



Università degli Studi di Catania

DETERMINAZIONE DEI MECCANISMI FOCALI E DEL TENSORE DELLO SFORZO IN ITALIA MERIDIONALE

Tesi di Dottorato di:
dott. Filippo Falà

Tutor:
prof. Stefano Gresta

Coordinatore:
prof. Carmelo Monaco

Dottorato di Ricerca - XXIII ciclo
Geodinamica e Sismotettonica

INDICE

Premessa	1
1. Inquadramento geologico-strutturale	4
2. Sismicità della Sicilia orientale	9
3. Rete sismica e strumentazione	12
4. Localizzazioni ipocentrali	14
5. Meccanismi focali	17
5.1. Introduzione	17
5.2. Costruzione dei meccanismi focali	20
6. Tensore degli sforzi	24
7. Programmi di calcolo utilizzati	28
7.1. Analisi delle forme d'onda: <i>SeismPol</i>	28
7.2. Localizzazioni ipocentrali: <i>HYPOELLIPSE</i>	34
7.3. Meccanismi focali: <i>FPFIT</i>	39
7.4. Meccanismi focali integrati:	42
7.5. Campo di sforzo:	45
8. Analisi dei risultati	49
8.1. Modelli di velocità utilizzati	49
8.2. Localizzazioni ipocentrali	51
8.2.1 Isole Eolie e Sicilia Nord-orientale	54
8.2.2 Etna	56
8.2.3 Sicilia Sud-orientale	59
8.3. Soluzioni focali	61

8.3.1 Isole Eolie	63
8.3.2 Sicilia Nord-orientale	65
8.3.3 Etna	67
8.3.4 Sicilia Sud-orientale	70
8.4. Soluzioni del tensore degli sforzi	72
8.4.1 Introduzione	72
8.4.2 Isole Eolie	74
8.4.3 Sicilia Nord-orientale	79
8.4.4 Isole Eolie e Sicilia Nord-orientale	82
8.4.5 Etna	85
8.4.6 Sicilia Sud-orientale	88
9. Discussione e conclusioni	94
Appendice	105
Bibliografia	122

PREMESSA

L'attuale assetto geologico della Sicilia orientale, è da inquadrare in un contesto di convergenza nord-sud tra le placche Africana e Euroasiatica, iniziata nel Neogene-Quaternario. In questo scenario alquanto articolato, in cui si colloca la regione in studio, coesistono e interagiscono sforzi di compressione ed estensione, che influenzano lo stile deformativo a scala locale. Studi precedenti, basati su osservazioni di tipo strutturale, dati GPS e sismologici, sono stati condotti in Sicilia orientale al fine di identificare il campo di sforzi che caratterizza la regione (*Monaco e Tortorici*, 1995; *Neri et al.*, 2005; *Musumeci et al.*, 2005; *Billi et al.*, 2006; *Mattia et al.*, 2009).

Da evidenze strutturali, morfologiche e dati cinematici, lungo le faglie Quaternarie dell'Arco Calabro e Sicilia orientale e dell'area di Tindari, rispettivamente *Monaco e Tortorici* (1995) e *Billi et al.* (2006) hanno individuato l'esistenza di zone di estensione attiva, con direzione media NW-SE.

Neri et al. (2005) e *Musumeci et al.* (2005), basandosi sull'analisi dei meccanismi di sorgente dei terremoti, hanno investigato il regime di stress in Sicilia settentrionale e sud-orientale, rispettivamente. Gli Autori, hanno evidenziato un tensore degli sforzi con asse di massima compressione (σ_1) in accordo con la tettonica regionale (compressione circa N-S) nelle Isole Eolie, nel settore occidentale dell'Etna (*Neri et al.*, 2005) e in Sicilia sud-orientale (*Musumeci et al.*, 2005). In Sicilia nord-orientale, una direzione di estensione WNW-ESE è stata ricavata da *Neri et al.* (2005).

I principali risultati ricavati da misure GPS in Sicilia nord-orientale evidenziano, per il principale sistema di fratture, orientato NNW-SSE, una cinematica di tipo trascorrente destro, con una certa componente traspressiva e trastensiva per il tratto settentrionale e meridionale, rispettivamente (*Mattia et al.*, 2009).

L'analisi del campo di sforzo che governa un'ampia regione come la Sicilia orientale, caratterizzata oltre che da intensa attività sismica, anche da un complesso contesto geodinamico e strutturale, rappresenta un obiettivo primario della ricerca in ambito geologico e sismologico. Negli ultimi anni, il progressivo incremento del numero e della qualità dei

meccanismi focali dei terremoti, grazie anche al perfezionarsi delle tecniche di elaborazione, stimola l'interesse verso analisi più dettagliate del regime di stress.

Con lo scopo quindi di porre dei possibili vincoli alle relazioni intercorrenti tra sismicità e strutture tettoniche, sono stati analizzati gli eventi sismici registrati in Sicilia orientale dalla rete sismica dell'INGV di Catania nel periodo Agosto 2001 - Dicembre 2008.

Durante il periodo investigato sono state analizzate le forme d'onda di 500 terremoti utilizzando il programma di calcolo *SeismPol* (Patanè e Ferrari, 1997) con l'ausilio del quale sono stati individuati i tempi d'arrivo delle fasi P ed S, e le direzioni di polarizzazione di quest'ultime. E' stata effettuata una selezione di 464 eventi sismici, aventi un numero di osservazioni minimo pari a 6, per eseguire le localizzazioni ipocentrali con il programma di calcolo *Hypoellipse* (Lahr, 1999). Sono stati utilizzati diversi modelli di velocità mono-dimensionali in funzione del settore in cui si è verificato il terremoto.

Successivamente è stato selezionato un campione di eventi sismici con numero di polarità ≥ 7 e errori contenuti dei parametri ipocentrali ($\text{rms} \leq 0.3$ s, Erh e $\text{Erz} \leq 2.0$ km), per la determinazione preliminare dei meccanismi focali con il programma di calcolo *FPFIT* (Reasenberg e Oppenheimer, 1985). Le soluzioni focali così ottenute sono state analizzate e sulla base di una serie di parametri oggettivi, tra i quali gli errori associati allo strike, dip e rake, è stato estratto un data-set di 257 meccanismi focali. Al fine di valutare la stabilità delle soluzioni ottenute e determinare meccanismi focali con piani nodali meglio vincolati, è stato adottato un algoritmo di inversione non lineare (De Natale et al., 1991; Zollo e Bernard, 1991) che consente di invertire congiuntamente i primi impulsi delle fasi P e le direzioni di polarizzazione delle onde S.

Si è proceduto dunque alla determinazione del regime di sforzo (Gephart e Forsyth, 1984). L'inversione dello stress, è stata condotta separatamente per i settori a diverso regime tettonico e successivamente, allo scopo di identificare quantitativamente i sottovolumi che soddisfano le condizioni di omogeneità, è stato applicato il metodo del *misfit* cumulativo introdotto da Wyss e Lu (1995) e lo *Z-test* per la verifica d'ipotesi (Davis, 1986).

I risultati ottenuti mostrano un regime di stress uniforme di tipo trascorrente, con asse di massima compressione (σ_1) che varia da N-S, nel settore occidentale dell'Etna, a circa NNW-SSE nelle Isole Eolie e Sicilia sud-orientale. In quest'ultimo settore, per profondità superiori a 20 km, i risultati hanno fornito una maggiore inclinazione del σ_1 (31°), suggerendo una certa

componente trassensiva. Un campo di sforzo di tipo estensionale è stato ottenuto in Sicilia nord-orientale, con asse di minima compressione (σ_3) orientato WNW-ESE nello Stretto di Messina e NW-SE nel settore occidentale, quest'ultimo caratterizzato da alcuni livelli di eterogeneità. Nel versante orientale dell'Etna, nessun modello di stress uniforme è risultato in grado di spiegare la disomogeneità della tipologia di soluzioni focali disponibili, confermando gli studi precedenti (*Cocina et al.*, 1997).

Alla luce dei risultati forniti per l'intera regione, possiamo affermare che la variazione delle orientazioni del regime di stress è in accordo con i principali sistemi di faglia che controllano la tettonica dell'area. In particolare, i risultati del campo di stress in Sicilia nord-orientale e nelle Isole Eolie, suggeriscono un movimento di tipo trascorrente destro lungo il principale sistema di faglie orientato NNW-SSE, con componente traspressiva e trassensiva per la porzione settentrionale e meridionale, rispettivamente. Ciò è conforme con le misure di dati GPS (*Mattia et al.*, 2009) e osservazioni di tipo geologico-strutturale (*Ghisetti*, 1979; *Ventura*, 1994, 1999). Nella zona dello Stretto di Messina, la direzione di minima compressione, orientata WNW-ESE, è circa ortogonale al *trend* di faglie Quaternarie che bordano il margine ionico, confermando il movimento di *dip-slip* di tipo normale, già noto da diversi studi di carattere geologico-strutturale (*Tortorici et al.*, 1995; *Jacques et al.*, 2001). Complessivamente, non si osservano variazioni sostanziali delle orientazioni del campo di sforzo, rispetto a quelle ricavate da altri Autori (*Neri et al.*, 2005; *Musumeci et al.*, 2005), considerando il diverso periodo di tempo investigato, numero e qualità dei dati analizzati.

