

## **Task 1.4 Caratterizzazione delle sorgenti sismogenetiche nelle aree di “lacuna sismica”**

**Responsabile P. Montone, INGV Roma, Sezione Sismologia e Tettonofisica, INGV, Roma**

**Gruppo di lavoro:** M.G. Ciaccio, F.R. Cinti, L. Cucci, A. Frepoli, I. Hunstad, M.T. Mariucci, P. Montone, M. Moro, S. Pierdominici, S. Pondrelli, S. Stramondo – INGV

In questo primo anno sono stati portati avanti gli studi sulle due aree di lacuna preselezionate: la prima area è compresa tra San Sepolcro, Città di Castello, Gubbio e Colfiorito (chiamata lacuna di Città di Castello), la seconda è ubicata tra l'Irpinia i bacini del Melandro e Pergola, il Vallo di Diano e la Val d'Agri (chiamata lacuna dell'area della Val d'Agri).

Le nostre ricerche si basano su un approccio multidisciplinare mirato non solo ad una maggiore conoscenza e completezza di informazioni sulle due aree ma anche mirato a testare un compendio di metodi e tecniche utilizzabili come approccio futuro per lo studio di ipotetiche strutture sismogenetiche.

Le tecniche di indagine applicate si riferiscono a:

- analisi dati “geologici” nella accezione più vasta del termine in quanto sono stati presi in considerazione dati: geologici, strutturali, geomorfologici, idrografici, sondaggi, geo-elettrici;
- analisi dati sismologici con riferimento a: microsismicità ( $5 > M > 3$ ), CMT, sequenze sismiche;
- analisi dati di stress attivo;
- analisi dati di Interferometria SAR differenziale;
- analisi dati GPS (ove disponibili).

In questa relazione vengono presentati i risultati ottenuti finora, ma il raggiungimento degli obiettivi preposti attraverso la loro completa integrazione necessita ancora ulteriore tempo. Ricordo infine che l'analisi dati di Interferometria SAR differenziale verrà effettuata solo su queste due aree di lacuna e si considererà conclusa solo alla fine del progetto.

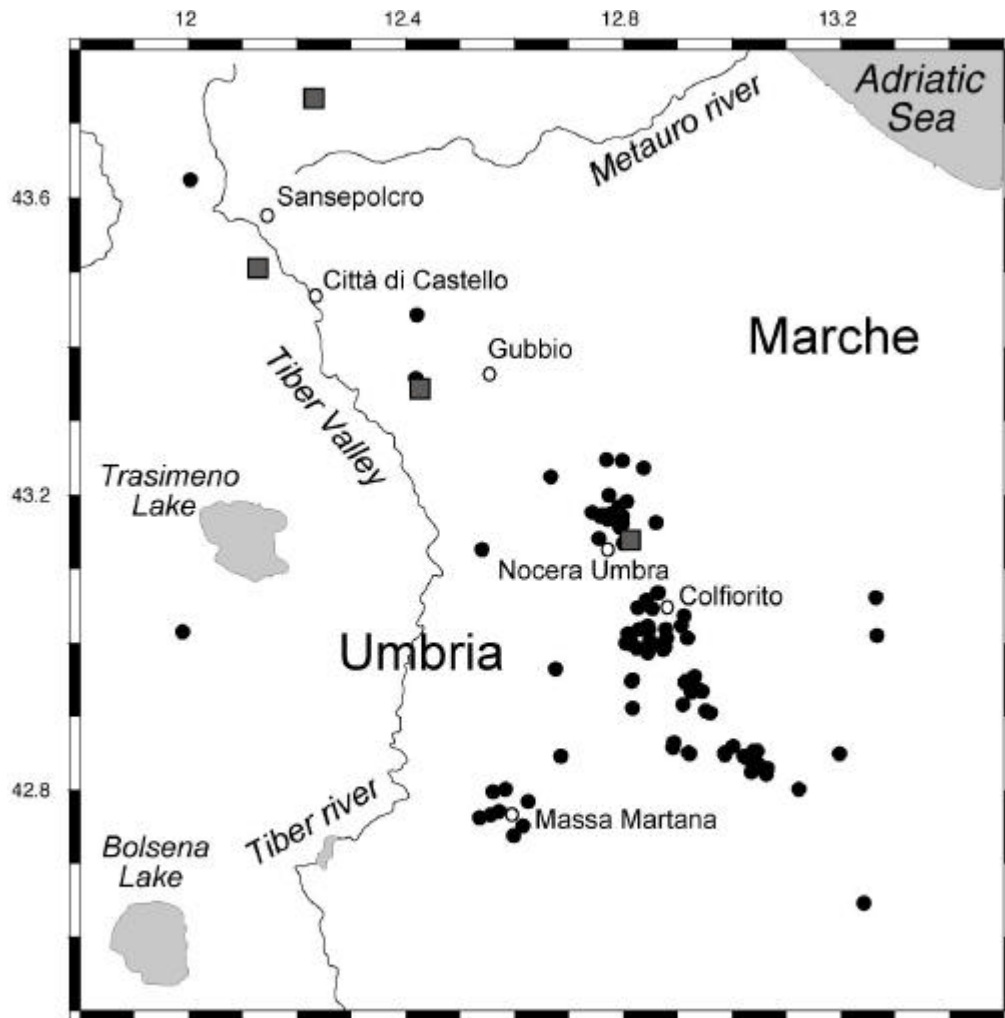
La presentazione dei dati è suddivisa per le due aree di lacuna.

### **AREA DI LACUNA DI CITTA' DI CASTELLO**

In collaborazione con l'Università degli Studi di Perugia, sono state interpretate diverse **linee sismiche a riflessione** che attraversano il settore compreso tra la Valle del Tevere e la catena al fine di ricostruire la geometria e cinematica delle principali strutture comprese nell'area. Attualmente sono state interpretate le linee che si estendono da Gualdo Tadino fino a Sud di Città di Castello: prossimamente terminerà l'interpretazione delle linee che campionano i primi km del volume crostale fino a Città di Castello. Le strutture distensive maggiori che emergono dalla interpretazione del set di linee sono costituite dalla faglia diretta a basso angolo immergente ad ENE, nota in letteratura come Faglia Altotiberina e dalla faglia diretta di Gubbio, immergente a SW ed antitetica rispetto alla ATF. In questo ultimo periodo gli studi sono stati concentrati nel determinare l'esatta conversione dei tempi in profondità, non sono state analizzate nuove linee sismiche.

Per quanto riguarda i dati di **sismicità**, sono stati analizzati 102 meccanismi focali di terremoti avvenuti nel periodo 1996-2001 all'interno di un'area selezionata tra San Sepolcro – Città di Castello-Colfiorito –Val Nerina (CDCN). Tutti gli eventi hanno magnitudo durata (Md) compresa tra 3.0 e 4.7. Gli eventi che appartengono alla sequenza sismica umbro-marchigiana iniziata il 26 Settembre 1997, e compresi tra questa data ed il 3 Novembre 1997, con magnitudo superiore a 3.0, non sono stati presi in considerazione in questo lavoro poiché già analizzati da Amato et al. (1998).

La sismicità crostale (Fig. 1) è principalmente concentrata nell'area colpita dalla sequenza sismica di Colfiorito del 1997. Un piccolo raggruppamento di eventi è localizzato presso Massa Martana, a SW dell'area di Colfiorito, ed appartiene alla sequenza sismica del Maggio 1997. La sismicità nell'area corrispondente all'alta Valle Tiberina, presso le località di San Sepolcro e di Città di Castello è quasi assente. Cinque eventi di questo data-set sono stati localizzati a profondità subcrustali comprese tra i 34 ed i 48 km, ed i loro epicentri sono indicati con i quadratini grigi in figura 1.



**Figura 1** – Distribuzione epicentrale dei 102 terremoti analizzati, del periodo 1996-2001, nell'area selezionata (CDCN). Con i pallini neri sono indicati gli eventi crostali, con i quadratini grigi gli eventi subcrustali (A. Frepoli).

