

Indagini sismotettoniche finalizzate all'applicazione dei criteri CE1, CE2 e CE3 della Guida Tecnica 29 ISPRA per la redazione della carta nazionale delle aree potenzialmente idonee (CNAPI) ai fini della localizzazione del Deposito Nazionale dei rifiuti radioattivi a bassa e media attività e del connesso Parco Tecnologico (DNPT). Rapporto finale – Studio P. Scandone, E. Patacca

Codice DN GS 00224

Fase del progetto -

Data 04/05/2015 Pag. 1



Paolo Scandone & Etta Patacca

INDAGINI SISMOTETTONICHE FINALIZZATE ALL'APPLICAZIONE DEI CRITERI CE1, CE2 E CE3 DELLA GUIDA TECNICA 29 ISPRA PER LA REDAZIONE DELLA CARTA NAZIONALE DELLE AREE POTENZIALMENTE IDONEE (CNAPI) AI FINI DELLA LOCALIZZAZIONE DEL DEPOSITO NAZIONALE DEI RIFIUTI RADIOATTIVI A BASSA E MEDIA ATTIVITÀ E DEL CONNESSO PARCO TECNOLOGICO (DNPT)

RAPPORTO FINALE

Aprile 2015

INDICE

1. Introduzione
2. Piemonte
3. Emilia-Romagna
4. Alto Lazio
5. Toscana Meridionale
6. Puglia e Basilicata
 - 6.1. Fossa Bradanica e margine interno delle Murge
 - 6.2. Margine esterno dell'Appennino
 - 6.3. Salento
7. Sardegna
8. Sicilia
 - 8.1. Sicilia Occidentale
 - 8.2. Sicilia Centrale
9. Conclusioni generali e raccomandazioni
- Lavori citati

1. Introduzione

Nel presente rapporto viene sintetizzato un insieme di indagini sismotettoniche svolte per conto della SOGIN, finalizzate all'applicazione dei Criteri di Esclusione CE1, CE2 e CE3 stabiliti dalla Guida Tecnica 29 dell'ISPRA per la redazione della Carta Nazionale delle Aree Potenzialmente Idonee ai fini della localizzazione del Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi a Bassa e Media Attività e del connesso Parco Tecnologico.

Nella citata Guida Tecnica i requisiti dei Criteri di Esclusione, così come quelli dei Criteri di Approfondimento da applicare una volta che siano state selezionate le aree potenzialmente idonee, "rappresentano un insieme di requisiti fondamentali e di elementi di valutazione che devono essere considerati nelle diverse fasi del processo di localizzazione, coerentemente con il livello di dettaglio delle indagini proprio di ciascuna fase.....I "Criteri di Esclusione" sono stati definiti per escludere le aree del territorio nazionale le cui caratteristiche non permettono di garantire piena rispondenza ai requisiti sopra elencati. Tali requisiti, unitamente alle caratteristiche del condizionamento dei rifiuti ed a quelle delle strutture ingegneristiche del deposito, devono assicurare i necessari margini di sicurezza per il confinamento e l'isolamento dei rifiuti dal contatto con la biosfera. L'applicazione dei "Criteri di Esclusione" è effettuata attraverso verifiche basate su normative, dati e conoscenze tecniche disponibili per l'intero territorio nazionale e immediatamente fruibili, anche mediante l'utilizzo dei Sistemi Informativi Geografici".

Le indagini da da noi svolte si riferiscono a tutte le aree potenzialmente idonee pre-selezionate da SOGIN, le quali sono ubicate in otto diverse regioni (Piemonte, Emilia-Romagna, Toscana, Lazio, Puglia, Basilicata, Sardegna e Sicilia) e sono caratterizzate da contesti geologico-strutturali molto differenti tra loro (aree di catena, di avanfossa, di avampaese e di retropaese) e da condizioni sismotettoniche molto variabili (Fig. 1.1). Nel nostro studio ci siamo attenuti strettamente ai criteri ISPRA, raccogliendo e analizzando criticamente normative, dati e conoscenze tecniche disponibili per l'intero territorio nazionale immediatamente fruibili. Ai fini della creazione di un database geografico che permettesse l'incrocio di numerosi *layers* di dati in formato prevalentemente vettoriale, ma anche raster, ci siamo avvalsi del software ArcGis. Un set di dati molto importanti è rappresentato dai profili sismici a riflessione, indispensabili per il riconoscimento e la caratterizzazione delle strutture tettoniche sepolte. La parte di linee sismiche disponibile in formato vettoriale seg-Y oltre che nel classico formato cartaceo (soprattutto in Puglia e in Basilicata) è stata analizzata anche attraverso l'uso del software Kingdom Suite.

Per quanto riguarda i Criteri di Esclusione, il Criterio CE1 si riferisce a *"quelle aree che presentano apparati vulcanici attivi o quiescenti, quali: Etna, Stromboli, Colli Albani, Campi Flegrei, Ischia, Vesuvio, Lipari, Vulcano, Panarea, Isola Ferdinandea e Pantelleria"*. Nessuna delle aree pre-selezionate da SOGIN cadeva all'interno o in prossimità di apparati vulcanici attivi o quiescenti e pertanto non sono state svolte indagini a questo riguardo.

Il Criterio CE2 si riferisce a *"quelle aree contrassegnate da un valore previsto di picco di accelerazione (PGA) al substrato rigido, per un tempo di ritorno di 475 anni, pari o superiore a 0,25 g, secondo le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni.....in quanto in tali aree le successive analisi sismiche di sito potrebbero evidenziare condizioni in grado di compromettere la sicurezza del deposito nelle fasi di caricamento e, dopo la chiusura, per tutto il periodo di controllo istituzionale"*. Le aree selezionate da SOGIN già soddisfacevano questo criterio. Il nostro studio, quindi, è stato indirizzato al riconoscimento di altri elementi di natura sismotettonica non considerati nella carta di pericolosità sismica suddetta, potenzialmente in grado di compromettere la sicurezza del deposito, ovvero è stato indirizzato alla valutazione dell'attendibilità della zonazione sismotettonica che è alla base della carta suddetta. riconoscimento di elementi che

fanno considerare la zonazione che è alla base della carta di hazard inattendibile e inutilmente conservativa. Importanti elementi di novità al riguardo sono emersi in Puglia-Basilicata e in Sicilia.

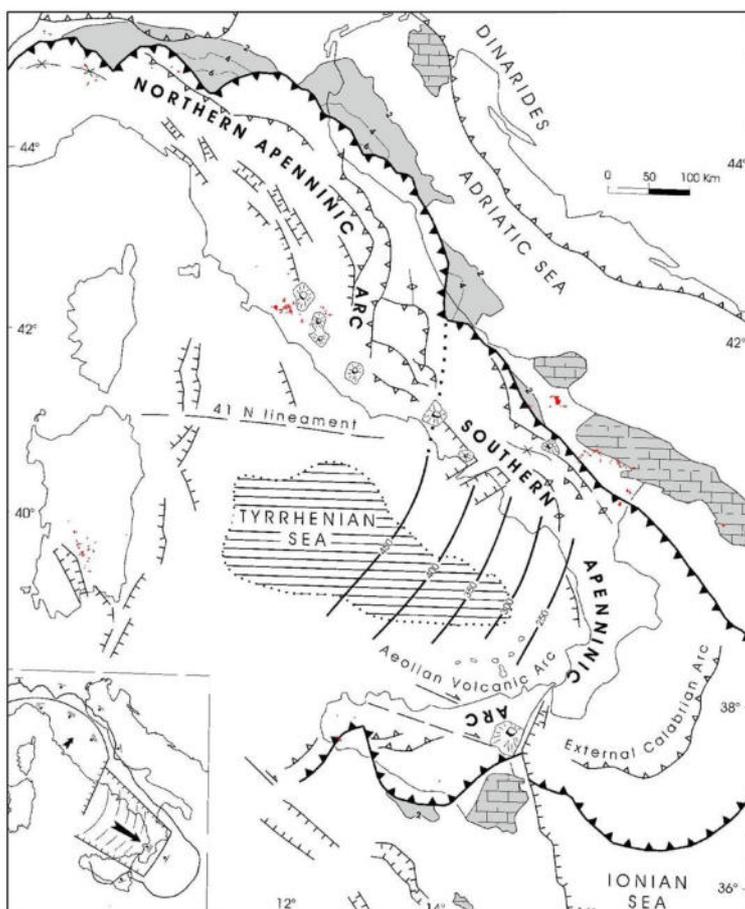


Figura 1.1. Schema strutturale della Penisola Italiana e delle isole maggiori con le aree selezionate da SOGIN (in rosso) quali possibili siti atti ad ospitare il Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi a Bassa e Media Attività e il connesso Parco Tecnologico. La linea spessa con triangoli indica il fronte della catena e separa il sistema orogenico dal suo avampese. Le linee sottili con triangoli si riferiscono a *thrusts* importanti all'interno della catena. Le linee sottili con barbe indicano le principali faglie dirette riconosciute. Il riquadro piccolo in basso a sinistra illustra schematicamente il sistema litosferico nell'area, caratterizzato da subduzione di tipo A nell'Appennino Settentrionale e Subduzione di tipo B nell'Arco Calabro. I due archi appenninici sono separati da faglie litosferiche aventi un ruolo di svincolo nel corso dell'arretramento differenziale della cerniera della flessura. Da PATACCA e SCANDONE (2004a).

Il Criterio CE3 si riferisce a strutture tettoniche che possono causare, in caso di terremoto, fenomeni di fagliazione superficiali. La Guida Tecnica indica il catalogo ITHACA (Italy Hazard from Capable faults, (<http://sgi.isprambiente.it/geoportal/catalog/content/project/ithaca.page>)) e il database DISS (Database of Individual Seismogenic Sources, <http://diss.rm.ingv.it/diss/>) come i documenti base nei quali sono evidenziati i lineamenti tettonici da evitare. Nello studio da noi eseguito le indagini relative al Criterio CE3 hanno seguito un approccio simile a quello seguito per il Criterio CE2. Anche in questo caso gli elementi più interessanti sono emersi in Puglia-Basilicata e in Sicilia.

Nel seguito saranno esaminate le varie regioni seguendo un criterio puramente geografico, partendo dal Piemonte e arrivando alla Sicilia attraverso Emilia-Romagna, Toscana, Lazio, Sardegna, Puglia e Basilicata.

2. Piemonte

Il Piemonte è una delle regioni italiane geologicamente più complesse, dove si sviluppa la zona di incontro tra Alpi e Appennino. La geologia di superficie è ben conosciuta, grazie alla lunga tradizione di studi e di cartografia geologica dell'area. Per quanto riguarda la parte appenninica, i dati di sottosuolo derivanti dall'esplorazione petrolifera hanno contribuito sensibilmente alla definizione geometrica e cinematica del sistema catena-avanfossa. Una sintesi delle conoscenze sulle strutture di sottosuolo e di superficie è contenuta in PIERI e GROPPI (1981), CASSANO *et alii* (1986) e CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA (1990a,b). Nell'Appennino Settentrionale tra il Piemonte e l'Emilia-Romagna il fronte della catena è articolato in sottosuolo in una serie di strutture arcuate che procedendo da occidente verso oriente sono l'Arco del Monferrato, l'Arco Pavese formato dal margine esterno dell'Appennino s. str. e dalle Pieghe Emiliane e infine l'Arco Ferrarese costituito dalle Pieghe Ferraresi s. str. e dalle Pieghe Emiliane (Fig. 2.1). Tutte queste strutture si sono formate in tempi molto recenti, tra il Messiniano superiore e il Quaternario, e alcune di esse sono ancora attive (valga come esempio recente della sismicità dell'area la sequenza sismica in Emilia del maggio-giugno 2012).

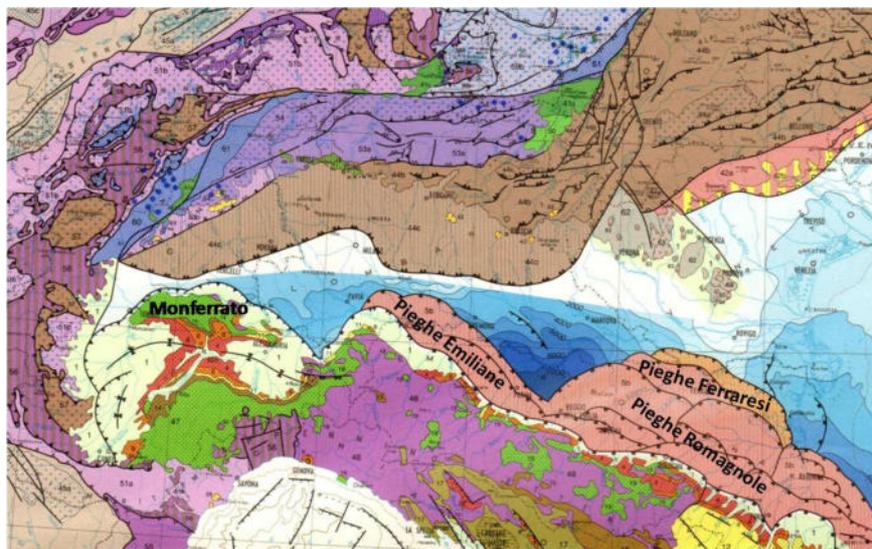


Figura 2.1. Gli archi appenninici dal Monferrato alla Romagna e, in blu, isobate della base del Plio-Pleistocene nell'Avanfossa Padana. Da CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA (1990b).

La **Figura 2.2** mostra le aree selezionate da SOGIN come potenzialmente idonee ad ospitare in Piemonte il Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi a Bassa e Media Attività e il connesso Parco Tecnologico, sovrapposte ad un dettaglio del Modello Strutturale d'Italia del CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA (1990a). Questo dettaglio mostra il margine dell'Appennino in superficie nella regione delle Langhe, il Bacino di Asti, interamente riempito da depositi plio-pleistocenici di tipo *thrust top*, la dorsale del Monferrato, al piede della quale corre in sottosuolo il fronte della catena, e l'antistante tratto dell'Avanfossa Padana. I colori dal verde chiaro al verde scuro indicano profondità crescenti, fino ad oltre 3500 metri, della base del Plio-Pleistocene nell'Avanfossa Padana e nel Bacino di Asti.

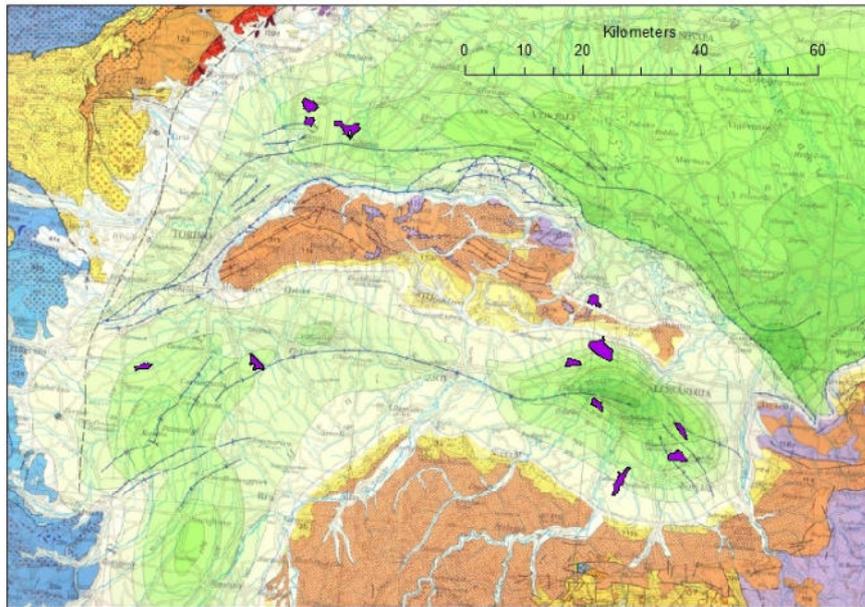


Figura 2.2. Dettaglio del Foglio 1 del Modello Strutturale d'Italia mostrante il piede dell'Appennino nella regione delle Langhe, il Bacino di Asti, la dorsale del Monferrato e l'antistante tratto dell'Avanfossa Padana. I colori dal verde chiaro al verde scuro indicano profondità crescenti della base del Plio-Pleistocene nell'avanfossa e nel bacino *thrust top*. Le aree colorate in viola scuro sono le aree selezionate come potenzialmente idonee ad ospitare il Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi a Bassa e Media Attività e il connesso Parco Tecnologico. Da CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA (1990a).

Per quanto riguarda la sismicità, non è possibile scegliere un terremoto di riferimento dal momento che non sono noti nell'area terremoti distruttivi. Riferendoci ai soli eventi con magnitudo maggiore o uguale a 5, i pochi terremoti presenti al piede delle Alpi distano non meno di 20-25 chilometri dalle aree più vicine selezionate come possibili candidate. E in ogni caso si tratta di terremoti l'intensità massima dei quali non ha superato l'VIII grado MCS. Passando al margine orientale dell'area di studio, e riferendoci sempre ai soli eventi con magnitudo maggiore o uguale a 5, gli epicentri dei terremoti contenuti in catalogo distano non meno di 12-15 chilometri dalle aree più vicine. Ed anche in questo caso si tratta di terremoti l'intensità massima dei quali non ha superato l'VIII grado MCS (v. ROVIDA *et alii* 2011).

Le aree del Piemonte potenzialmente idonee cadono in differenti contesti geologico-strutturali. Tre aree (TO-11_A Caluso-Barone Canavese-Fogizzo-San Giorgio Canavese, TO-11_B Caluso-Barone Canavese-Fogizzo-San Giorgio Canavese e TO-10 Caluso-Mazzè-Rondissone) sono situate all'interno dell'avanfossa; un'area (AL-9 Lu-Occimiano-Mirabello Monferrato) è ubicata nella parte orientale della dorsale del Monferrato; otto aree cadono nel Bacino di Asti, e di queste due nella sua porzione occidentale (TO-5 Virle Piemonte-Castagnole Piemonte-Cernasco e TO-7 Carmagnola) e sei nella sua porzione orientale (AL-8 Castelletto Monferrato-Alessandria-Quargnento, AL-14 Fubine-Quargnento, AL-3 Alessandria-Oviglio, AL-2 Frugarolo-Bosco Marengo, AL-1 Bosco Marengo-Novì Ligure e AL-13 Sezzadio-Castelnuovo Bormida).

A livello regionale le informazioni più significative di carattere geologico-strutturale, utilizzabili in chiave sismotettonica, provengono dalla pubblicazione di PIERI e GROPPi (1981) nella quale viene presentato un *line drawing* convertito in profondità di tre profili sismici a riflessione che attraversano il Bacino di Asti e il fronte della catena (Fig. 2.3). Nell'interpretazione di questi

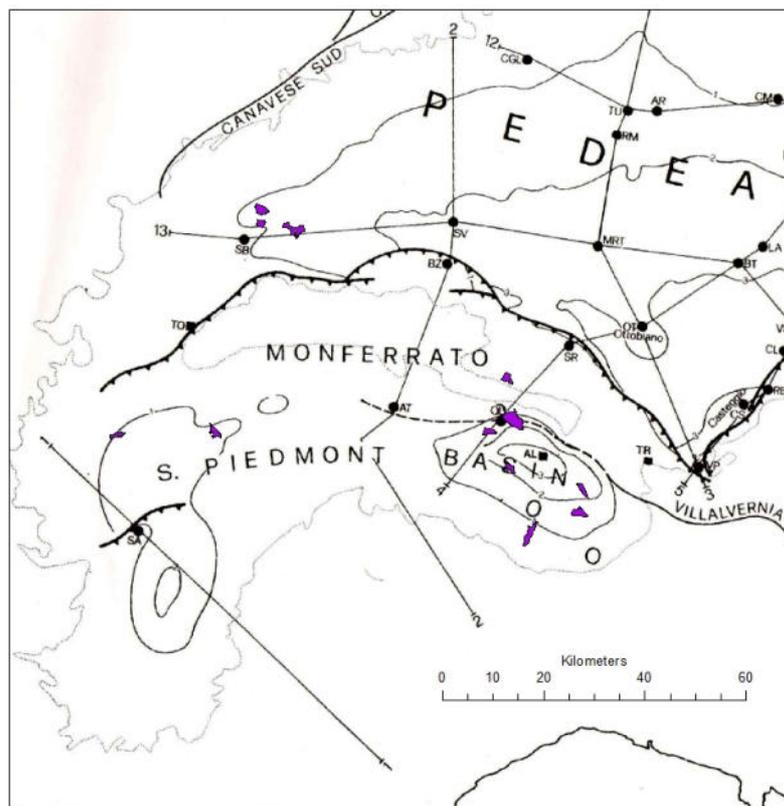


Figura 2.3. Fronte Appenninico e traccia dei profili sismici attraverso l'Arco del Monferrato e il Bacino di Asti interpretati e pubblicati da PIERI e GROPPi (1981). Secondo questi autori non ci sarebbero in tutta l'area segni di attività tettonica nel corso del Quaternario e questo suggerirebbe condizioni sismotettoniche favorevoli ai fini della localizzazione del deposito.

autori il fronte della catena sarebbe stato interessato da importanti movimenti tettonici nel corso del Pliocene medio-superiore, con età via via più giovane spostandosi da ovest verso est, ma sarebbe rimasto inattivo nel corso del Quaternario dal momento che i depositi di questa età suturano il fronte dell'alloctono e non mostrano alcuna deformazione (Fig. 2.4).

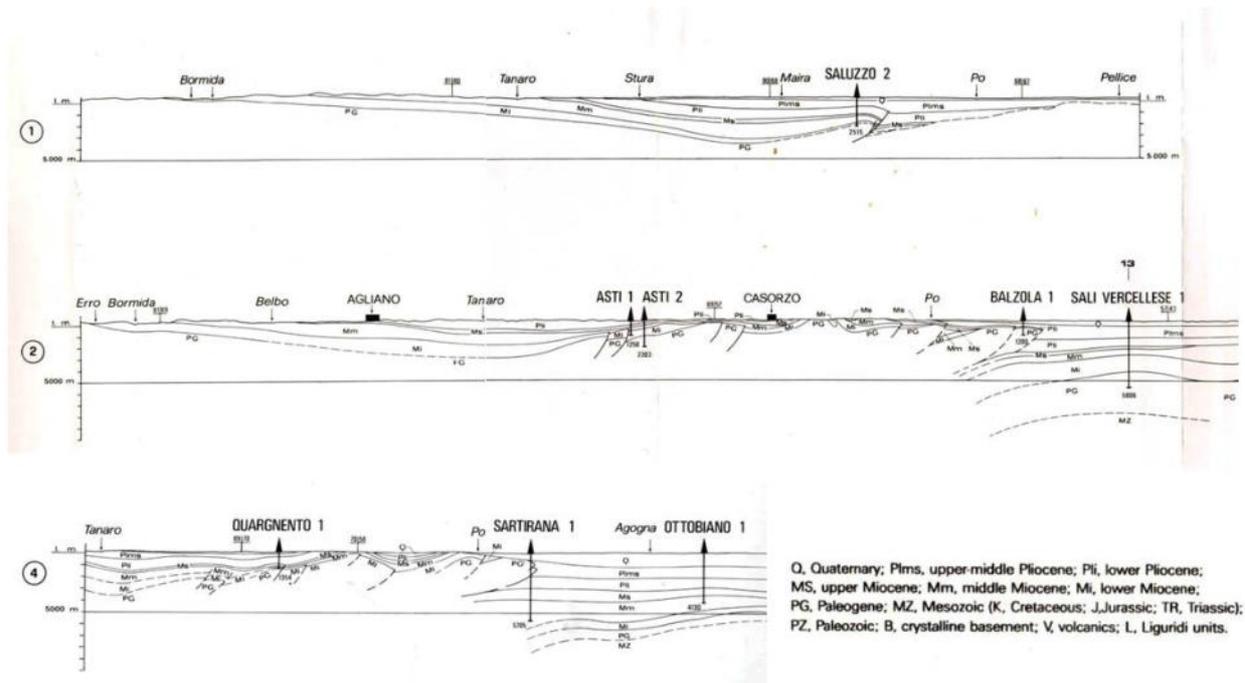


Figura 2.4. Interpretazione geologica dei profili sismici la traccia dei quali è ubicata in Figura 2.3. Da PIERI e GROPPI (1981)

Anche all'interno del Bacino di Asti i depositi quaternari non mostrerebbero segni di deformazione recente. Alle stesse conclusioni sono giunti gli studi compiuti da ENEL nelle aree PO1 e PO2 per la localizzazione di una centrale elettronucleare nella Regione Piemonte (ENEL 1984a, b). Ciò comporterebbe, ove confermato da ulteriori indagini, che tutte le aree del Piemonte potenzialmente idonee ad ospitare il Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi a Bassa e Media Attività e il connesso Parco Tecnologico non avrebbero problemi di carattere sismotettonico, sia quelle che cadono nell'avanfossa sia quelle che cadono in catena. Tuttavia il database ITHACA (<http://sgi.isprambiente.it/GMV2/index.html>) riconosce la presenza di faglie capaci (Fig. 2.5) in corrispondenza di strutture compressive ubicate lungo la dorsale del Monferrato e lungo il fronte del Monferrato stesso (Sistema Torino-Cremona Sud). L'Area AL-9, in particolare, viene a trovarsi sul prolungamento della Struttura Asti Nord ad una distanza di soli 8-9 chilometri dalla sua terminazione orientale. E' evidente che una così grande differenza nei giudizi che vengono espressi sull'attività delle strutture tettoniche presenti nell'area da parte di PIERI e GROPPI (1981) ed ENEL (1984a, b) da una parte e ITHACA dall'altra richiedeva un controllo attento dei dati. Il controllo da noi effettuato riguardò l'esame di varie linee sismiche a riflessione che attraversano sia la struttura Asti Nord sia il fronte della dorsale del Monferrato.