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

La Sicilia Orientale si colloca all'interno del complesso sistema geodinamico che caratterizza il Mediterraneo Centrale, il quale è interessato dalla convergenza NNW-SSE delle placche Africana e Euroasiatica (*Barberi et al.*, 1973; *Ben-Avraham e Grasso*, 1990). Il processo di convergenza, cominciato nel Neogene-Quaternario, ha portato alla formazione di tre distinti domini tettonici: il Bacino Tirrenico (dominio estensionale), la Catena Appenninico-Maghrebide (dominio compressivo) e l'Avampaese Ibleo (Fig. 1). Nonostante numerose, e spesso contrastanti, ipotesi siano state formulate per spiegare l'attuale assetto geodinamico dell'area, sembra ampiamente riconosciuto che le cause del regime estensionale che ha condotto alla formazione del Bacino Tirrenico, siano da attribuire alla subduzione e arretramento della placca Ionica al di sotto dell'Arco Calabro (*Barberi et al.*, 1973; *Malinverno e Ryan*, 1986; *Gueguen et al.*, 1998). L'esistenza di uno slab in subduzione è evidenziata dalla sismicità intermedia e profonda (fino a 600 km) nel Tirreno meridionale, secondo un piano di Benioff immergente verso NW (*Gasparini et al.*, 1982; *Anderson e Jackson*, 1987) e da un'anomalia positiva delle velocità delle onde sismiche nel mantello (*Selvaggi e Chiarabba*, 1995). La sismicità al di sotto di 100 km mostra prevalentemente meccanismi di sorgente di tipo inverso, mentre a profondità inferiori si hanno meccanismi di tipo normale, testimoniando una generale estensione dell'area (*Selvaggi*, 2001; *Neri et al.*, 2005). Nell'Arco Calabro e in Sicilia Orientale gli effetti della tettonica di epoca Quaternaria sono ben preservati. Questa regione è infatti caratterizzata da un sistema di faglie normali, abbastanza continuo, che si estende dall'Arco Calabro fino all'Altipiano Ibleo, interessando lo Stretto di Messina e la costa Ionica della Sicilia (*Tortorici et al.*, 1995). I vari segmenti di faglia, che durante il Pleistocene controllavano l'evoluzione dei principali bacini di sedimentazione, hanno lunghezza variabile da 10 a 45 km e mostrano un'ampia scarpata di faglia che determina il fronte delle principali catene montuose (Aspromonte, Serre, Peloritani e Iblei). L'aspetto morfologico delle scarpate e l'età delle rocce interessate, suggerisce un tasso di sollevamento di 0.5 ± 1.2 mm/yr dal Pliocene Medio-Olocene, raggiungendo un tasso di 2.0 mm/yr nelle aree con vulcanismo attivo (*Monaco et al.*, 2000).

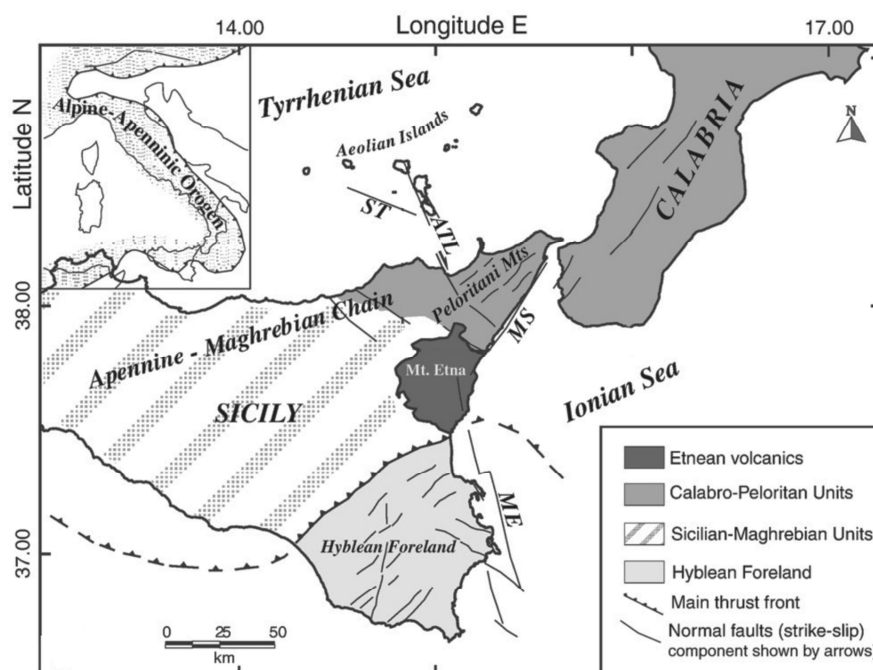


Figura 1. Mappa semplificata delle strutture tettoniche della Sicilia orientale e Calabria meridionale (da *Lentini et al.*, 2000). Le abbreviazioni indicano: ST, sistema di faglie Tirreno Meridionale; ATL, sistema di faglie Eolie-Tindari-Letojanni; MS, sistema di faglie Stretto di Messina; ME, sistema di faglie Scarpata di Malta.

In questo contesto, la Sicilia Nord-orientale, situata lungo il margine convergente, rappresenta la porzione meridionale della Catena Appenninica, costituita essenzialmente da una serie di unità tettoniche, in cui sono rappresentate diverse porzioni di un'originaria crosta continentale con le relative coperture Mesozoiche-Cenozoiche, cui si associano unità ofiolitifere caratterizzate da gradi di metamorfismo variabile e derivanti dalla deformazione di uno o più originari domini oceanici (*Ogniben*, 1969). La Sicilia Nord-orientale è caratterizzata da due principali sistemi di frattura: il *rift* dello Stretto di Messina (Fig. 1, MS) e il sistema di faglie Eolie-Tindari-Letojanni (Fig. 1, ATL). Il primo, è costituito da faglie normali ad alto angolo ($dip \geq 70^\circ$), immergenti verso est e ovest, che tagliano il fronte dell'Arco Calabro-Peloritano (*Tortorici et al.*, 1995). Il secondo, è composto da faglie ad alto angolo ($dip \geq 60^\circ$), orientate prevalentemente NNW-SSE, che si sviluppano dalle Isole Eolie al settore *onshore* della costa tirrenica. Nel settore eoliano, il sistema ATL è formato da faglie disposte con geometria *en-echelon* e movimento prevalente di *strike-slip* di tipo destro (*Barberi et al.*, 1994; *Ventura*, 1994), mentre nella porzione *onshore* le strutture, che durante il Pliocene

avevano una cinematica di tipo trascorrente, si muovono con meccanismo di *dip-slip* di tipo normale (Ghisetti e Vezzani, 1982).

All'interno di questa regione molto complessa dal punto di vista geodinamico si colloca l'Etna, che si è sviluppata a partire da circa 200.000 anni fa (Romano, 1982; Gillot *et al.*, 1994) sul fronte della Catena Siculo-Maghrebide, al limite tra il dominio Ionico e il dominio Catena-Avampese (Fig. 1). Il vulcano giace al letto del sistema di faglie che nel Pleistocene medio hanno riattivato la Scarpata di Malta e il suo vulcanismo può essere messo in relazione a processi di estensione legati alla zona di *rifting* che si sviluppa dalla Calabria meridionale all'Avampese Ibleo (Tapponier 1977; Monaco e Tortorici, 1995). Dal punto di vista geologico, l'Etna è un edificio vulcanico complesso, costituito da numerose sequenze di lave e piroclastici legate all'attività di diversi centri eruttivi, migrati nel tempo da ESE a WNW (Lo Giudice *et al.*, 1982). Nel basso versante orientale dell'Etna il sistema di faglia delle Timpe è costituito da diversi segmenti di faglia, immergenti verso il Mare Ionio, orientati NNE-SSW nel settore nordorientale e NNW-SSE nel settore sud-orientale (Fig. 2), dove essi mostrano una certa componente laterale destra di movimento, correlata ad estensione regionale orientata WNW-ESE (Tortorici *et al.* 1995; Monaco *et al.*, 1995; 1997). Le principali fessure di alimentazione del vulcano si sviluppano nelle parti sommitali dell'edificio, dove formano allineamenti di coni e di dicchi orientati principalmente NE-SW, sul versante nord-orientale, e NNW-SSE e N-S, sul versante meridionale (Rasà *et al.*, 1982; Monaco *et al.*, 1997).

L'Etna è delimitata a sud dall'Avampese Ibleo, appartenente alla Placca Africana e costituito da una potente successione carbonatica Mesozoico-Terziaria, alla quale si intercalano vulcaniti basiche del Pliocene-Pleistocene (Bianchi *et al.*, 1987) (Fig. 3).