Sono stati selezionati 46 meccanismi focali seguendo i criteri di selezione del programma FPFIT (Reasenberg and Oppenheimer, 1985) con l'uso dei due fattori di qualità  $Q_f$  e  $Q_p^*$ . All'interno della regione CDCN, 32 su 46 soluzioni focali sono di tipo normale (Fig. 2), 11 sono strike-slip e 3 non definibili perché con assi P e T entrambi inclinati di circa  $45^\circ$ . Nell'area corrispondente a quella colpita dalla sequenza sismica umbro-marchigiana del 1997, le soluzioni focali qui analizzate presentano gli assi T orientati prevalentemente in direzione NE-SW (Fig. 3), così come le soluzioni focali della sequenza sismica di Massa Martana (Maggio 1997).

(\*) Il primo fattore di qualità considera il numero di polarità discrepanti (cioè che cadono nei quadranti opposti, rispetto alla loro polarità, sulla sfera focale) in rapporto al numero complessivo di polarità. Con il fattore di qualità  $Q_p$  si viene a tener conto di quanto sono vincolati i due piani nodali rispetto alla distribuzione delle polarità sulla sfera focale. I

Fattori di qualità hanno valori decrescenti che vanno da A (qualità buona) a C (soluzione non buone). Tutte le soluzioni con uno dei due fattori di qualità con valore C sono state scartate.

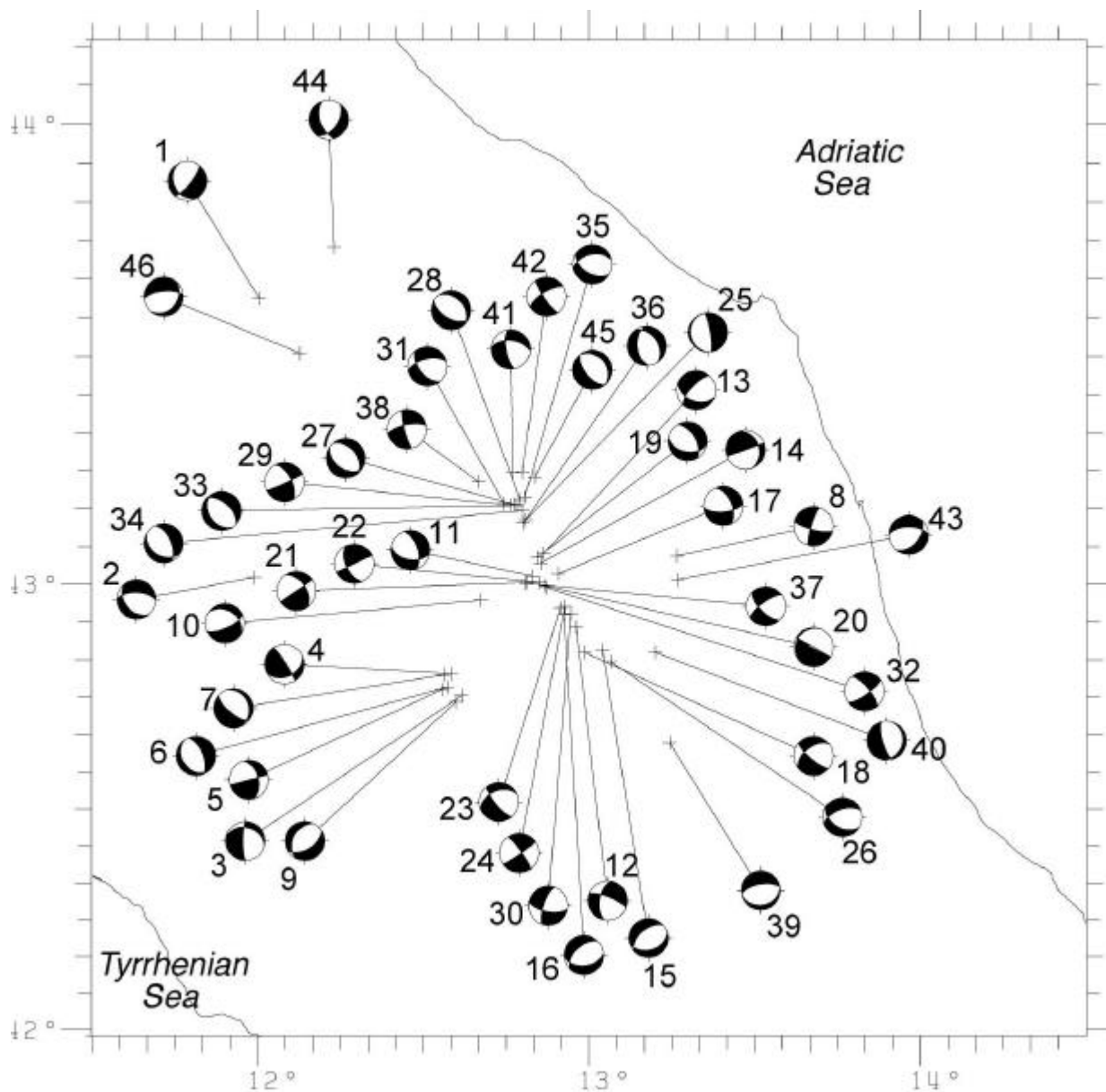
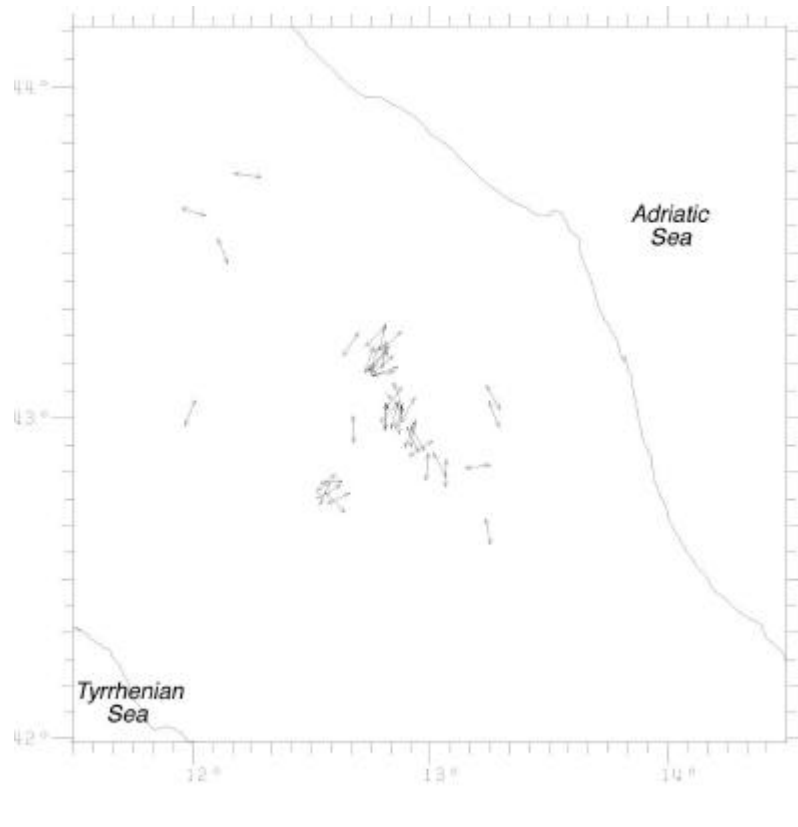


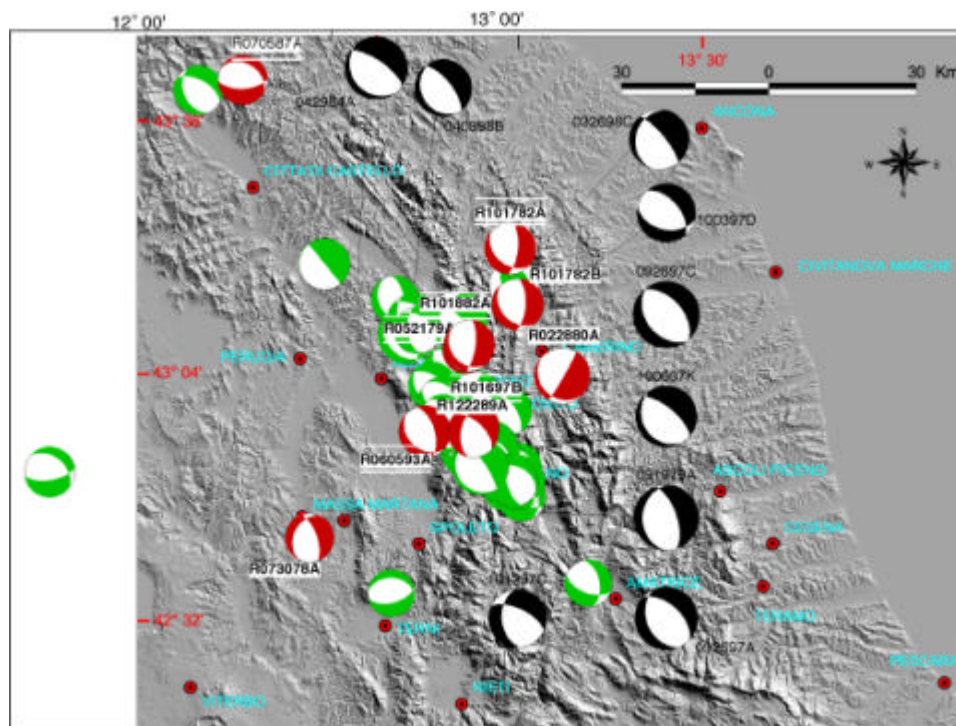
Figura 2 – Localizzazione dei 46 eventi dell'area CDCN con meccanismo focale selezionato (A. Frepoli).

