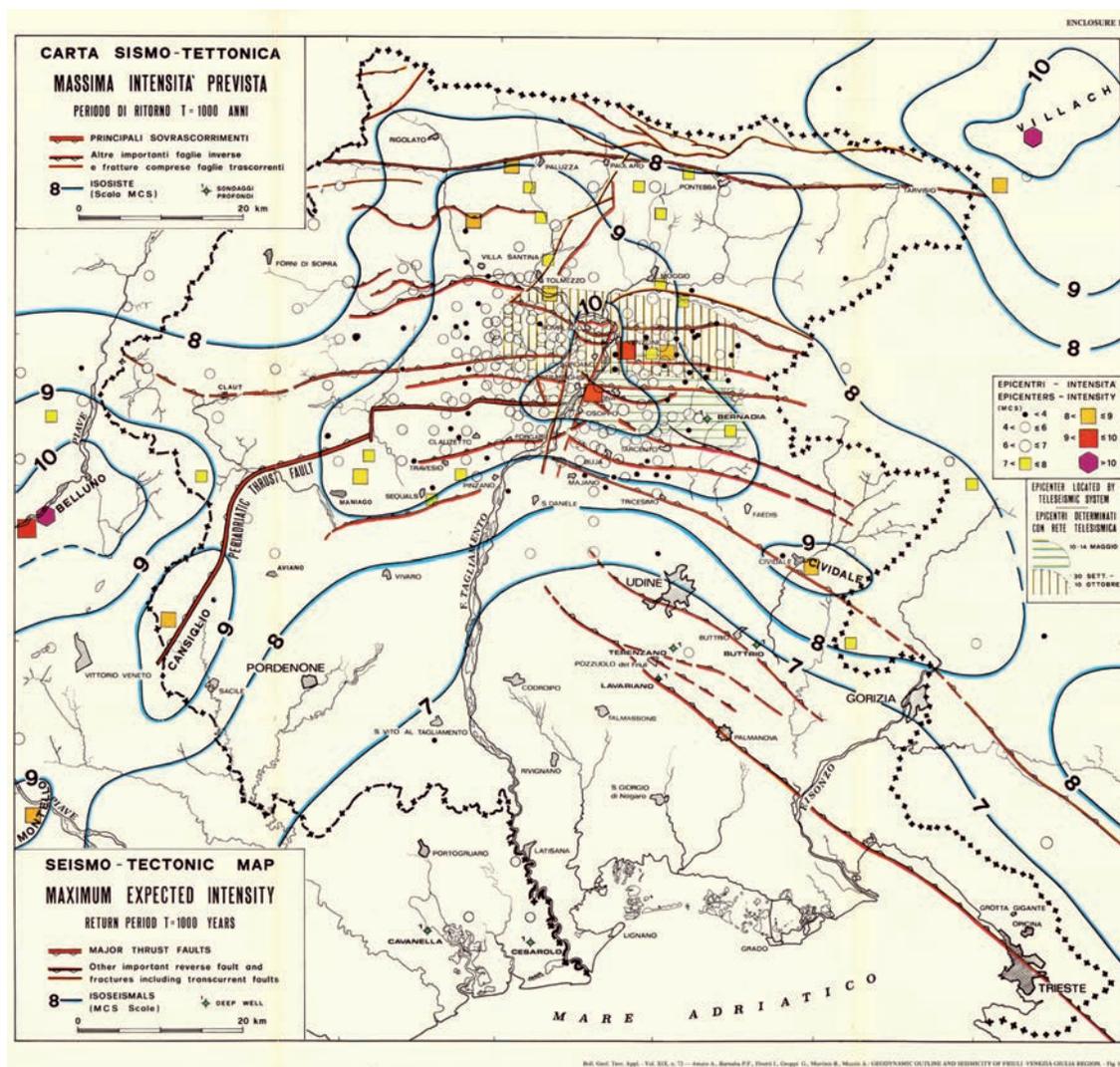


Fig. 6 - Carta sismotettonica (faglie ed epicentri) ed intensità massima prevista per un periodo di ritorno di 1.000 anni (da Amato *et al.*, 1976).

multicanale registrati nella regione dal 1972 al 1974, dalle carte gravimetriche con le anomalie di Bouguer, ottenute da circa 6.000 stazioni, dai rapporti di perforazione ed i log elettrici dei pozzi trivellati in precedenza citati. L'AGIP realizzò, inoltre, su richiesta del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), 64 km di linee sismiche digitali multicanale sull'area disastata. Tutte queste informazioni consentirono la ricostruzione dell'assetto strutturale del sottosuolo fino ad una profondità di circa 5 km nella porzione meridionale della pianura friulana e di 3 km in quella settentrionale.

Un'interpretazione della sequenza sismica del Friuli, inserita nel contesto geodinamico della microplacca adriatica fu data anche da Colautti *et al.* (1976) e Finetti *et al.* (1979), che confermarono il carattere alpino dei terremoti con piano di faglia a basso angolo immergente a nord e meccanismo inverso.