Nonostante l'Avampese, durante il Quaternario, fosse sottoposto ad un regime tettonico di tipo estensionale, testimoniato dai sistemi di faglia normale ad alto angolo, sono presenti in tutta l'area strutture di tipo trascorrente e inverso (Ghisetti e Vezzani, 1980). Al margine nord-occidentale dell'Avampese Ibleo si sviluppa un'Avanfossa orientata NE-SW, denominata Fossa Gela-Catania, formatasi durante il Terziario superiore a spese delle coperture sedimentarie dell'Avampese (Cristofolini *et al.*, 1979).

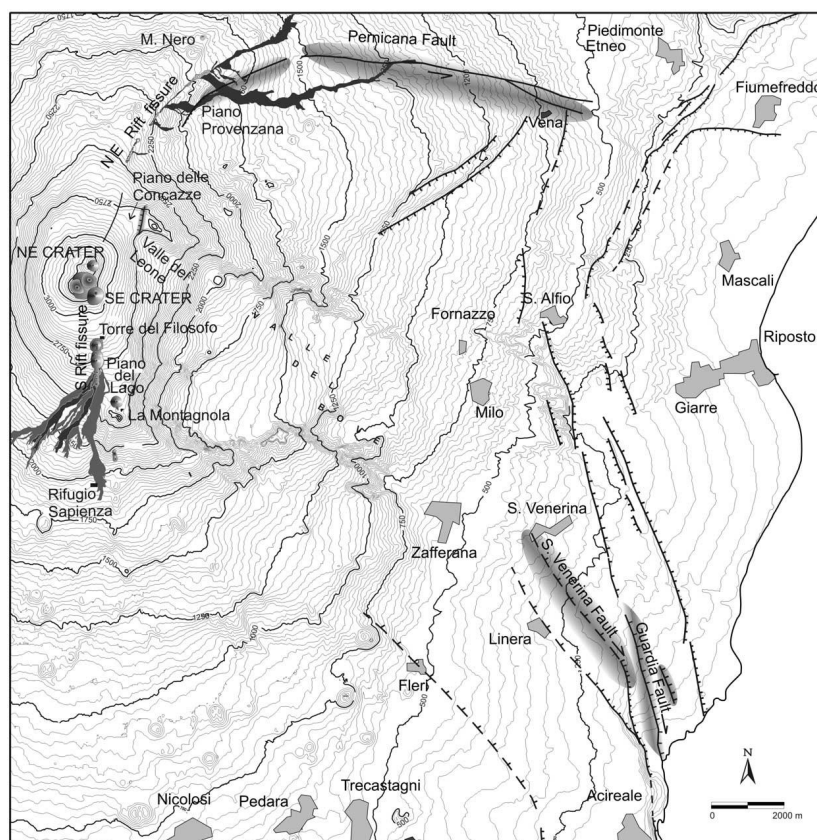


Figura 2 . Mappa strutturale del Monte Etna, in cui sono mostrate le fratture eruttive e le colate laviche formatesi durante l'eruzione del 2002-2003. Le aree ombreggiate evidenziano le faglie riattivate (da Monaco *et al.*, 2005).

La struttura predominante in Sicilia sud-orientale è rappresentata dalla Scarpata Ibleo-Maltese, a circa 10 – 50 km *offshore* dalla costa ionica, costituita da un sistema di faglie normali, orientate NNW-SSE e immergenti verso est, che si sviluppa per oltre 300 km dall'Africa settentrionale alla Sicilia (Reuther *et al.*, 1993). Tale struttura è l'evidenza morfologica di una fratturazione litosferica che separa la crosta di tipo continentale dell'Avampese Ibleo, con spessore di circa 23 km, dalla crosta di tipo oceanico del Mar Ionio. Le numerose faglie, orientate NNW-SSE, che interessano il settore orientale dell'Avampese, sono la manifestazione *onshore* della Scarpata Ibleo Maltese (Adam *et al.*, 2000).

Il settore occidentale dell'Avampese Ibleo è caratterizzato dal sistema di faglie Scicli-Ragusa, costituito da quattro principali segmenti di faglia, orientati N10°E, disposti con geometria *en-echelon*, di cui non si conosce con certezza l'interruzione nel settore nord (Catalano *et al.*, 2008).

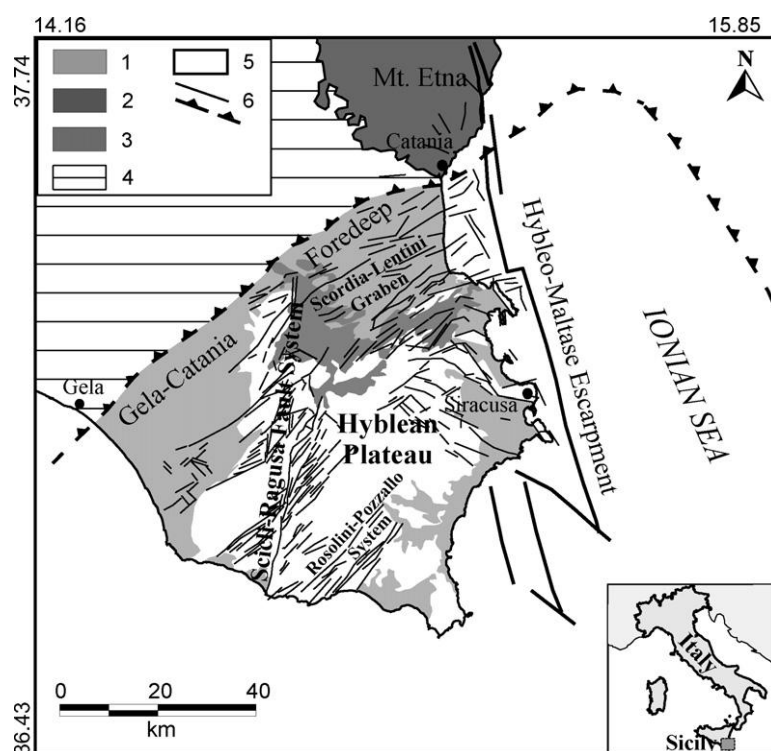


Figura 3. Mappa geologica e strutturale semplificata della Sicilia sud-orientale (da *Azzaro e Barbano.*, 2000). In legenda: 1, depositi sedimentari quaternari; 2, vulcaniti del Mt. Etna (Pleistocene-Olocene); 3, vulcaniti dei Monti Iblei (Pliocene-Pleistocene); 4, unità tettoniche della Catena Appenninico-Maghrebide; 5, piattaforma carbonatica (Mesozoico-Cenozoico); 6, faglie di tipo normale, trascorrente e fronte di accavallamento della Catena Appenninico-Maghrebide.

2. SISMICITA' DELLA SICILIA ORIENTALE

Dal punto di vista sismico, la Sicilia orientale e l'Arco Calabro rappresentano un'area molto attiva, caratterizzata da numerosi eventi sismici crostali, molti dei quali hanno superato magnitudo 6 (Fig. 4). La sismicità crostale, si distribuisce al tetto dei diversi segmenti di faglie normali Quaternarie che costituiscono la zona di *rift* Siculo-Calabro, suggerendo una relazione con le principali strutture tettoniche (*Ghisetti*, 1992; *Tortorici et al.*, 1995; *Monaco e Tortorici*, 2000). All'interno di questa regione, l'Etna rappresenta un settore caratterizzato da sismicità superficiale, con terremoti aventi $M_{\max}$ circa 6.1 e intensità MCS superiore a X (*Azzaro e Barbano*, 2000). L'area, oltre a essere interessata da terremoti crostali, è anche caratterizzata da terremoti intermedi e profondi localizzati lungo la parte interna dell'Arco Calabro, al disotto del Mar Tirreno meridionale. In particolare, gli eventi profondi delineano una probabile subduzione della crosta Ionica al disotto dell'Arco Calabro (*Gasparini et al.*, 1982; *Selvaggi e Chiarabba*, 1995).

Diversi eventi sismici ad alta intensità hanno interessato la Sicilia orientale e Calabria meridionale negli ultimi 600 anni.

Nel 1693 due terremoti, aventi intensità VIII-IX e XI, si sono verificati (il 9 e 11 Gennaio) in Sicilia sud-orientale, devastando l'intera area. La scossa di maggiore intensità provocò un maremoto che interessò la costa ionica compresa tra Messina e Siracusa, e addirittura l'isola di Malta (*Baratta*, 1901; *Boschi et al.*, 1995). Tale scossa è stata localizzata nel settore *offshore* della costa ionica, tra Catania e Siracusa (*Bianca et al.*, 1999).