Sono stati determinati i parametri di sorgente di eventi di magnitudo moderata attraverso il calcolo dei momenti tensori (CMT) accaduti nell'intorno della lacuna di Città di Castello dal 1977 ad oggi (\*\*). L'intervallo temporale si deve al fatto che solo dopo il 1977 i dati sismologici sono digitali. Tutti i momenti tensori determinati sono stati calcolati attraverso l'inversione di onde superficiali di periodo intermedio (dai 35 sec in su) usando un algoritmo simile a quello usato per il calcolo dei CMT standard (CMT regionali, RCMT). Nella fase preliminare abbiamo estratto dal NEIS, per entrambe le aree, tutti gli eventi con una magnitudo superiore a 4.5 e inferiore a 5.5 (per magnitudo maggiori di questa i parametri di sorgenti sono facilmente reperibili presso il Catalogo CMT dell'Università di Harvard). Dalle liste così ottenute sono stati tolti gli eventi per i quali erano già disponibili i parametri di sorgente o nel Catalogo CMT (Harvard) o nel Catalogo RCMT del Mediterraneo (INGV). Abbiamo così ottenuto una lista che includeva 26 eventi da studiare per l'area di Città di Castello (Tabella 1).



**Figura 3** – Distribuzione degli assi T dei 46 meccanismi focali dell'area CDCN (A. Frepoli).

Per ciascun evento in lista sono stati richiesti i dati digitali ad IRIS ed è stato fatto un tentativo di determinazione del tensore momento sismico. Nel caso dell'area di Città di Castello sono stati calcolati 10 meccanismi focali (Tabella 2, Fig. 4).



**Figura 4** – Mappa della zona di Città di Castello con tutti i momenti tensori disponibili per la zona. Standard CMT (Harvard) in nero, RCMT in verde, soluzioni calcolate qui in rosso (S. Pondrelli).

Per quanto riguarda l'analisi dei dati di **stress in situ** (breakout) in questo rapporto è stata inserita solo una Tabella riassuntiva (Tabella 3) comprendente i principali risultati dell'analisi. Per maggiori dettagli si può far riferimento al rapporto GNDT coordinato da M. Cocco "Sviluppo e Confronto di Metodologie per la Valutazione della Pericolosità Sismica in Aree Sismogenetiche: Applicazione all'Appennino Centrale e Meridionale".

## AREA DI LACUNA IRPINIA – VAL D'AGRI

Per quest'area le ricerche si sono rivolte sia alla raccolta di dati esistenti in diversi settori relativi a:

- pubblicazioni scientifiche di interesse per la conoscenza geologica e sismologica;
- dati disponibili di sismicità strumentale e storica forniti dai cataloghi nazionali e da fonti storiche specifiche;
- dati geologici, geomorfo-strutturali e geofisici, estesi anche alle zone strettamente adiacenti alle aree in esame;
- dati interpretativi presenti per le linee sismiche a riflessione,

sia all'analisi dei dati esistenti che all'acquisizione di nuovi dati secondo le metodologie in parte già descritte.

Per quanto riguarda i **dati di terreno** sono stati effettuati rilevamenti di campagna presso la zona Melandro-Pergola, Val d'Agri, Vallo di Diano che possono essere brevemente così riassunti (Fig. 5).

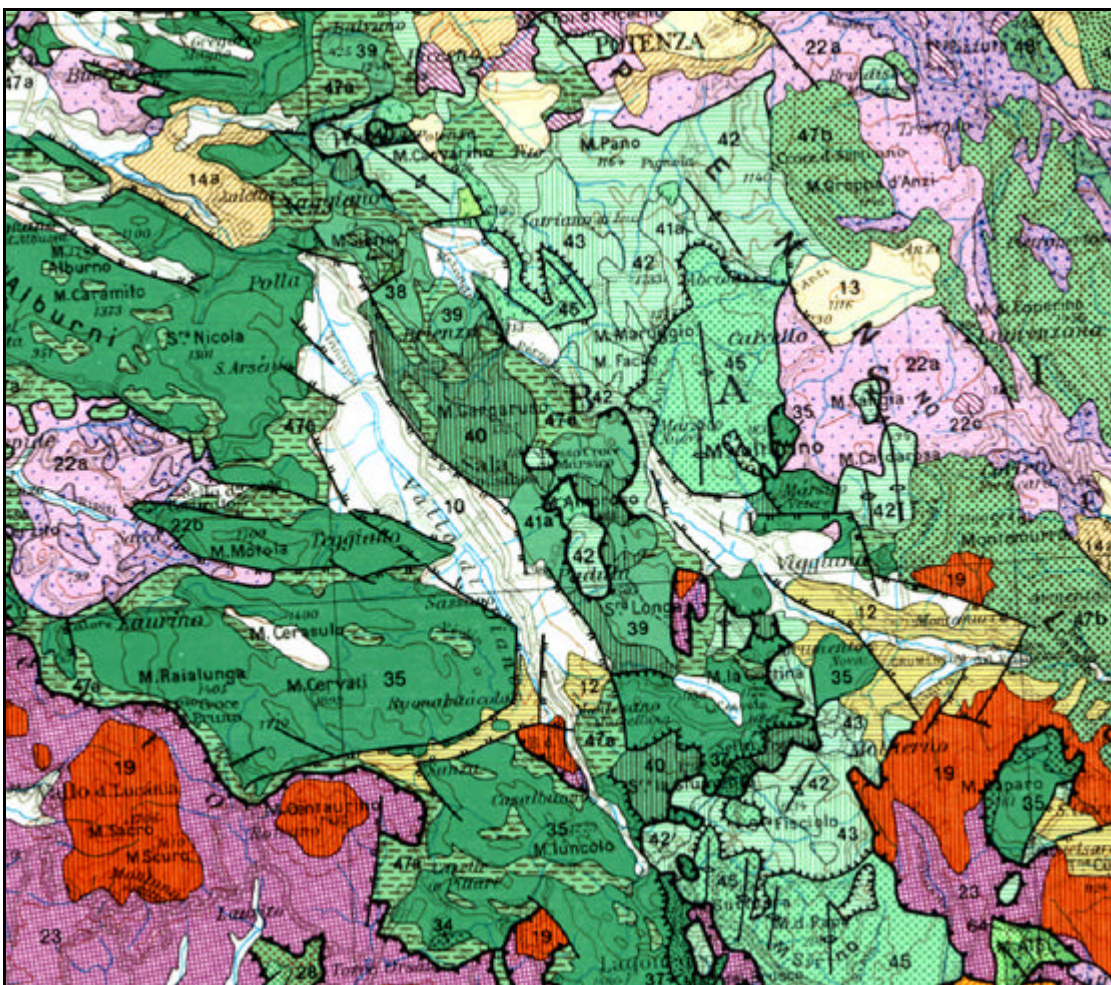


Figura 5 – Area d'investigazione della lacuna della Val d'Agri (da Bigi et alii, 1986).