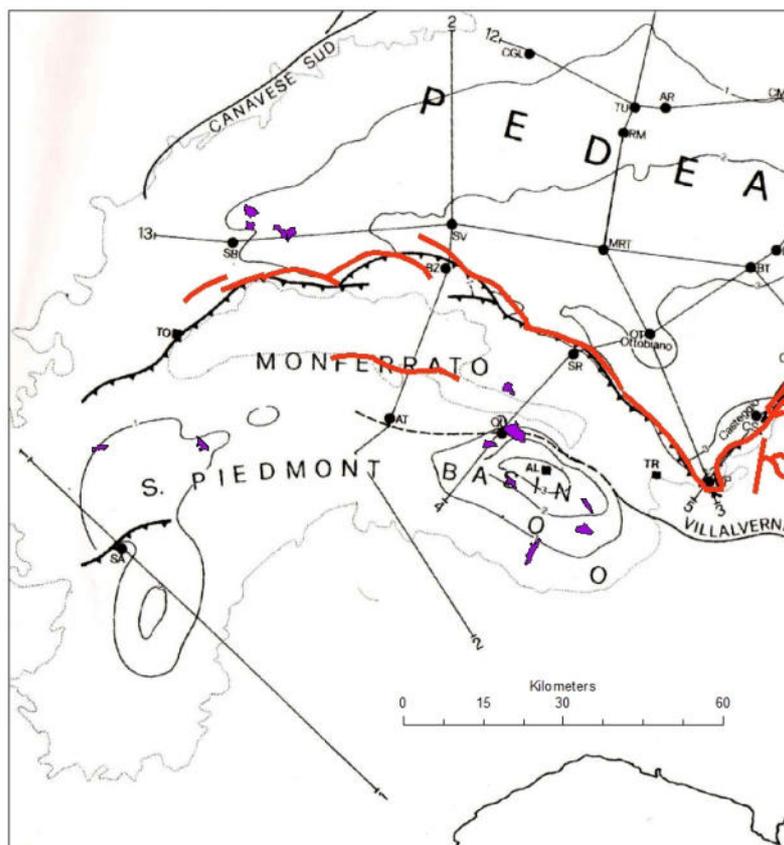


Figura 2.5. Aree selezionate da SOGIN in Piemonte e traccia delle faglie capaci presenti nell'area secondo il *database* ITHACA (linee rosse spesse).

La **Figura 2.6** mostra la traccia dei profili sismici a riflessione utilizzati nel nostro studio sovrapposti alla traccia delle faglie capaci secondo ITHACA assieme ai pozzi presenti nell'area. La struttura Asti Nord del Sistema Torino-Cremona Sud è traversata da una linea sismica considerata da PIERI E GROPPI (1981) rappresentativa delle strutture nell'area e da due linee sismiche a nostra disposizione che facevano parte del *dataset* ENEL PO1-PO2. Malgrado siano di qualità piuttosto scadente queste linee hanno sufficiente segnale da mostrare che non ci sono indizi di attività tettonica in tempi recenti. Per quanto riguarda la Struttura Asti Nord, ITHACA fa riferimento ad un lavoro di BELLO e FRANTONI (2003) riguardante nuovi temi di ricerca petrolifera in Valpadana. Parlando dell'evento tettonico responsabile della generazione di questa struttura, tuttavia, i due autori riconoscono esplicitamente una sua età messiniana-pliocenica inferiore, in accordo con quanto mostrato dalle linee sismiche da noi esaminate. Non ci sembra dunque che la Struttura Asti Nord offra particolari motivi di preoccupazione riguardo al suo significato sismotettonico. Per quanto concerne la parte del fronte Canavese considerata attiva da ITHACA, nel lavoro di PIERI e GROPPI (1981) vengono illustrati due profili come casi esemplari rappresentativi della struttura. A queste due linee sono da aggiungere tredici profili sismici da noi esaminati, dodici dei quali provengono dal *dataset* dell'ENEL PO1-PO2 mentre uno, che attraversa l'intero bacino di avansfossa, proviene dall'*open source* Progetto VIDEPI reperibile all'indirizzo <http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/videpi/>. Anche nel caso del fronte appenninico ITHACA fa

riferimento a BELLO e FRANTONI (2003). Questi autori, tuttavia, pur non parlando esplicitamente dell'età della struttura frontale del Monferrato mostrano in un profilo che il *thrust* principale tronca i depositi del Pliocene inferiore e del Pliocene medio-superiore mentre viene suturato dai depositi quaternari.

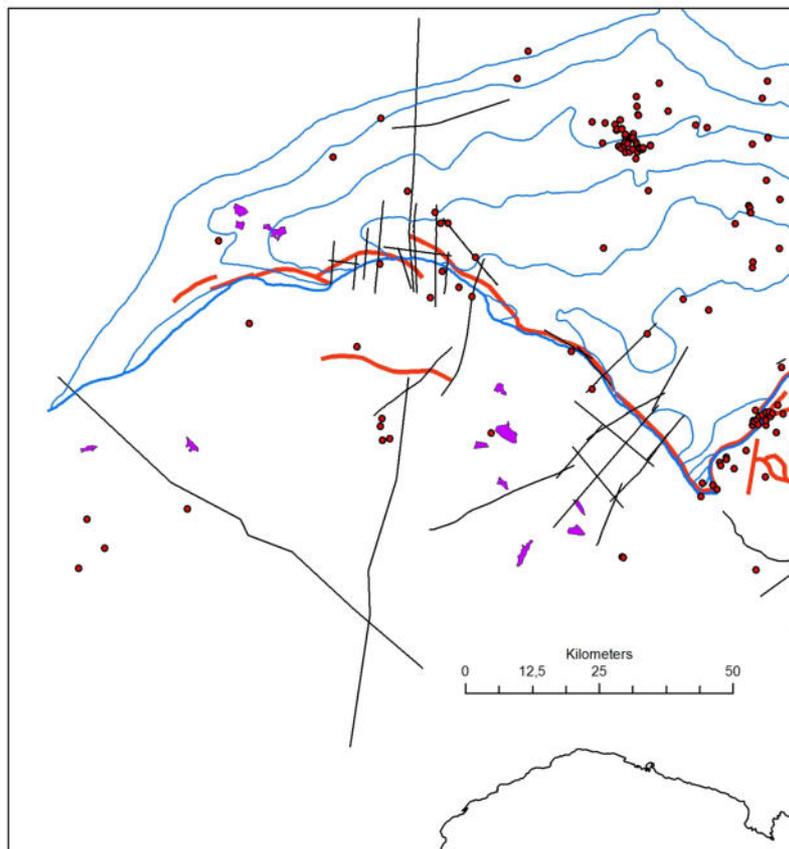


Figura 2.6. Traccia delle faglie capaci nel Monferrato secondo ITHACA (linee rosse spesse), traccia dei profili sismici disponibili in questo studio (linee nere sottili) e ubicazione dei pozzi perforati nell'area (punti rossi). In blu sono indicati il fronte della catena e le isobate della base del Plio-Pleistocene nell'avanfossa secondo CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA (1990).

Nei profili da noi esaminati la parte alta del Pleistocene inferiore sutura senza alcun dubbio strutture tettoniche ormai inattive dal momento che i depositi pleistocenici poggiano in disconformità, con terminazioni dei riflettori di tipo *onlap* verso la catena, su depositi pliocenici che sono più o meno deformati oltre che essere troncati dall'alloctono (Fig. 2.7). Tutte le evidenze geologiche a nostra disposizione, pertanto, concorrono a considerare inattivo il fronte appenninico lungo l'intero segmento piemontese. Anche all'interno del Bacino di Asti le aree che sono state selezionate come potenzialmente idonee ad ospitare un deposito di scorie radioattive non sembrano offrire particolari motivi di preoccupazione dal punto di vista sismotettonico. I vari profili sismici a riflessione pubblicati o disponibili in originale, infatti, non mostrano alcuna deformazione dei depositi plio-pleistocenici che riempiono il bacino (Fig. 2.8). L'assenza di deformazione dimostra l'assenza di *thrust* fuori sequenza i quali, ove presenti, avrebbero generato

strutture compressive evidenti (pieghe di tipo *fault-propagation fold*) anche nel caso di faglie cieche.

A conclusione delle analisi sismotettoniche condotte in questo studio, pertanto, possiamo dire che non ci sono controindicazioni per alcuna delle aree selezionate da SOGIN come potenzialmente idonee.

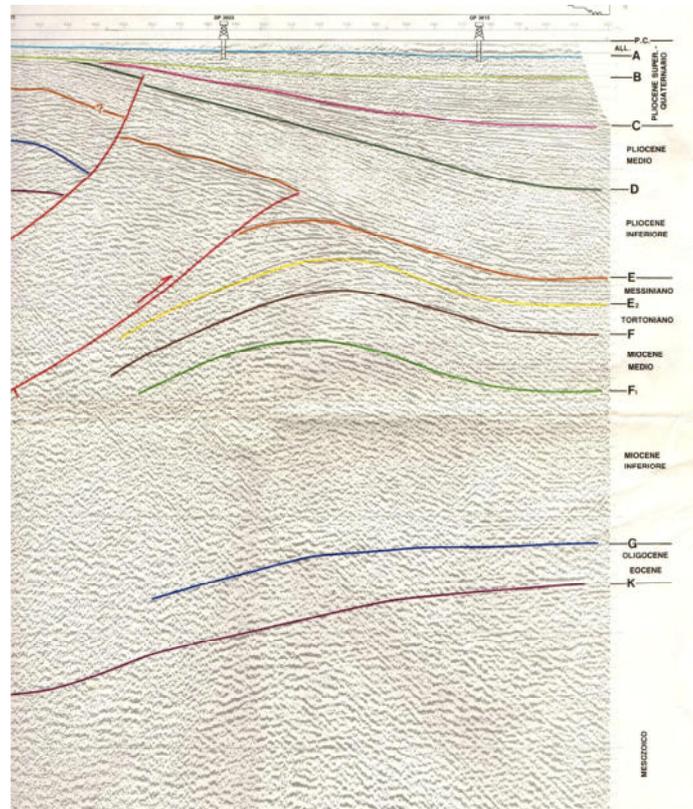


Figura 2.7. Esempio di linea sismica (AL-317-83) mostrandote il sistema di *thrust* lungo il margine settentrionale del Monferrato suturato dai depositi pleistocenici. Linea e relativa interpretazione da ENEL (1984a).

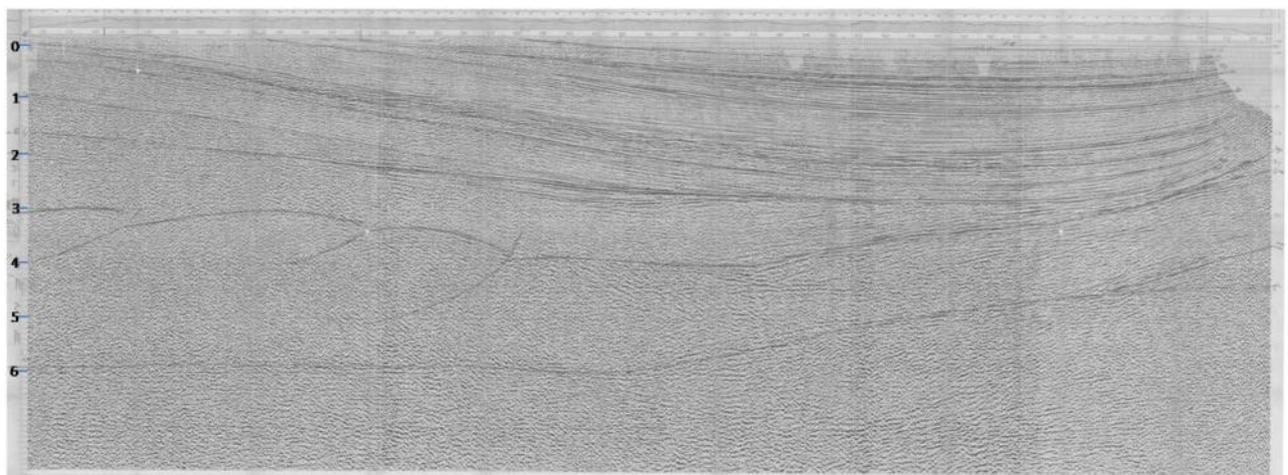


Figura 2.8. Esempio di linea sismica (AL-312-83) appartenente al *dataset* PO1-PO2. La linea, interpretata nel corso delle indagini relative alla localizzazione di una centrale elettronucleare nella regione Piemonte a suo tempo condotte da ENEL, mostra l'assenza di deformazioni tettoniche all'interno dei depositi plio-pleistocenici che riempiono il Bacino di Asti. I numeri a sinistra dell'immagine indicano secondi in tempi doppi.

3. Emilia-Romagna

Come per il Piemonte, anche per l'Emilia-Romagna le informazioni di sottosuolo derivanti dall'esplorazione petrolifera hanno contribuito sensibilmente alla definizione geometrica e cinematica del sistema catena-avanfossa (per una sintesi delle conoscenze sulle strutture di sottosuolo e di superficie si vedano anche in questo caso PIERI e GROPPI 1981, CASSANO *et alii* 1986 e CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA 1990a, b). La **Figura 3.1** mostra le aree che sono state selezionate da SOGIN in Emilia-Romagna come potenzialmente idonee ad ospitare il Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi a Bassa e Media Attività e il connesso Parco Tecnologico (aree isolate violette all'interno del verde), sovrapposte ad un dettaglio del Modello Strutturale d'Italia del CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA (1990a). Questo dettaglio mostra l'intero Arco Pavese e, nella geologia di superficie, il margine esterno dell'Appennino tra Voghera a Fornovo Val di Taro. I colori dal verde chiaro al verde scuro indicano le isobate della base del Plio-Pleistocene nell'Avanfossa Padana e nei bacini di tipo *thrust top* sul dorso della catena, con profondità fino a più di 7500 metri nel Parmense.

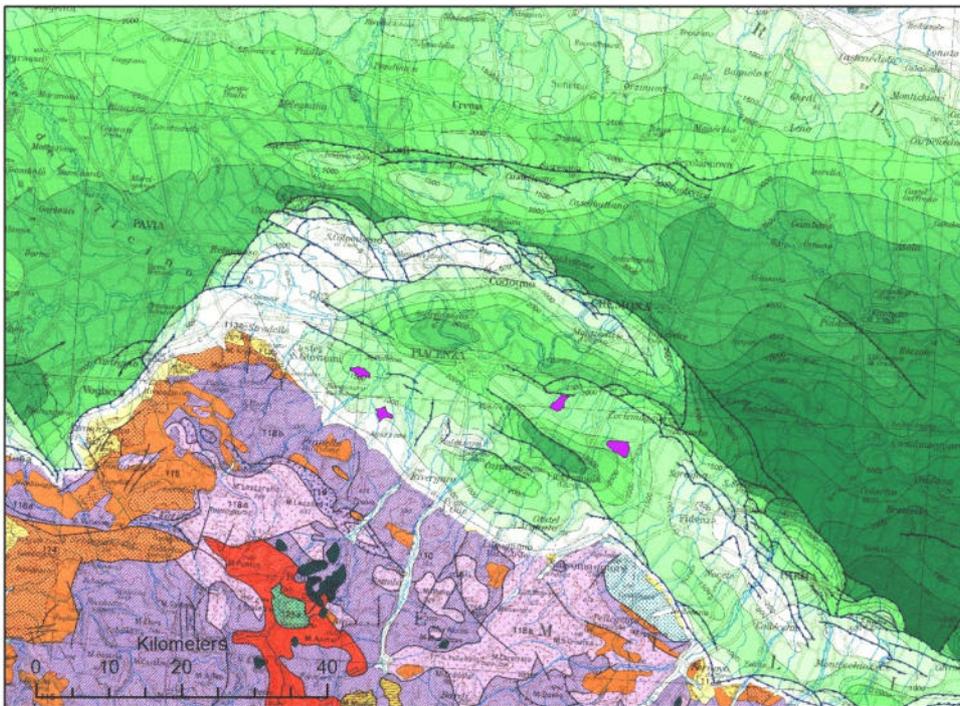


Figura 3.1. Dettaglio del Modello Strutturale d'Italia mostrandone il piede dell'Appennino nell'Arco Pavese e l'antistante tratto dell'Avanfossa Padana. I colori dal verde chiaro al verde scuro indicano profondità crescenti della base del Plio-Pleistocene nel bacino di avanfossa e sul fronte della catena. Da CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA (1990a).

In viola scuro sono indicate le aree selezionate da SOGIN come potenzialmente idonee ad ospitare il Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi a Bassa e Media Attività e il connesso Parco Tecnologico.

Per quanto riguarda la sismicità, non disponiamo di alcun terremoto di riferimento perché non è noto nella regione alcun evento con magnitudo maggiore o uguale a 5.5 e i pochi eventi di magnitudo 5 sono comunque lontani dalle aree selezionate (v. ROVIDA *et alii* 2011). La **Figura 3.2** mostra la traccia di tre linee sismiche regionali rappresentative delle strutture appenniniche sepolte presenti nell'area pubblicate da PIERI & GROPPI (1981), mentre la **Figura 3.3** mostra un'interpretazione geologica secondo la quale non esisterebbero attivazioni recenti del fronte della catena dal momento che il Quaternario sutura le deformazioni plioceniche.

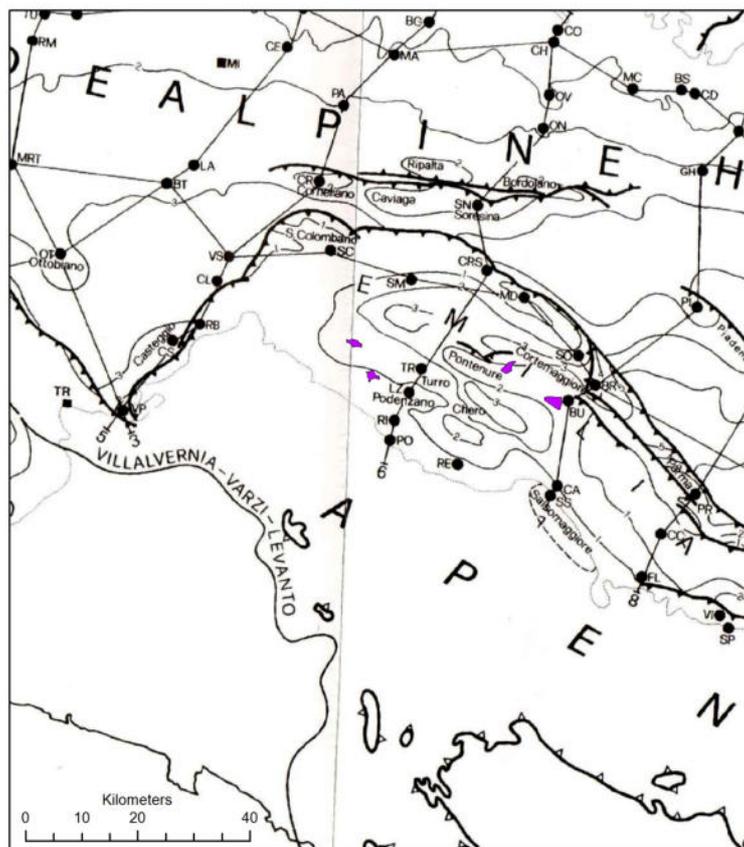


Figura 3.2. Aree selezionate da SOGIN (violetto) in Emilia-Romagna, sovrapposte al fronte Appenninico secondo PIERI e GROPPI (1981) e alla traccia dei profili sismici attraverso l'Arco Pavese interpretati e pubblicati da questi autori.

Conclusioni analoghe sono state raggiunte dagli studi condotti per il sito di Viadana (ENEL 1986; SERVA 1990). L'unico sospetto di riattivazione per *thrust* fuori sequenza riguarda la struttura di Collecchio (vedi profilo 8 di PIERI & GROPPI 1981). Come per il Piemonte, tuttavia, ITHACA fornisce una differente interpretazione, con larghe riattivazioni in compressione lungo tutto il margine esterno dell'Arco Pavese e, discontinuamente, lungo fronti più interni (**Figura 3.4**). Particolarmente importanti appaiono essere la Faglia di Broni-Stradella (BENEDETTI *et alii* 2003) per la sua vicinanza all'Area PC-4 Borgonuovo Val Tidone-Sarmato, e le Faglie Centora e Trebbia Ovest (CERRINA FERONI *et alii* 2002) per la loro vicinanza all'Area PC-2 Agazzano-Gazzola-

Gagnano Trebbiense. Altrettanto importanti risulterebbero la Faglia Piacenza-Busseto e la Faglia Fiorenzuola d'Arda (CERRINA FERONI *et alii* 2002) per la loro vicinanza all'Area PC-3 Cadeo-Cortemaggiore e all'Area PC-1 Besenzone-Fiorenzuola d'Arda (vedi anche BOCCALETTI e MARTELLI 2004 e relativi riferimenti bibliografici). Al fine di comprendere il comportamento sismotettonico delle aree selezionate da SOGIN abbiamo riesaminato numerosi profili sismici in gran parte derivanti dal *dataset* ENEL per gli studi relativi agli impianti nucleari in Valpadana e in piccola parte derivanti da VIDEPI.

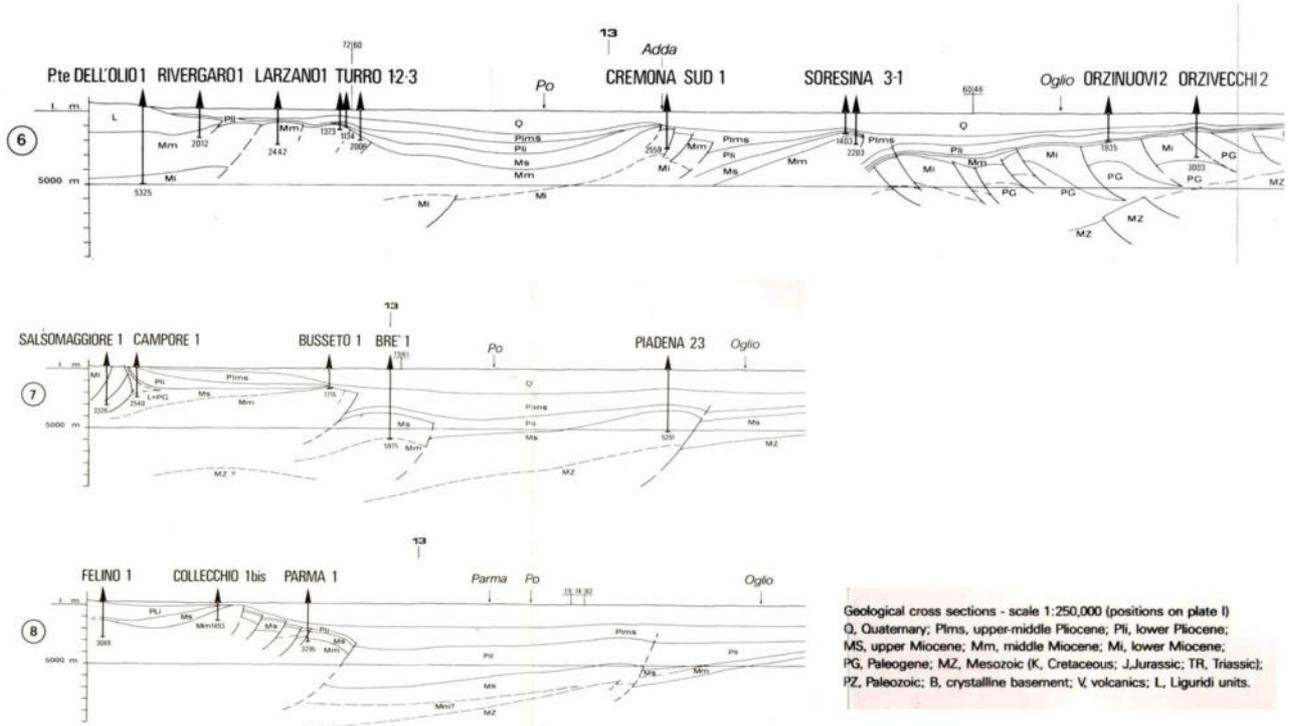


Figura 3.3. Interpretazione geologica dei profili sismici ubicati in Figura 3.2. Da PIERI e GROPPi (1981)

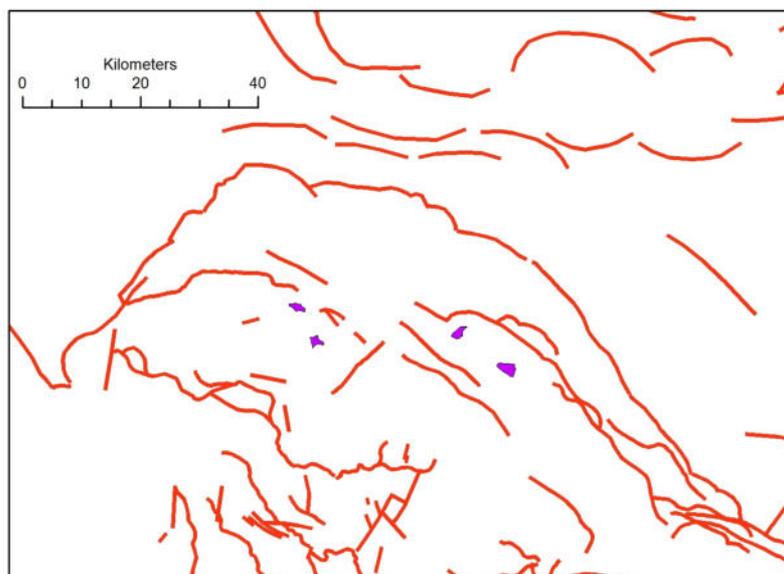


Figura 3.4. Aree selezionate da SOGIN in Emilia-Romagna (in violetto) e traccia delle faglie capaci presenti nell' Arco Pavese secondo il *database* ITHACA (linee rosse spesse)