Nell'ultimo secolo, l'evento sismico di maggior intensità che ha colpito la regione è stato il terremoto avvenuto nello Stretto di Messina, registrato il 28 Dicembre del 1908, avente intensità XI e magnitudo stimata pari a 7.1 (*Postpischl*, 1985; *Boschi et al.*, 1997). Il sisma produsse maggiori danni nel settore calabro, persino nella porzione interna, mentre in Sicilia fu colpita soprattutto la fascia costiera Ionica, comprendente la città di Messina. Il fenomeno generò un ampio maremoto che distrusse entrambi i fianchi dello Stretto, e si propagò fino alla costa settentrionale e meridionale della Sicilia. In Figura 4 è riportato il meccanismo focale relativo al terremoto del 1908. Alcuni Autori (*Tortorici et al.*, 1995), considerano come possibile sorgente sismogenetica di tale evento, un piano di faglia orientato NE-SW e

immergente verso ovest, in accordo con la geometria delle principali strutture che caratterizzano il settore.

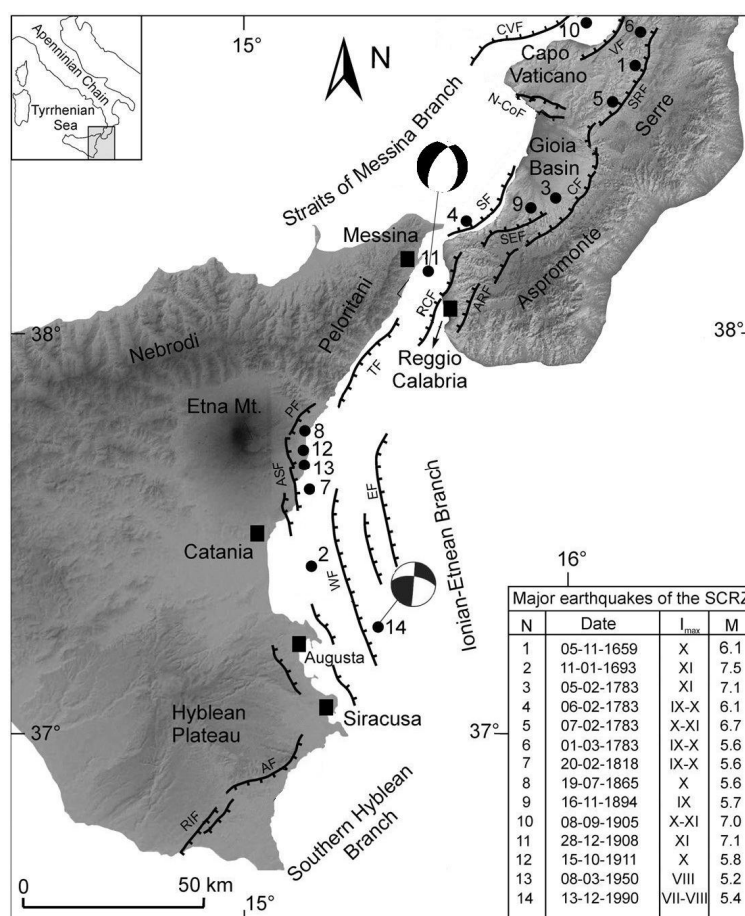


Figura 4. Mappa sismotettonica della Sicilia orientale e Calabria meridionale (da *Catalano et al.*, 2008, modificata). I pallini neri e relativi numeri rappresentano i forti terremoti crostali (storici e strumentali) degli ultimi secoli (dati da *Postpischl*, 1985; *Boschi et al.*, 1995, 1997). Le sigle indicano le principali faglie Quaternarie: RIF, Rosolini-Ispica faults; AF, Avola fault; WF, Western Ionian fault; EF, Eastern Ionian fault; ASF, Acireale-S. Alfio faults; PF, Piedimonte fault; TF, Taormina fault; RCF, Reggio Calabria fault; AR, Armo fault; SF, Scilla fault; SEF, S. Eufemia fault; CF, Citanova fault; SRF, Serre fault; VF, Vibo fault; CVF, Capo Vaticano fault; N-CoF, Nicotera-Coccorino faults.

Tra gli eventi sismici di più elevata magnitudo, negli ultimi decenni, ricordiamo il sisma del 13 Dicembre del 1990, avente magnitudo 5.4 e intensità VII-VIII, localizzato nel Golfo di Augusta. Il terremoto causò una vasta area di danneggiamento tra Siracusa e Catania. Come struttura responsabile dell'evento, *Azzaro e Barbano* (2000) suggeriscono una faglia destra, orientata E-W, ubicata a Est del Graben di Scordia-Lentini. In effetti, la soluzione del

meccanismo di sorgente (Fig. 4) è compatibile con la direzione delle principali strutture *offshore*, orientate circa NNW-SSE, e con il sistema di faglie, circa E-W, che le dislocano (Amato *et al.*, 1995).

3. RETE SISMICA E STRUMENTAZIONE

Gli eventi sismici analizzati in questo lavoro sono stati registrati, nel periodo Agosto 2001 – Dicembre 2008, dalla Rete Sismica Permanente (RSP) della Sicilia Orientale gestita dall'INGV di Catania.

Attualmente la RSP è costituita da circa 90 stazioni, ubicate in un'area compresa tra l'Arcipelago Eoliano e l'Altipiano Ibleo e circa il 50% di esse sono installate sull'Etna. A partire dal 2003, un processo di rinnovamento tecnologico e di potenziamento ha portato la RSP ad essere dotata delle più moderne strumentazioni a tecnologia digitale, di sensori sismici a larga banda e di un sistema di trasmissioni ibrido (via radio, via cavo e satellitare) che consente un trasferimento numerico ad alta dinamica dei dati. Le stazioni sono sia di tipo analogico, con sensore a tre componenti a corto periodo (circa 23 siti), che digitale, con sensore a tre componenti a larga banda (44 siti). La maggior parte di esse utilizza i sensori Nanometrics Trillium (periodo proprio 40s), altre sono equipaggiate con sensori Lennartz LE3D-20s (periodo proprio 20s), infine alcune utilizzano sensori a corto periodo Lennartz LE3D-1s. I segnali delle stazioni remote vengono trasmessi, in tempo reale, al Centro di Acquisizione Dati Sismici di Catania dove i segnali vengono registrati in continuo, in formato digitale, ed analizzati da personale specializzato. Nella sua configurazione attuale la RSP consente di estendere la capacità di rilevamento degli eventi sismici alle scosse di più piccola magnitudo che sfuggono al controllo della Rete Sismica Nazionale Centralizzata (RSNC), progettata e realizzata per il controllo dell'intero territorio italiano. L' Unità Funzionale di Sismologia dell'INGV di Catania dispone inoltre di una Rete Sismica Mobile (RSM) realizzata al fine di costituire una struttura di pronto intervento da impiegare nel caso di emergenze sismiche e vulcaniche. La principale finalità della RSM è pertanto quella di ottimizzare la qualità del monitoraggio sismico nelle aree in cui la rete permanente presenta una minor densità di stazioni. Attualmente la strumentazione è costituita da 10 stazioni digitali Nanometrics Taurus tutte equipaggiate con sismometri broadband a tre componenti Lennartz LE-3D 20sec. Relativamente a questo studio, un supporto della rete mobile è stato fornito durante il monitoraggio delle diverse attività eruttive sull'Etna e sullo Stromboli

(2002-2003; 2004; 2006; 2007; 2008), incrementando il numero dei dati disponibili per l'analisi della localizzazione ipocentrale e la determinazione dei meccanismi focali.

Inoltre, al fine di migliorare la copertura azimutale delle stazioni, e quindi la distribuzione delle polarità dei primi impulsi P sulla sfera focale, sono state utilizzate nove stazioni (6 per le Isole Eolie e Sicilia nord-orientale, 3 per l'Altipiano Ibleo) della Rete Sismica Nazionale Centralizzata operanti nell'area in esame.

In Figura 5 è mostrata la mappa della Sicilia con l'ubicazione delle stazioni sismiche utilizzate in questo studio.