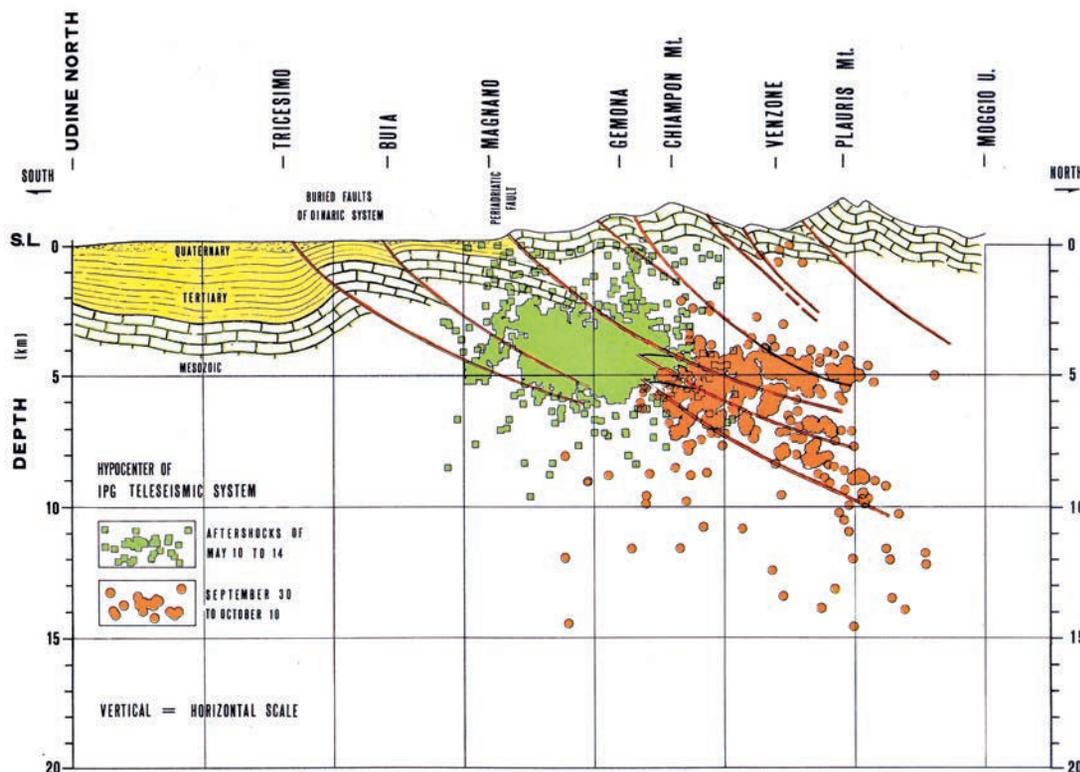


Fig. 7 - Sezione geologica attraverso l'area colpita dai terremoti del 1976 (da Amato *et al.*, 1976).

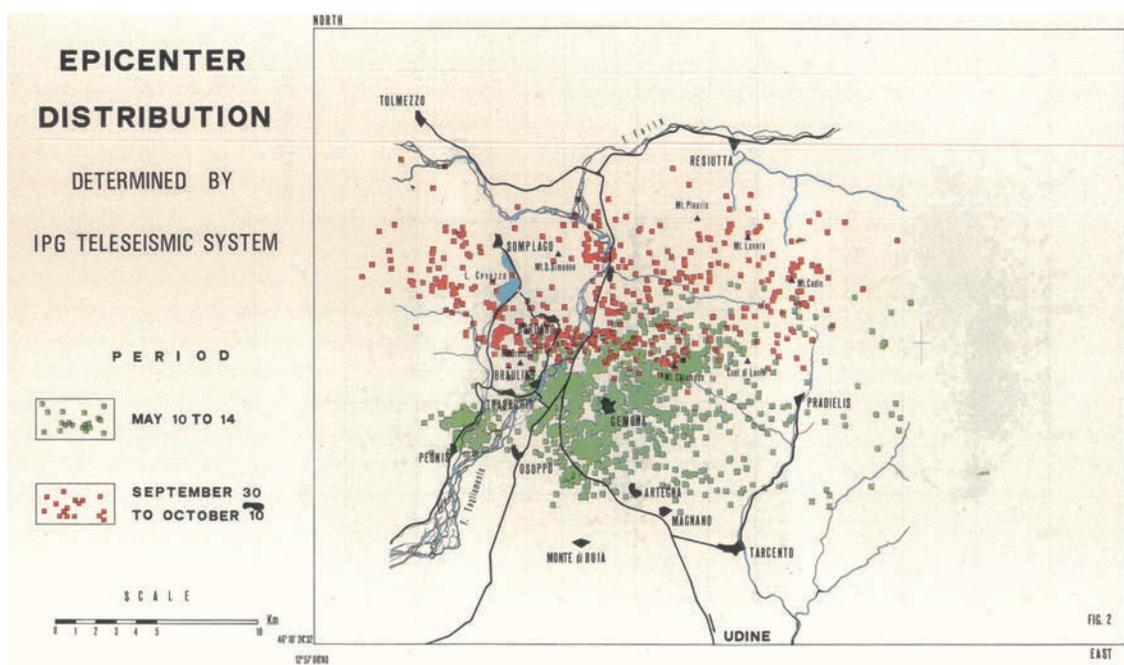


Fig. 8 - Distribuzione degli epicentri (dal 10 al 14 maggio (verdi) e dal 30 settembre al 10 ottobre (rossi) determinata dal sistema telesismico dell'IPG (da Finetti *et al.*, 1976).

3. Gli studi conseguenti ai terremoti del 1976

Con i terremoti del 1976 erano partite anche le ricerche condotte nell'ambito del Progetto Finalizzato "Geodinamica" (PFG) del CNR. Esso, avviato nel 1976, ebbe come banco di prova proprio il terremoto del Friuli con il collaudo del suo coordinamento e l'inizio della sua operatività.

Il PFG si articolava in sei Sottoprogetti (SP), quattro dei quali erano relativi alle problematiche sui terremoti: Reti sismiche, Rischio sismico ed ingegneria sismica, Modello strutturale e Neotettonica. Specie quest'ultima tematica fu particolarmente stimolante per la comunità geologica e decisiva per l'affinamento, accanto ai sismologi, delle conoscenze volte a studi finalizzati alla sismotettonica ed alla sismogenesi.

Per gli studi sul Friuli Venezia Giulia si crearono diverse unità operative il cui coordinamento coinvolse gli interventi geologici, oltre che dell'Università di Trieste⁵, anche quelli di altre sedi (Bologna, Ferrara, Milano, Modena, Padova, Pavia, Parma, Torino, ecc.) e di altre Regioni (Lombardia, Piemonte, Liguria, Emilia Romagna, Veneto, ecc.).

Il PFG rappresentò un momento di svolta determinante nella ricerca italiana, inteso come nuovo metodo di affrontare i problemi scientifici. Innanzi tutto introdusse il principio fondamentale della interdisciplinarietà riunendo le competenze di geologi, geofisici, ingegneri, architetti, storici, economisti, sociologi, (categorie, fino a quel tempo, chiuse spesso nelle rispettive sfere di competenze) con il conseguente arricchimento professionale e culturale reciproco. Dal punto di vista gestionale della ricerca fu realizzato il coordinamento, ponendo fine ad iniziative slegate, ed il rispetto dei tempi attraverso cadenze in precedenza inusuali (statini di avanzamento semestrali, convegni annuali) producendo un forte stimolo nell'approfondimento e nella continuità nonché nel confronto scientifico. Infine, elemento molto importante fu la finalizzazione, come evidenziato dall'aggettivo del Progetto, cioè la coscienza della ricaduta delle ricerche sulla società facendole uscire dalla sfera di cristallo dell'accademia.

Nell'ambito del SP Neotettonica, fu studiata l'evoluzione plio-quadernaria della regione (Carulli *et al.*, 1980) e realizzata la "Carta dell'evoluzione neotettonica dell'Italia nord-orientale" (Zanferrari *et al.*, 1982). Essa conteneva, attraverso l'analisi critica di elementi strutturali lineari ed areali, la valutazione del comportamento tettonico dell'area nella sua evoluzione in quattro intervalli temporali, dal Pliocene superiore all'Attuale, con la elaborazione delle relative carte tettoniche.