Nella porzione settentrionale della zona considerata si collocano i bacini del Melandro e Pergola. Si sviluppano in asse (NW-SE) immediatamente a nord della Val d'Agri. Si presentano molto diversi rispetto all'adiacente bacino del F. Agri. In particolare sono state osservate anomalie idrografiche lungo il corso del Fiume Landro-Melandro-Pergola che è un tributario del F. Sele; in un tratto di pochi chilometri il corso principale presenta settori in cui ha inciso ed incide fortemente i propri depositi dando origine ad un minimo di 4 ordini di terrazzi, ed aree in cui alluviona e meandrica, presentando così un paesaggio piuttosto irregolare ed anomalo. Anche se da verificare in dettaglio, queste alternanze del deflusso sono probabilmente riconducibili ad un controllo tettonico locale. Infatti, il tasso di sollevamento regionale nell'area è elevato ma questo non necessariamente giustifica la complessità osservata in un settore così ristretto di bacino idrografico.

Sul versante orientale del M. La Serrapola è stata osservata una scarpata in roccia con direzione appenninica e ribassamento verso NE, allineata con il versante occidentale del bacino Melandro. Nell'immediato fondovalle, il F. Landro presenta una brusca deviazione e sembra incidere una soglia. Faccette triangolari sono presenti sul versante sud-occidentale del bacino Pergola.

L'insieme delle osservazioni anche se del tutto in via preliminare potrebbe suggerire la presenza di una struttura adriatico-vergente lungo i bordi occidentali dei due bacini e poco più a nord. Ovviamente la definizione di parametri quali l'estensione, l'eventuale segmentazione e soprattutto la definizione dell'attività recente o meno della struttura richiedono approfondimenti ulteriori e l'acquisizione di elementi vincolanti.

Si stanno raccogliendo informazioni su dati di sottosuolo disponibili presso comuni ed altri enti locali. Per ora si hanno a disposizione alcuni sondaggi eseguiti per scopi diversi da studi di neotettonica, utili per capire l'andamento del substrato ed anche per ottimizzare gli stendimenti di geoelettrica che prevediamo di eseguire al più presto.

I due bacini drenano in direzione opposta rispetto alla Val d'Agri ed in un questo contesto si investiga anche l'area del relativo spartiacque presso l'abitato di Pergola.

Sulla base delle indicazioni fornite dal lavoro Benedetti et al. 1998, abbiamo seguito in campagna la traccia di faglia mappata lungo il bordo orientale della Val d'Agri ad immersione tirrenica ed indicata come responsabile del terremoto del 1857. La presenza di una struttura nella porzione più settentrionale della valle è testimoniata dalla presenza di faccette triangolari. La perplessità maggiore sta nel tratto a meridione. Abbiamo osservato una lieve inflessione su depositi recenti all'interno della valle ma la natura e la continuità va accertata.

Studi in corso nella zona avviati da ricercatori afferenti ad altri Enti e mirati alla ricostruzione del bedrock in Val d'Agri saranno presi in considerazione ed integrati con i nostri dati per ottimizzare le operazioni di prospezione del sottosuolo.

Recentemente, Barchi et al. (Convegno Crop 04, novembre 2001) hanno analizzato i profili di **sismica a riflessione** profonda che attraversano i bacini recenti dell'Appennino meridionale tra la valle del Tanagro e la Val D'Agri. Lo spunto centrale di questo lavoro è stato quello di utilizzare i dati disponibili di sismica a riflessione per vincolare, almeno in parte, la geometria e la cinematica delle faglie quaternarie nel settore. Infatti, i profili sismici mostrano con chiarezza che la formazione del Vallo di Diano è in relazione ad una faglia principale immergente verso WSW, che borda il lato orientale del bacino stesso e consentono di risolvere altri dettagli sull'evoluzione tettonico-sedimentaria del bacino, nonché di apprezzare la geometria delle faglie minori, sintetiche ed antitetiche, legate alla *master fault*: Sicuramente di più difficile interpretazione sono le immagini disponibili per la Val d'Agri, in questo caso le prime osservazioni effettuate necessitano di ulteriori vincoli utilizzando i dati di stress attivo (stress in situ, sismicità storica e attuale) e dati sulla geologia locale.

E' stata localizzata una **sequenza sismica** avvenuta nel periodo Aprile-Giugno 1996, con i dati dalle stazioni della rete sismica mobile dell'INGV (Fig. 6). La massima magnitudo degli eventi della sequenza è 3.4; la profondità è inferiore ai 10 km. La sequenza si localizza sul versante sud-

occidentale della Val d'Agri con eventi distribuiti in un raggio di circa 5 km. I dati proiettati in sezione (lungo una fascia di ampiezza di 10 km) mostrano un maggior addensamento fra i 4 e 7 km di profondità ed una debole immersione verso il settore adriatico. Si sottolinea che è in elaborazione il completamento del dataset con l'inserimento di dati provenienti da RSNC e dalla rete dell'Università della Calabria. Questo consentirà una maggiore definizione e vincolo della struttura attivatasi, nonché la possibilità di calcolare i meccanismi focali per gli eventi di maggiore magnitudo e quindi si preferisce rimandare a dopo modelli sulla struttura.

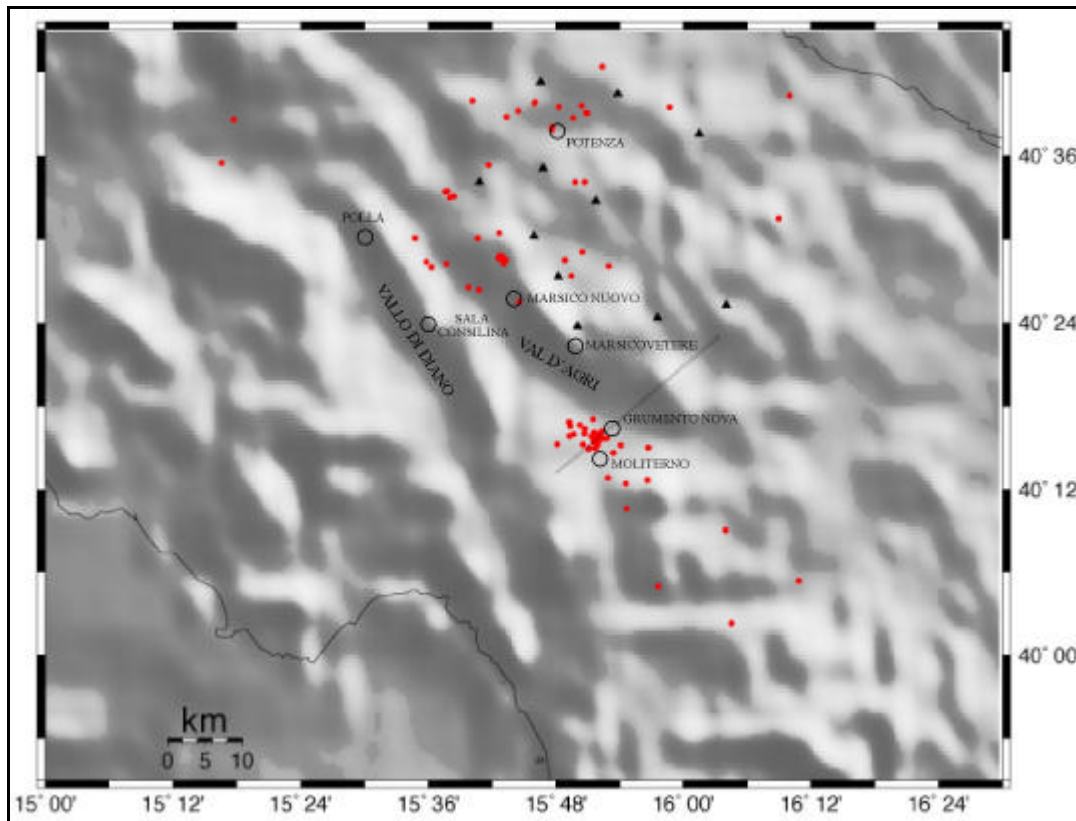


Figura 6 – Distribuzione epicentrale della sequenza sismica di aprile-maggio 1996 (L. Cucci).