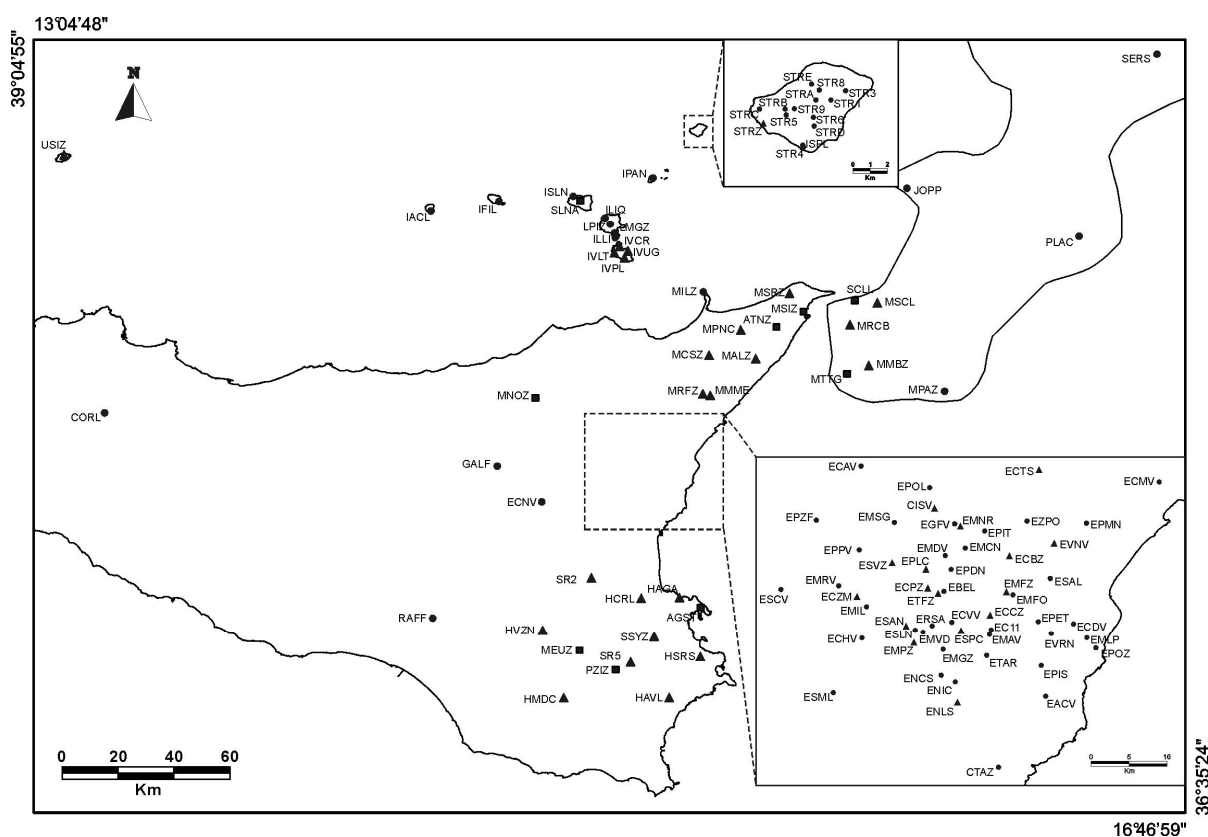


Figura 5. Mappa delle stazioni sismiche utilizzate in questo studio: cerchi e triangoli indicano le stazioni a una e tre componenti, rispettivamente, della RSP; i quadrati indicano le stazioni della RSNC.

4. LOCALIZZAZIONI IPOCENTRALI

Localizzare un evento sismico significa determinare la posizione nello spazio del suo ipocentro (punto da cui vengono emesse le prime onde sismiche) e il tempo origine. Sono dunque quattro le incognite da determinare:

- Latitudine (x_0)
- Longitudine (y_0)
- Profondità (z_0)
- Tempo origine (T_0)

Da una singola stazione sismica, il sismogramma fornirà una misura dei tempi di arrivo delle onde P ed S. L'utilizzo successivo di numerosi algoritmi e procedure di calcolo che tengono conto dei tempi di arrivo delle fasi P (ed eventualmente delle fasi S), delle velocità con cui le onde sismiche si propagano nel mezzo (dall'ipocentro alle varie stazioni) e delle coordinate delle stazioni che hanno registrato l'evento, permetterà di localizzare l'evento sismico.

Dato che le incognite da determinare sono quattro, occorrerebbe lavorare con un sistema di almeno quattro equazioni in quattro incognite: ciò significa che l'evento deve essere registrato da almeno quattro stazioni.

Supponiamo di avere a disposizione soltanto i tempi d'arrivo delle onde P, di facile lettura nelle stazioni a componente verticale. Il sistema da svolgere sarà costituito da quattro equazioni del tipo:

$$T_j - T_0 = D_j / V_p = \sqrt{(x_j - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2 + (z_j - z_0)^2} / V_p$$

dove:

T_j è il tempo d'arrivo della fase P alla stazione j-esima,

T_0 è il tempo origine del terremoto,

D_j è la distanza ipocentro-stazione,

V_p è la velocità delle onde P nel mezzo,

x_j, y_j, z_j sono le coordinate della stazione j-esima

x_0, y_0, z_0 sono le coordinate ipocentrali.

In realtà, la localizzazione così ottenuta sarà affetta da errori dovuti all'incertezza sulla lettura dei tempi d'arrivo delle fasi P e all'incertezza legata al modello di velocità considerato. La crosta terrestre non è un mezzo perfettamente omogeneo, bensì è caratterizzata da numerose discontinuità; di conseguenza, la velocità delle onde sismiche non è costante ma varia al variare del mezzo attraversato. A causa di queste incertezze, le coordinate ipocentrali ottenute non coincideranno perfettamente con l'ipocentro del terremoto. Al fine di ridurre al minimo l'entità dell'errore associato alla localizzazione bisognerà impostare un sistema “sovradimensionato” e quindi considerare un numero di stazioni superiori a quattro.

Per risolvere tale sistema si ricorre a un algoritmo (*Geiger*, 1912) basato sul metodo dei “minimi quadrati”, il quale permette di ridurre l'errore associato alla localizzazione rendendo minima la sommatoria dei quadrati degli scarti tra i tempi osservati e quelli teorici di un modello di riferimento:

$$\sum_{j=1}^n \epsilon_j^2$$

dove:

n è il numero di stazioni sismiche utilizzate,

ϵ_j è lo scarto o residuo alla stazione j -esima,

$$\epsilon_j = T_j - \sqrt{(x_j - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2 + (z_j - z_0)^2} / V_p + T_0$$

Innanzitutto bisogna considerare un ipocentro di prova arbitrario, dal quale far partire le iterazioni. Questo ipocentro, in genere, si fa coincidere con le coordinate della stazione più vicina (tempo d'arrivo più basso); anche la profondità di partenza è scelta arbitrariamente, prendendo in considerazione l'ambiente geologico-strutturale in cui si opera. Inoltre, per ridurre i tempi di calcolo, si considera come tempo iniziale quello osservato alla stazione più vicina, diminuito di una quantità opportuna. Si procede dunque, con una serie di iterazioni (mediante piccoli aggiustamenti) fino a ottenere uno scarto che sia inferiore a quello prefissato.

La localizzazione ipocentrale sarà tanto più attendibile quanto migliore è la distribuzione geometrica delle stazioni, migliore è la qualità del segnale sismico e più vicino alla realtà è il modello di velocità. Nonostante si verifichino le condizioni citate sopra, la soluzione che si

ottiene sarà sempre affetta da un'incertezza espressa dal parametro R.M.S. (Root Mean Square):

$$\text{R.M.S.} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \epsilon_j^2}$$

Tanto più basso è il suo valore, tanto più affidabile è la localizzazione.

5. MECCANISMI FOCALI

5.1 Introduzione

Lo studio dei meccanismi focali permette di individuare l'orientazione nello spazio (direzione e inclinazione) della superficie di dislocazione, e del piano ausiliario, che ha generato il terremoto e a specificarne il tipo di movimento (*rake*). Con l'ausilio di un consistente numero di meccanismi focali, relativi a eventi sismici di una determinata area, si potrà quindi determinare il campo di stress agente nella stessa area.

Lo studio dei meccanismi focali si basa sulla teoria espressa da Reid nel 1911, che prende il nome di *teoria del rimbalzo elastico* (Elastic Rebound Theory). Secondo questa teoria il terremoto è prodotto dal movimento relativo dei due blocchi della faglia che produce, dapprima una lenta deformazione delle rocce attorno alla faglia stessa, finché in un punto qualsiasi non viene superato il carico di rottura della roccia. A questo punto, l'energia accumulatasi sotto forma di deformazione elastica viene ceduta improvvisamente, trasformandosi parte in calore e parte in onde elastiche (Fig. 6).

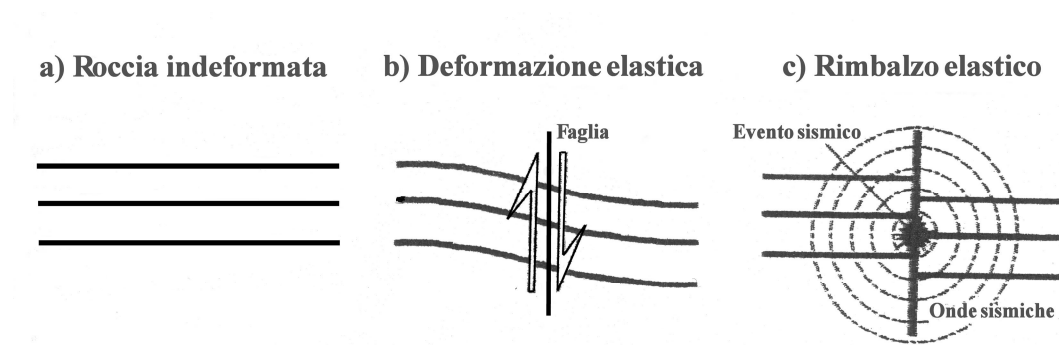


Figura 6. Schema illustrante la teoria del rimbalzo elastico. a) materiale non deformato; b) deformazione elastica delle rocce indotta dall'applicazione dello stress; c) raggiungimento del carico di rottura delle rocce e liberazione di energia (da Lillie, 1999).