I lavori svolti nelle finalità del SP Modello strutturale del PFG videro, invece, la rivisitazione e l'aggiornamento in chiave tettonica (a cura di Castellarin, 1981) di tutti i 12 fogli geologici di copertura del territorio regionale, la stesura di alcuni dei quali risaliva agli anni '20. Nell'ambito delle iniziative promosse dal PFG si ricorda la determinante partecipazione dell'AGIP con l'interpretazione, tramite l'integrazione di dati geologici e geofisici (gravimetrici e magnetici), dei profili sismici eseguiti nell'intera Pianura Padana nei fondamentali lavori di Pieri e Groppi (1981), di Cassano *et al.* (1986) (Fig. 9) e, ad opera di Cati *et al.* (1988), nell'Italia nord-orientale volto alla ricostruzione del margine sepolto del *thrust and fold belt* del Sudalpino orientale.

⁵ L'Università di Udine sorse nel 1978 grazie alle provvidenze prese dal Governo a seguito dei terremoti, e due anni dopo fu creato il locale Istituto di Scienze della Terra, ma i ricercatori ad esso afferenti diedero da subito i loro contributi, fino dalle fasi dell'immediata emergenza.

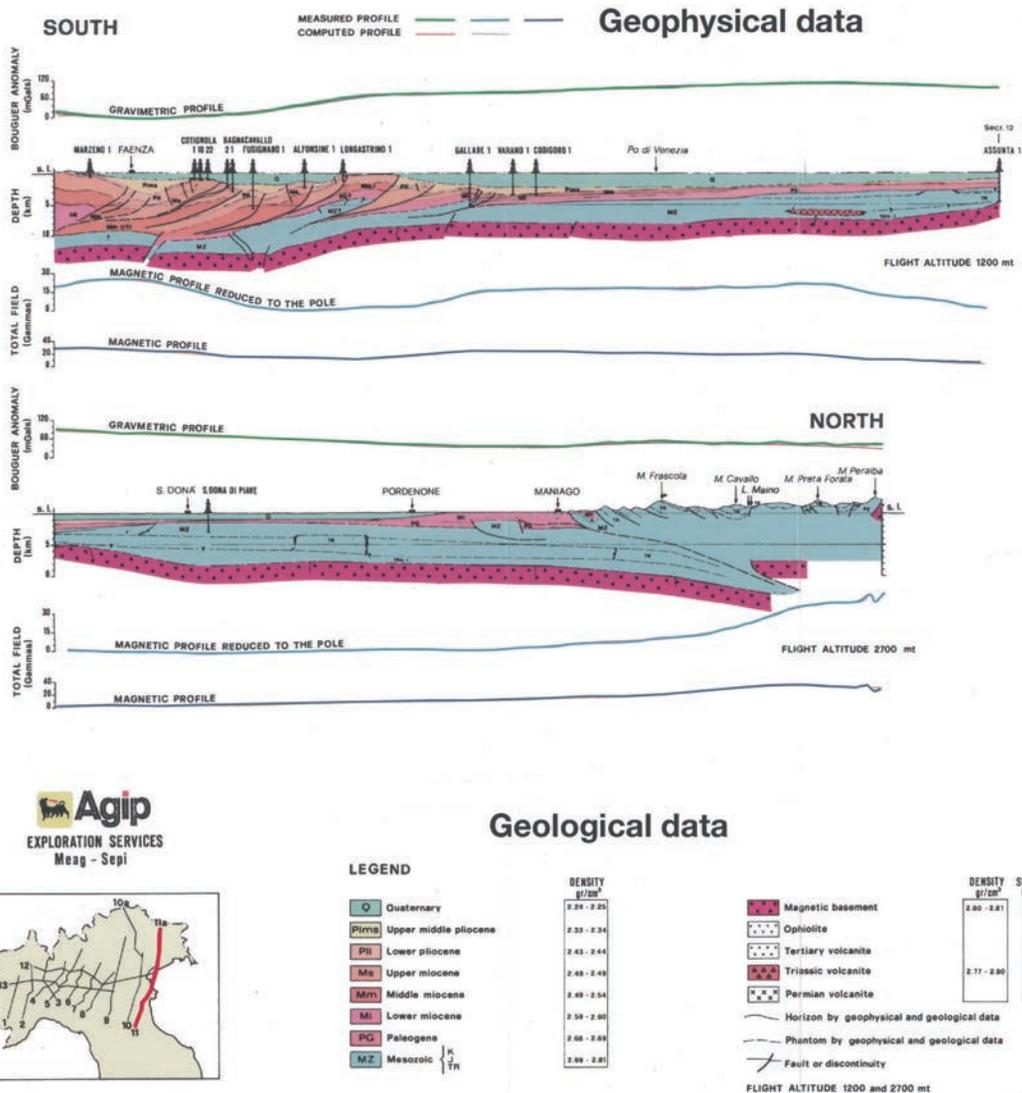


Fig. 9 - Interpretazione integrata geofisica e geologica della parte più orientale della Pianura Padana (modificata da Cassano *et al.*, 1986).

La linea di ricerca “Carta sismotettonica delle Alpi”, operante nell’ambito del sopra citato SP, vide l’impegno di tutti i ricercatori impegnati nello studio della catena e portarono (Carulli *et al.*, 1981) ad un primo confronto fra dati derivanti dal modello crostale (Italian Explosion Seismology Group e Institute of Geophysics - E.T.H. Zürich, 1981), dalla sismologia, dalla geologia strutturale e dalla neotettonica ai fini della definizione delle zone sismogenetiche del Friuli quale condizione per una corretta valutazione del rischio sismico della regione (Fig. 10).

In un successivo lavoro (Carulli *et al.*, 1982), su tre sezioni geologiche scelte in posizione strategica e poste al centro di una fascia variabile tra i 6 ed i 10 km di larghezza, vennero riportati ulteriori dati strutturali arricchiti di quelli sismici ricavati dall’OGS.