La **Figura 3.5** mostra la traccia dei profili sismici a riflessione utilizzati nel nostro studio sovrapposta, assieme ai pozzi presenti nell'area, alla traccia delle faglie capaci secondo ITHACA. Nessun profilo sismico, tra quelli disponibili, attraversa la Faglia Broni-Stradella, ma due linee corrono in corrispondenza dell'estremità orientale di questa struttura ed altre tre attraversano il suo prolungamento verso est. La linea regionale Appennino Centrale 01, che corre in

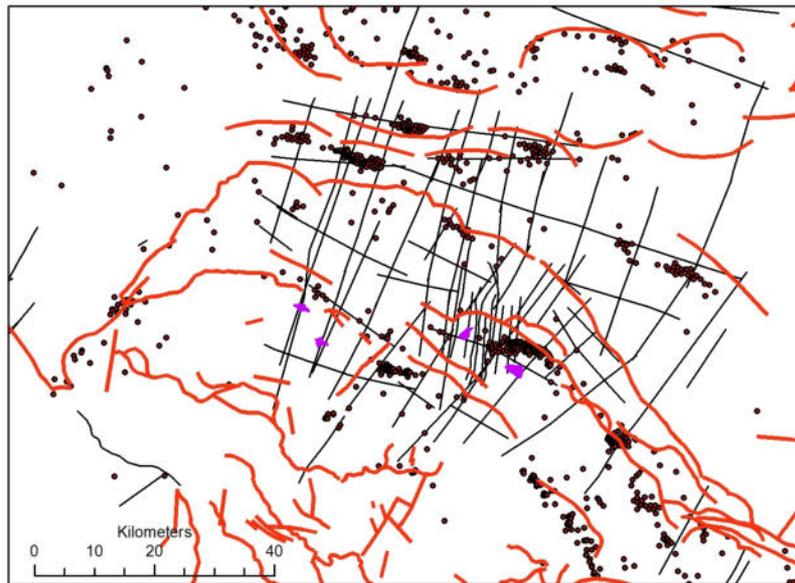


Figura 3.5. Aree selezionate da SOGIN in Emilia-Romagna (in violetto) e traccia delle faglie capaci presenti nell'area secondo il *database* ITHACA (linee rosse spesse). Linee e punti neri indicano rispettivamente i profili sismici a riflessione disponibili e i pozzi esistenti nella regione.

corrispondenze della terminazione orientale della Faglia Broni-Stradella potrebbe far nascere il sospetto dell'esistenza di una struttura attiva legata ad una piega da *fault propagation* (**Figura 3.6a**). Spostandosi di qualche chilometro verso est, tuttavia, la linea Appennino Centrale 02, che interseca la prosecuzione orientale della Faglia Broni-Stradella, prosecuzione rappresentata dalle Faglie Centora e Trebbia Ovest, mostra chiaramente che la struttura è inattiva, come è dimostrato dalla presenza di un corpo quaternario progradante, caratterizzato dalla presenza di marcati clinoforni, che sutura le strutture più vecchie e non mostra alcun segno di deformazione tettonica (**Figura 3.6b**). Una disattivazione del prolungamento orientale della struttura di Stradella nel corso del Quaternario, d'altro canto, era già stata riconosciuta da ENEL a conclusione degli studi condotti per la localizzazione di un sito nucleare in Lombardia (v. **Figura 3.7**). Riferendoci infine alle due aree più orientali selezionate da SOGIN in Emilia-Romagna, vale a dire all'Area PC-3 Cadeo-Cortemaggiore e all'Area PC-1 Besenzone-Fiorenzuola d'Arda, abbiamo proceduto al riesame delle linee sismiche disponibili che attraversano la Faglia Piacenza-Busseto e la Faglia Fiorenzuola d'Arda. La prima struttura è attraversata da quindici linee, tredici delle quali appartengono al *dataset* ENEL mentre due provengono da VIDEPI; la seconda struttura è attraversata da otto linee,

sei delle quali provengono dal *dataset* ENEL mentre due sono reperibili nell'*open source* VIDEPI. Tutte le linee mostrano la totale assenza di deformazioni recenti dal momento che i depositi quaternari giacciono indisturbati in discordanza su strutture tettoniche più antiche.

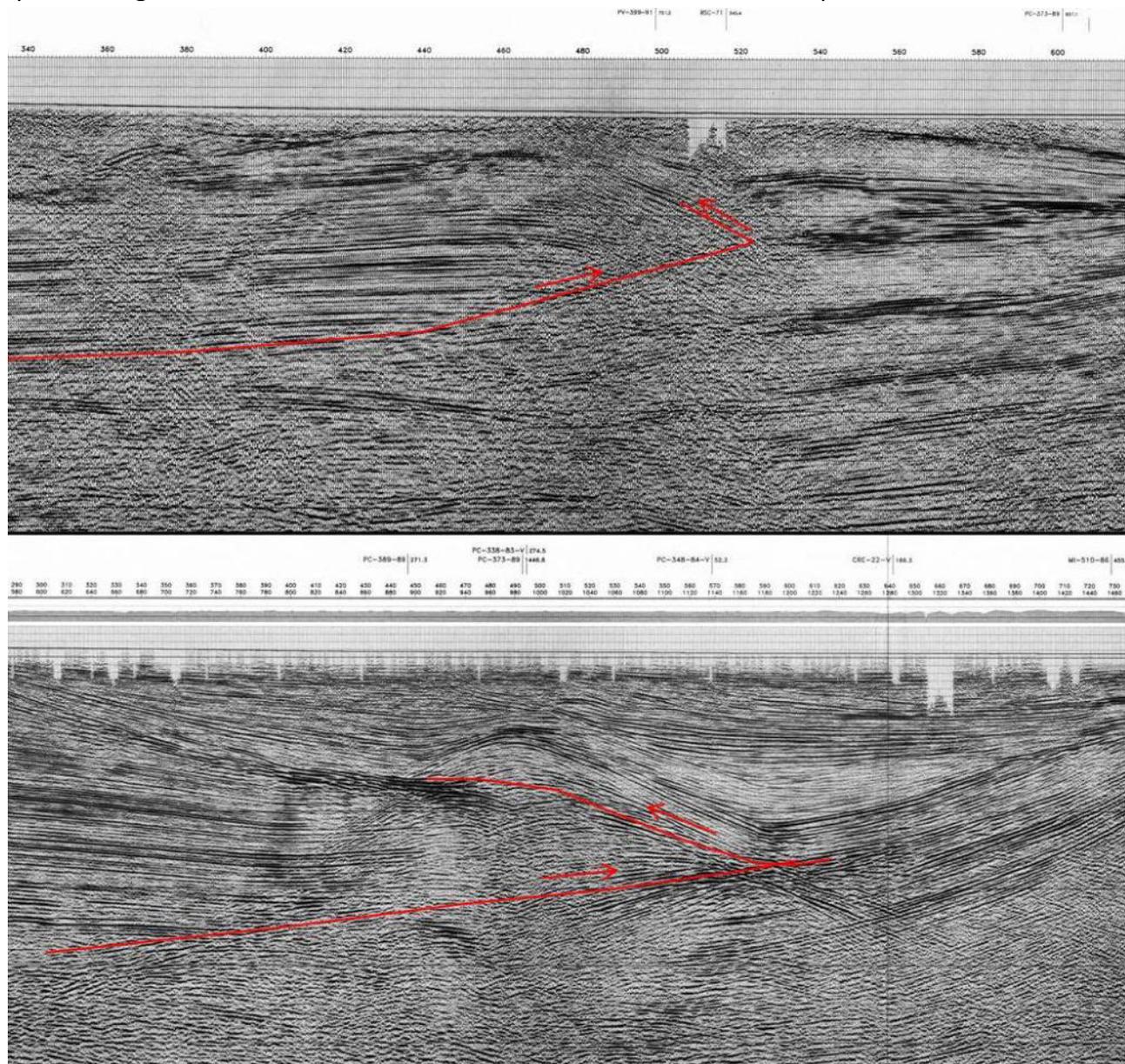


Figura 3.6. Dettaglio delle linee sismiche regionali Appennino Centrale 01 e Appennino Centrale 02 mostranti la struttura profonda in corrispondenza della quale si troverebbero in superficie, rispettivamente, la terminazione orientale della Faglia Broni-Stradella e la zona di giunzione tra la Faglia Centora e la Faglia Trebbia Ovest.

La **Figura 3.8** mostra la sezione sismica PC-371-89, proveniente da VIDEPI, nella quale i depositi pleistocenici della Formazione Porto Corsini giacciono in discordanza su depositi deformati appartenenti alla struttura del Torrente Riglio e passano in alto, stratigraficamente, alle Sabbie di Asti le quali formano un evidente corpo progradante anch'esso indisturbato. Il medesimo corpo progradante è ben evidente nel profilo sismico illustrato in **Figura 3.9** dove si continua a vedere la totale assenza di deformazioni recenti ai margini della piega, laddove dovrebbero invece passare

secondo ITHACA la Faglia Piacenza-Busseto e la Faglia Fiorenzuola d'Arda. A conclusioni analoghe, anche in questo caso, erano già giunti gli studi coordinati da ENEL per la localizzazione di una centrale nucleare in Lombardia (vedi **Figura 3.10**).

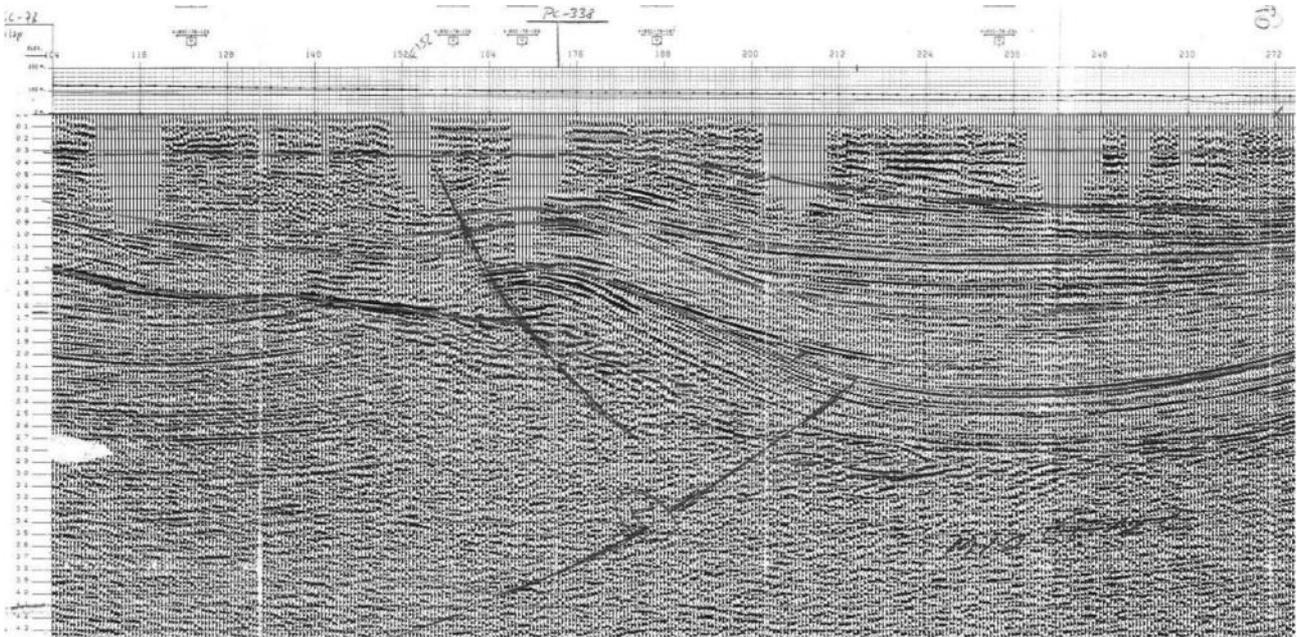


Figura 3.7. Dettaglio della linea sismica BSC-078-EXT-V, molto prossima alla linea Appennino Centrale 02, che attraversa le Faglie Centora e Trebbia Ovest. Linea e relativa interpretazione da *dataset* ENEL 1986.

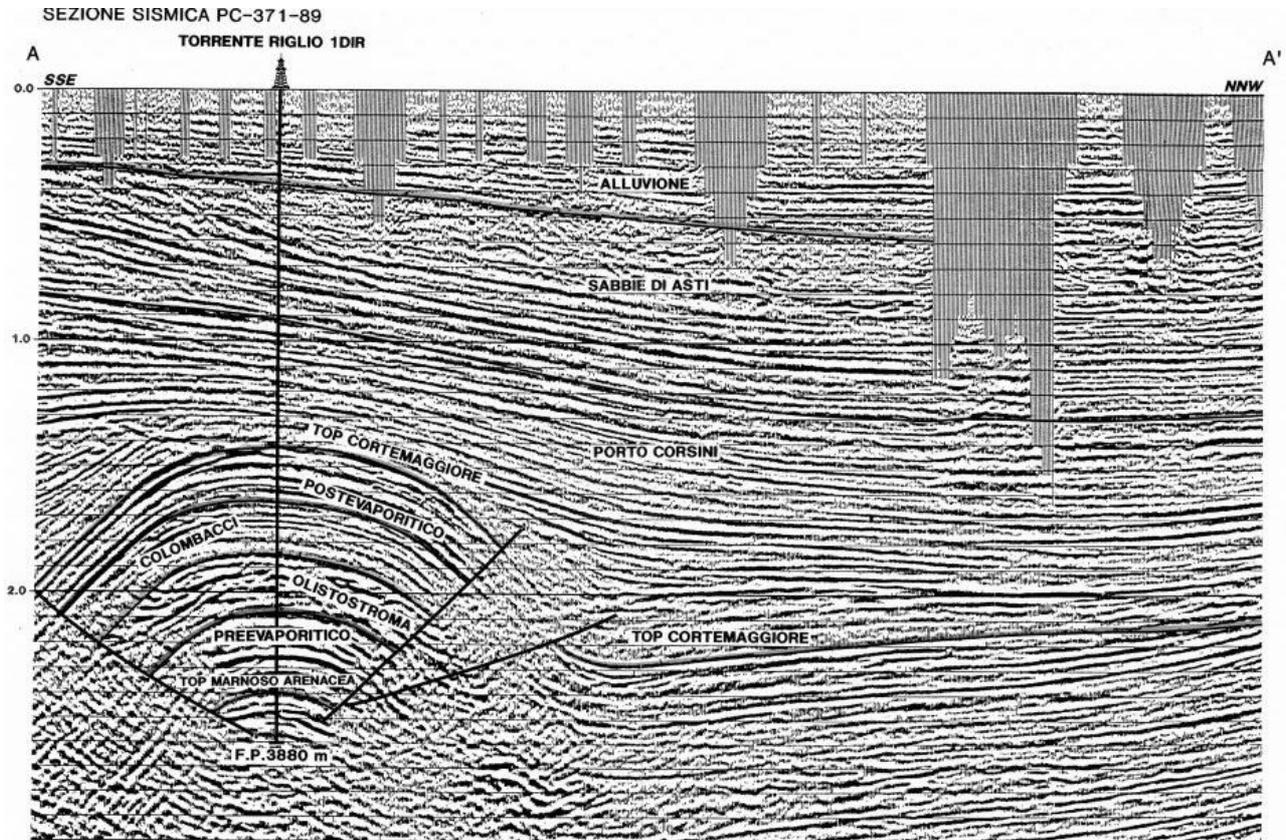


Figura 3.8. Dettaglio della linea sismica PC-371-89 che dovrebbe attraversare in superficie la faglia Piacenza-Busseto in corrispondenza del margine orientale della piega. Il profilo mostra la totale assenza di deformazioni recenti. Linea e relativa interpretazione da VIDEPI.

A conclusione dell'analisi sismotettonica condotta in questo studio è possibile dire che non esistono motivi di carattere sismotettonico per escludere in Emilia-Romagna alcuna delle aree selezionate da SOGIN.

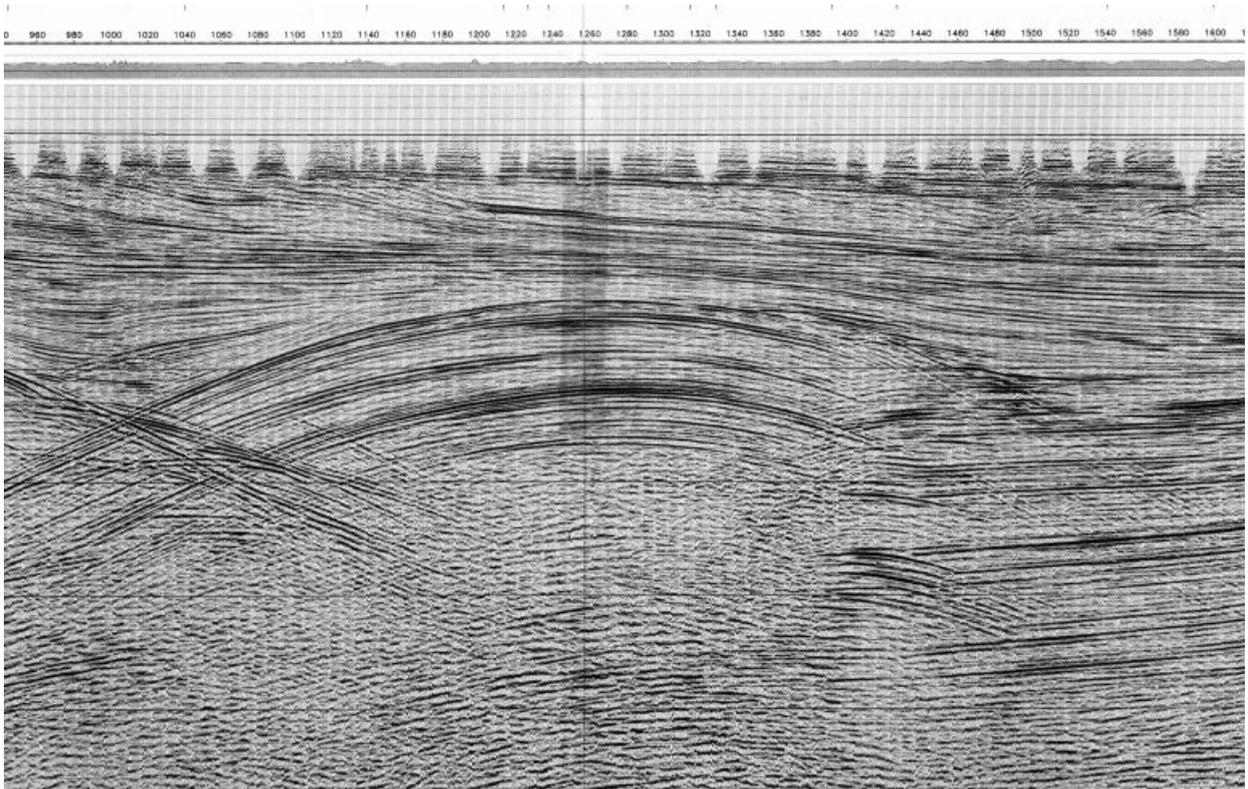


Figura 3.9. Dettaglio della linea sismica PC-371-89 mostrante la totale assenza di deformazioni quaternarie in corrispondenza dei margini della piega, dove dovrebbero correre in superficie la Faglia Piacenza-Busseto e la Faglia Fiorenzuola d'Arda.

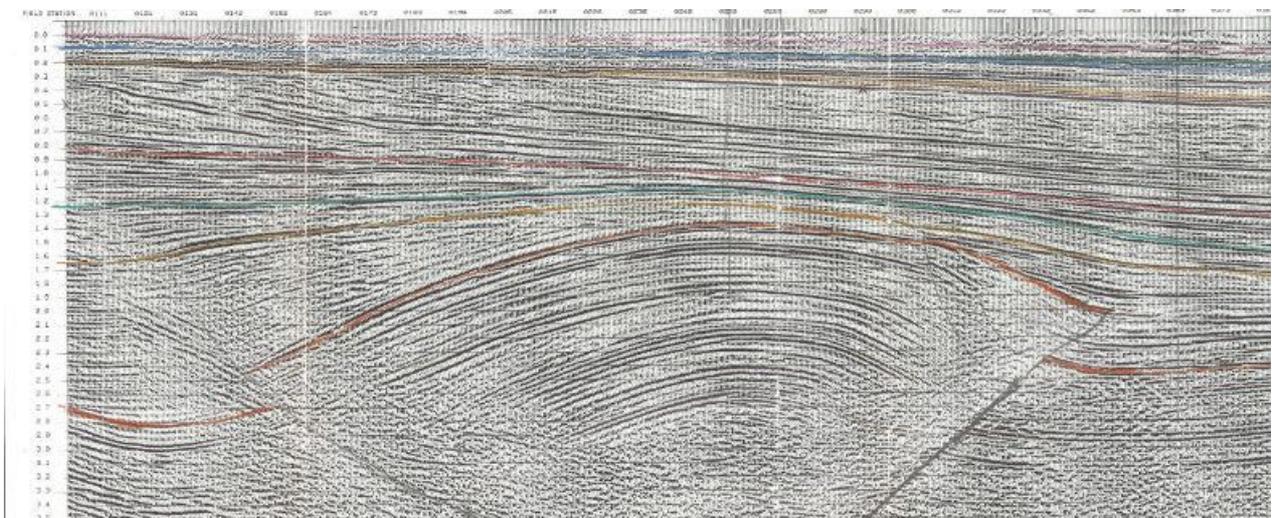


Figura 3.10. Dettaglio della linea sismica PC-338 mostrante la giacitura indisturbata dei depositi quaternari che in corrispondenza dei margini della piega dovrebbero essere tagliati, secondo ITHACA, dalla Faglia Piacenza-Busseto e dalla Faglia Fiorenzuola d'Arda. Linea e relativa interpretazione da *dataset* ENEL 1986.

4. Toscana Meridionale

Il quadro geologico-strutturale e il quadro sismotettonico della Toscana Meridionale sono simili a quello dell'Alto Lazio, che verrà descritto più compiutamente nel prossimo capitolo.

Due sole aree sono state selezionate da SOGIN ai fini della possibile localizzazione del Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi a Bassa e Media Attività e del connesso Parco Tecnologico. La prima area (GR-2 Campagnatico) cade all'interno della continuazione settentrionale della fascia ubicata a SW degli apparati vulcanici Amiata-Bolsena-Vico, descritta nel capitolo successivo, dove non sono attesi terremoti di magnitudo tale da poter causare fagliazione superficiale. La seconda area (SI-5 Trequanda-Pienza) cade invece nel prolungamento settentrionale della fascia ubicata a NE dei suddetti vulcani. Per quest'area, come per le analoghe aree dell'Alto Lazio, riteniamo necessarie ulteriori indagini perché al momento non ci sono ragioni per escludere la possibilità che un futuro terremoto di energia medio-alta possa generare fenomeni di fagliazione superficiale.

5. Alto Lazio

La gran parte del Viterbese, assieme alla Maremma toscana, appartiene al margine tirrenico della catena appenninica, una zona dove le varie unità che costituiscono l'edificio tettonico (Unità Toscane metamorfiche e non metamorfiche, Unità Liguri e sovrastanti depositi di tipo *thrust top*) sono state ripetutamente dissecate, a partire dal Miocene superiore, da faglie estensionali a basso e alto angolo orientate da NW-SE a N-S che hanno causato un generale ribassamento dell'area rispetto alla zona assiale della catena. Sul sistema di coltri fagliate giacciono in discordanza sedimenti di età compresa tra il Miocene superiore ("Neoautoctono Toscano" *Auctt.*) e il Quaternario depositi in depressioni tettoniche con prevalente elongazione NW-SE.

Dal punto di vista sismico sono presenti nella zona numerosi terremoti di energia bassa e medio-bassa (v. ROVIDA *et alii* 2001). Né il database ITHACA dell'ISPRA né il Catalogo delle sorgenti sismogenetiche individuali dell'INGV (DISS WORKING GROUP 2010; BASILI *et alii* 2008) né, infine, indagini ad hoc condotte nella fascia tirrenica tosco-laziale (BOSI *et alii* 1994) hanno riconosciuto nell'area la presenza di faglie attive. Studi tecnici effettuati in ambito ENEL (v. ENEL 1993; D'OFFIZI 1994; BONAFEDE *et alii* 1994) giustificano l'assenza di grandi terremoti lungo la fascia tirrenica dell'Appennino vuoi per ragioni cinematiche, nel senso che il fronte della distensione avrebbe ormai raggiunto aree ubicate più a oriente, vuoi per ragioni reologiche, nel senso che la combinazione dell'alto flusso di calore e del basso tasso di deformazione renderebbero impossibile l'enucleazione di terremoti di elevata energia.