La quantità di energia convertita in onde elastiche è notevolmente inferiore rispetto a quella ceduta sotto forma di calore, e si propaga all'interno della Terra producendo, nelle rocce, delle deformazioni di volume (onde P) e di taglio (onde S). Nella zona in cui si è

manifestata la rottura, si verifica un “rimbalzo elastico” delle rocce a contatto lungo il piano di faglia, le quali successivamente ritornano nella condizione di equilibrio.

Confrontando dati sperimentali e modelli teorici si può affermare che il processo fisico che meglio rappresenta il meccanismo di genesi di un terremoto è la *dislocazione di taglio*. Gli effetti prodotti da una dislocazione di puro scorrimento in un mezzo omogeneo, isotropo e continuo, matematicamente vengono espressi da un sistema di forze di *doppia coppia*, esteso all'intera superficie di rottura (Fig. 7).

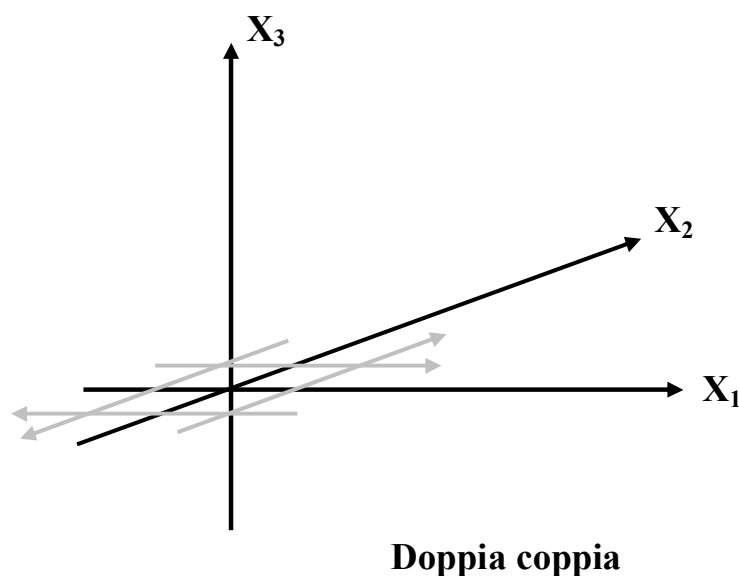


Figura 7. Sistema di doppia coppia di forze (in grigio), al punto sorgente. In questo caso, il sistema di forze complanari agisce sul piano X_1 - X_2 .

Il sistema di doppia coppia al punto sorgente, è costituito da due coppie di forze complanari, una parallela e l'altra perpendicolare alla superficie di dislocazione. Le due coppie di forze hanno momenti uguali e opposti, in modo tale che essi si annullano rendendo il sistema bilanciato. Questo modello di forze equivale ad un sistema costituito da quattro forze complanari, di uguale intensità e disposte a 45° rispetto alle coppie di forze (Fig. 8).

Queste quattro forze, due convergenti e due divergenti rispetto al punto origine, rappresentano rispettivamente l'orientazione degli assi di massima compressione e massima tensione.

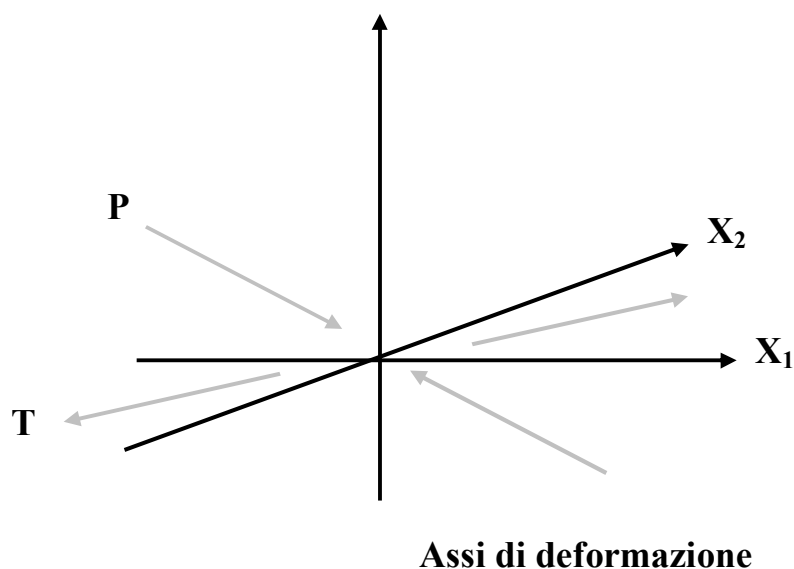


Figura 8. Sistema di quattro forze, equivalente a quello di doppia coppia. Le frecce di colore grigio rappresentano l'orientazione degli assi di deformazione (P e T).

Tramite i meccanismi focali si può, quindi, determinare l'orientazione nello spazio dei due piani nodali, ipotizzati alla sorgente dell'evento sismico, e la direzione lungo la quale avviene lo scorrimento. Inoltre, si ha la possibilità di ricavare l'orientazione (direzione e *plunge*) degli assi di massima compressione e massima tensione, e quindi risalire al campo di stress agente nell'area analizzata.

5.2 Costruzione dei meccanismi focali

Il metodo seguito per la determinazione del meccanismo focale di un terremoto consiste nell'analisi della distribuzione dei primi impulsi delle fasi P registrate da una rete di stazioni sismiche dislocate in superficie. Il procedimento è esattamente inverso a quello seguito per la proiezione del piano di faglia sul piano equatoriale, infatti si parte dalle polarità dei primi impulsi registrati alle stazioni, per poi determinare l'orientazione della faglia e la direzione di movimento su di essa.

Si considera, innanzitutto, una *sfera focale* il cui centro si fa coincidere con l'ipocentro dell'evento sismico. Nell'istante in cui si ha il rilascio dell'energia, dall'ipocentro si dipartono le onde di volume che andranno a intersecare la superficie della sfera focale in più punti. Questi punti, successivamente, vengono proiettati (oggi da programmi di calcolo) sul reticolo isogono di Wulff, con il corrispondente impulso, positivo (*up*) o negativo (*down*). Considerando una faglia che si muova con meccanismo di *strike slip*, se le stazioni sono posizionate dal lato verso cui si muove il blocco (verso cui punta la freccia), allora registreranno un impulso verso l'alto, se invece sono posizionate dalla parte opposta registreranno un impulso verso il basso (Fig. 9).

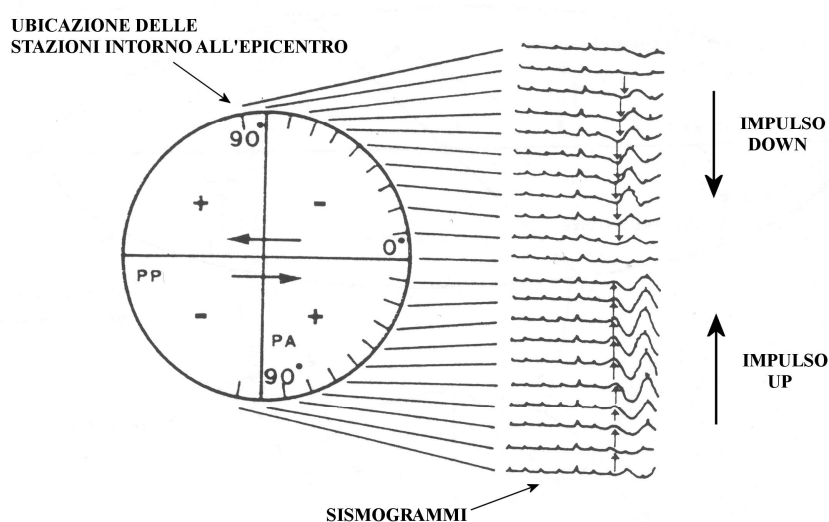


Figura 9. Rappresentazione del verso e dell'ampiezza del primo impulso delle onde P, relative ad una faglia trascorrente sinistra e registrate da stazioni distribuite intorno all'epicentro (da Press e Siever, 1978).

La distribuzione dei primi impulsi sul piano equatoriale della sfera focale, consente di individuare due *piani nodali* che, a loro volta, separano il piano equatoriale in quattro quadranti a polarità alternate. Si avranno due quadranti in compressione, all'interno dei quali ricadono gli impulsi verso l'alto, e due quadranti in estensione che racchiudono gli impulsi verso il basso. Come si può notare dalla Figura 9, l'ampiezza dei primi impulsi delle onde P è massima alle stazioni poste a 45° dai piani nodali, mentre tende a diminuire avvicinandosi ai piani nodali, fino ad annullarsi in corrispondenza di essi. Proiettando sugli assi cartesiani la direzione e l'ampiezza dei primi impulsi, delle fasi P ed S, otteniamo (dall'involuppo dei vettori) delle strutture quadrilobate che rappresentano il *Radiation pattern* delle fasi considerate (Fig. 10a). Si noti come l'ampiezza delle fasi S è massima in corrispondenza dei piani nodali, mentre si annulla a 45° da essi.