Il progetto CROP (CROsta Profonda), impostato negli anni 1982-1985 con uno studio generale di fattibilità, ebbe una prima fase di realizzazione (1985-1988) come Progetto Strategico

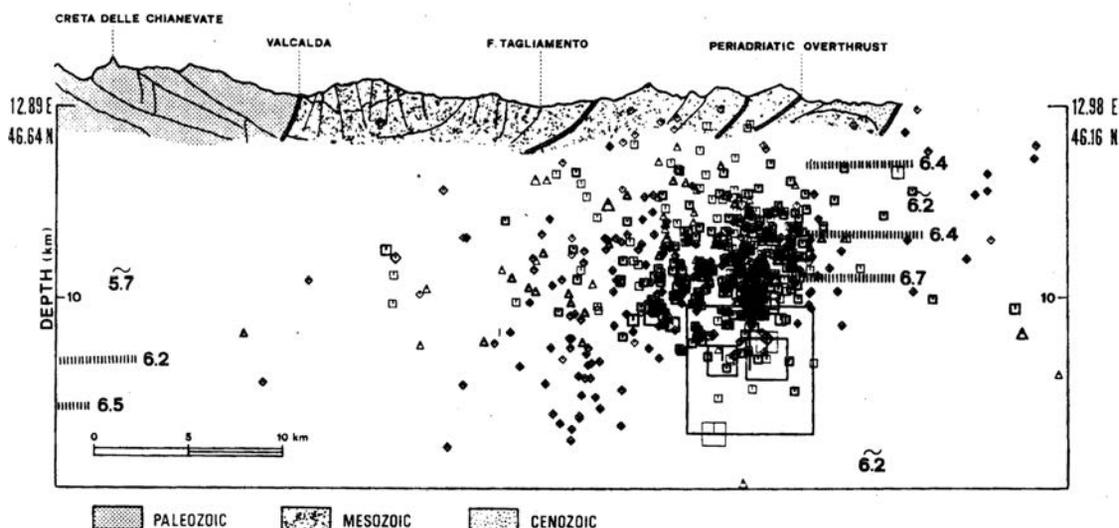


Fig. 10 - Sezione geologica geofisica, larga 10 km, attraverso la catena paleocarnica e le Prealpi friulane occidentali (da Slejko *et al.*, 1989). Simboli diversi si riferiscono a ipocentri registrati dalla rete sismometrica OGS dell'Italia nord-orientale in periodi diversi: quadrati dal 1977 al 1978; triangoli dal 1979 al 1981; romboidi dal 1982 al 1986. Le velocità si riferiscono agli orizzonti rivelati dalle indagini sismiche a rifrazione.

CNR e, a partire dagli anni '90, si sviluppò attraverso convenzioni CNR- ENI-Divisione AGIP e CNR-ENEL che permisero l'acquisizione, l'elaborazione e l'interpretazione di circa 10.000 km di profili sismici a riflessione terrestri e, per lo più, marini. Attraverso tali convenzioni venne resa possibile l'interazione fra mondo industriale pubblico e privato e la comunità della ricerca scientifica di base.

Il progetto CROP rappresentò un programma di ricerca multidisciplinare, volto al raggiungimento dei seguenti obiettivi attraverso lo studio di dati geofisici: la comprensione dei processi geodinamici di base che hanno prodotto l'attuale configurazione del territorio italiano, la definizione e prevenzione del rischio geologico, la ricerca di risorse energetiche (idrocarburi e geotermia), l'identificazione delle zone stabili per l'insediamento di aree industriali, lo smaltimento dei rifiuti in condizioni di massima sicurezza. Le informazioni acquisite dal progetto portarono alla rielaborazione dei modelli geologici di base, sia per le nuove conoscenze sulle geometrie profonde della crosta terrestre, sia per lo sforzo di revisione e integrazione di tutti i dati geofisici/geologici esistenti. Allo stesso tempo questa attività di ricerca promosse lo sviluppo tecnologico italiano nel campo della prospezione della sismica profonda a riflessione e delle tecniche di elaborazioni ed interpretazione dei dati sismici NVR. Con il progetto CROP, l'Italia si inserì nel novero delle nazioni impegnate nello studio scientifico della crosta profonda insieme agli Stati Uniti (COCORP), Germania (DEKORP), Inghilterra (BIRPS), Francia (ECORS) e Svizzera (NFP20)⁶.

La catena alpina fu interessata da tre profili CROP in cooperazione internazionale che attraversarono le Alpi occidentali (CROP ALPI-1, prosecuzione sud-orientale del profilo francese ECORS), le Alpi centrali (trasetti CROP 1-2-3-4, agganciati al profilo svizzero NFP 20 EAST) e quelle orientali (TRANSALP) in collaborazione con l'Austria e la Germania (Finetti, 2005). Quest'ultimo si sviluppò in direzione pressoché meridiana da Monaco a Venezia attraversando

⁶ Le informazioni sul Progetto CROP sono tratte dal sito www.crop.cnr.it/ al quale si rimanda per ulteriori dati.

geologiche e geofisiche del territorio nazionale, mirava alla realizzazione di fogli geologici e geotematici alla scala 1:50.000, più idonea a compendiare la necessità di sintesi regionale e di maggiore dettaglio rispetto alla scala 1:100.000 dei precedenti fogli. La Regione Friuli Venezia Giulia, considerata anche la vetustà dei fogli di copertura del territorio (ad es. il vecchio foglio “Udine” in scala 1:100.000 risaliva al 1925), attraverso il suo Servizio Geologico finanziò la realizzazione dei fogli “066 Udine” (Zanferrari *et al.*, 2008a), “065 Maniago” (Zanferrari *et al.*, 2008b), “086 San Vito al Tagliamento” (Zanferrari *et al.*, 2008c), “049 Gemona del Friuli” [Zanferrari *et al.* (2013) in attesa di stampa ma pubblicato su web dell’ISPRA] e “031 Ampezzo” (Venturini, 2009; Venturini *et al.*, 2009), tutti accompagnati dalle relative note illustrative. Sono stati resi così disponibili gli strumenti conoscitivi, quali i dati geologici sia di superficie che del sottosuolo, indispensabili per una corretta pianificazione e gestione del territorio e, più in particolare, per la prevenzione e la mitigazione del rischio idrogeologico e sismico.

A seguito di apposita convenzione tra Regione e Università di Trieste viene pubblicata anche la “Carta del sottosuolo della pianura friulana” di Nicolich *et al.* (2004). In essa sono riportati gli spessori dei depositi quaternari della pianura, la profondità del tetto dei carbonati, cinque sezioni geologiche profonde e le sezioni litostratigrafiche dei pozzi perforati in regione per la ricerca di idrocarburi. È un documento di grande importanza perché mette a disposizione della comunità scientifica elaborazione ed interpretazione di dati industriali relativi al sottosuolo profondo.

La maggior parte di questi vengono sintetizzati nella cartografia geologica del territorio con la pubblicazione, ad opera del Servizio Geologico regionale, della “Carta geologica del Friuli Venezia Giulia alla scala 1: 150.000” corredata da sezioni geologiche, e da altre mappe di sintesi utili alla comprensione della realtà e della storia fisica regionale nonché dalle note illustrative (Carulli, 2006).