Le aree dell'Alto Lazio non escluse da SOGIN cadono in due distinte fasce, entrambe orientate NW-SE ma aventi probabilmente un diverso comportamento sismotettonico. La prima fascia corre lungo il margine sud-occidentale degli apparati vulcanici Amiata-Bolsena-Vico. L'evento sismico di riferimento per quest'area può essere considerato il terremoto di Tuscania del 06/02/1971, terremoto di magnitudo relativamente bassa (MwM stimata pari a 4.84; MwIns pari a 4.68, v. ROVIDA *et alii* 2001) ma che ha prodotto danni gravi fino all'VIII-IX MCS nella ristretta area

epicentrale. Terremoti di bassa magnitudo non sono in grado di produrre fagliazione superficiale. Non vi sono dunque serie ragioni sismotettoniche per riconsiderare l'ammissibilità o meno delle aree potenzialmente idonee ad ospitare il Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi a Bassa e Media Attività e il connesso Parco Tecnologico che cadono in questa fascia (Aree VT-36 Montalto di Castro, VT-8 Montalto di Castro, VT-29 Ischia di Castro, VT-9 Cellere-Ischia di Castro-Canino, VT-27 Canino-Montalto di Castro, VT-24 Montalto di Castro-Canino, VT-34 Canino, VT-26 Canino, VT-33 Canino-Tessennano-Tuscania, VT-32_A Arlena di Castro-Tessennano-Tuscania, VT-32_B Arlena di Castro-Tessennano-Tuscania, VT-28 Arlena di Castro-Tuscania, VT-30 Piansano-Arlena di Castro-Tuscania, VT-31 Tuscania, VT-23 Tuscania, VT-25 Tarquinia-Tuscania; VT-18 Viterbo, VT-4 Vetralla, VT-3 Blera, VT-2 Blera, VT-1 Vejano-Barbarano Romano). La seconda fascia corre lungo il margine nord-orientale degli stessi apparati vulcanici. Qui comincia a cambiare il comportamento reologico della crosta e sono attesi terremoti di media-alta energia che possono produrre fagliazione superficiale. Il terremoto storico di riferimento è quello Bagnoregio dell'11/06/1695, con magnitudo MwM 5.67 e intensità massima risentita del IX MCS (v. ROVIDA *et alii* 2001). Altro terremoto storico di una certa importanza è il terremoto di Piancastagnaio del 16/10/1919, con magnitudo macrosismica stimata pari a 5.27 e intensità massima risentita dell'VIII MCS (v. ROVIDA *et alii* 2001). Come già detto, non sono state riconosciute in superficie le possibili faglie responsabili di questi terremoti, né sono state riconosciute nell'area altre strutture sismogenetiche, ma questo non vuol dire che se ne debba escludere la presenza. Per tutte le aree incluse in questa fascia (VT-35 Proceno, peraltro in piena zona epicentrale del terremoto di Piancastagnaio, VT-10 Soriano nel Cimino, VT-19 Soriano nel Cimino, VT-11 Vasanello-Soriano nel Cimino-Vignanello, VT-20 Gallese-Vignanello, VT-12 Corchiano-Vignanello, VT-15 Gallese-Corchiano e VT-16 Corchiano) sono pertanto necessarie ulteriori indagini. Profili sismici a riflessione, in particolare, potrebbero risultare estremamente utili ai nostri scopi. In assenza di nuove informazioni non può essere esclusa la possibilità che una qualsiasi delle suddette aree possa essere in futuro colpita da un terremoto in grado di produrre fagliazione superficiale e pertanto di danneggiare un eventuale impianto.

6. Sardegna

La Sardegna, rappresentata da un blocco di crosta continentale tra due bacini a crosta oceanica e continentale assottigliata (Mediterraneo Occidentale e Tirreno), è un segmento della Catena Ercinica Europea e del relativo avampaese costituito da rocce paleozoiche sedimentarie, metamorfiche ed ignee ricoperte in discordanza da depositi di età meso-cenozoica e quaternaria. In tempi alpini, prima del suo distacco dalla Provenza e prima della successiva rotazione antioraria, la Sardegna era parte integrante della Placca Europea. Nel corso del Paleogene questo segmento europeo fu incorporato nel sistema catena-avanfossa-avampaese legato alla subduzione della Placca Africana sotto la Placca Europea. Tra la fine del Paleogene e il Miocene inferiore-medio un arco vulcanico a chimismo calc-alcalino correva la lungo tutta la parte occidentale dell'isola, dall'Anglona al Sulcis-Iglesiente. Dopo una fase di *rifting* che interessò il Golfo del Leone e il Bacino Nord-Balearico (25-21 milioni di anni fa), la Sardegna si staccò dall'Europa e subì una rotazione

antioraria di circa 55° (GATTACCECA *et alii* 2007) che accompagnò la migrazione del sistema arco-fossa connessa al rapido arretramento flessurale della Placca Africana (GUEGEN *et alii* 1998), per poi cessare 15 milioni di anni fa. Durante questa rotazione l'attività vulcanica calc-alcalina persistette lungo la parte occidentale dell'isola. Intorno a 10 milioni di anni fa, nel corso del Tortoniano, iniziò il *rifting* tirrenico (KASTENS *et alii*, 1988; SARTORI 1990) e la Sardegna assunse un ruolo geodinamico di retropaese alle spalle del sistema appenninico catena-avanfossa in progressiva migrazione verso oriente. I momenti più importanti di attività tettonica nel retropaese sardo (v. COCCO 2013 e relativa bibliografia) si verificarono nel Pliocene, in concomitanza con l'acme dell'estensione tirrenica, e sono testimoniati dall'apertura del Bacino del Campidano, che continuò durante il Pleistocene inferiore, e dallo sviluppo di una nuova attività magmatica a chimismo alcalino presente in varie parti dell'isola. Nel corso del Quaternario si assiste, in Sardegna, ad un sollevamento generalizzato, in totale assenza di fagliazione a blocchi. Questo sollevamento è stato interpretato da CARMINATI *et alii* (2010) come un fatto isostatico legato al flusso verso oriente del mantello sottostante il Mediterraneo Occidentale, mantello caldo più leggero di un mantello normale.

La Sardegna è una delle poche aree in Italia nelle quali non sono noti terremoti storici. Pochi eventi di magnitudo massima compresa tra 4 e 5 sono presenti nell'*offshore* della Sardegna nord-orientale tra la costa e il margine orientale del *seamount* delle Baronie (CASTELLO *et alii*, 2006). L'assenza di terremoti, e pertanto l'assenza di aree sismogenetiche in Sardegna, non desta meraviglia dal momento che sia le strutture tettoniche attive nell'Oligo-Miocene (faglie normali N-S e NNW-SSE del "rift sardo", v. CHERCHI & MONTADERT 1982a,b; CASULA *et alii* 2001; faglie trascorrenti W-E dei bacini trasversali, v. PASCI 1997; OGGIANO *et alii* 2009) sia le strutture attive nel Plio-Pleistocene (*in primis* faglie normali N-S e NNW-SSE della Fossa del Campidano, v. COCCO 2013 e relativa bibliografia) appaiono ovunque suggellate da depositi post-tettonici. Non vi sono pertanto motivi di carattere sismotettonico per sconsigliare alcuna zona tra quelle considerate potenzialmente idonee ad ospitare in Sardegna il Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi a Bassa e Media Attività e il connesso Parco Tecnologico.

7. Puglia e Basilicata

Il sistema catena-avanfossa-avampaese nell'Appennino Meridionale è molto ben conosciuto grazie soprattutto alle informazioni di sottosuolo provenienti dall'intensa attività di esplorazione petrolifera nell'area. L'architettura strutturale generale della catena è quella di un sistema *duplex* con le unità di tetto rappresentate da tutte le unità appenniniche note in affioramento e con il nucleo formato da carbonati meso-kenozoici derivati dalla deformazione della Piattaforma Apula ("Piattaforma Apula Interna" dei geologi dell'ENI). La **Figura 7.1** mostra schematicamente le differenze tra una configurazione *imbricate fan* e una configurazione *duplex*. Nella configurazione *imbricate fan* (**Fig. 7.1a**) gli embrici che costituiscono la catena sono disposti in modo tale che procedendo dal retropaese verso l'avampaese si passa con regolarità da unità più interne ad unità più esterne, tutte esposte in superficie o sub-affioranti a meno di coperture particolarmente spesse di depositi di tipo "*thrust top*" (giallo a tetto delle diverse unità tettoniche

in **Fig. 7.1a**). Nella seconda configurazione (**Fig.7.1b**) lo sviluppo di un lungo *thrust flat* ha permesso alle unità più interne di ricoprire completamente le unità più esterne. Queste ultime, raggiunte a loro volta dalla deformazione compressiva, formano un *duplex* sepolto a profondità più o meno grandi e pertanto non sono direttamente osservabili in superficie a meno di importanti finestre tettoniche.

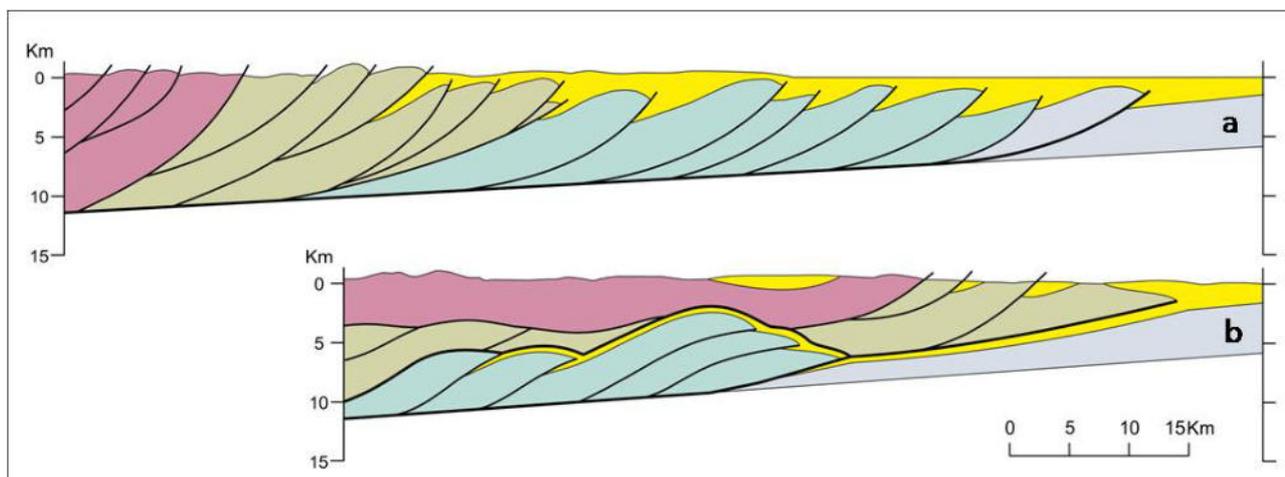


Figura 7.1. Rappresentazione schematica di un sistema *imbricate fan* e di un sistema *duplex*. Si veda la spiegazione nel testo.

Data la configurazione *duplex* dell'Appennino Meridionale, il bacino di avanfossa, stretto e allungato in direzione NW-SE, è nel complesso molto meno sviluppato di un classico bacino di avanfossa impostato al fronte di un sistema *imbricate fan*, come nel caso dell'Avanfossa Padana (v. riquadro in alto a destra nella **Figura 7.2**). Uno spaccato rappresentativo del bacino d'avanfossa nell'Appennino Meridionale è mostrato dal *line drawing* dei due profili illustrati nella **Figura 7.2** e dalle relative immagini sismiche contenute nelle Figure **7.3 e 7.4**. Prendendo come riferimento geometrico la rampa frontale della catena, ben sviluppata e sismicamente ben riconoscibile lungo tutto il margine dell'alloctono, è possibile distinguere tre corpi sedimentari caratterizzati da differenti configurazioni stratali:

- prisma pre-rampa, caratterizzato da un pacco più o meno spesso di riflettori ben evidenti, per lo più piano-paralleli, corrispondenti ad una sequenza torbidity sabbioso-argillosa dello spessore di diverse centinaia di metri che alle spalle del fronte si può seguire per diversi chilometri sotto l'alloctono;
- prisma sin-rampa, rappresentato da un corpo triangolare troncato *upsection* nella sua parte interna dalla rampa frontale dell'alloctono. Il grosso di questo corpo è costituito da una successione torbidity sabbioso-argillosa dello spessore massimo di 1000-1500 metri. Verso l'avampaese i riflettori terminano contro il substrato pre-pliocenico con geometrie di tipo *onlap*. Verso la catena, invece, i riflettori scompaiono e sono sostituiti da facies per lo più trasparenti corrispondenti a depositi caotici franati dal fronte dell'alloctono i quali sostituiscono lateralmente i depositi torbidity;

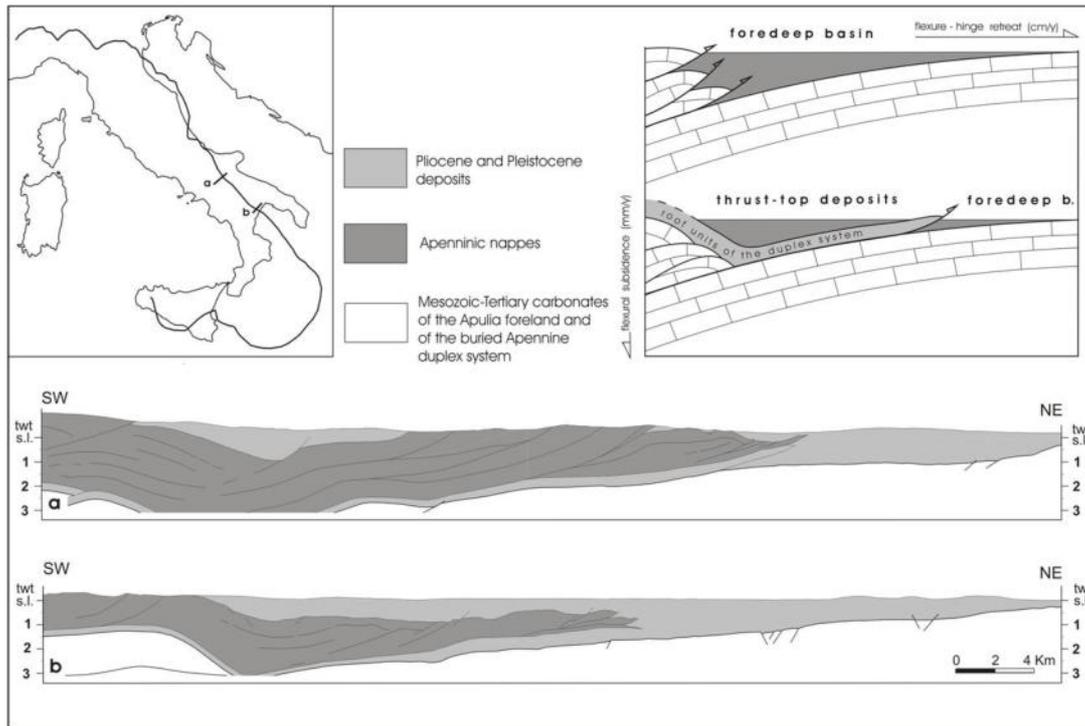


Figura 7.2. *Line drawing* di due profili sismici mostranti la configurazione interna dei depositi d'avanfossa nell'Appennino Meridionale. Questa configurazione rappresenta in tutta l'area il risultato finale dell'arretramento flessurale della litosfera apula in subduzione sotto la catena. Il riquadro in alto a destra schematizza la diversa configurazione del bacino di avanfossa al fronte di un sistema *imbricate fan*, quale ad esempio è quello dell'Appennino Centrale, e al fronte di un sistema *duplex*. Nel secondo caso la gran parte dello spazio di accomodamento creato dalla subsidenza flessurale della piastra di avampaese è occupato dalle coltri alloctone e da depositi di tipo *thrust top*. Da PATACCA e SCANDONE (2004a), con lievi modifiche.

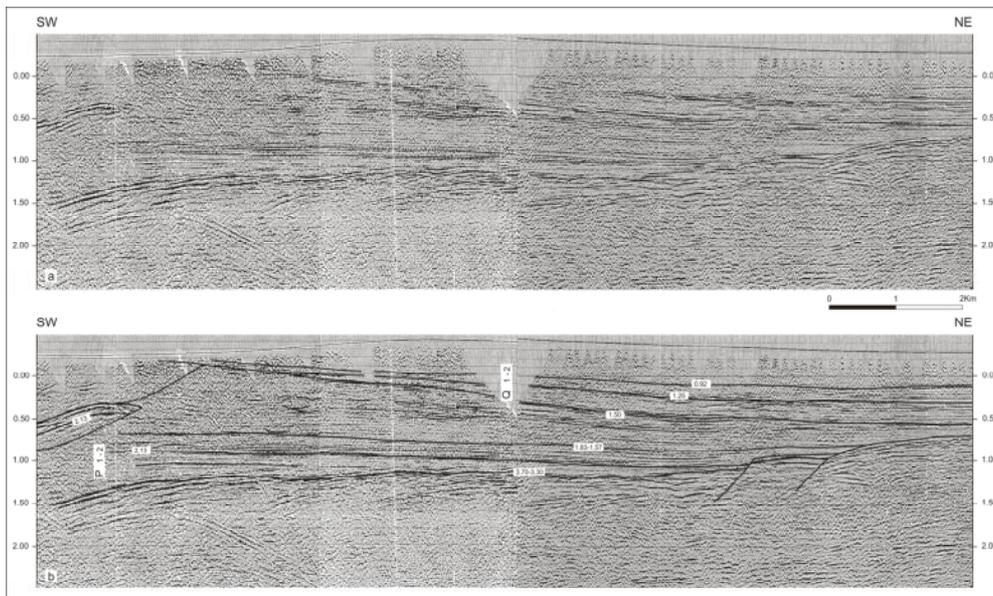


Figura 7.3. Profilo sismico a riflessione (non interpretato ed interpretato) attraverso la porzione frontale della catena e la parte settentrionale della Fossa Bradanica con l'indicazione delle sequenze plio-pleistoceniche riconosciute e con l'età assoluta (in milioni di anni) dei principali orizzonti tracciati.

-prisma post-rampa, il quale inizia con un sistema trasgressivo argilloso o argilloso-sabbioso che sutura il fronte dell'alloctono ed evolve poi in un sistema progradante sabbioso o sabbioso-conglomeratico caratterizzato da evidenti clinoforni.

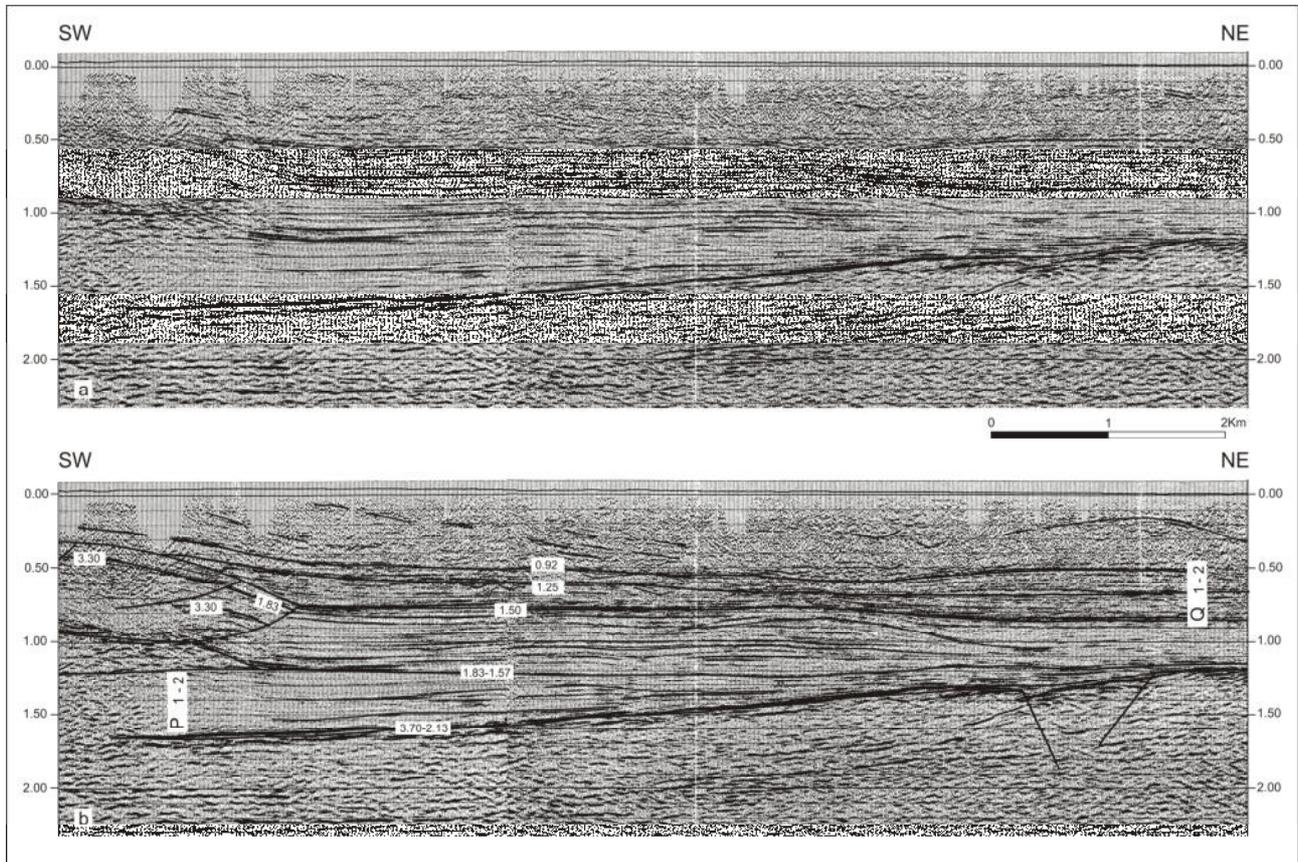


Figura 7.4. Profilo sismico a riflessione (non interpretato ed interpretato) attraverso la porzione frontale della catena e la parte meridionale della Fossa Bradanica con l'indicazione delle sequenze plio-pleistoceniche riconosciute e con l'età assoluta (in milioni di anni) dei principali orizzonti tracciati.

All'interno della successione descritta state riconosciute due sequenze deposizionali (sequenze P_{1-2} e Q_{1-2} in PATACCA e SCANDONE 2001, 2004a) interamente controllate dall'attività tettonica in catena (Figure 7.5 e 7.6). Le due sequenze, tarate attraverso numerosi pozzi e sezioni stratigrafiche di superficie, sono ben riconoscibili per le loro caratteristiche interne in tutti i profili sismici che attraversano il bacino di avanfossa. E' pertanto abbastanza agevole, in qualunque parte del bacino ci si trovi, riconoscere su una linea sismica gli intervalli della successione rappresentati nel profilo e attribuire ad essi l'età relativa e l'età assoluta che loro compete.

Le aree di avanfossa-avampaese del Basso Molise, della Puglia e della Basilicata sono state colpite in tempi storici da vari terremoti distruttivi. Ricordiamo qui i terremoti garganici del 1223 e del 1414, del 30/07/1627, del 31/05/1646 e del 06/12/1875, il terremoto di Ascoli Satriano del

17/07/1361, il terremoto del Foggiano del 20/03/1731 e il terremoto di Barletta-Bisceglie del 11/05/1560.

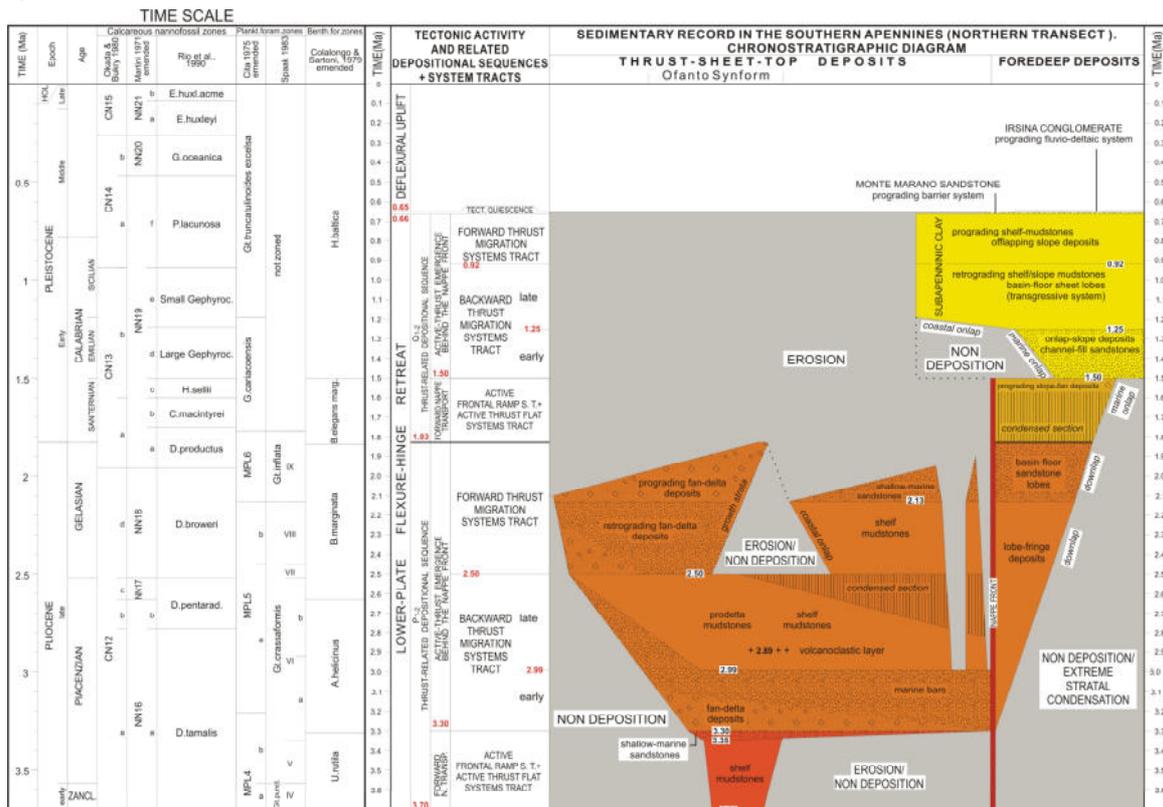


Figura 7.5. Diagramma cronostratigrafico dei depositi plio-quadernari dell'avanfossa e dei depositi plio-quadernari di tipo *thrust top* discordanti sulle coltri appenniniche lungo una sezione ideale che attraversa la porzione frontale della catena e la parte settentrionale della Fossa Bradanica. Da PATACCA e SCANDONE (2001).