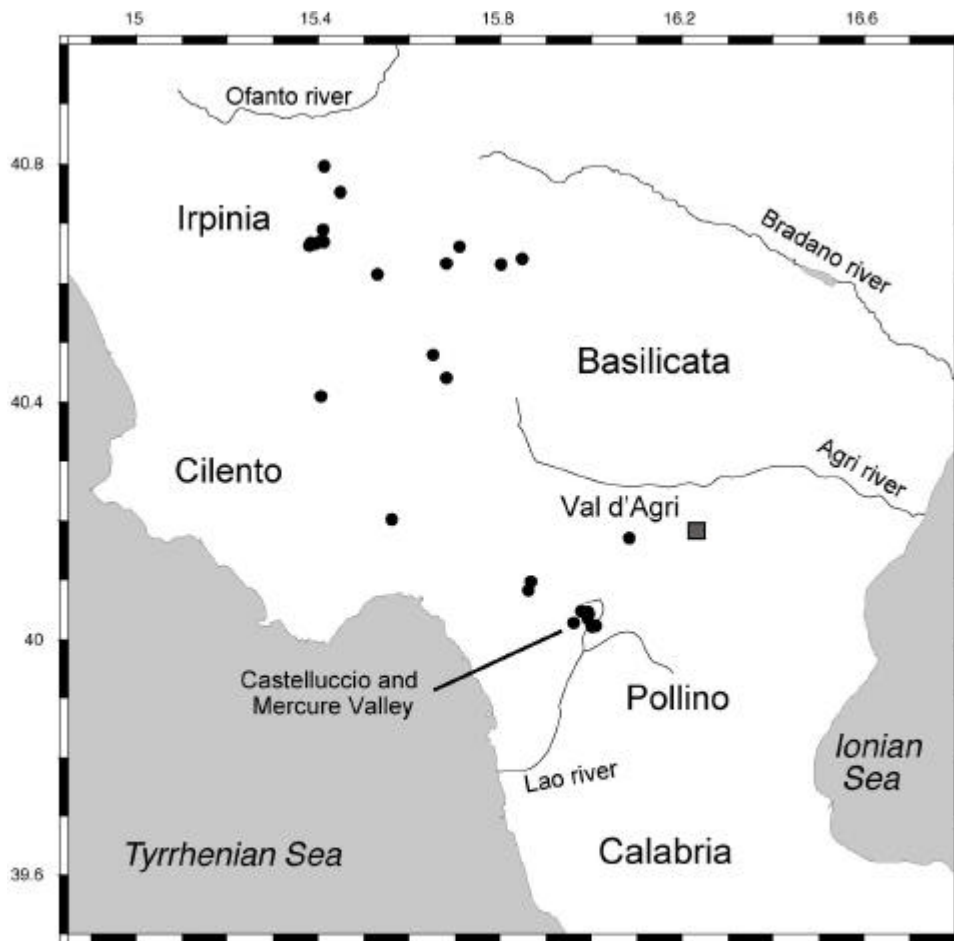
Relativamente ai dati di **sismicità** sono state analizzate 28 soluzioni focali relative ad eventi avvenuti nel periodo 1996-2001 nell'area che si estende dalla Val d'Agri all'Irpinia (VDAI) , con magnitudo durata (Md) compresa tra 3.0 e 4.9.

Gli eventi di magnitudo superiore a 3.0 sono localizzati all'interno di una estesa area tra l'Irpinia e il Massiccio del Pollino (Fig. 7). Solo alcuni eventi sono concentrati in due piccoli raggruppamenti: il primo è localizzato in prossimità della faglia dell'Irpinia del terremoto del 1980, ed appartiene alla sequenza sismica del 1996 cominciata con l'evento del 3 Aprile, di magnitudo  $M_I=4.9$  (Cocco et al., 1999); il secondo gruppo è relativo alla piccola sequenza del Settembre 1998 di Castelluccio, nella Valle del Mercure presso il confine Basilicata-Calabria. Di tutti e 28 gli eventi solo quello del 4 Aprile 1996, di magnitudo  $M_d=3.4$ , presenta una profondità subcrustale, ed è localizzato nella area della Val d'Agri.

Da questo data-set abbiamo selezionato 17 soluzioni focali seguendo i criteri di selezione indicati dal programma FPFIT (Reasenberg and Oppenheimer, 1985) attraverso i due fattori di qualità  $Q_f$  e  $Q_p$  (\*).

La regione VDAI è caratterizzata dalla presenza di meccanismi focali di tipo normale e strike-slip (Fig. 8). Soltanto una soluzione focale delle 17 esaminate appartiene alla categoria non definibile. Nel gruppo degli eventi della sequenza dell'Irpinia del 1996, l'evento più forte ( $M_I=4.9$ ) mostra un asse T orientato NNE-SSW (Fig. 9). L'orientazione degli assi T per le altre soluzioni focali nell'area

in studio è abbastanza eterogenea (Fig. 9). L'unico evento subcrustale analizzato in questa regione presenta una soluzione di tipo strike-slip con asse T orientato E-W (soluzione n. 3 in Fig. 7).



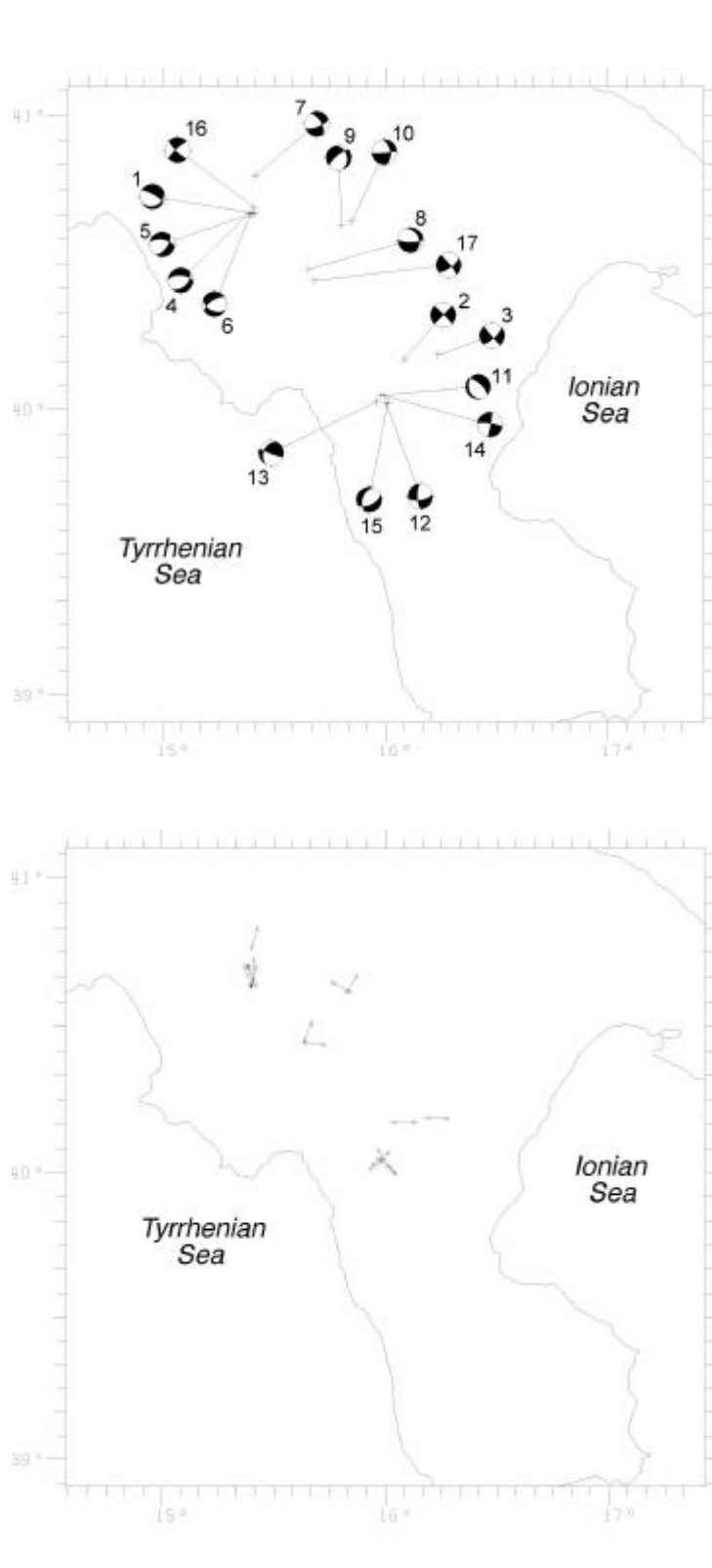
**Figura 7** – Distribuzione epicentrale dei 28 terremoti analizzati, del periodo 1996-2001, nell'area Val d'Agri-Irpinia (VDAI). I pallini neri indicano gli eventi crostali, i quadratini grigi gli eventi subcrustali (A. Frepoli).