4. Le ricerche di sismotettonica

Alla fine degli anni '80 i risultati delle ricerche innovative portarono al “Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale” (Slejko *et al.*, 1987, 1989), edito dal CNR e dal GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti)⁷. In esso confluirono le competenze di geologi strutturali, geologi applicati, geomorfologi, geofisici e sismologi afferenti all’OGS e alle Università di Ferrara, Milano, Modena, Padova, Torino, Trieste e Udine a dimostrazione della interdisciplinarietà e della collaborazione promosse dalla filosofia del PFG. Nello studio furono analizzati e messi a confronto tutti i dati geologici e geofisici disponibili relativi ad un’ampia zona, estesa dal Lago di Garda al confine sloveno e da quello austriaco all’Adriatico, settorialmente caratterizzata da elevata sismicità.

Dal punto di vista geologico furono elaborati dapprima un modello strutturale ed un modello neotettonico. Nel primo vennero individuate aree a comportamento diverso corrispondenti a settori che hanno avuto differente evoluzione geologica pre-quadernaria, nel secondo fu dato

⁷ Il Decreto Legislativo n. 381 del 29 settembre 1999, trasferì il GNDT dal CNR all’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) che, a tutt’oggi, è l’ente scientifico a livello nazionale preposto a promuovere ed effettuare attività di ricerca nel campo delle discipline geofisiche compresi i metodi di valutazione della pericolosità e del rischio sismico del territorio nazionale.

particolare risalto all'evoluzione tettonica nell'intervallo Pleistocene medio-Olocene. Dal punto di vista geofisico furono analizzati i dati geodetici, gravimetrici, magnetici e soprattutto quelli sismologici. Questi ultimi, sulla base della distribuzione spaziale dei terremoti sia storici che attuali, individuarono nella fascia pedemontana del territorio considerato la zona di massima attività.

Vennero così proposte quattro distinte megaunità cinematico-strutturali che, sulla base di considerazioni sismologiche, furono poi suddivise in dieci zone omogenee dal punto di vista sismogenetico (Fig. 12).

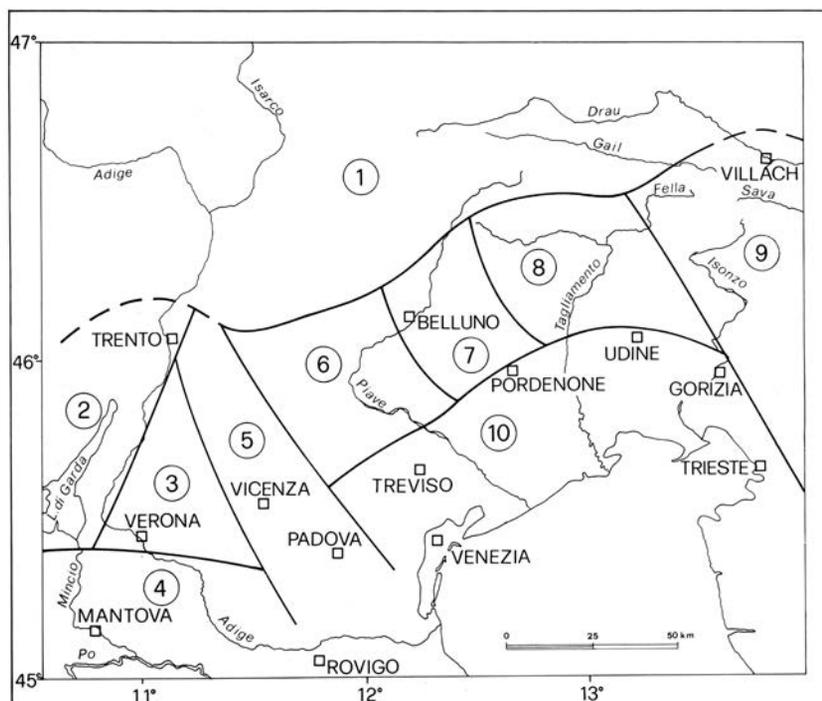


Fig. 12 - Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale (da Slejko *et al.*, 1989).

Gli studi sulla sismotettonica sono poi proseguiti anche al fine di una più precisa ubicazione della sorgente della scossa principale del 6 maggio e di quelle di settembre. Subito dopo l'evento, la prima era stata approssimativamente definita sotto il monte San Simeone e divulgata ai mezzi d'informazione⁸, dalla stazione di Trieste della *World Wide Standardized Seismographic Network* (WWSSN), la più vicina all'epicentro e gestita dall'OGS.

Di pari passo con l'approfondimento dell'interpretazione della strutturazione profonda sono proseguiti e si sono affinati gli studi specifici sulla sismotettonica con l'individuazione delle faglie attive e con la definizione delle sorgenti (Aoudia *et al.*, 2000; Galadini *et al.*, 2001, 2005; Poli *et al.*, 2002, 2008; Carulli e Slejko, 2005; Burrato *et al.*, 2008; Cheloni *et al.*, 2012; Moratto *et al.*, 2012; Bressan *et al.*, 2016).

⁽⁸⁾ Nell'immaginario collettivo delle leggende e delle credenze popolari friulane il monte San Simeone fu per anni, e lo è tuttora per gli anziani, la casa dell'*orcolàt*, l'enorme orco cattivo che talora esce dalla sua tana e calpestando pesantemente le montagne provoca i terremoti.

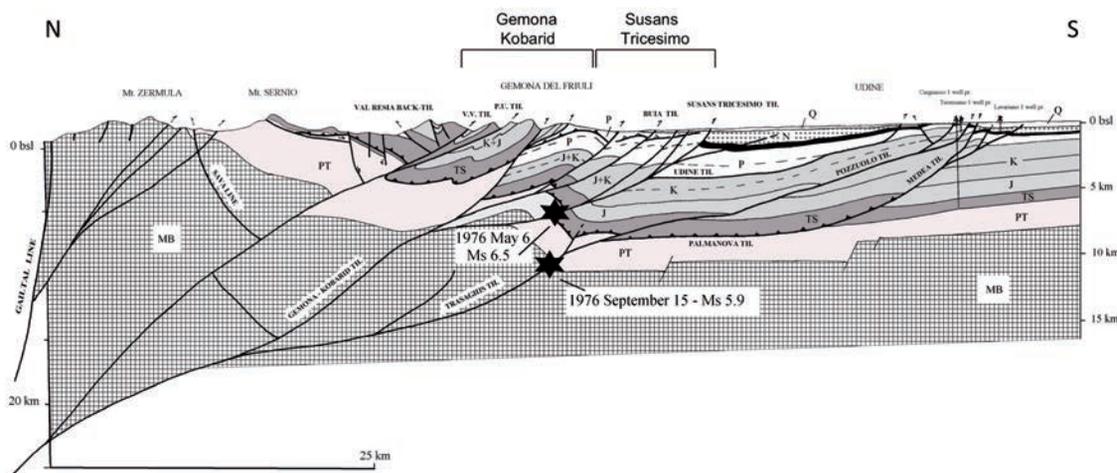


Fig. 13 - Sezione sismica di riflessione con gli ipocentri principali del 1976 (modificati da Galadini *et al.*, 2005). I due segmenti mostrano le sorgenti sismiche DISS intersecate dalla sezione.