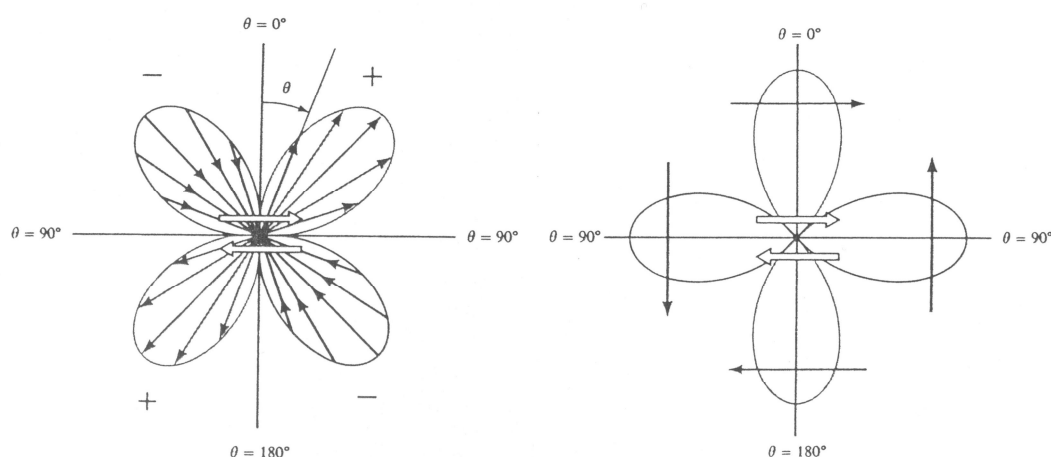


Figura 10a. Direzione e ampiezza dei primi impulsi delle fasi P (sinistra) ed S (destra) per un meccanismo, al punto sorgente, di doppia coppia (da Lay e Wallace, 1995).

I meccanismi focali vengono rappresentati graficamente attraverso la proiezione di un emisfero della sfera focale, in genere quello inferiore, sul piano equatoriale, passante per il centro della sfera e parallelo al piano tangente la superficie terrestre nell'epicentro (Fig. 10b).

I piani nodali sono sempre ortogonali tra loro, uno di essi corrisponde alla superficie di dislocazione ed è chiamato *piano principale* o *di faglia*, mentre l'altro è chiamato *piano ausiliario*. Dall'intersezione di questi due piani si individua l'*asse nullo*, in corrispondenza del quale gli sforzi si annullano.

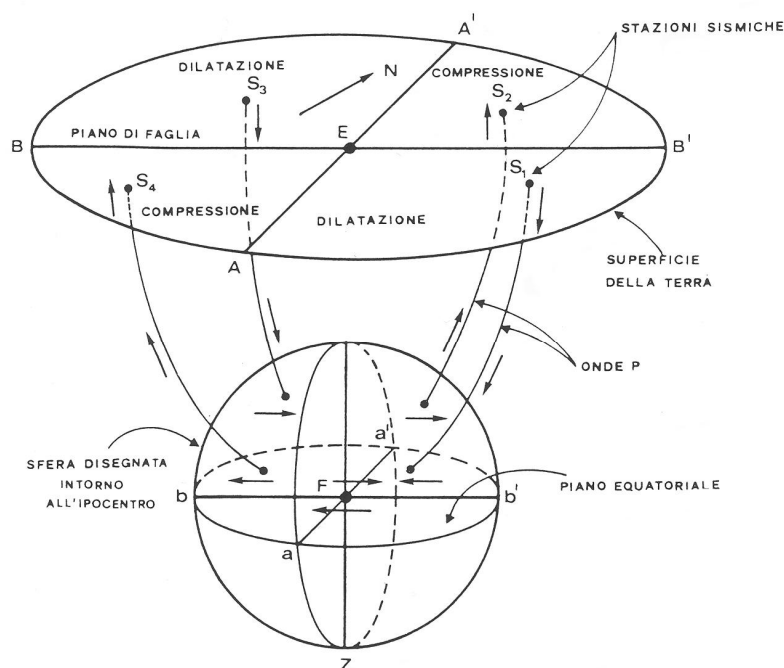


Figura 10b. Costruzione della proiezione utilizzata per la rappresentazione dei meccanismi focali. I due punti F ed E coincidono rispettivamente con l'ipocentro e l'epicentro (da Bolt, 1976).

A volte, questo metodo basato esclusivamente sui primi impulsi delle onde P, consente di vincolare uno dei piani nodali, mentre l'altro può variare entro un ampio *range* di possibili orientazioni di piani ortogonali al primo. Ciò è funzione del numero e della distribuzione azimutale delle stazioni sismiche. Nel caso in cui l'evento sismico sia stato registrato da stazioni a tre componenti, l'analisi dell'angolo di polarizzazione delle fasi S lungo le componenti orizzontali, può fornire un ulteriore vincolo del piano ausiliario. Occorre, quindi, definire il piano lungo il quale si verifica il *particle motion* delle fasi S, che verrà successivamente proiettato all'interno della sfera focale. Gli angoli di polarizzazione si dispongono perpendicolarmente ai piani nodali e puntano verso gli assi P e T (Fig. 11).

Quindi, l'uso congiunto dei primi impulsi delle fasi P e dell'angolo di polarizzazione delle fasi S riduce le ambiguità sul piano ausiliario, migliorando gli errori associati ai parametri di sorgente.

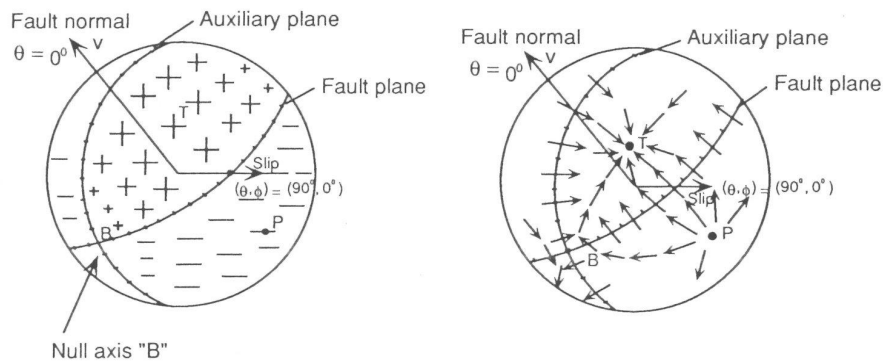


Figura 11. Esempio di meccanismo focale in cui vengono riportate le polarità P (sinistra) e le polarizzazioni S (destra) con le relative ampiezze (da *Lay e Wallace, 1995*).

Infine, l'orientazione nello spazio dell'asse nullo permette di distinguere quattro differenti tipi di meccanismi focali e quindi di strutture geologiche: faglia trascorrente, normale, inversa e obliqua (Fig. 12).

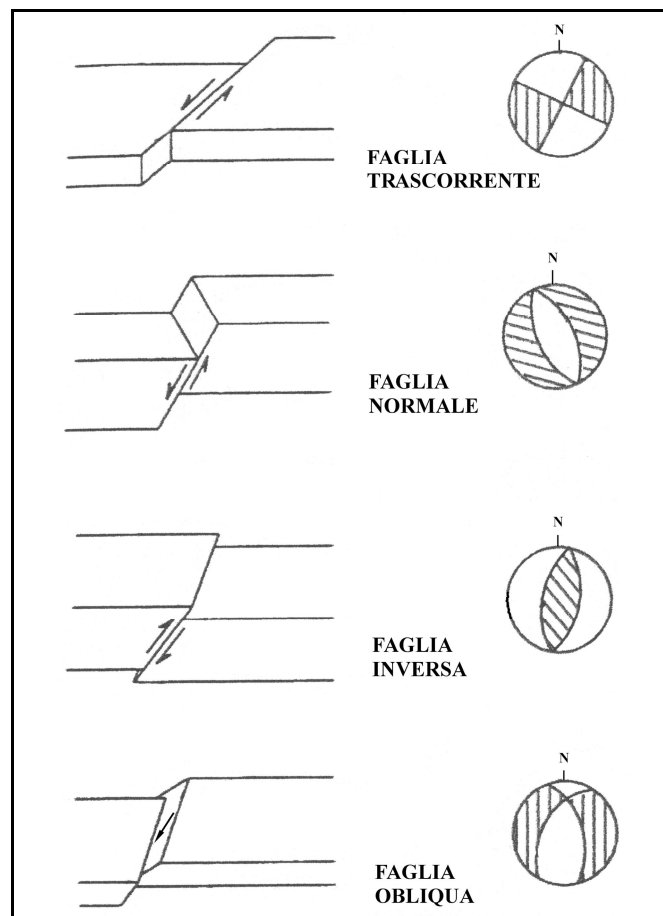


Figura 12. Principali tipi di faglie e loro rappresentazione mediante meccanismi focali. I quadranti rigati sono quelli soggetti a compressione, quelli bianchi a dilatazione.