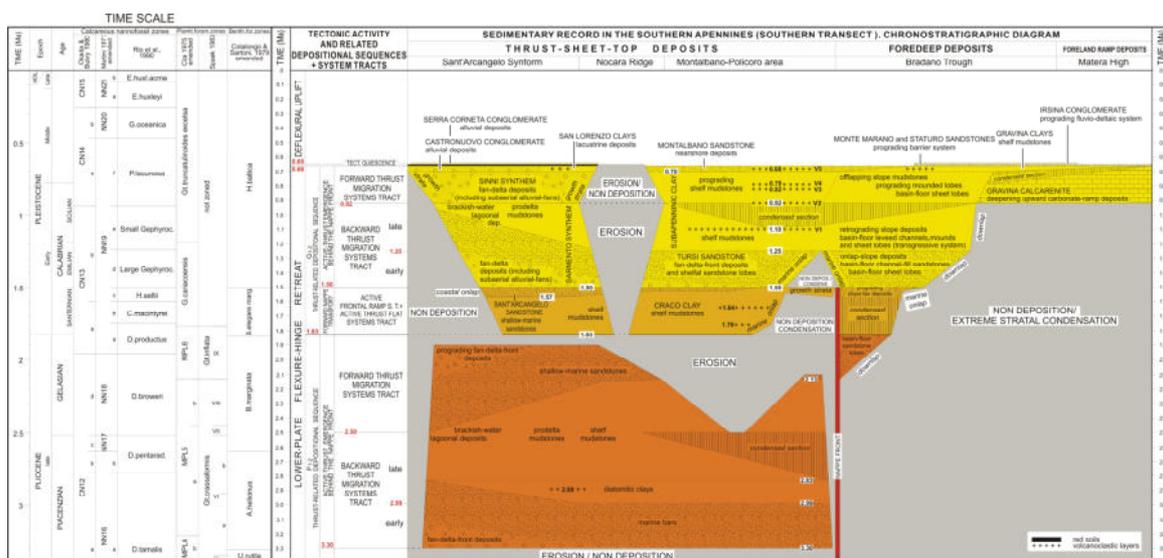


Figura 7.6. Diagramma cronostratigrafico dei depositi plio-quadernari dell'avanfossa e dei depositi plio-quadernari di tipo *thrust top* discordanti sulle coltri appenniniche lungo una sezione ideale che attraversa la porzione frontale della catena e la parte meridionale della Fossa Bradanica. Da PATACCA e SCANDONE (2001).

Il database ITHACA riporta nell'area varie faglie capaci aventi direzioni NW-SE (fino a WNW-ESE) e W-E. In particolare riconosce la Faglia di Apricena, avente direzione WNW-ESE, e la Faglia di Foggia-Cerignola, avente direzione NW-SE, considerate da PATACCA e SCANDONE (2002, 2004b) come le probabili strutture sorgente del terremoto garganico del 30/07/1627 e del terremoto del Foggiano del 20/03/1731, rispettivamente. Riporta inoltre le faglie con direzione W-E Monte Calvello-Orta Nova, Troia-Carapelle e Castelluccio dei Sauri-Stornarella, quest'ultima dubitativamente indicata da PATACCA e SCANDONE (2002) come possibile sorgente del terremoto di Ascoli Satriano del 17/07/1361. Una ventina di chilometri più a sud, infine, il database riporta la Faglia Eastern Ofanto Valley, anch'essa con direzione W-E, che è stata considerata attiva nell'ultimo glaciale da CINQUE *et alii* (2000). Nel Database delle Sorgenti Sismiche Individuali DISS (BASILI *et alii* 2008) e nel Database delle Faglie Sismogenetiche Europee SHARE EDSF (BASILI *et alii* 2013) l'INGV riconosce all'interno del bacino di avanfossa e nell'Avampaese Apulo numerose faglie con direzione W-E alle quali sarebbero associati forti terremoti con effetti distruttivi che si sono verificati in tempi storici. Il database DISS sottolinea il fatto che queste strutture erano note in letteratura già dagli anni ottanta ed erano state anche, almeno in parte, mappate in sottosuolo (v. SELLA *et alii* 1988), ma la loro importanza sarebbe stata sottovalutata prima della sequenza sismica di San Giuliano del Molise del 31 ottobre - 1 novembre 2002. L'attivazione di una faglia trascorrente destra orientata W-E all'interno dei carbonati apuli sepolti in occasione di questa sequenza sarebbe chiaramente dimostrata dall'allineamento delle numerose repliche e dai meccanismi focali degli eventi maggiori. Tra il Promontorio del Gargano e il Golfo di Taranto i due database citati riportano una serie sorgenti sismiche composite e individuali *sensu* BASILI *et alii* (2008) tutte rappresentate da faglie trascorrenti destre aventi una direzione prossima a W-E. Queste sorgenti si dispongono su quattro allineamenti (**Figura 7.7**).

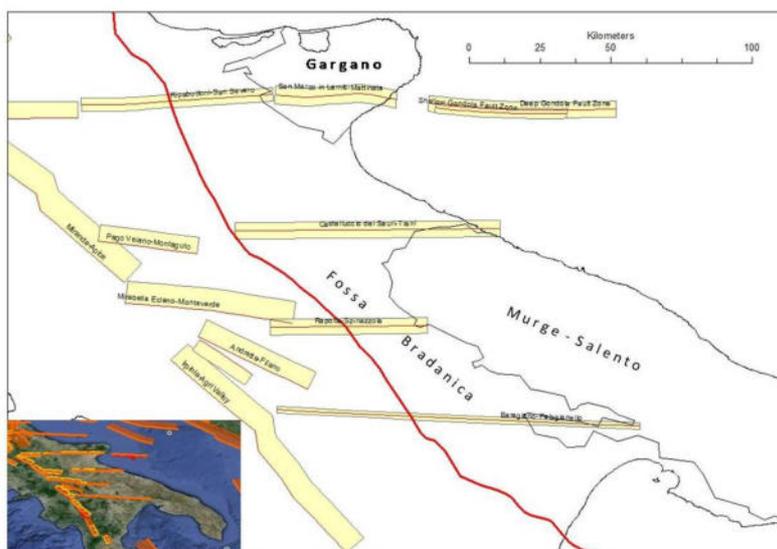


Figura 7.7. Sorgenti sismiche composite in Italia Meridionale (da BASILI *et alii* 2013 nella figura grande e da da BASILI *et alii* 2008 nel riquadro in basso a sinistra). Nella figura principale la linea rossa spessa indica il fronte dell'alloctono. Nella parte esterna della Catena Appenninica, nella Fossa Bradanica e nell'Avampaese Apulo le sorgenti sono tutte riferite ad un sistema di faglie trascorrenti destre con direzione all'incirca W-E.

Da nord verso sud si susseguono:

1° allineamento

- Sorgente sismica composta Pescolanciano-Montagano, pressoché interamente costituita dalla sorgente individuale Frosolone. A questa sorgente viene dubitativamente associato uno dei sub-eventi del grande terremoto del 1456.
- Sorgente sismica composta Ripabottoni-Sansevero, alla quale appartengono le sorgenti individuali Ripabottoni, San Giuliano di Puglia e Sansevero. Alla sorgente San Giuliano di Puglia viene associata la sequenza sismica del 31 ottobre - 1 novembre 2002; alla sorgente San Severo viene associato il terremoto del 30/07/1627.
- Sorgente sismica composta San Marco in Lamis-Mattinata, composta dalle sorgenti individuali San Marco in Lamis, San Giovanni Rotondo e Monte Sant'Angelo. Segue in offshore la Sorgente composta di Gondola.

2° allineamento

- Sorgente sismica composta Pago Veiano-Montaguto, pressoché interamente composta dalla sorgente individuale Ariano Irpino alla quale viene dubitativamente associato uno dei sub-eventi del grande terremoto del 1456.
- Sorgente sismica composta Castelluccio dei Sauri-Trani, alla quale appartengono le sorgenti individuali Ascoli Satriano, Cerignola e Bisceglie, responsabili rispettivamente dei terremoti di Ascoli Satriano del 17/07/1361, del Foggiano del 20/03/1731 e di Barletta-Bisceglie del 11/05/1560.

3° allineamento

- Sorgente sismica composta Mirabella Eclano-Monteverde, costituita dalle sorgenti individuali Valle dell'Ufita e Bisaccia. Alla prima è riferito il terremoto del 29/11/1732, alla seconda il terremoto del 23/07/1930.
- Sorgente sismica composta Rapolla-Spinazzola della quale farebbe parte la sorgente individuale Melfi ritenuta responsabile del terremoto del 15/08/1851;

4° allineamento

- Sorgente sismica composta Baragiano-Palagianello, l'estremità occidentale della quale si sarebbe attivata nella sequenza di Potenza del maggio 1990.

Le aree della Puglia e della Basilicata non escluse da SOGIN ai fini della localizzazione del Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi a Bassa e Media Attività e del connesso Parco Tecnologico cadono quasi totalmente nell'Avanfossa Appenninica e in misura minore lungo il margine sud-occidentale dell'Avampaese Apulo. Quattro aree (FG-15 Castelluccio Valmaggiore-Biccari-Troia, PZ-11 Oppido Lucano-Tolve, MT-1 Montalbano Jonico-Scanzano Jonico e MT-2 Montalbano Jonico) sono ubicate lungo il margine esterno della Catena Appenninica ed una soltanto (LE-1 Melissano-Matino-Alezio-Taviano Parabita) cade in pieno Avampaese.

7.1. Fossa Bradanica e margine interno delle Murge

E' stato detto in precedenza che la sequenza sismica di San Giuliano del 31 ottobre - 1 novembre 2002 e la carta delle isobate del tetto dei carbonati apuli di SELLA *et alii* (1988)

rappresentano i due principali elementi che, aggiunti alla Faglia di Mattinata e alla struttura di Gondola hanno suggerito ai ricercatori dell'INGV un quadro sismotettonico nel quale tutte le strutture sismogenetiche nell'Avampaese Apulo sono rappresentate da faglie trascorrenti destre con direzione prossima ad W-E. La **Figura 7.8** mostra la carta della isobate del tetto dei carbonati apuli nella Fossa Bradanica secondo SELLA *et alii* (1988), assieme al fronte dell'alloctono e assieme alla traccia delle sorgenti sismiche composite secondo DISS e SHARE EDSF. Ai fini di questo rapporto tecnico abbiamo messo a confronto le sorgenti sismiche individuate in DISS e SHARE EDSF con le faglie riconosciute da SELLA *et alii* (1988) e all'esterno del fronte dell'alloctono abbiamo poi cercato su tutti i profili disponibili evidenze di faglie in corrispondenza delle sorgenti sismiche postulate in DISS e SHARE EDSF.

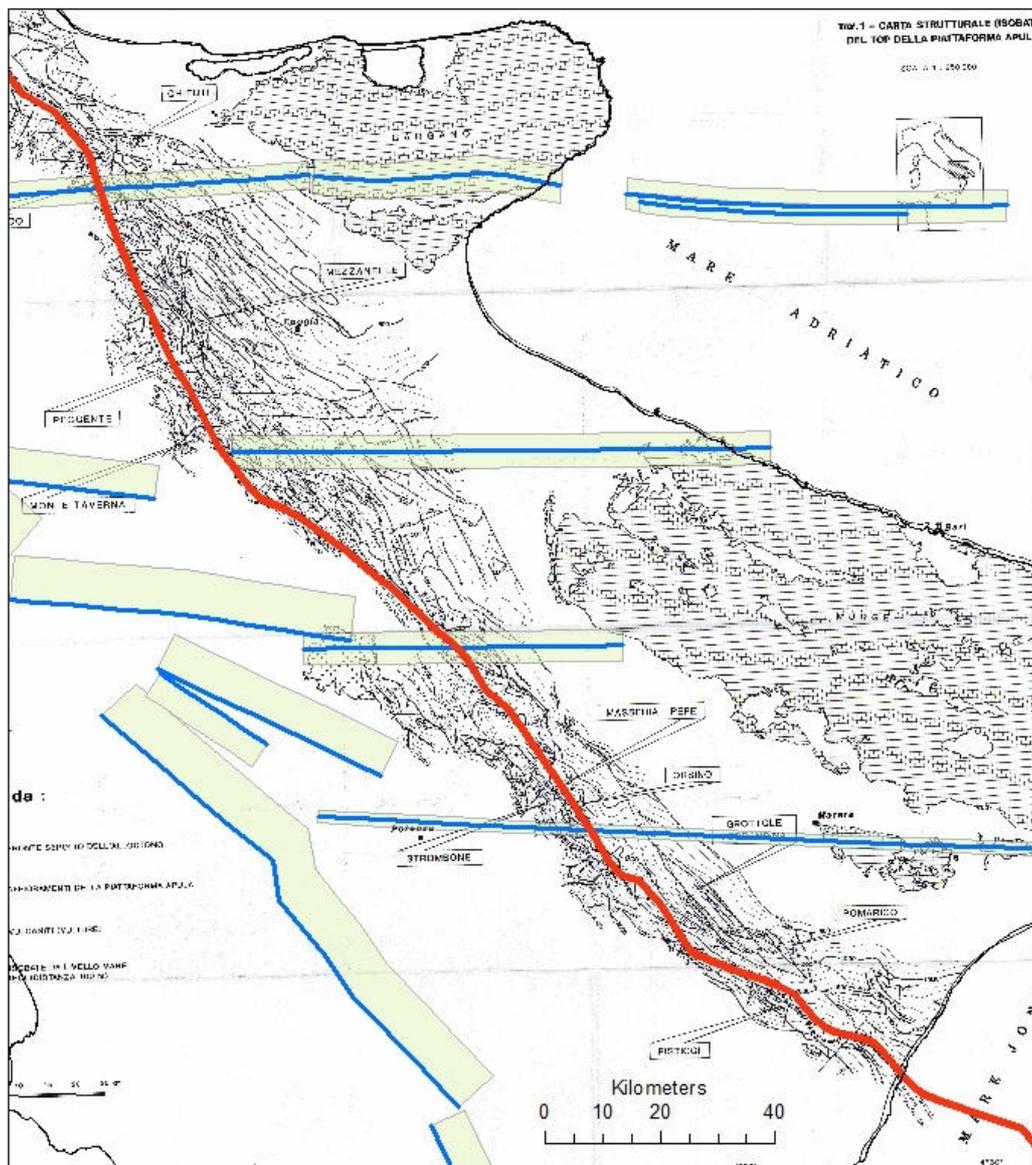


Figura 7.8. Isobate del tetto dei carbonati apuli nella Fossa Bradanica secondo SELLA *et alii* (1988) e traccia delle sorgenti sismiche composite riconosciute nell'area da BASILI *et alii* (2013). La linea rossa spessa indica il fronte della Catena Appenninica.

Sorgente composita Ripabottoni-Sansevero. La **Figura 7.9** permette di fare un raffronto tra le faglie presenti nella carta delle isobate del tetto dei carbonati apuli e le faglie ipotizzate lungo la sorgente composita Ripabottoni-Sansevero. Come si può vedere, non si osserva alcuna corrispondenza tra le strutture tettoniche identificate in sottosuolo dai profili sismici a riflessione e la struttura sismogenetica postulata.

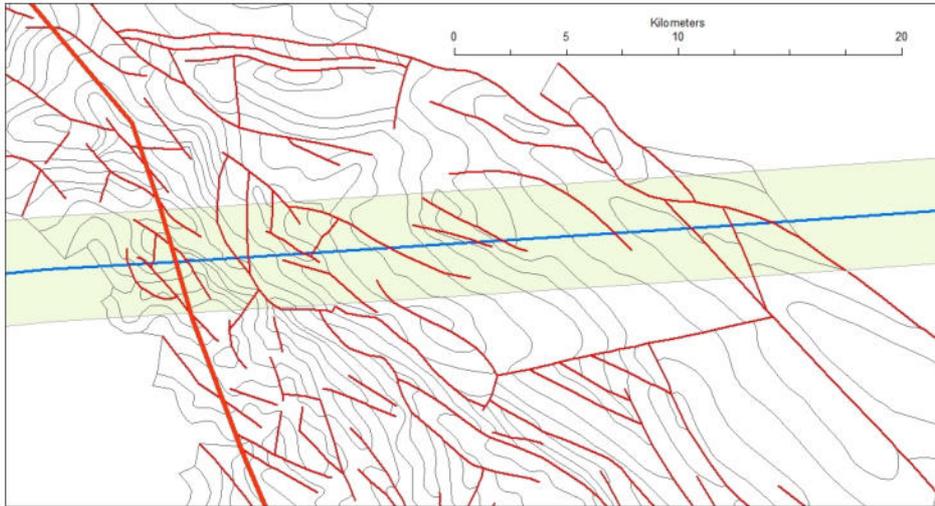


Figura 7.9. Sorgente composita Ripabottoni-Sansevero (da BASILI *et alii* 2013), indicata con la linea blu, sovrapposta alla carta delle isobate del tetto dei carbonati apuli di SELLA *et alii* 1988 georeferenziata e digitalizzata. La linea rossa spessa indica il fronte della catena appenninica. Si noti l'assenza di corrispondenza tra le faglie osservate in sismica a riflessione (linee rosse) e la struttura sismogenetica (linea blu) proposta da BASILI *et alii* (2008, 2013).

Abbiamo allora effettuato un'analisi delle linee sismiche disponibili che attraversano la sorgente Ripabottoni-Sansevero (vedi **Figura 7.10**) al fine di verificare l'esistenza di eventuali faglie, comunque orientate, che mostrino attività in tempi più o meno recenti.

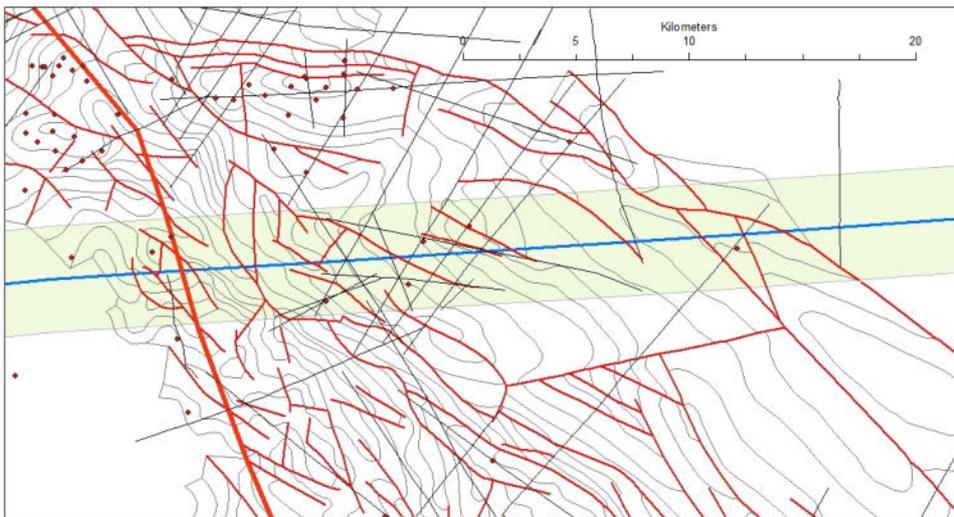


Figura 7.10. *Idem idem* Figura 7.9, con la traccia delle linee sismiche utilizzate nel nostro studio e l'ubicazione dei pozzi dei quali abbiamo analizzato il *composite log*.

Tutte le faglie che all'interno del bacino di avanfossa attraversano la Ripabottoni-Sansevero si fermano alla sommità dei carbonati apuli e non interessano i depositi pleistocenici sin-rampa e post-rampa che li ricoprono. Questi ultimi, in tutti i casi, non mostrano alcuna deformazione. Non esistono gradini evidenti al *top* dei carbonati e le faglie sono riconoscibili solo per la presenza di iperboli di diffrazione nelle sezioni *stack*. In conclusione, pertanto, non si tratta di faglie cieche che possono essere state attive in tempi recenti ma di faglie inattive, precedenti la superficie di erosione al *top* dei carbonati sulla quale giacciono indisturbati i depositi pleistocenici. In definitiva, le evidenze geologiche raccolte nell'area ci fanno escludere l'esistenza di una struttura sismogenetica orientata W-E, responsabile del terremoto garganico del 1627, in corrispondenza del segmento Sansevero della presunta sorgente composita Ripabottoni-Sansevero. Continuiamo invece ad essere dell'opinione che la faglia causativa del terremoto del 1627 sia ubicata più a nord e corrisponda alla Faglia di Apricena (PATACCA e SCANDONE 2002, 2004b). L'unica differenza tra le conclusioni raggiunte in questo studio e quelle a suo tempo pubblicate consiste nel fatto che nuovi profili sismici ad alta risoluzione acquisiti in questi anni e nuovi profili commerciali analizzati suggeriscono un'interpretazione della Faglia di Apricena come una faglia transpressiva piuttosto che una faglia transtensiva.

Sorgente composita Castelluccio dei Sauri-Trani. Il segmento Ascoli Satriano di questa sorgente composita (**Figura 7.11**) corrisponde in parte alla faglia da noi a suo tempo indicata come Faglia Castelluccio dei Sauri-Stornarella (**Figura 7.12**) e dubitativamente identificata come possibile sorgente del terremoto di Ascoli Satriano del 27/12/1361 (PATACCA e SCANDONE 2002).

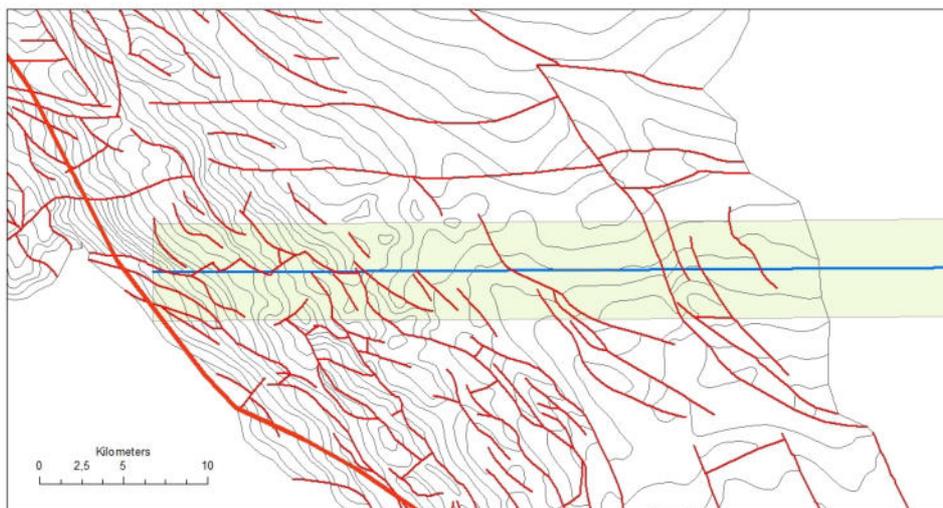


Figura 7.11. Sorgente composita Castelluccio dei Sauri-Trani (da BASILI *et alii* 2013), indicata con la linea blu, sovrapposta alla carta delle isobate del tetto dei carbonati apuli di SELLA *et alii* (1988) georeferenziata e digitalizzata. La linea rossa spessa indica il fronte della Catena Appenninica.

A differenza di altre due faglie W-E ubicate pochi chilometri a nord della Faglia Castelluccio dei Sauri-Stornarella, indicate come Faglia Troia-Carapelle e Faglia Monte Calvello-Orto Nova e a suo tempo considerate inattive, la Faglia Castelluccio dei Sauri-Stornarella crea una flessura molto pronunciata *al top* del cuneo pleistocenico sin-rampa che si va attenuando all'interno della

successione ma che è ancora presente, sia pur debolissima, nei depositi sabbiosi che chiudono il cuneo post-rampa (Figura 7.13). Si tratta dunque di una faglia cieca attiva in tempi relativamente recenti e pertanto potenzialmente sismogenetica. I profili sismici disponibili non ci permettono di dire se si tratta di una struttura distensiva o di una struttura compressiva.

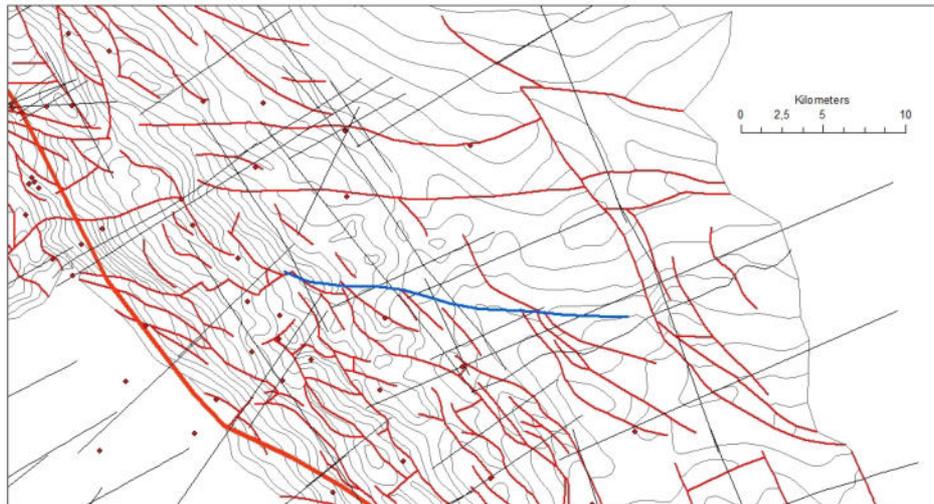


Figura 7.12. In blu Faglia Castelluccio dei Sauri-Stornarella (da PATACCA e SCANDONE 2002), da noi dubitativamente interpretata come possibile sorgente del terremoto di Ascoli Satriano del 17/07/1361, sovrapposta alla carta delle isobate del tetto dei carbonati apuli di SELLA *et alii* (1988) georeferenziata e digitalizzata. La linea rossa spessa indica il fronte della Catena Appenninica. Le linee nere sottili e i punti rossi indicano rispettivamente la traccia delle linee sismiche utilizzate in questo studio e l'ubicazione dei pozzi dei quali abbiamo analizzato il *composite log*.