Nel corposo lavoro di Galadini *et al.* (2005), sulla base di nuovi dati geomorfologici e strutturali, viene definito il quadro delle faglie attive plio-quadernarie dell'intero Sudalpino orientale, da Thiene al Friuli. Sono così individuate, in corrispondenza del complesso sistema di sovrascorrimenti del fronte di catena sudalpina, dieci sorgenti sismogenetiche potenzialmente responsabili di terremoti di $M \geq 6$, sei delle quali (settori Cansiglio, Polcenigo-Maniago, Arba-Ragogna, Gemona-Kobarid, Susans-Tricesimo, Trasaghis e Medea) appartengono a segmenti di faglia dell'area friulana. Su una sezione geologica con orientazione meridiana dalla valle del fiume Gail fino ai pozzi Carnagacco, Terenzano e Lavariano (Fig. 13) sono proiettati gli epicentri delle scosse maggiori evidenziando quelle del 6 maggio e del 15 settembre secondo la localizzazione di Slejko *et al.* (1999), Peruzza *et al.* (2002) e Poli *et al.* (2002).

Nel volume di Ponton (2010) vengono illustrate, attraverso otto sezioni geologiche longitudinali e trasversali rispetto alla catena, non solo le geometrie delle strutture tettoniche ma anche le interrelazioni fra di esse e le diverse fasi evolutive che hanno subito nel tempo. Su alcune di queste sezioni centro-orientali (Fig. 14) Bressan *et al.* (2016) proiettano gli ipocentri,

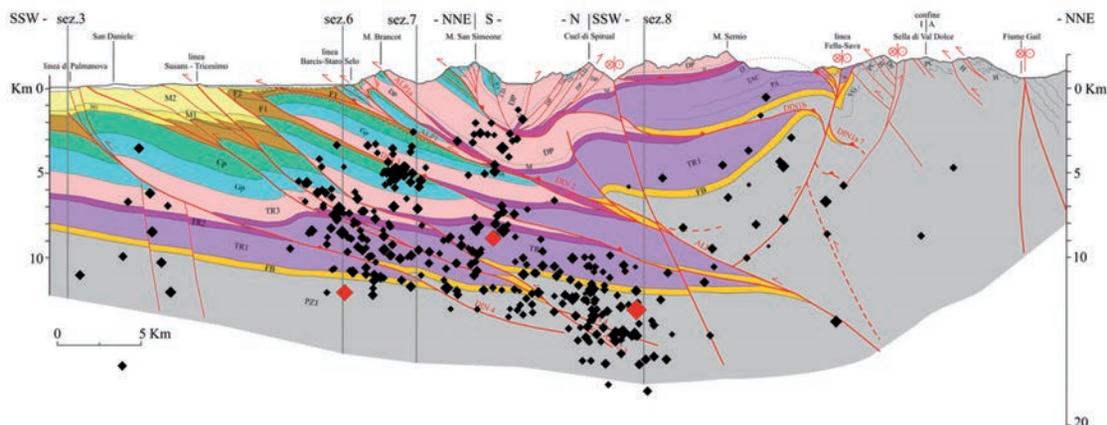


Fig. 14 - Sezione geologica con sismicità (modificata da Bressan *et al.*, 2016).

sottolineando l'organizzazione spaziale della sismicità del Friuli e della Slovenia occidentale e le sue relazioni con la complessa struttura risultante dalla sovrapposizione di più fasi tettoniche che nell'area considerata hanno provocato la massima interferenza fra domini alpini e domini dinarici.

In definitiva, facendo una rapida sintesi retroattiva, si può considerare che il modello strutturale dell'area sismica dei terremoti del 1976, e seguenti, è rimasto sostanzialmente invariato, anche se notevolmente arricchito nella migliore definizione delle strutture e, specialmente, della sismogenesi. D'altronde solo negli anni '80 è stata riconosciuta l'importanza della disciplina "Geologia strutturale" ed assurda ad insegnamento chiave negli ordinamenti didattici delle università italiane, per divenire poi, nel 1990, settore scientifico disciplinare autonomo (GEO/03) nel macrosettore delle Geoscienze e, in successione rapida, centro di aggregazione di attivissimi gruppi di ricerca.

In chiusura, si deve sottolineare che i lavori scientifici innescati dal terremoto del 1976, da quella data ad oggi, assommano ad oltre 300 (Slejko *et al.*, 2018) a dimostrazione che quell'evento è stato, e lo è tuttora, un campo di studi la cui ampiezza non è stata, finora, mai raggiunta nella storia sismica italiana⁹.

Ulteriori studi, in via di affinamento e in continua evoluzione, sono nei cassetti o, più modernamente, nelle memorie informatiche dei ricercatori di Scienze della Terra interessati al territorio regionale. Essi sono responsabilmente coinvolti in queste tematiche che hanno profonde ricadute sull'intera società, essendo finalizzate ad una definizione sempre maggiore della pericolosità e del rischio sismico quali strumenti prioritari per la prevenzione nella difesa dai terremoti.