Anche per quest'area si è cercato di determinare i parametri di sorgente di eventi di magnitudo moderata con il **calcolo dei momenti tensori** (CMT) accaduti nell'intorno dell'area della Val d'Agri dal 1977 ad oggi (\*\*). E' stata ottenuta una lista che include 35 eventi per l'area della Val d'Agri (Tabella 4).

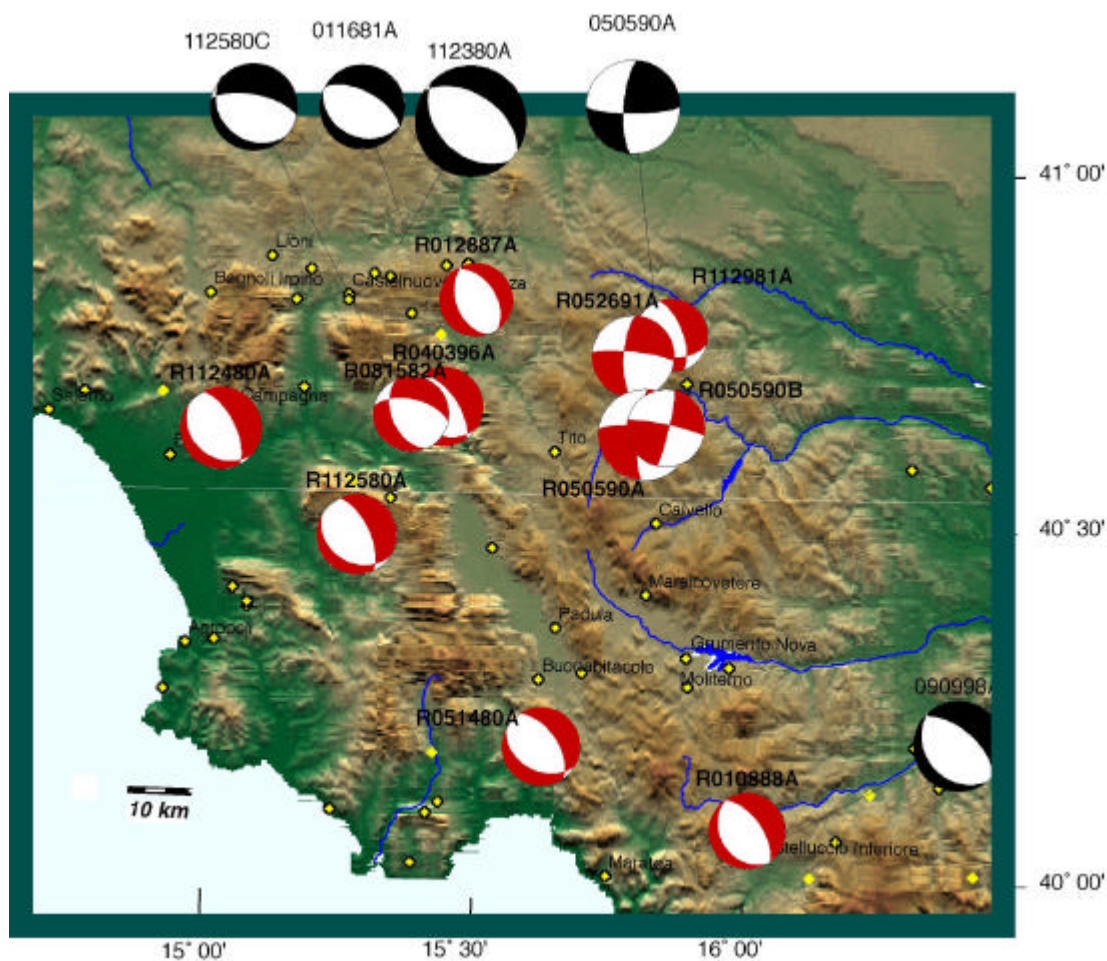
Per ciascun evento in lista sono stati richiesti i dati digitali ad IRIS ed è stato fatto un tentativo di determinazione del tensore momento sismico. Sono stati calcolati 12 meccanismi focali (Tabella 5, Fig. 10). C'è da precisare che per la Val d'Agri, nella lista si trovavano molti eventi appartenenti alla sequenza del terremoto dell'Irpinia del 1980. Tra questi sono stati studiati solo quelli con magnitudo superiore o uguale a 5.



**Figura 8** – Localizzazione dei 17 eventi dell'area VDAI con meccanismo focale selezionato (A. Frepoli).



**Figura 9** – Distribuzione degli assi T dei 17 meccanismi focali dell'area VDAI (A. Frepoli).



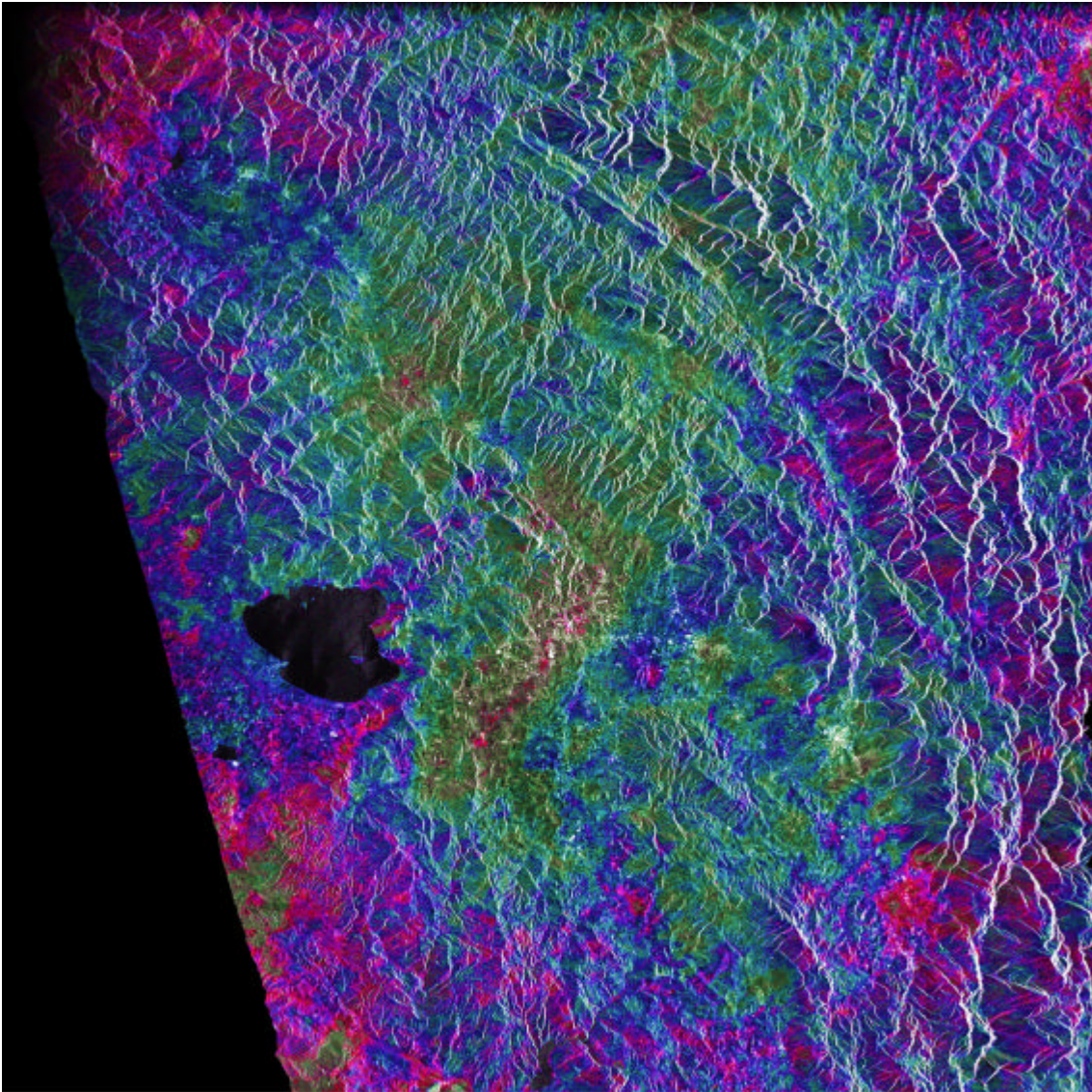
**Figura 10** – Mappa della zona della Val d'Agri con tutti i momenti tensori disponibili per la zona. Standard CMT (Harvard) in nero, le soluzioni calcolate qui in rosso (S. Pondrelli)

In relazione agli studi sulle **deformazioni geodetiche da misure GPS** per entrambe le aree, l'analisi dei dati di triangolazione della Rete Geodetica Italiana del secondo ordine, conservati nell'archivio dell'Istituto Geografico Militare, ha evidenziato che per tali dati non è stata redatta una monografia contenente la storia di ogni singolo vertice dalla sua prima istituzione ad oggi. Non è stato dunque possibile valutare la perfetta coincidenza tra la materializzazione del vertice attuale e quella a cui si riferiscono i dati storici. In assenza di tale coincidenza, il confronto tra le coordinate storiche e quelle ottenute da una successiva misura GPS è impossibile. La distribuzione dei vertici della rete non si è dimostrata tale da consentire stime di deformazione geodetica per entrambe le aree riconosciute come lacune sismiche.