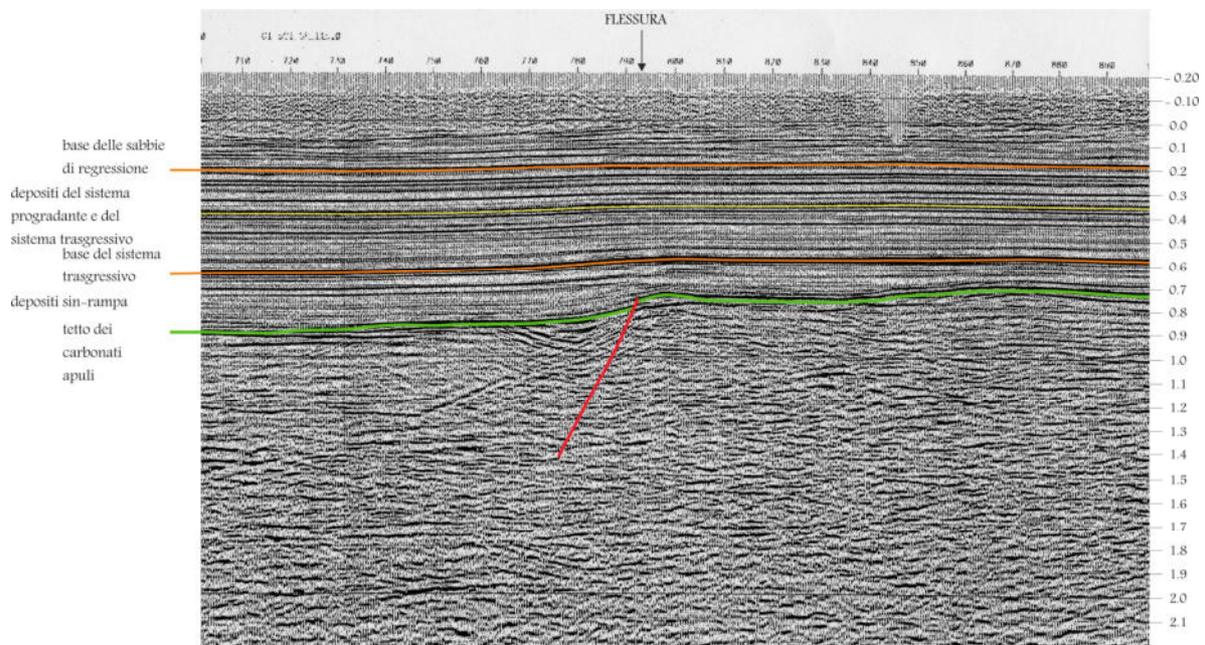


Figura 7.13. Particolare della linea sismica FG-533-90 mostrante una flessura all'interno della successione pleistocenica in corrispondenza della faglia cieca Castelluccio dei Sauri-Stornarella. L'interpretazione della faglia come faglia diretta è ipotetica perché l'immagine sismica non permette di stabilire la pendenza della superficie di faglia.

Un punto riguardo al quale siamo in profondo disaccordo con i risultati dell'INGV è sulla struttura sorgente del terremoto del Foggiano del 20/03/1731 (**Figura 7.14**) indicata in DISS e SHARE EDSF come una struttura W-E coincidente con il segmento Cerignola della sorgente composita Castelluccio dei Sauri-Trani.

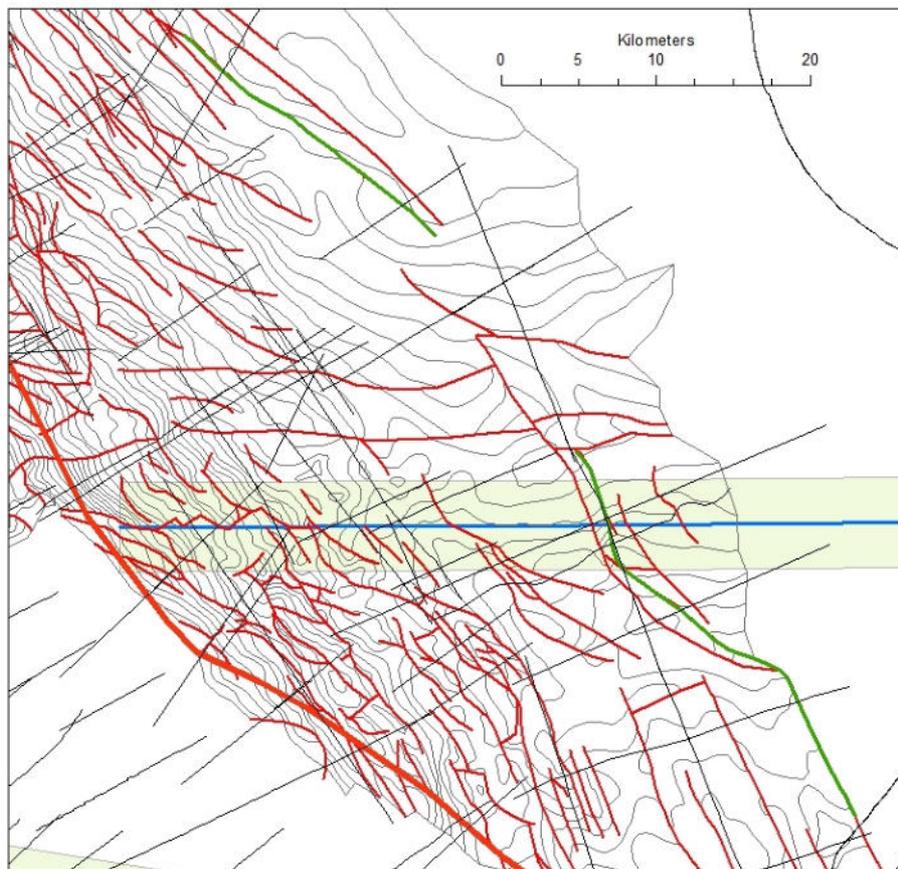


Figura 7.14. Carta della isobate del top dei carbonati apuli di SELLA *et alii* (1988), georeferenziata e digitalizzata, con sovrapposte la sorgente composita Castelluccio dei Sauri-Stornarella (in blu) secondo BASILI *et alii* 2013 e la Faglia Foggia-Cerignola (in verde) secondo PATACCA e SCANDONE (2002). Quest'ultima è costituita da un segmento settentrionale e un segmento meridionale. La linea rossa spessa indica il fronte della Catena Appenninica. Le linee nere sottili indicano la traccia delle linee sismiche utilizzate nel nostro studio.

L'analisi dei profili sismici disponibili ci ha portato a non riconoscere l'esistenza di alcuna faglia W-E in corrispondenza del segmento Cerignola dove invece appare chiara la presenza di faglie orientate NW-SE come riportato nella carta di SELLA *et alii* (1988). Due di queste faglie, corrispondenti al segmento settentrionale e al segmento meridionale di quella che a suo tempo era stata da noi denominata Faglia Foggia-Cerignola (PATACCA e SCANDONE 2002) mostrano evidenti segni di attività in tempi recenti. Questi due segmenti continuano ad apparirci come la più probabile candidata sorgente del terremoto del Foggiano del 1731. La **Figura 7.15** mostra un'immagine sismica del segmento settentrionale della Faglia Foggia-Cerignola nella quale si vede una chiara dislocazione della base delle sabbie regressive del cuneo post-rampa.

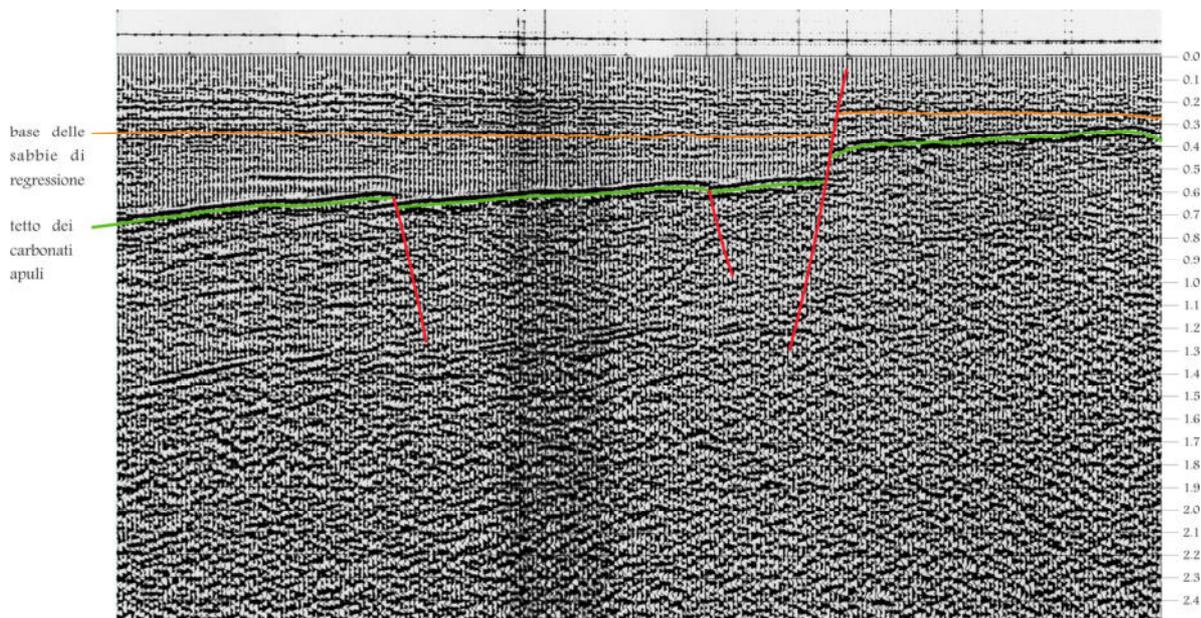


Figura 7.15. Particolare della linea sismica TSL-06-83 mostrante il segmento settentrionale della Faglia Foggia-Cerignola che disloca i termini regressivi della successione pleistocenica della Fossa Bradanica.

Sorgente sismica composta Rapolla-Spinazzola. La **Figura 7.16** mostra la parte orientale di questa sorgente sovrapposta alla carta delle isobate del top dei carbonati apuli di SELLA *et alii* (1988). La figura mostra anche l'ubicazione delle linee sismiche e dei pozzi utilizzati nel nostro studio. Le poche linee sismiche disponibili che attraversano la fascia Rapolla-Spinazzola nel bacino di avanfossa mostrano che tutte le faglie presenti sono inattive perché sono suturate dalla trasgressione dei depositi pleistocenici.

Sorgente composta Baragiano-Palagianello. Rimanendo all'interno del bacino di avanfossa, la carta del tetto dei carbonati apuli di SELLA *et alii* (1988) non individua alcuna struttura W-E mentre segnala la presenza di due faglie normali aventi direzione NW-SE. L'unica linea sismica disponibile che attraversa la fascia Baragiano-Palagianello nel bacino di avanfossa (v. **Figura 7.17**) mostra che tutte e due le faglie sono inattive perché suturate dalla trasgressione dei depositi pleistocenici che colmano l'avanfossa.

In conclusione, l'analisi delle linee sismiche da noi effettuata non ha ritrovato all'interno del bacino di avanfossa alcuna evidenza dell'esistenza delle sorgenti sismiche composte e individuali ipotizzate dall'INGV (vedi BASILI *et alii* 2008, 2013) con la sola eccezione del segmento Ascoli Satriano della sorgente sismica composta Castelluccio dei Sauri Trani.

Per quanto riguarda le aree non escluse da SOGIN ai fini della localizzazione del Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi a Bassa e Media Attività e del connesso Parco Tecnologico (**Figura 7.18**), la sola fonte di preoccupazione è rappresentata da tre aree del Foggiano che consigliamo di escludere. La prima si trova a meno di 5 chilometri dalla proiezione in superficie del segmento settentrionale della Faglia Foggia Cerignola (Area FG-13 Manfredonia-Foggia); la seconda e la terza (Area FG-8 Foggia ed Area FG-14 Foggia-Carapelle-Manfredonia) si trovano a meno di 5

chilometri dal tratto che congiungerebbe il segmento settentrionale e il segmento meridionale di questa faglia, tratto che non possiamo escludere possa riattivarsi in occasione di un futuro terremoto. Le restanti aree pugliesi dell'avanfossa sono sufficientemente lontane dalla struttura sismogenetica Foggia-Cerignola e dalla struttura Castelluccio dei Sauri-Stornarella da non destare preoccupazioni di fagliazione superficiale. Per tutte le aree che cadono nella porzione lucana delle Fossa Bradanica, infine, non vi sono elementi di sorta di natura sismotettonica che suggeriscano particolari precauzioni.

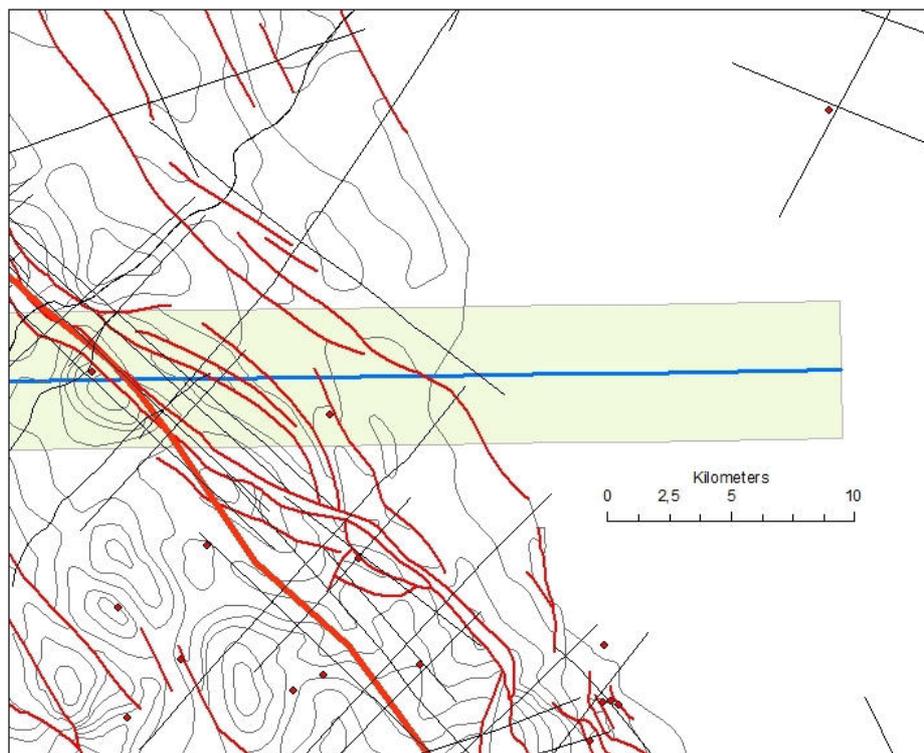


Figura 7.16. Porzione orientale della sorgente sismica composta Rapolla Spinazzola (in blu) da BASILI *et alii* (2013) sovrapposta alla carta delle isobate del tetto dei carbonati apuli di SELLA *et alii* (1988) georeferenziata e digitalizzata. La linea rossa spessa indica il fronte della Catena Appenninica. Le linee nere sottili e i punti rossi indicano rispettivamente la traccia delle linee sismiche utilizzate nel nostro studio e l'ubicazione dei pozzi dei quali abbiamo analizzato il *composite log*.

7.2. Margine esterno dell'Appennino

Le poche aree non escluse da SOGIN ai fini della localizzazione del Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi a Bassa e Media Attività e del connesso Parco Tecnologico in Puglia e in Basilicata sono ubicate lungo il margine esterno dell'alloctono (FG-15 Castelluccio Valmaggiore-Biccari-Troia, PZ-11 Oppido Lucano-Tolve, MT-2 Montalbano Jonico e MT-1 Montalbano Jonico-Scanzano Jonico) e cadono sui depositi pleistocenici del cuneo post-rampa dell'avanfossa. Per tutte queste aree non esistono problemi di natura sismotettonica data la loro lontananza da tutte le sorgenti sismiche note.

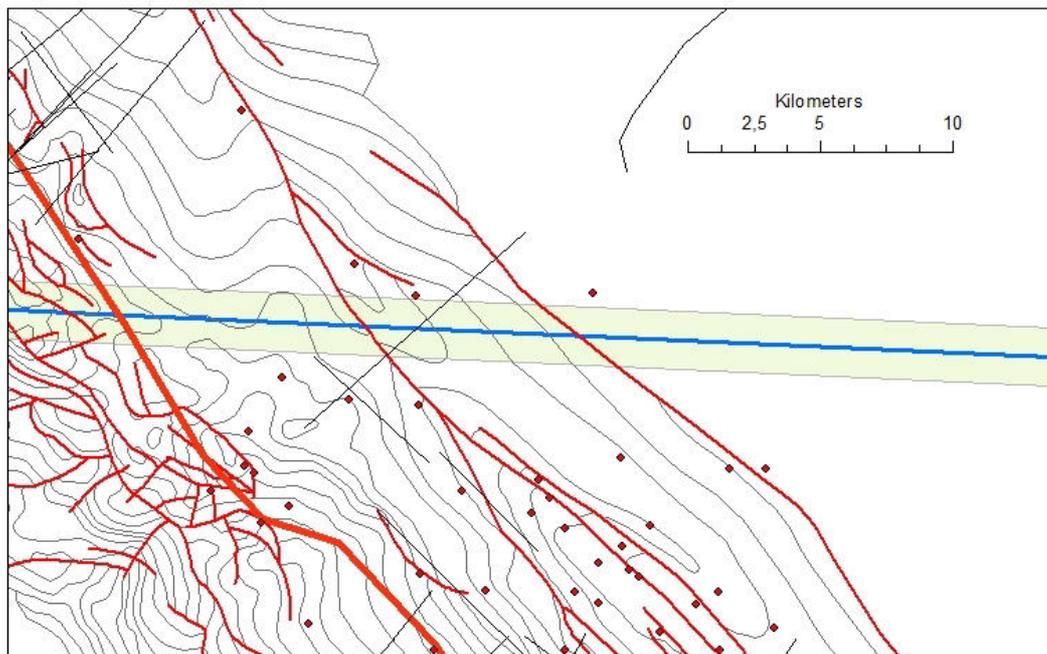


Figura 7.17. Sorgente sismica composta Baragiano-Palagianello sovrapposta alla carta delle isobate del tetto dei carbonati apuli di SELLA *et alii* (1988) georeferenziata e digitalizzata. La linea rossa spessa indica il fronte della Catena Appenninica. Le linee nere sottili e i punti rossi indicano rispettivamente la traccia delle linee sismiche utilizzate nel nostro studio e l'ubicazione dei pozzi dei quali abbiamo analizzato il *composite log*.

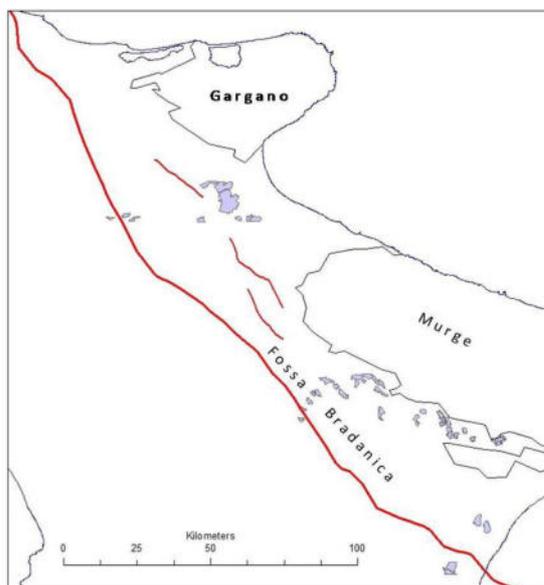


Figura 7.18. Aree della Fossa Bradanica e del margine interno delle Murge non escluse da SOGIN (in blu) e Faglia Foggia-Cerignola (in rosso sottile) assieme ad un terzo segmento di faglia probabilmente attiva, anch'esso in rosso sottile, leggermente spostato verso SW rispetto al segmento meridionale della Foggia-Cerignola. La linea rossa spessa indica il fronte dell'alloctono.

7.3. Salento

L'unica area dell'Avampese Apulo possibile candidata per la localizzazione del Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi a Bassa e Media Attività e del connesso Parco Tecnologico (LE-1 Melissano-Matino-Alezio-Taviano-Parabita) è ubicata in una regione che subì gravi danni a seguito del terremoto del 20/02/1743, noto anche come "terremoto di Nardò" per l'elevata intensità risentita in questo sito (IX MCS). L'epicentro di questo terremoto viene oggi localizzato nel Basso Ionio (v. GUIDOBONI *et alii* 2007 e relativa bibliografia), ma la struttura tettonica che lo ha generato non è stata finora riconosciuta. Abbiamo riesaminato le linee della Zona D e della Zona F che attraversano l'area nella quale il catalogo dei terremoti CPT1.1 localizza l'epicentro, ma non abbiamo riconosciuto alcuna struttura tettonica che mostri segni di attività in tempi recenti. Il mancato riconoscimento della sorgente sismica del terremoto del 20/02/1743 consiglia per l'Area L-1 un atteggiamento di prudenza e suggerisce studi aggiuntivi, in particolare l'analisi di altre linee sismiche a riflessione in *offshore*.

8. Sicilia

Le aree potenzialmente idonee selezionate in Sicilia cadono in due distinte zone (Sicilia Occidentale e Sicilia Centrale) molto diverse tra loro dal punto di vista geologico-strutturale. Nella prima zona la geologia di superficie indica un'architettura strutturale di tipo *imbricate fan*; nella seconda zona, invece, è evidente una configurazione di tipo *duplex* con le unità di tetto del sistema costituite dalla Falda di Gela la quale ricopre tettonicamente le Unità Sicane e le Unità Trapanesi-Saccensi che in Sicilia Occidentale sono esposte in superficie. Profili sismici a riflessione acquisiti per ricerche di idrocarburi suggeriscono tuttavia anche per la Sicilia Occidentale una struttura più complessa, di tipo *duplex* (CATALANO *et alii*, 2000 e relativa bibliografia). Le Unità Sicane, infatti, sarebbero qui sovrascorse per più di 50 chilometri sulle Unità Trapanesi-Saccensi e queste a loro volta sarebbero interessate da un vero e proprio raddoppio tettonico con l'unità superiore largamente esposta in tutta l'area (si vedano ad esempio le classiche sezioni della Kumeta, della Rocca Busambra e del Pizzo Telegrafo) e con l'unità inferiore affiorante soltanto nella zona di Sciacca (**Figure 8.1, 8.2, 8.3 e 8.4**).

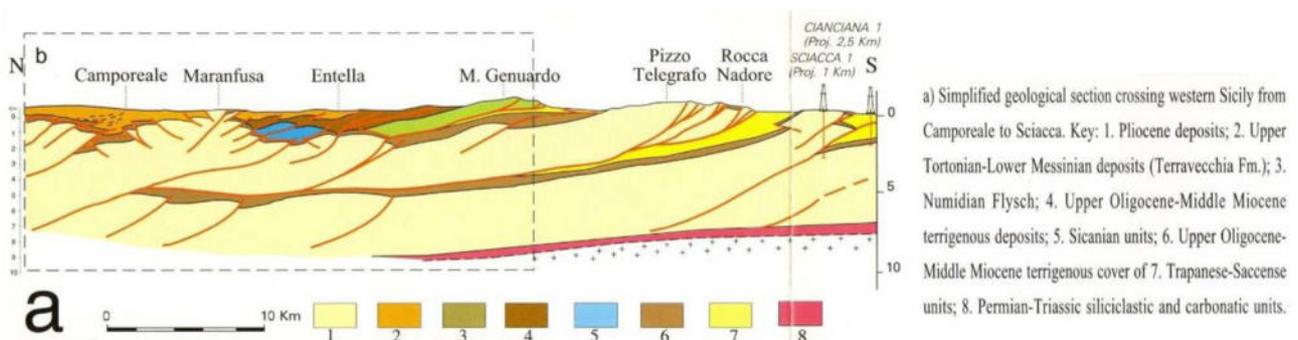


Figura 8.1. Profilo Camporeale-Sciacca, mostrante il raddoppio della Piattaforma Trapanese-Saccense, con il *leading edge* dell'unità superiore emergente in superficie in corrispondenza di Pizzo Telegrafo-Rocca Nadore. L'emergenza in superficie dell'unità inferiore è dovuta alla presenza di un *thrust* fuori sequenza. Da CATALANO *et alii* (2000).