BIBLIOGRAFIA

- AGIP; 1977: *Temperature sotterranee. Inventario dei dati raccolti dall'AGIP durante la ricerca e la produzione di idrocarburi in Italia*. F.lli Brugora, Segrate, Italy, 1390 pp.
- Amato A., Barnaba P.F., Finetti G., Groppi G., Martinis B. e Muzzin A.; 1976: *Geodynamic outline and seismicity of Friuli Venezia Giulia region*. Boll. Geof. Teor. Appl., **18**, 217-256.
- Aoudia A., Saraò A., Bukchin B. e Suhadolc P.; 2000: *The 1976 Friuli (NE Italy) thrust faulting earthquake: a reappraisal 23 years later*. Geophys. Res. Lett., **27**, 573-576.
- Aric K., Giese P., Miller H., Morelli C. e Nicolich R.; 1976: *Crustal structure and seismicity of northern Italy*. Boll. Geof. Teor. Appl., **18**, 273-278.
- Arsovski M., Mihailov V., Cvijanović D. e Kuk K.; 1976: *The relation between seismological and neotectonic characteristics of Friuli and neighbouring areas*. Boll. Geof. Teor. Appl., **18**, 285-298.
- Bressan G., Ponton M., Rossi G. e Urban S.; 2016: *Spatial organization of seismicity and fracture pattern in NE Italy and SW Slovenia*. J. Seismol., **20**, 511-534.
- Burrato P., Poli M.E., Vannoli P., Zanferrari A., Basili R. e Galadini F.; 2008: *Sources of Mw 5+ earthquakes in northeastern Italy and western Slovenia: updated view based on geological and seismological evidence*. Tectonophysics., **453**, 157-176.
- Carulli G.B.; 2006: *Carta geologica del Friuli Venezia Giulia, scala 1:150.000*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Ambiente e Lavori Pubblici, Servizio Geologico, S.E.L.C.A., Firenze, Italy, 44 pp.
- Carulli G.B.; 2018: *The development of seismotectonic studies on the Friuli Venezia Giulia region before and following the 1976 Friuli earthquake*. Boll. Geof. Teor. Appl., **59**, 351-372, doi: 10.4430/bgta0212.
- Carulli G.B. e Ponton M.; 1992: *Interpretazione strutturale profonda del settore centrale carnico-friulano*. Studi Geol. Camerti, Vol. spec. **1992/2**, 275-284.
- Carulli G.B. e Slejko D.; 2005: *The 1976 Friuli (NE Italy) earthquake*. Giornale di Geologia Applicata, **1**, 147-156.

⁹ Il presente lavoro rappresenta la versione italiana, parzialmente semplificata, dell'articolo di Carulli (2018) di pari titolo ed analoga trattazione.

- Carulli G.B., Carobene L., Cavallin A., Martinis B. e Onofri R.; 1980: *Evoluzione strutturale plio-quadernaria del Friuli e della Venezia Giulia*. In: Contributi preliminari alla realizzazione della Carta neotettonica d'Italia, C.N.R., P.F.G., pubbl. n° 356, pp. 489-545.
- Carulli G.B., Giorgetti F., Nicolich R. e Slejko D.; 1981: *Considerazioni per un modello sismotettonico del Friuli*. Rend. Soc. Geol. It., **4**, 605-611.
- Carulli G.B., Giorgetti F., Nicolich R. e Slejko D.; 1982: *Friuli zona sismica: sintesi di dati sismologici, strutturali*. In: Castellarin A. e Vai G.B. (a cura di), Soc. Geol. It., Guida alla geologia del sudalpino centro-orientale, Guide geologiche regionali, Bologna, Italy, pp. 361-370.
- Cassano E., Anelli L., Fichera R. e Cappelli V.; 1986: *geologici*. In: Atti 73° Congresso Soc. Geol. It., Roma, Italy, 28 pp.
- Castellarin A. (a cura di); 1981: *Carta tettonica delle Alpi Meridionali (alla scala 1:200.000)*. C.N.R., P.F.G., pubbl. 441, 220 pp.
- Castellarin A., Dal Piaz G.V., Fantoni R., Vai G.B. e Nicolich R.; 2003: *Lower crustal style and models along the Mem*. Sci. Geol., **54**, 245-248.
- Cati A., Fichera R. e Capelli V.; 1988: *Northeastern Italy. Integrated processing of geophysical and geological data*. Mem. Soc. Geol. It., **40**, 273-288.
- Cheloni D., D'Agostino N., D'Anastasio E. e Selvaggi G.; 2012: *Reassessment of the source of the 1976 Friuli, NE Italy, earthquake sequence from the joint inversion of high-precision levelling and triangulation data*. Geophys. J. Int., **190**, 1279-1294.
- Colautti D., Finetti I., Nieto D., Pupis C., Russi M., Slejko D. e Suhadolc P.; 1976: *Epicenter distribution and analysis of 1976 earthquakes and aftershocks of Friuli*. Boll. Geof. Teor. Appl., **18**, 457-548.
- Dainelli G.; 1921: *La struttura delle Prealpi friulane*. Mem. Geogr., 218 pp.
- Feruglio E.; 1925: *Le Prealpi tra l'Isonzo e l'Arzino*. Boll. Ass. Agr. Friulana, Serie 7, **39-40**, 1-301.
- Finetti I.; 1967: *Ricerche sismiche a rifrazione sui rapporti strutturali fra il Carso e il Golfo di Trieste*. Boll. Geof. Teor. Appl., **9**, 214-225.
- Finetti I. (ed); 2005: *CROP PROJECT, deep seismic exploration of the Central Mediterranean and Italy*. Elsevier Sci., Atlases in Geosci., 780 pp.
- Finetti I. e Morelli C.; 1972: *Deep seismic refraction on eastern Alps*. Boll. Geof. Teor. Appl., **14**, 53-54.
- Finetti I., Giorgetti F., Hässler H., Hoang Trong P., Slejko D. e Wittlinger G.; 1976: *Time space epicenter and hypocenter distribution and focal mechanism of 1976 Friuli Earthquakes*. Boll. Geof. Teor. Appl., **18**, 637-655.
- Finetti I., Russi M. e Slejko D.; 1979: *The Friuli earthquake (1976-1977)*. Tectonophys., **53**, 261-272.
- Galadini F., Meletti C. e Vittori E.; 2001: *Major active faults in Italy: available surficial data*. Neth. J. Geosci., **80**, 273-296.
- Galadini F., Poli M.E. e Zanferrari A.; 2005: *in eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy)*. Geophys. J. Int., **161**, 739-762.
- Giese P., Morelli C., Nicolich R. e Scarascia S.; 1980: *Crustal structure of the Italian peninsula*. Rapporto interno C.N.R., P.F.G.
- Giese P., Reuter K.J., Jacobshagen R. e Nicolich R.; 1981: *Explosion seismic crustal studies in the Alpine Mediterranean region and their implication to tectonic processes*. In: Berckemmer H. e Hsu K. (eds), Alpine- Mediterranean Geodynamics, Geodynamic Series 7, pp. 39-74.
- Giorgetti F.; 1976: *Isoseismal map of the May 6, 1976 Friuli earthquake*. Boll. Geof. Teor. Appl., **18**, 707-714.
- Italian Explosion Seismology Group e Institute of Geophysics-E.T.H. Zürich; 1981: *Crust and Upper Mantle analysis*. Boll. Geof. Teor. Appl., **23**, 297-330.
- Lammer B. e TRANSALP Working Group; 2003: *The "crocodile" model and balancing the seismic section*. Mem. Sci. Geol., **54**, 243-244.
- Martinis B.; 1966: *Prove di ampi sovrascorrimenti nelle Prealpi Friulane e Venete*. **25**, 1-31
- Martinis B.; 1971: *Geologia generale e geomorfologia*. **1**, 85-172.
- Merlini S., Doglioni C., Fantoni R. e Ponton M.; 2002: *Fella-Sava e l'avampaese adriatico (Friuli Venezia Giulia - Italia)*. Mem. Soc. Geol. It., **57**, 293-300.
- Moratto L., Suhadolc P. e Costa G.; 2012: *Finite-fault parameters of the September 1976 M>5 aftershocks in Friuli (NE Italy)*. Tectonophys., **536-537**, 44-60.
- Morelli C.; 1975: *The gravity map of Italy*. Quad. Ric. Sci., **90**, 427-447.