In alternativa è stata esplorata la possibilità di utilizzare la rete GPS IGM95, dell'Istituto Geografico Militare, come prima misura per il calcolo del campo di spostamento su un intervallo di tempo più breve.

Per quanto riguarda il contributo della **Interferometria SAR Differenziale**, questa tecnica mirata all'individuazione di eventuali movimenti del suolo in zone di "lacune sismiche" dovrebbe portare a risultati significativi alla fine del progetto e verrà applicata solo a queste due aree di lacuna. Nel primo anno di attività sono stati completati e sviluppati i primi punti tra quelli previsti. In particolare:

È stata conclusa una prima selezione di dati SAR che coprono temporalmente gli anni dal 1991 alla fine del 2000. Le serie temporali sono state utilizzate per definire le coppie interferometriche ottimali. È iniziato il "processing" di parte delle immagini, relative ad una delle due aree di studio.



**Figura 11** – Interferogramma tandem sovrapposto all'immagine modulo (S. Stramondo).

Sono state create le mappe di coerenza per alcune coppie interferometriche. Sono stati realizzati interferogrammi differenziali relativi ad una delle due aree in esame.

Per le aree oggetto di studio, Città di Castello e Vallo di Diano – Val d'Agri, il numero di scene complete SAR ERS1-ERS2 acquistate ad oggi è di 30 unità, 15 per ciascuna (si vedano le tabelle di seguito). I frames coprono ciascuno pienamente l'area d'interesse. La disponibilità di un DEM esterno a 25 m per le due aree e la scelta di coppie interferometriche ottimali permette di eliminare il contributo topografico, lasciando in evidenza solo eventuali movimenti superficiali.

Per Città di Castello anzitutto è stata compiuta una verifica sulla bontà dei dati SAR e sulla qualità del DEM, utilizzando una coppia di dati SAR tandem (le due immagini sono prese con un intervallo temporale di un giorno). L'interferogramma ottenuto risulta piatto e non mostra residui significativi (Fig. 11). Gli altri due interferogrammi realizzati hanno una spaziatura temporale di circa 3 anni. La coerenza si riduce fortemente, probabilmente a causa di un cambiamento delle proprietà dielettriche del suolo dovute a variazioni atmosferiche. Non sono evidenti features significative.

- Attività previste nei prossimi mesi:
- Si proseguirà il processing dei dati, anche per l'area di Vallo di Diano – Val d'Agri.
- Verranno realizzati tutti gli interferogrammi possibili con le immagini a disposizione.

- Per migliorare la coerenza si procederà con tecniche di “stacking” dei dati.
- Si inizierà ad analizzare gli interferogrammi ed utilizzare il loro contenuto informativo congiuntamente ad altri dati (GPS, sismologici...).
- Gli interferogrammi andranno ad integrare il GIS previsto in questo progetto.

Dati SAR relativi all’area di **Città di Castello** attualmente a disposizione.

Track:351

Frame:2736

Satellite	Date	Orbit
E1	21/04/92	4003
E1	13/10/92	6508
E1	20/07/93	10516
E1	02/11/93	12019
E1	13/07/95	20880
E1	26/10/95	22383
E1	18/04/96	24888
E1	06/08/98	36912
E2	27/10/95	2710
E2	19/04/96	5215
E2	22/08/97	12229
E2	24/04/98	15736
E2	09/04/99	20746
E2	28/04/00	26257
E2	11/08/00	27760

Primi dati analizzati.

E2 5215 19/04/96

E2 20746 09/04/99

E1 24888 18/04/96

E2 20746 09/04/99

E2 5215 19/04/96

E1 24888 18/04/96

Dati SAR relativi all’area di **Vallo di Diano – Val d’Agri** attualmente a disposizione.

Track:222

Frame:2790

Satellite	Date	Orbit
E1	17/05/92	04375
E1	21/06/92	04876
E1	26/07/92	05377
E2	05/07/95	01078
E1	12/09/95	21753
E1	13/07/95	20880
E1	06/06/93	09886
E1	11/07/93	10387
E1	20/07/93	10516
E2	11/10/00	28633
E1	13/07/95	20880
E1	28/07/98	36783
E1	21/09/99	42795
E2	19/04/00	26128
E2	02/08/00	27631

Tutti i risultati ottenuti finora sono stati inseriti all'interno del GIS che quanto prima sarà accessibile a tutti in partecipanti al progetto.

Tabella 1: eventi selezionati per la zona di Città di Castello. Per quelli contrassegnati da un asterisco è stato possibile determinare i parametri di sorgente.

Anno	Mese	Giorno	hh mm ss.ss	Lat.	Long.	Prof.	Magnitudo	
1977	03	25	20 41 11.40	43.60	12.12	35	4.70	
1978	07	30	05 19 24.30	42.65	12.46	10	4.70	*
1978	10	22	08 40 00.00	43.62	13.40	33	4.90	
1979	03	16	10 46 28.00	42.92	12.78	33	5.10	
1979	05	21	17 32 10.80	43.13	12.86	10	5.10	*
1979	09	19	21 52 50.70	42.81	13.02	10	4.50	
1980	02	28	21 04 40.80	42.82	12.99	10	5.10	*
1980	05	24	20 16 05.80	42.85	13.16	10	4.50	
1982	10	17	06 45 37.09	43.12	12.59	13	4.60	*
1982	10	17	10 56 47.68	43.16	12.59	16	4.70	*
1982	10	18	15 29 23.83	43.13	12.63	19	4.60	*
1984	04	30	21 04 54.65	43.24	12.46	5	4.60	
1984	04	30	22 39 52.31	43.26	12.52	9	4.60	
1986	01	23	17 38 58.51	43.15	12.94	22	4.70	
1987	07	05	13 12 36.88	43.78	12.23	11	4.50	*
1989	12	22	06 48 13.69	43.06	12.76	33	4.70	*
1993	06	05	19 16 16.83	43.12	12.68	8	4.90	*
1996	10	20	19 06 55.35	42.60	13.28	10	4.70	*
1997	09	26	09 33 48.34	43.04	12.78	10	4.70	
1997	09	26	09 47 38.66	43.16	12.75	10	5.30	
1997	10	12	21 52 35.64	42.92	12.92	10	4.60	
1997	10	14	16 24 42.29	42.94	12.75	10	4.50	
1997	10	14	23 23 28.47	42.93	12.86	10	4.70	
1997	10	16	04 52 55.60	42.98	12.89	10	4.50	
1997	11	08	15 31 54.20	42.90	12.94	10	4.60	
1998	03	21	17 57 52.61	42.95	12.83	10	4.50	

Tabella 2: Strike, dip e slip dei piani focali e momento sismico (mantissa ed esponente) per le nuove soluzioni calcolate per la zona di Città di Castello.