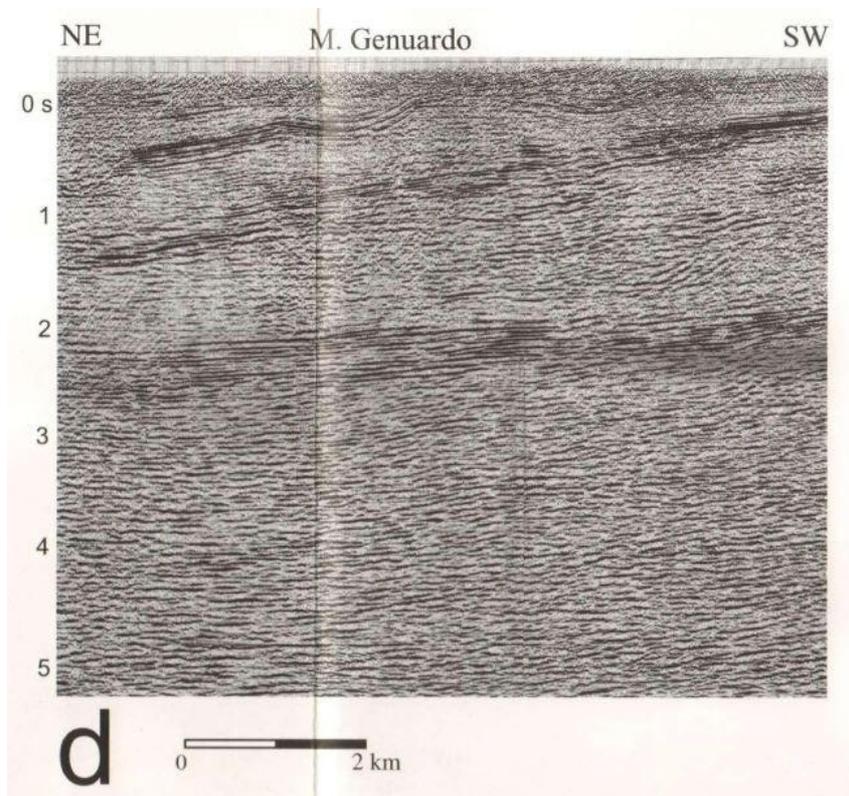
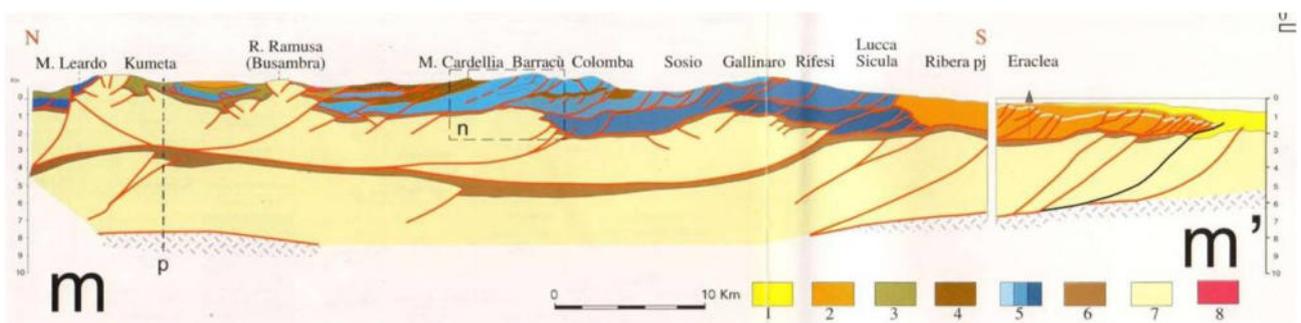


Figura 8.2. Esempio di profilo sismico attraverso il Monte Genuardo. Si veda l'ubicazione del profilo in Fig. 8.2 e si confronti l'immagine sismica con l'interpretazione mostrata in Figura 8.1. Da CATALANO *et alii* (2000).



m) Simplified geological section from the Kumeta ridge to the southern Sicani Mts. It shows the relationship between the basinal carbonate stack (Imerese to Sicanian) and the Trapanese-Saccense imbricate fan. Legend: 1. Plio-Pleistocene deposits; 2. Gela thrust wedge; 3. Numidian Flysch; 4. Upper Oligocene-Middle Miocene terrigenous cover of 5. Imerese to Sicanian units; 6. Upper Oligocene-Middle Miocene terrigenous cover of 7. Trapanese-Saccense units; 8. Carnian pelagic carbonates and marls.

m¹) The Miocene-Pleistocene rock body involved in the Gela accretionary wedge is shown in its submarine extent.

Figura 8.3. Profilo Kumeta-Pozzo Eraclea 1, mostrante il raddoppio della Piattaforma Trapanese-Saccense. L'emergenza in superficie della Rocca Busambra e quella della Kumeta sono dovute alla presenza di un thrust e di un backthrust fuori sequenza. Da CATALANO *et alii* (2000).

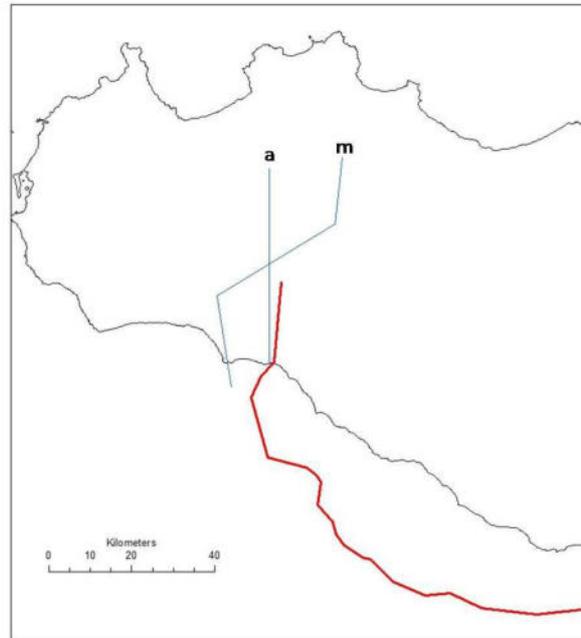


Figura 8.4. Traccia dei profili illustrati nelle figure 8.1 e 8.3. La linea rossa spessa indica la rampa frontale della Falda di Gela (parte sudorientale dell'area raffigurata) e l'intero tratto di passaggio tra la rampa frontale e la rampa laterale.

8.1. Sicilia Occidentale

Gli eventi sismici massimi di riferimento per quest'area sono il terremoto della Valle del Belice del 1968 (BOSCHI *et alii* 1995) e due terremoti responsabili della distruzione di Selinunte, il primo tra il 370 e il 400 avanti Cristo e il secondo tra il 330 e il 500 dopo Cristo (GUIDOBONI *et alii* 2002; GUIDOBONI 2007; BOTTARI *et alii* 2009).

Il terremoto del 1968 è rappresentato da una successione ravvicinata di scosse rovinose culminate con la scossa distruttiva delle ore 2:01 GMT del 15 gennaio, di magnitudo 5.9, che causò danni del X MCS a Gibellina, Montevago e Salaparuta (BOSCHI *et alii* 1995). I meccanismi focali delle scosse di energia più elevata ottenuti attraverso i primi arrivi delle onde P mostrano tutti assi di massimo stress sub-orizzontali e orientati da N-S a NNW-SSE. I piani di faglia, tuttavia, risultano mal vincolati con soluzioni che vanno da thrusts orientati WSW-ENE a faglie transpressive con scorrimento destro orientate NNW-SSE (McKENZIE 1972; GASPERINI *et alii* 1982; ANDERSON & JACKSON 1987). La ricostruzione del campo macrosismico di questo terremoto (BOSCHI *et alii* 1995; GUIDOBONI *et alii* 2007) mostra una propagazione del danno con una leggera amplificazione in senso N-S ed una debole attenuazione in senso W-E (v. **Figura 8.5**).

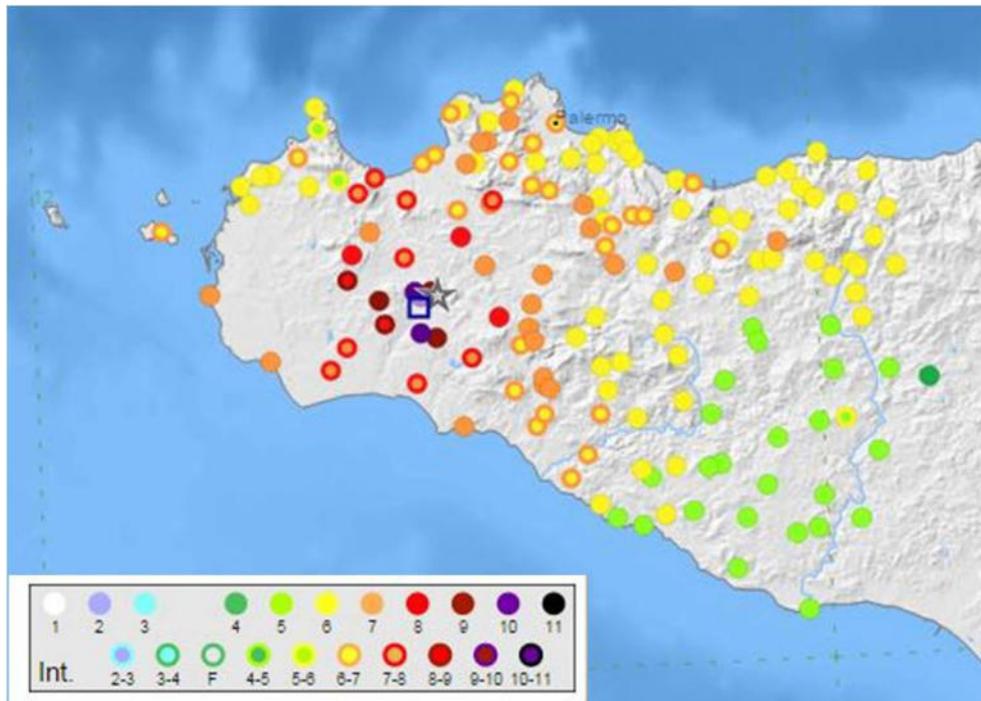


Figura 8.5. Campo macrosismico del terremoto del Belice del 1968 (piano quotato da LOCATI *et alii*, 2011).

SCANDONE *et alii* (1992) legano il terremoto del Belice ad un sistema di faglie transpressive destre orientate NNW-SSE aventi una funzione di svincolo atto ad accomodare l'arretramento differenziale dell'asse della fessura dell'avampaese in corrispondenza del quale la Falda di Gela è avanzata verso sud seppellendo in Sicilia Centrale gli elementi strutturali che in Sicilia Occidentale sono affioranti. Su questa interpretazione è stata basata in Sicilia la prima zonazione sismogenetica elaborata dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (v. MELETTI *et alii* 2000). Evidenze paleosismologiche raccolte nell'area di Salaparuta, Gibellina e Poggioreale, area epicentrale del terremoto, hanno portato MICHETTI *et alii* (1995) a riconoscere presso Gibellina una faglia probabilmente attiva durante il terremoto del 1968 che attraversa le calcareniti plioceniche con direzione NNW-SSE e movimento trascorrente destro, in accordo con i meccanismi focali del terremoto proposti da ANDERSON & JACKSON (1987). Questa faglia, denominata Faglia del Monte Porcello, è considerata da MICHETTI *et alii* (1995) un elemento tettonico di secondo ordine all'interno della Zona Sismogenetica della Sicilia Occidentale individuata nella zonazione sismogenetica del GNDT. Un'orientazione leggermente diversa viene proposta nel catalogo delle faglie capaci ITHACA che riporta una serie di faglie in terra e in *offshore* orientate NNE-SSW (Sistema Belice e Sistema Sciacca).

Una differente interpretazione della sorgente del terremoto del 1968 viene proposta da MONACO *et alii* (1996) i quali, basandosi su considerazioni di geologia regionale e su una prima valutazione dei danni del terremoto del 1968 elaborata da DE PANFILIS e MARCELLI (1968), ipotizzano come possibile struttura causativa un *thrust* cieco ad alto angolo orientato WSW-ENE e immergente verso NNW. La **Figura 8.6**, tratta da VITALE e SULLI (1997), mostra che i depositi

neogenici di tipo *thrust top* del Bacino del Belice mascherano una serie di *thrusts* ciechi sepolti che nell'interpretazione di MONACO *et alii* (1996) potrebbero essere responsabili del terremoto del 1968. Questa interpretazione è condivisa da LAVECCHIA *et alii* (2007) i quali ipotizzano in tutta la Sicilia un sistema di *thrusts* profondi che vanno a radicarsi addirittura nel mantello. Una struttura all'incirca W-E, infine, è proposta anche dall'INGV nel Database delle Sorgenti Sismiche Individuali sulla base della soluzione focale della scossa principale calcolata da MORELLI E PONDRELLI (1998) che indicherebbe un *thrust* con direzione W-E e immersione verso N con scorrimento obliquo sul piano di faglia.

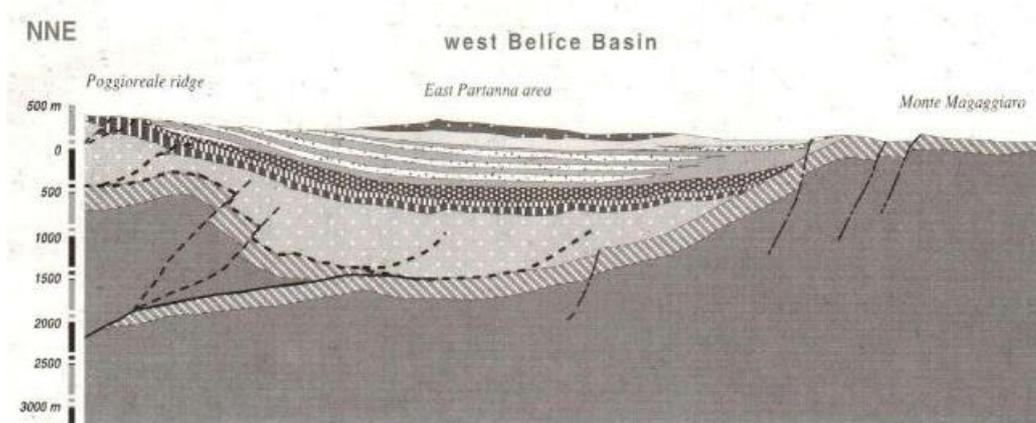


Figura 8.6. Assetto strutturale del Bacino del Belice mostrandone una piega di tipo *thrust-propagation-fold* sepolta sotto i depositi neogenici ritagliata da faglie inverse cieche. Da VITALE e SULLI (1997).

Più recentemente, sulla base di evidenze geologiche e geodetiche, BARRECA *et alii* (2014) individuano nella zona di Castelvetro un *thrust* attivo cieco, verosimilmente sismogenetico, che delimita un'anticlinale di tipo *fault-propagation fold* (Faglia di Campobello di Mazara-Castelvetro). Un prolungamento verso sud della faglia viene riconosciuto anche in *offshore*. I citati autori osservano che la faglia riconosciuta non è direttamente legata al terremoto del Belice del 1968, la cui area epicentrale cade alquanto spostata verso NE e la cui sorgente è ancora incerta, ma con ogni probabilità ha relazioni di causa-effetto con i due terremoti citati in precedenza responsabili della distruzione di Selinunte. Considerando il rigetto osservato su manufatti e tenendo conto delle relazioni empiriche lunghezza-magnitudo proposte da WELLS e COPPERSMITH (1994), viene calcolata per un terremoto associato a questa faglia nel caso di rottura dell'intero segmento una magnitudo massima intorno a 6, comparabile con quella del terremoto del 1968.

In Sicilia Occidentale le aree non escluse da SOGIN dall'essere scelte come potenziali siti per la localizzazione del Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi a Bassa e Media Attività e del connesso Parco Tecnologico (Area TP-05 Mazara del Vallo ed Area TP-07 Mazara del Vallo) cadono a non grande distanza dalla Faglia di Campobello di Mazara-Castelvetro, faglia che è stata riconosciuta attiva e capace di generare terremoti distruttivi (Figura 8.7).

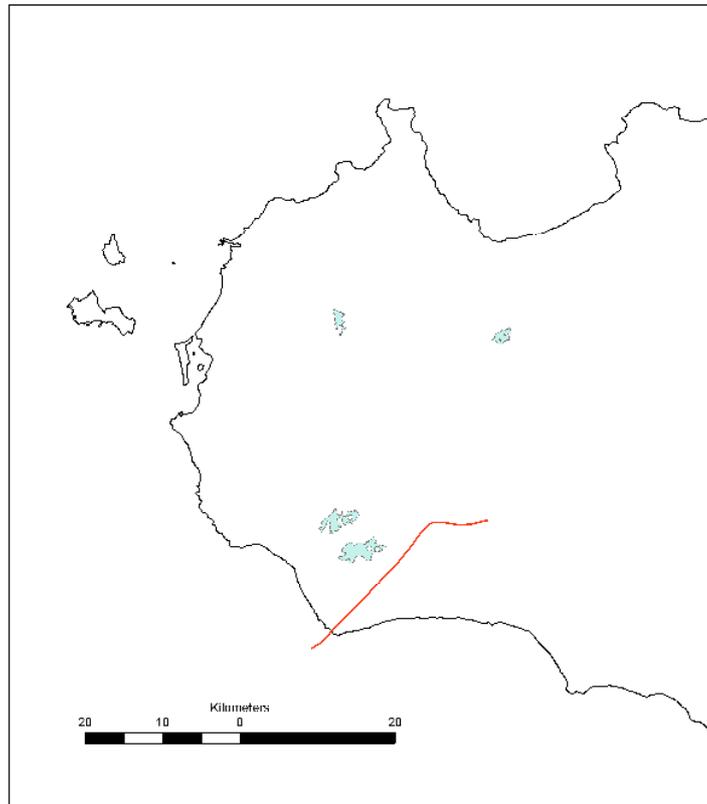


Figura 8.7. Ubicazione della faglia attiva di Campobello di Mazara-Castelvetrano riconosciuta da BARRECA *et alii* (2014) come possibile struttura causativa dei due terremoti che hanno distrutto Selinunte.

Considerando una distanza di sicurezza dalla faglia pari a 5 chilometri, buona parte dell'area TP-05 viene a trovarsi a distanze inferiori e pertanto dovrebbe essere esclusa sulla base di criteri sismotettonici. Non abbiamo elementi di giudizio circa le Aree TP-11 Paceco-Trapani e TP-09 Calatafimi-Segesta, a parte il fatto importante che Segesta, a differenza di Selinunte, non mostra traccia di distruzione o anche di danni gravi a seguito di terremoti. L'Area TP-09 Calatafimi-Segesta giace a meno di 10 chilometri dalla Faglia di Castellammare del Golfo riconosciuta nel Database ITHACA (<http://sgi.isprambiente.it/geoportal/catalog/content/project/ithaca.page>), ma nell'area non è noto alcun forte terremoto storico. Per queste due aree sarebbe opportuno disporre di ulteriori dati geologico-strutturali, in particolare di informazioni derivanti dalla sismica a riflessione. Tuttavia, in base alle conoscenze sismotettoniche oggi disponibili non ci si aspetta l'esistenza di forti terremoti dal momento che le aree sono abbastanza distanti dalla zona di taglio attiva che corre lungo il margine settentrionale della Sicilia e al tempo stesso sono troppo lontane dai fronti di compressione meridionali perché si attivino *thrusts* fuori sequenza.

8.2. Sicilia Centrale

In tutta la Sicilia Centrale e in Sicilia Orientale la struttura profonda della catena è quella di un sistema *duplex* (BIANCHI *et alii* 1987; BELLO *et alii* 2000) nel quale le unità di tetto sono rappresentate dalla Falda di Gela, prevalentemente composta da Flysch Numidico e da Argille Variegate delle Coltri Sicilidi), dalle Unità Panormidi e dalle Unità Imeresi-Sicane. Le unità sottostanti il *roof thrust* del *duplex*, comparabili con quelle esposte in Sicilia Occidentale, formano una pila più o meno complessa di embrici derivati dalla deformazione dell'avampaese ibleo-saccense (Figura 8.8).

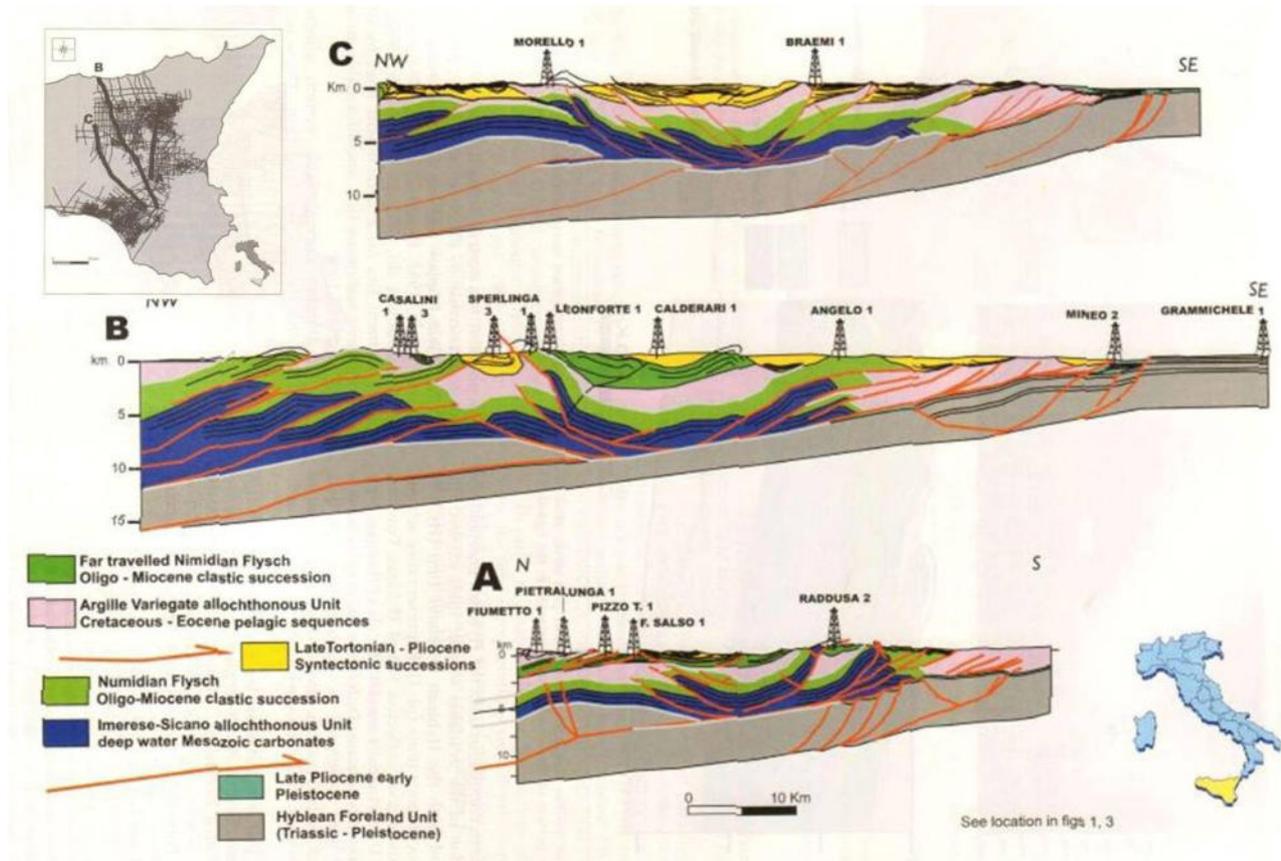


Figura 8.8. Profili geologici attraverso la Sicilia Centro-Orientale mostranti la struttura profonda della catena. Da BELLO *et alii* (2000).

Il termine Falda di Gela fu applicato da OGNIBEN (1969) solo alla parte frontale del cuneo orogenico, con il significato di un corpo alloctono messo in posto attraverso meccanismi gravitativi. Nella letteratura recente un'interpretazione alternativa, che non ci vede concordi, considera la Falda di Gela come un cuneo di accrezione costituito da depositi terrigeni miocenici strappati da un bacino di avanfossa interno al Plateau Ibleo e ricoperti in discordanza da depositi di tipo *thrust-top* del Messiniano-Pleistocene (ARGNANI 1987). Riferendoci al significato primario del termine, dovremmo parlare di Falda di Gela solo riferendoci alla parte frontale delle unità di tetto del sistema *duplex* (v. VITALE 1977; BELLO *et alii* 2000), messa in posto intorno alla fine del

Pleistocene inferiore e ripresa poi da deformazione compressiva fino a tempi recenti (PATACCA e SCANDONE 2004a). Nella realtà, è impossibile mettere un limite tra quello che è Falda di Gela e quello che non lo sarebbe, per cui spesso finiamo per parlare di Falda di Gela semplicemente riferendoci al tetto del sistema *duplex* in tutta la Sicilia centrale e meridionale. Le **Figure 8.9 e 8.10** illustrano i rapporti tra la Falda di Gela e i depositi sintettonici plio-pleistocenici al fronte della catena nell'offshore della Sicilia Meridionale.