- Morelli C. e Giese P.; 1973: *La struttura della crosta terrestre in Italia*. In: Atti Convegno Moderne vedute nella geologia dell'Appennino, Accad. Naz. Lincei, Modena, Italy, 370 pp.
- Nicolich R. e Dal Piaz G.V.; 1990: *Moho isobaths*. In: Bigi G., Cosentino D., Parotto M., Sartori R. e Scandone P. (eds), Structural model of Italy, scale 1: 500.000, C.N.R., P.F.G., S.E.L.C.A., Firenze, Italy.
- Nicolich R., Della Vedova B., Giustiniani M. e Fantoni R.; 2004: *Carta del sottosuolo della pianura friulana (Map of subsurface structures of the Friuli Plain)*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Ambiente e Lavori Pubblici, Servizio Geologico, L.A.C., Firenze, Italy, 32 pp.
- Peruzza L., Poli M.E., Rebez A., Renner G., Rogledi S., Slejko D. e Zanferrari A.; 2002: *The 1976-1977 seismic sequence in Friuli: new seismotectonic aspects*. Mem. Soc. Geol. It., **57**, 391-400.
- Pieri M.; 1984: *Storia delle ricerche nel sottosuolo padanone alle ricostruzioni attuali*. In: Cento anni di geologia Italiana, Vol. Giubilare, 1° Centenario Soc. Geol. Ital. 1881-1981, Roma, Italy, pp. 155-177.
- Pieri M. e Groppi G.; 1981: *Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy*. C.N.R., P.F.G., **414**, 1-113.
- Poli M.E. e Zanferrari A.; 2018: *The seismogenic sources of the 1976 Friuli earthquakes: a new seismotectonic model for the Friuli area*. Boll. Geof. Teor. Appl., **59**, 463-480, doi: 10.4430/bgta0209.
- Poli M.E., Peruzza L., Rebez A., Renner G., Slejko D. e Zanferrari A.; 2002: *New seismotectonics evidence from the analysis of the 1976-77 and 1977-1999 seismicity in Friuli (NE Italy)*. Boll. Geof. Teor. Appl., **43**, 53-78.
- Poli M.E., Burrato P., Galadini F. e Zanferrari A.; 2008: *Seismogenic sources responsible for destructive earthquakes in NE Italy*. Boll. Geof. Teor. Appl., **49**, 301-314.
- Ponton M.; 2010: *Architettura delle Alpi Friulane (All. n. 8 sezioni geologiche alla scala 1:100.000, n. 1 carta geologica alla scala 1:200.000)*. Museo Friulano Storia Naturale, **52**, 1-80.
- Slejko D.; 2018: *What science remains of the 1976 Friuli earthquake?* Boll. Geof. Teor. Appl., **59**, 327-350, doi: 10.4430/bgta0224.
- Slejko D., Carulli G.B., Carraro F., Castaldini D., Cavallin A., Doglioni C., Illiceto V., Nicolich R., Rebez A., Semenza E., Zanferrari A. e Zanolta C.; 1987: *Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale*. C.N.R., G.N.D.T., Rendiconto 1, pp. 1-82.
- Slejko D., Carulli G.B., Nicolich R., Rebez A., Zanferrari A., Cavallin A., Doglioni C., Carraro F., Castaldini D., Illiceto V., Semenza E. e Zanolta C.; 1989: *Seismotectonics of the eastern Southern-Alps: a review*. Boll. Geof. Teor. Appl., **31**, 109-136.
- Slejko D., Neri G., Orozova I., Renner G. e Wyss M.; 1999: *of activity following the 1976 main shock*. Bull. Seismol. Soc. Am., **89**, 1037-1052.
- Slejko D., Ruscetti M. e Cecić I.; 2018: *The 1976 Friuli earthquake: lessons learned*. Boll. Geof. Teor. Appl., **59**, 319-326, doi: 10.4430/bgta0261.
- Venturini C. (coord.); 2009: *Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 031 "Ampezzo"*. ISPRA - Serv. Geol. It., S.E.L.C.A., Firenze, Italy.
- Venturini C., Spalletta C., Vai G.B., Pondrelli M., Fontana C., Delzotto S., Longo Salvador G., Carulli G.B. con la collaborazione di Garuti D., Ciavatta D., Ponton M. e Podda F.; 2009: *Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 031 "Ampezzo"*. ISPRA - Serv. Geol. It., pp. 1-232.
- Zanferrari A.; 1973: *Osservazioni geologiche sui terreni attraversati dalle gallerie dell'autostrada di Alemagna presso* Mem. Soc. Geol. It., **12**, 529-548.
- Zanferrari A., Bollettinari G., Carobene L., Carton A., Carulli G.B., Castaldini D., Cavallin A., Panizza M., Pellegrini G.B., Pianetti F. e Sauro U.; 1982: *Evoluzione neotettonica dell'Italia nord-orientale. 3 carte neotettoniche 1:400.000*. Mem. Sci. Geol., **35**, 355-376.
- Zanferrari A., Avigliano R., Carraro F., Grandesso P., Monegato G., Paiero G., Poli M.E., Rogledi S., Stefani C. e Toffolon G.; 2008a: *Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 065 "Maniago"*. A.P.A.T. - Serv. Geol. It., Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.
- Zanferrari A., Avigliano R., Carraro F., Grandesso P., Monegato G., Paiero G., Poli M.E., Rogledi S., Toffolon G. e Tunis G.; 2008b: *Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 066 "Udine"*. A.P.A.T. - Serv. Geol. It., Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 176 pp.
- Zanferrari A., Avigliano R., Fontana A., Monegato G. e Paiero G.; 2008c: *Carta geologica d'Italia alla scala*. A.P.A.T. - Serv. Geol. It., Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.
- Zanferrari A., Masetti D., Monegato G. e Poli M.E.; 2013: *Geological map and explanatory notes of the Italian Geological Map at the scale 1:50.000: Sheet 049 "Gemona del Friuli"*. ISPRA - Serv. Geol. It., Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 262 pp., <www.isprambiente.gov.it/Media/carg/friuli.html>.