Mese	Giorno	Anno	Strike1	Dip1	Slip1	Strike2	Dip2	Slip2	Momento dynecm	Esp.
02	28	80	134	20	-165	30	85	-70	3.87	23
05	21	79	299	30	-98	128	61	-85	1.98	22
06	05	93	135	33	-112	342	59	-76	1.15	23
07	05	87	300	34	-63	88	60	-107	6.14	22
07	30	78	206	35	-49	340	65	-114	4.62	22
10	16	97	118	35	-88	295	55	-92	1.50	22
10	17	82A	132	38	-137	6	65	-60	10.75	22
10	17	82B	139	34	-129	3	65	-67	11.72	22
10	18	82	142	27	-131	7	70	-72	8.49	22
12	22	89	192	51	-43	312	58	-132	9.11	22

Tab.3 - Summary of well data and borehole breakout analysis .

n.	Lat. N	Lon. E	Zone	Depth (m)	Anal. Int. (m)	Breakout int. (m)	length (m)	Shmin+-sd.	Q	Leakoff tests			id.n	References
										depth (m)	Sv (Mpa)	SH (Mpa)		
1	43,381	12,485	Pietralunga (PG)	5600	248-5559	500-5541	1431	11+-29	D	4763	126		3	MONTAM97; MARIAM99
2	43,232	12,283	Perugia	4763	466-4062	618-2481	277	77+-23	C	4763	137		2	MONTAM97; MARIAM99
						3446-3993								
3	40,633	15,701	Baragiano (PZ)	5760	5045-5390	5050-5377	73	59+-11	B					MARIAM98
4	40,459	15,802	Val d'Agri (PZ)	4405	3356-4390	3753-4367	253	41+-12	B	2763	70	62	47	Bs1 AMATMO95; AMATMO97
5	40,408	15,908	Calvello (PZ)	4390	200-4064	2307-3723	149	13+-33	D					Bs4 AMATMO95; AMATMO97
6	40,407	15,907	Calvello (PZ)	4722	3023-4722	3203-4161	17	29+-25	D					Bs3 AMATMO95; AMATMO97
						4433-4602								
7	40,341	15,994	Val d'Agri (PZ)	4400	1820-2726				E					Report: Southern Apennine
8	40,335	15,933	Val d'Agri (PZ)	3862	3138-3862	3153-3776	121	52+-11	B	1387	35	54	35	Bs6 AMATMO95; AMATMO97
9	40,332	15,984	Val d'Agri (PZ)	4090	1700-2993	1702-2109	12	23+-17	D					Bs5 AMATMO95; AMATMO97
10	40,327	15,937	Val d'Agri (PZ)	4166	3163-4161	3670-3927	30	43+-22	C	1908	49	66	45	Bs7 AMATMO95; AMATMO97
11	40,315	16,031	Val d'Agri (PZ)	4910	4216-4882	4224-4638	155	42+-24	C	2752	70	40	36	Bs2 AMATMO95; AMATMO97
12	40,184	15,909	Moliterno (PZ)	4203	780-1965		81	321+-23	E					Report: Southern Apennine

Tabella 4: eventi selezionati per la zona della Val d'Agri. Per quelli contrassegnati da un asterisco è stato possibile determinare i parametri di sorgente.

Anno	Mese	Giorno	hh mm ss.ss	Lat.	Long.	Prof.	Magnitudo	
1980	05	14	01 41 03.80	40.46	15.85	24	4.50	*
1980	11	23	18 52 06.30	41.11	15.28	10	4.80	
1980	11	23	19 04 02.70	40.67	15.60	10	4.80	
1980	11	23	19 06 44.90	40.72	15.59	10	4.70	
1980	11	23	19 37 44.30	40.85	15.35	10	4.90	
1980	11	23	20 06 16.80	40.97	15.37	10	4.60	
1980	11	23	20 55 26.00	40.80	15.30	10	4.50	
1980	11	23	23 43 31.70	40.83	15.31	10	4.60	
1980	11	24	00 23 59.50	40.89	15.26	10	5.10	*
1980	11	24	02 19 22.90	40.77	15.36	10	4.50	
1980	11	24	03 03 53.70	40.90	15.33	10	4.90	
1980	11	25	14 57 54.20	40.77	15.32	10	4.70	
1980	11	25	17 06 44.00	40.70	15.47	10	5.10	*
1980	11	26	06 06 09.90	40.69	15.64	10	4.50	
1980	11	26	08 31 06.10	40.97	15.35	10	4.60	
1980	11	26	10 47 52.40	40.91	15.45	10	4.50	
1980	11	26	14 55 40.70	41.02	15.24	10	4.70	
1980	11	30	01 51 47.60	40.52	15.73	10	4.60	
1980	11	30	07 41 58.00	40.85	15.33	10	5.10	*
1980	12	01	19 04 29.60	41.02	15.28	10	4.60	
1980	12	03	23 54 24.20	40.74	15.48	10	4.90	
1980	12	04	00 04 55.70	40.86	15.51	10	4.70	
1981	01	09	00 12 49.20	40.77	15.76	10	4.50	
1981	01	15	11 12 42.80	40.88	15.43	10	4.50	
1981	11	29	05 06 47.03	40.74	15.64	33	4.90	*
1982	08	15	15 09 49.91	40.81	15.36	10	4.80	*
1986	07	23	08 19 50.18	40.68	15.66	14	4.60	
1987	01	28	05 33 21.89	40.95	15.47	10	4.60	*
1988	01	08	13 05 46.55	40.08	16.01	10	4.80	*
1989	05	29	11 19 12.56	40.59	15.76	25	4.50	
1990	05	05	07 21 18.00	40.74	15.85	12	4.60	*
1990	05	05	07 38 12.33	40.75	15.81	15	5.00	*
1991	05	05	17 16 57.03	40.27	15.95	33	4.60	
1991	05	26	12 26 00.27	40.73	15.77	8	5.20	*
1996	04	03	13 04 34.52	40.76	15.49	10	4.90	*

Tabella 5: Strike, dip e slip dei piani focali e momento sismico (mantissa ed esponente) per le nuove soluzioni calcolate per la zona di Val D'Agri.

Mese	Giorno	Anno	Strike1	Dip1	Slip1	Strike2	Dip2	Slip2	Momento dynecm	Esp.
01	08	88	148	30	-86	324	60	-92	1.41	23
01	28	87	160	45	-79	326	46	-100	8.16	22
04	03	96	123	30	-110	325	62	-79	2.80	23
05	05	90	278	75	-167	184	78	-15	3.39	24
05	05	90	282	83	173	13	83	7	2.06	23
05	14	80	119	38	-112	326	56	-74	2.23	23
05	26	91	183	71	-9	276	81	-160	5.25	23
08	15	82	158	48	-45	282	59	-128	11.97	22
11	24	80	131	29	-110	333	63	-79	4.52	23
11	25	80	122	30	-119	335	64	-74	3.11	23
11	29	81	104	41	-138	340	64	-58	7.28	22

## Referenti analisi dati:

---

dati "CMT" S. Pondrelli: [pondrelli@ingv.it](mailto:pondrelli@ingv.it).

dati "microsismità" A. Frepoli: [frepoli@ingv.it](mailto:frepoli@ingv.it).

dati "linee sismiche" M.G. Ciaccio: [ciaccio@ingv.it](mailto:ciaccio@ingv.it); P. Montone : [montone@ingv.it](mailto:montone@ingv.it)

dati "geologico-strutturali" F.R. Cinti: [cinti@ingv.it](mailto:cinti@ingv.it); P. Montone : [montone@ingv.it](mailto:montone@ingv.it)

dati "stress in situ" M.T. Mariucci: [mariucci@ingv.it](mailto:mariucci@ingv.it); [montone@ingv.it](mailto:montone@ingv.it); [pierdominici@ingv.it](mailto:pierdominici@ingv.it)

dati "immagini SAR": S. Stramondo: [stramondo@ingv.it](mailto:stramondo@ingv.it)

dati "GPS": I. Hunstad: [hunstad@ingv.it](mailto:hunstad@ingv.it)

dati "sequenze sismiche": Luigi Cucci: [cucci@ingv.it](mailto:cucci@ingv.it)

dati "GIS": M.Moro: [moro@ingv.it](mailto:moro@ingv.it)

censimento dati esistenti: S. Pierdominici: [pierdominici@ingv.it](mailto:pierdominici@ingv.it)

## Riferimenti bibliografici

Amato et al. (1998). The 1997 Umbria-Marche, Italy, earthquake sequence: a first look at the main shocks and aftershocks, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 2861-2864.

Barchi et alii (2001) -

Benedetti et al. 1998

Reasenber, P. and D. Oppenheimer (1985). FPFIT, FPLOT and FPPAGE: FORTRAN computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions, *U.S. Geol. Surv. Open-File Rep.* 85-739.