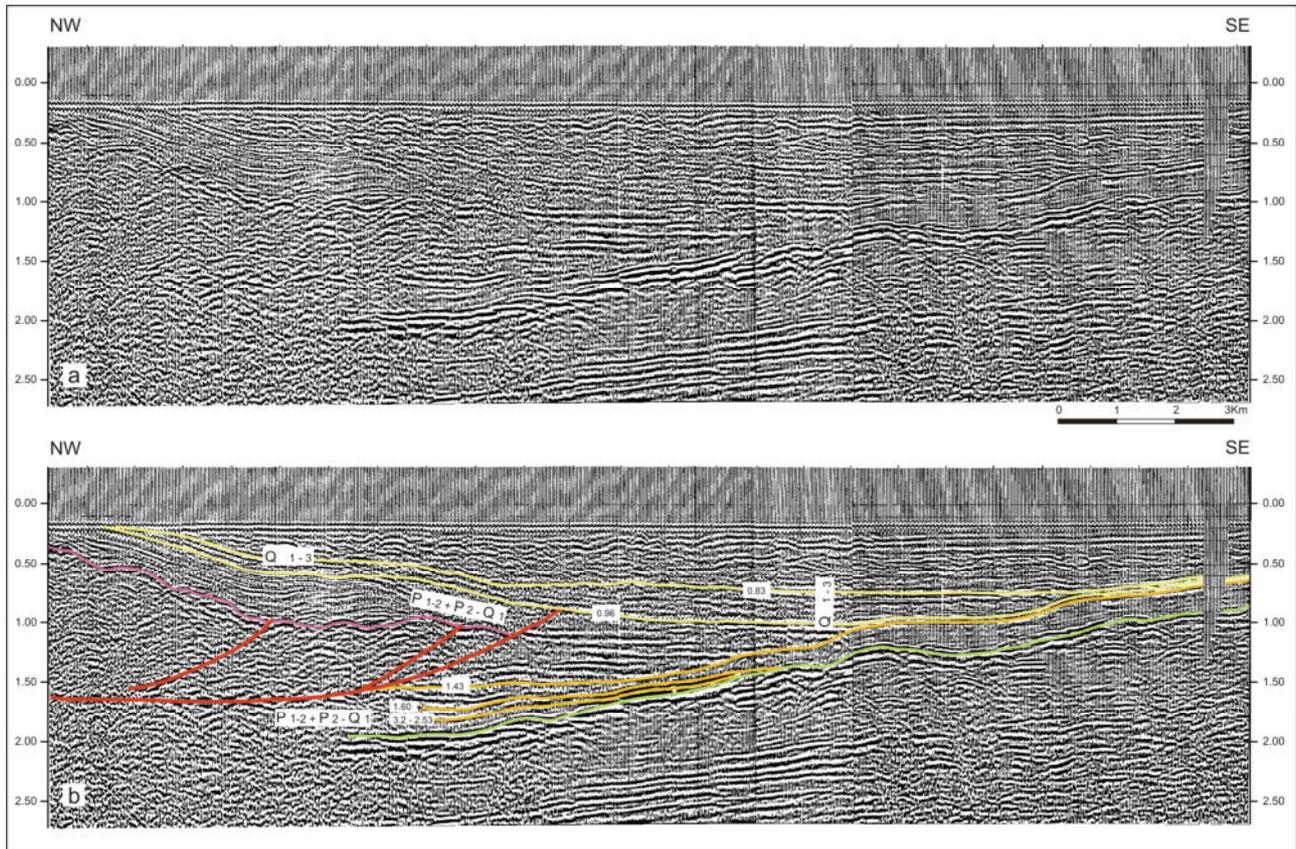


Fig.8.9. Profilo sismico attraverso il fronte della Falda di Gela nell'*offshore* della Sicilia Meridionale. I depositi plio-quaternari sono divisi in tre sequenze deposizionali strettamente controllate dalla tettonica compressiva. I numeri si riferiscono all'età in milioni di anni. Da PATACCA e SCANDONE (2004a).

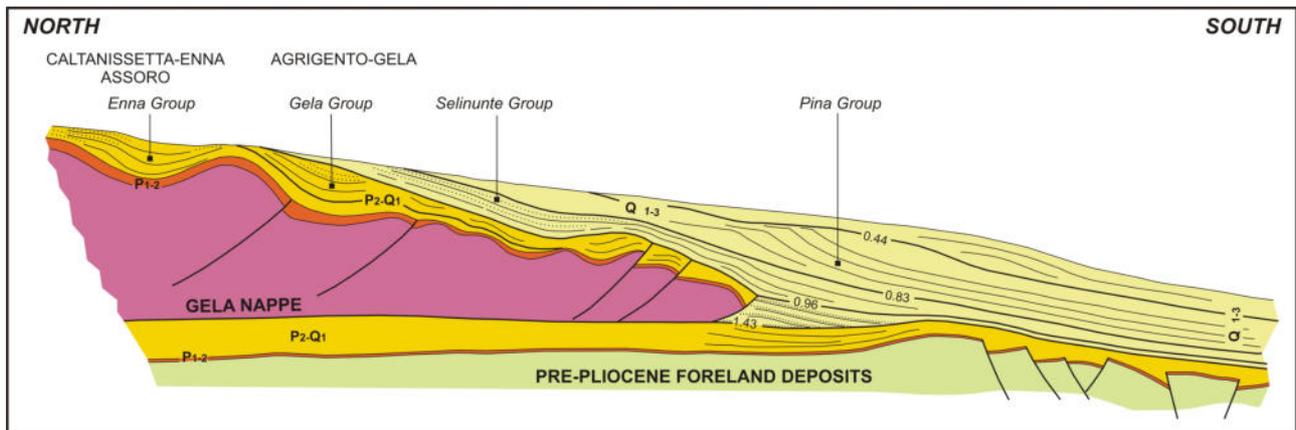


Figura 8.10. Sezione virtuale, non in scala, attraverso la Falda di Gela nell'*offshore* della Sicilia Meridionale. La sezione mostra l'assetto geometrico generale e l'architettura stratale interna dei depositi plio-quadernari sul fronte della catena e nel bacino d'avanfossa. Da PATACCA e SCANDONE (2004a).

In Sicilia Centrale non esistono in catalogo eventi sismici di riferimento e tutta l'area è molto mal definita dal punto di vista sismotettonico. Il Database of Individual Seismogenic Sources individua una stretta fascia sismogenetica, classificata come *Composite Source*, che in pratica corrisponde al fronte della Falda di Gela. La Falda di Gela, tuttavia, è costituita da terreni soffici la deformazione dei quali è essenzialmente di tipo duttile e non è quindi in grado, a nostro parere, di generare forti terremoti. Le possibili strutture sismogenetiche, pertanto, vanno ricercate nel duplex profondo e non nelle unità di tetto. Nel database ITHACA vengono riconosciute lungo la costa meridionale della Sicilia tra Sciacca e Licata, all'interno dell'alloctono e dei depositi *thrust top* che lo ricoprono, una serie di faglie della lunghezza generalmente inferiore ai quindici chilometri orientate NNE-SSW e subordinatamente W-E che vengono considerate faglie capaci. Queste strutture, riconosciute in superficie, non sembrano tuttavia aver alcun riscontro in strutture profonde.

In Sicilia centrale considerazioni di carattere sismotettonico fanno ritenere possibili terremoti di magnitudo anche elevata, con meccanismo di tipo compressivo, ma ubicati non al fronte della Falda di Gela bensì più a nord, in corrispondenza di rampe con direzione all'incirca W-E limitanti frontalmente embrici profondi che fanno parte del *duplex* sepolto. Il problema è rappresentato dal fatto che fondandosi sulle sole osservazioni di superficie in assenza di buoni dati di sismica a riflessione è impossibile, o quantomeno estremamente difficile, individuare gli elementi tettonici attivi. Con i dati oggi disponibili non siamo quindi in grado di dire se in prossimità dell'Area CL-18 Butera siano presenti o no strutture profonde attive potenzialmente sismogenetiche. Per l'Area PA-15 Petralia Sottana-Castellana Sicula, infine, valgono le stesse considerazioni fatte per le Aree TP-11 Paceco-Trapani e TP-09 Calatafimi-Segesta.

9. Conclusioni generali e raccomandazioni

A conclusione di questo rapporto riteniamo opportuno ribadire alcuni concetti espressi nelle pagine precedenti e raccomandare azioni mirate a migliorare la conoscenza delle aree ritenute da SOGIN idonee ad ospitare in Piemonte il Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi a

Bassa e Media Attività e il connesso Parco Tecnologico. Parliamo di "indagini supplementari" e non di "approfondimenti" per non ingenerare confusioni con i "Criteri di approfondimento" dei quali parla la Guida Tecnica 29 dell'ISPRA.

Innanzitutto va detto che l'aver noi escluso aree inizialmente non escluse da SOGIN dipende dal fatto che abbiamo dato credito a evidenze geologiche che in qualche modo hanno portato elementi nuovi rispetto al quadro sismotettonico pregresso. Questo vale, ad esempio per alcune aree della Puglia e della Sicilia Occidentale. Viceversa, il non aver escluso aree inizialmente non escluse da SOGIN può dipendere da due condizioni. La prima è che per queste aree esistono evidenze geologiche che fanno ritenere ingiustificato qualunque motivo di allarme di carattere sismotettonico. E' questo, ad esempio, il caso della Sardegna o della Basilicata. La seconda condizione, invece, è quella che non esistono elementi di esclusione per mancanza di evidenze contro, ma anche a favore. E' questo il caso, ad esempio, di alcune zone della Toscana e dell'Alto Lazio, nonché della Sicilia. E' in queste zone che raccomandiamo indagini supplementari reperendo innanzitutto, ove esistano, ulteriori dati di sismica a riflessione.

Nel seguito verranno ricapitolate le indagini supplementari raccomandate, partendo dal Piemonte ed arrivando alla Sicilia.

Piemonte.

- reperire ed analizzare linee sismiche che corrono attraverso le aree ubicate nel bacino di avanfossa (Aree TO-11A, TO-11B e TO-10);
- reperire ed analizzare ulteriori linee sismiche ad est della Linea VC-319 al fine di una migliore caratterizzazione dell'Area AL-9
- reperire ed analizzare linee sismiche attraverso le aree selezionate da SOGIN nella parte occidentale del Bacino di Asti (Aree TO-5 e TO-7).

Emilia-Romagna

- reperire ed analizzare linee sismiche ad ovest dell'Area PC-4 allo scopo di comprendere meglio il significato della Faglia Broni-Stradella e la possibile influenza di questa struttura sull'Area PC-4 in termini di comportamento sismotettonico.

Toscana

- reperire ed analizzare linee sismiche, ove esistano, attraverso l'Area SI-5 o in prossimità della stessa.

Lazio

- reperire ed analizzare linee sismiche, ove esistano, attraverso le Aree VT-35, VT-10, VT-19, VT-11, VT-20, VT-12, VT-15 e VT-16 o in prossimità delle stesse.

Sicilia

- reperire ed analizzare linee sismiche attraverso le Aree TP-11, TP-9, PA-15 e CL-18.

Un primo passo in direzione del reperimento di ulteriori linee sismiche è già stato compiuto, e si prevede una visita presso ENI nell'ultima settimana di gennaio 2015 per visionare il *dataset* di linee disponibili nelle aree sopra elencate.

Lavori citati

- ANDERSON H., JACKSON J., 1987. *Active tectonics of the Adriatic Region*. Geophys. J. R. Astron. Soc., **91**, 937-983.
- ARGNANI A., 1987. *The Gela Nappe: evidence of accretionary mélange in the Maghrebian foredeep of Sicily*. Mem. Soc. Geol. Ital., **38**, 419-428
- BARRECA G., BRUNO V., COCORULLO C., CULTRERA F., FERRANTI L., GUGLIELMINO F., GUZZETTA L., MATTIA M., MONACO C., PEPE F., 2014. *Geodetic and geological evidence of active tectonics in south-western Sicily (Italy)*. Journal of Geodynamics, **82**, 138-149.
- BASILI R., KASTELIC V., DEMIRCIOGLU M. B., GARCIA MORENO D., NEMSER E. S., PETRICCA P., SBORAS S. P., BESANA-OSTMAN G. M., CABRAL J., CAMELBEECK T., CAPUTO R., DANCIU L., DOMAC H., FONSECA J., GARCÍA-MAYORDOMO J., GIARDINI D., GLAVATOVIC B., GULEN L., INCE Y., PAVLIDES S., SESETYAN K., TARABUSI G., TIBERTI M. M., UTKUCU M., VALENSISE G., VANNESTE K., VILANOVA S., WÖSSNER J., 2013. *The European Database of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of the Project SHARE*. <http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>, doi: 10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF.
- BASILI R., G. VALENSISE, P. VANNOLI, P. BURRATO, U. FRACASSI, S. MARIANO, M.M. TIBERTI, E. BOSCHI, 2008. *The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology*. Tectonophysics, doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014
- BELLO M., FANTONI R., 2003. *Deep oil plays in Po Valley: Deformation and hydrocarbon generation in a deformed foreland*. AAPG Hedberg Conference "Deformation history, fluid flow reconstruction and reservoir appraisal in foreland fold and thrust belts". May 14-18, 2002, Palermo-Mondello (Sicily, Italy), 5 pp.
- BELLO M., FRANCHINO A., MERLINI S., 2000. *Structural model of Eastern Sicily*. Mem. Soc. Geol. Ital., **55**, 61-70.
- BENEDETTI L., TAPPONIER P., GAUDEMER Y., MANIGHETTI I., VAN DER WOERD J., 2003. *Geomorphic evidence for an emergent active thrust along the edge of the Po Plain: The Broni-Stradella fault*. Journal of Geophysical Research, **108**, 2238, doi: 10.1029/2001jb001546.
- BIANCHI F., CARBONE S., GRASSO M., INVERNIZZI G., LENTINI F., LONGARETTI G., MERLINI S., MOSTARDINI F., 1987. *Sicilia orientale: profilo geologico Nebrodi-Iblei*. Mem. Soc. Geol. Ital., **38**, 429-458.
- BOCCALETTI M., MARTELLI L. (Eds.), 2004. *Carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna Scala 1:250.000 e Note Illustrative*. Regione Emilia-Romagna - CNR.
- BONAFEDE M., FINETTI I.R., GAVARINI C., JAMIOLKOWSKI M., RANALLI G., SCANDONE P., 1994. *Centrale Policombustibile e terminale GNL Montalto di Castro. Relazione sintetica sulla sismicità del sito e sui criteri di progettazione e realizzazione adottati dall'ENEL*. Rapporto Interno Enel - Direzione Costruzioni.
- BOSCHI E., FERRARI G., GASPERINI P., GUIDOBONI E., SMRIGLIO G., VALENSISE G., 1995. *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*. ING-SGA, Bologna, 973 pp.

- BOSI C., CHIOCCI F.L., PAROTTO M., 1994. *Valutazione della sismicità del sito di Montalto di Castro. Supplemento di indagini geologiche richiesto dal Ministro dell'Ambiente*. Rapporto Interno Enel - Direzione Costruzioni.
- BOTTARI C., STIROS S.C., TERAMO A., 2009. *Archaeological evidence for destructive earthquakes in Sicily between 400 B.C. and A.D. 600*. *Geoarchaeology*, **24**(2), 147-175.
- CARMINATI E., LUSTRINO M., CUFFARO M., DOGLIONI C., 2010. *Tectonics, magmatism and geodynamics of Italy: what we know and what we imagine*. *Journal of the Virtual Explorer* **36**, 8.
- CASSANO E., ANELLI L., FICHERA R., CAPPELLI V., 1986. *Pianura padana interpretazione integrata di dati geofisici e geologici*. 73° Congr. Soc. Geol. Ital., (Roma, 29 sett.-4 ott. 1986), 27 pp.
- CASTELLO B., SELVAGGI G., CHIARABBA C., AMATO A., 2006. *CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002, versione 1.1*. INGV-CNT, Roma <http://csi.rm.ingv.it/>
- CASULA G., CHERCHI A., MONTADERT L., MURRU M., SARRIA E., 2001. *The Cenozoic graben system of Sardinia (Italy): geodynamic evolution from new seismic and field data*. *Marine and Petroleum Geology*, **18**, 863-888.
- CATALANO R., FRANCHINO A., MERLINI S. & SULLI A., 2000. *Central western Sicily structural setting interpreted from seismic reflection profiles*. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, **55**, 5-16.
- CERRINA FERONI A., MARTELLI L., MARTINELLI P., OTTRIA P., 2002. *Carta geologico-strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo alla scala 1:250.000 e Note Illustrative*. Regione Emilia-Romagna - CNR.
- CHERCHI A., MONTADERT L., 1982a. *Oligo-Miocene rift of Sardinia and the early history of the western Mediterranean basin*. *Nature*, **298**, 736-739.
- CHERCHI A., MONTADERT L., 1982b. *Il sistema di rifting oligo-miocenico del Mediterraneo occidentale e sue conseguenze paleogeografiche sul Terziario sardo*. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, **24**, 387-400.
- CINQUE A., ASCIONE A., CAIAZZO C., 2000. *Distribuzione spazio-temporale e caratterizzazione della fagliazione quaternaria in Appennino meridionale*. In: F. GALADINI, C. MELETTI & A. REBEZ (a cura di) "Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti. Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)". CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti - Roma 2000, 203-218.
- CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA, 1990a. *Structural Model of Italy 1:500.000 and Gravity Map*. *Quad. Ric. Sci.*, **3**(114), S.EL.CA., Firenze.
- CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA, 1990b. *Synthetic Structural-Kinematic Map of Italy*. In: CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA, 1990a "Structural Model of Italy 1:500.000 and Gravity Map", *Quad. Ric. Sci.*, **3**(114), S.EL.CA., Firenze.
- COCCO F., 2013. *Plio-Pleistocene tectonic evolution of Southern Sardinia*. Università degli Studi di Cagliari, Scuola di Dottorato in Ingegneria e Scienze per l'Ambiente e il Territorio, Dottorato in Scienze della Terra XXVI Ciclo, 181 pp.
- DE PANFILIS M., MARCELLI I., 1968. *Il periodo sismico della Sicilia occidentale iniziato il 14 Gennaio 1968*. *Annali di Geofis.*, **21**, 243-420.
- DISS WORKING GROUP, 2010. *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, © INGV 2010 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - All rights reserved; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.1.1

- D'OFFIZI S., 1994. *Overall seismotectonic modelling - a powerful tool in seismic hazard analyses: two applications in Central Italy and California (U.S.A.)*. *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, **36**(141-144), 331-361.
- ENEL 1984a. *Rapporto per la localizzazione di una centrale elettronucleare nella Regione Piemonte. Area PO 1*. Rapporto n. 8401, **12**.
- ENEL 1984b. *Rapporto per la localizzazione di una centrale elettronucleare nella Regione Piemonte. Area PO 2*. Rapporto n. 8402, **13**.
- ENEL 1986. *Rapporto per la localizzazione di un impianto nucleare nella Regione Lombardia*. 33 Vol., Rapporto interno.
- ENEL, 1993. *Valutazione della sismicità del sito di Montalto di Castro*. Rapporto interno Enel - Direzione Costruzioni.
- GASPARINI C., IANNACCONE G., SCANDONE P., SCARPA R., 1982. *Seismotectonics of the Calabrian Arc*. *Tectonophysics*, **84**, 267-286.
- GATTACCECA J., DEINO A., RIZZO R., JONES D.S., HENRY B., BEAUDOIN B., VADEBOIN F., 2007. *Miocene rotation of Sardinia: New paleomagnetic and geochronological constraints and geodynamic implications*. *Earth and Plan. Sc. Letters*, **258**, 359-377.
- GUEGUEN E., DOGLIONI C., FERNANDEZ M., 1998. *On the post-25 MA geodynamic evolution of the western Mediterranean*. *Tectonophysics*, **298**, 259-269.
- GUIDOBONI E., 2007. *Archeologia e terremoti: il caso dei grandi templi di Selinunte (Sicilia)*. *Geitalia*, **20**, 6-17.
- GUIDOBONI E., FERRARI G., MARIOTTI D., COMASTRI A., TARABUSI G., VALENSISE G., 2007. *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. INGV-SGA. <http://storing.ingv.it/cfti4med/>
- GUIDOBONI E., MUGGIA A., MARCONI C., BOSCHI E., 2002. *A case study in archaeoseismology: The collapses of the Selinunte temples (Southwestern Sicily): two earthquakes identified*. *Bull. Seismol. Soc. of America*, **92**, 2961-2982.
- KASTENS K.A., MASCLE J., AUROUX C.A., BONATTI E., BROGLIA C., CHANNELL J., CURZI P., EMEIS K.C., GLAÇON G., HASEGAWA S., HIEKE W., MASCLE G., MC COY F., MC KENZIE J., MENDELSON J., MÜLLER C., REHAULT J.P., ROBERTSON A., SARTORI R., SPROVIERI R., TORII M., 1988. *ODP Leg 107 in the Tyrrhenian Sea: insights into passive margin and back-arc basin evolution*. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **100**, 1140-1156.
- LAVECCHIA G., FERRARINI F., DE NARDIS R., VISINI F., BARBANO M.S., 2007. *Active thrusting as a possible seismogenic source in Sicily (Southern Italy). Some insights from integrated structural-kinematic and seismological data*. *Tectonophysics*, **445**, 145-167.
- MARCELLI L., PANNOCCHIA G., 1971. *Uno studio analitico sui dati ipocentrali di 10 terremoti avvenuti in Sicilia occidentale nel Gennaio 1968*. *Ann. Geofis.*, **24**, 287-306.
- McKENZIE D., 1972. *Active tectonics of the Mediterranean Region*. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, **30**, 109-185.
- LOCATI M., CAMASSI R., STUCCHI M. (a cura di), 2011. *DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>, DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11

- MELETTI C., PATACCA E., SCANDONE P., 2000. *Construction of a seismotectonic model: the case of Italy*. Pageoph, **157**, 11-35.
- MICHETTI A.M., BRUNAMONTE F., SERVA L., 1995. *Paleoseismological evidence in the epicentral area of the January 13, 1968, Belice (SW Sicily) earthquake*. In: SERVA L., SLEMMONS B.D. (Eds.) "Perspectives in Paleoseismology". Bull. Assoc. Eng. Geol., Spec. Publ. **6**, 127-139.
- MONACO C., MAZZOLI S. & TORTORICI L., 1996. *Active thrust tectonics in western Sicily (southern Italy): the 1968 Belice earthquake sequence*. Terra Nova, **8**, 372-381.
- MORELLI A., PONDRELLI S., 1998. *Il terremoto del Belice del 1968*. In: "Trenta anni di terremoti in Italia: dal Belice a Colfiorito", Erice 14-18 luglio 1998, Poster.
- OGGIANO G., FUNEDDA A., CARMIGNANI L., PASCI S., 2009. *The Sardinia-Corsica microplate and its role in the Northern Apennine geodynamics: new insights from the Tertiary intraplate strike-slip tectonics of Sardinia*. Boll. Soc. Geol. Ital., **128**(2), 527-539.
- OGNIBEN L., 1969. *Schema introduttivo alla geologia del confine calabro-lucano*. Mem. Soc. Geol. Ital., **8**, 453-763.
- PASCI S., 1997. *Tertiary transcurrent tectonics of North-Central Sardinia*. Bull. Soc. Géol. France, **168**, 301-312.
- PATACCA E., SCANDONE P., 2001. *Late thrust propagation and sedimentary response in the thrust belt-foredeep system of the Southern Apennines (Pliocene-Pleistocene)*. In: VAI G.B. & MARTINI I.P. (Eds.), "Anatomy of a mountain: The Apennines and adjacent Mediterranean basins". Kluwer Academic Publ., 401-440.
- PATACCA E., SCANDONE P., 2002. *Identificazione e valutazione delle strutture sismogenetiche afferenti ad aree identificate come idonee per la localizzazione del deposito nazionale dei residui radioattivi a bassa attività*. Convenzione di ricerca ENEA-RAD - Università degli Studi di Pisa.
- PATACCA E., SCANDONE P., 2004a. *The Plio-Pleistocene thrust belt-foredeep system in the Southern Apennines and Sicily (Southern Apenninic Arc, Italy)*. In: CRESCENTI U., D'OFFIZI S., MERLINI S., SACCHI L. (Eds.) "Geology of Italy". Special vol. Ital. Geol. Soc., IGC 32 Florence 2004, 93-129.
- PATACCA E., SCANDONE P., 2004b. *The 1627 Gargano earthquake (Southern Italy): identification and characterization of the causative fault*. Journal of Seismology, **8**, 259-273, ISSN: 1383-4649.
- PIERI M., GROPPI P., 1981. *Subsurface geological structure of the Po Plain*. CNR P. F. Geodinamica, Pubbl. n. 414., 11 pp.
- ROVIDA A., CAMASSI R., GASPERINI P., STUCCHI M. (a cura di), 2011. *CPTI 11, la revisione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>, DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11.
- SARTORI R., 1990. *The main results of ODP Leg 107 in the frame of Neogene to Recent geology of Perityrrhenian areas*. In: KASTENS K.A., MASCLE J., et alii (Eds.), Proc. ODP, Sci. Results, **107**, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 715-730.
- SCANDONE P., PATACCA E., MELETTI C., BELLATALLA M., PERILLI N., SANTINI U., 1992. *Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana*. In: CNR-GNDT

- "Zonazione e Riclassificazione Sismica". Atti del Convegno Annuale del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (Pisa, 25-27 giugno 1990), **1**, 119-135. Ed. Ambiente, Bologna 1992.
- SELLA M., TURCI C. & RIVA A., 1988. *Sintesi geopetrolifera della Fossa Bradanica (avanfossa della catena appenninica meridionale)*. Mem. Soc. Geol. Ital., **41**, 87-107.
- SERVA L., 1990. *Il ruolo delle Scienze della terra nelle analisi di sicurezza di un sito per alcune tipologie di impianti industriali: il terremoto di riferimento per il sito di Viadana (MN)*. Boll. Soc. Geol. Ital., **109**, 375-411.
- VITALE F. P., 1997. *The Belice and the Menfi basins: sequence stratigraphy and evolution during the Pliocene and the Early Pleistocene*. In: CATALANO R. (Ed.) "Origin of Sedimentary Basins", Palermo (Sicily) June 7-13. 1997. Eurobasin Conference, 8th Workshop of the ILP Task Force Field workshop in Western Sicily, Guidebook 48-58.
- VITALE F., SULLI A., 1997. *The regional pattern of the Belice and Menfi basins: a deep geologic profile*. In: CATALANO R. (Ed.) "Origin of Sedimentary Basins", Palermo (Sicily) June 7-13. 1997. Eurobasin Conference, 8th Workshop of the ILP Task Force Field workshop in Western Sicily, Guidebook 59-69.
- WELLS, D.L., COPPERSMITH, K.J., 1994. *New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement*. Bull. Seismol. Soc. Am. **84**, 974-1002.