6. TENSORE DEGLI SFORZI

Per poter definire lo *stato di sforzo* in un punto dello spazio, occorre considerare un cubo di dimensioni infinitesime, con i tre spigoli paralleli ad un sistema di assi cartesiani (x, y, z), la cui origine (o) è coincidente con un vertice del cubo (Fig. 13).

Consideriamo delle forze (F) che agiscono sulle facce del cubo formando certi angoli rispetto ad esse. Ogni singola forza può essere scomposta in tre componenti: una ortogonale alla faccia, detta *componente normale* (σ), e due agenti sulla faccia parallelamente agli spigoli del cubo, dette *componenti di taglio* (τ).

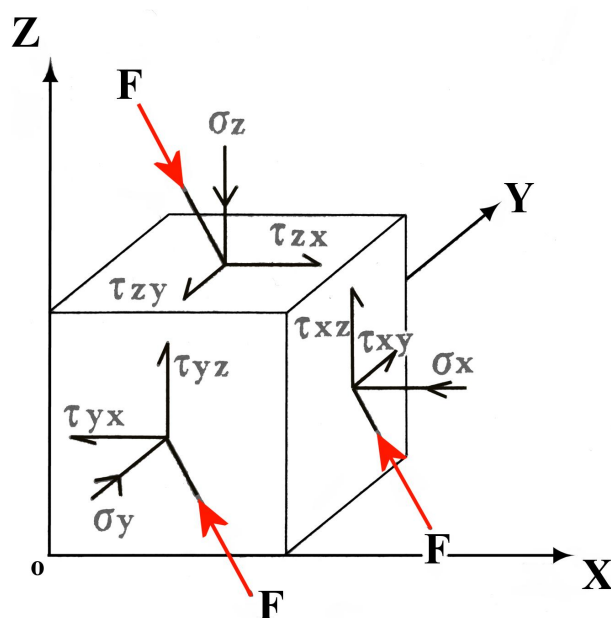


Figura 13. Componenti normali (σ) e di taglio (τ) degli sforzi agenti sulle facce del cubo (da Boccaletti e Tortorici, 1987).

Quindi, il tensore degli sforzi, agente sul cubo infinitesimo, sarà definito da una matrice a nove componenti:

$$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix}$$

I tre elementi che costituiscono la diagonale principale della matrice, rappresentano le componenti dello sforzo perpendicolari alle facce del cubo. Invece, i sei elementi che non appartengono alla diagonale principale, rappresentano le componenti dello sforzo che agiscono tangenzialmente alle facce del cubo. Gli indici applicati alle componenti normali e di taglio (σ e τ) indicano l'orientazione del piano e la direzione secondo cui agiscono gli sforzi. Ad esempio τ_{xz} indica uno sforzo che agisce sul piano perpendicolare all'asse x e in direzione dell'asse z, mentre σ_{yy} indica uno sforzo che agisce sul piano perpendicolare all'asse y e in direzione di esso, quindi uno sforzo normale. Le componenti normali determineranno variazioni di volume, mentre quelle di taglio produrranno variazioni di forma.

Se consideriamo il cubo infinitesimo in condizioni di equilibrio, cioè in assenza di movimenti rotazionali, allora valgono le seguenti condizioni:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} ; \tau_{yz} = \tau_{zy} ; \tau_{xz} = \tau_{zx}$$

per cui, il tensore degli sforzi risulta simmetrico e saranno sufficienti sei elementi per poterlo identificare in maniera univoca. Il campo di stress che agisce su un generico corpo nello spazio, è rappresentato dall'insieme degli stati di sforzo agenti in ogni punto del corpo stesso. Se queste componenti sono uguali in ogni punto del corpo, esso sarà sottoposto ad un campo di stress *omogeneo*, se invece queste componenti variano, allora il corpo sarà soggetto a un campo di stress *disomogeneo*. In un campo di stress omogeneo è sempre possibile trovare, in ogni suo punto, tre piani ortogonali tra loro sui quali le componenti di taglio sono nulle ($\tau = 0$). Questi tre piani ortogonali costituiscono i *piani principali* di stress, mentre gli assi σ_x , σ_y e σ_z , perpendicolari ai suddetti piani rappresentano gli *assi principali* di stress e vengono indicati con σ_1 , σ_2 e σ_3 . Per convenzione si assume $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, corrispondenti rispettivamente allo sforzo massimo, intermedio e minimo agente sul corpo.

Lo stato di sforzo, in un punto, può essere definito geometricamente da un ellissoide a tre assi (*ellissoide degli sforzi*), corrispondenti a σ_1 , σ_2 e σ_3 .

Si possono individuare tre principali tipologie di sforzo:

- *sforzo uniassiale*, dove σ_1 o $\sigma_3 \neq 0$ e gli altri due assi principali di stress sono nulli.
Tale sforzo sarà tensile se $\sigma_3 \neq 0$ oppure compressivo se $\sigma_1 \neq 0$;
- *sforzo biassiale*, dove due assi principali di stress sono diversi da zero e l'altro è nullo;

- *sforzo triassiale*, dove $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 \neq 0$

In funzione dei valori relativi dei tre assi principali, l'ellissoide degli sforzi assume diverse configurazioni geometriche, a ciascuna delle quali corrisponde un determinato stato di sforzo (Fig. 14). La geometria **a** rappresenta uno sforzo poliassiale ed è caratterizzata da tre piani di simmetria; le geometrie **b** e **c** rappresentano rispettivamente uno sforzo di compressione ed estensione assiale; nel caso **d** l'ellissoide si riduce a una sfera la quale rappresenta uno sforzo idrostatico.

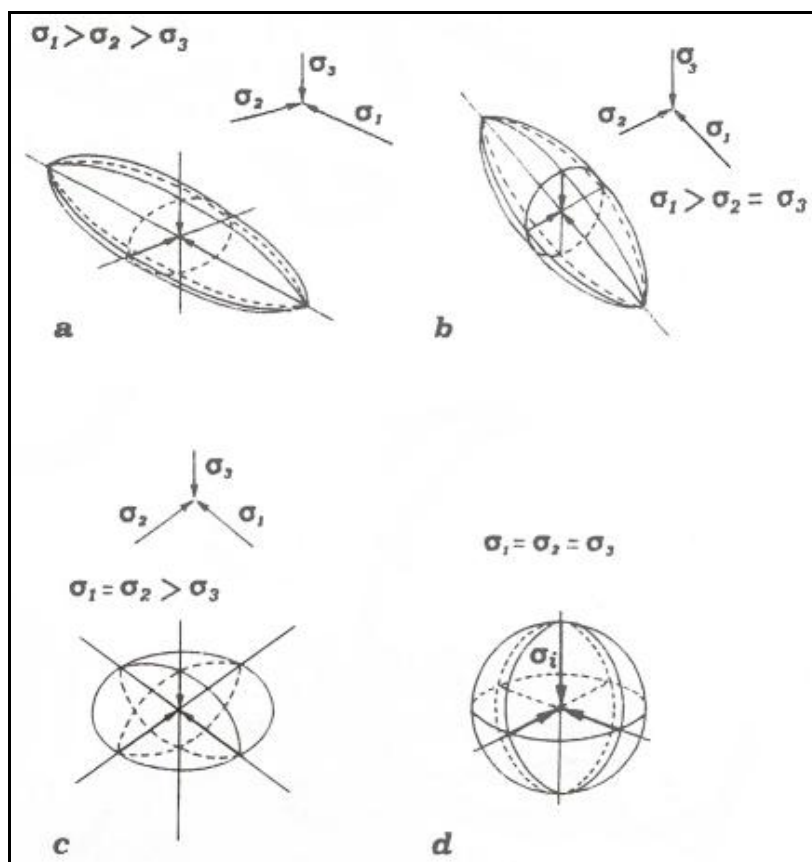


Figura 14. Possibili geometrie dell'ellissoide degli sforzi: a) ellissoide; b) sferoide prolato; c) sferoide oblato; d) sfera (da Boccaletti e Tortorici, 1987).

In natura non esiste un corpo perfettamente omogeneo, isotropo e continuo, quindi il regime di stress agente in un determinato corpo avrà comunque un certo grado di eterogeneità. Determinare il campo di stress di una certa area è necessario per definire i processi deformativi in atto nell'area stessa. Studiando la sismicità di una regione, attraverso l'analisi

dei meccanismi focali, si possono ricavare delle informazioni approssimative sul campo di stress agente in quella regione, grazie alla distribuzione degli assi di deformazione P e T (o assi di strain). Bisogna specificare che gli assi di stress σ_1 e σ_3 non coincidono con gli assi di deformazione P e T, infatti i primi due rappresentano la causa della deformazione, mentre i secondi rappresentano l'effetto. Una eventuale coincidenza si avrebbe soltanto nel caso di deformazione per taglio puro, cioè di tipo coassiale, in cui gli assi di deformazione non ruotano in conseguenza dello sforzo applicato. Nella maggioranza dei casi, però, le deformazioni avvengono per taglio semplice, con conseguente rotazione degli assi di deformazione; in tal caso non si ha nessuna coincidenza tra assi di stress e assi di strain. Inoltre la rimobilizzazione di faglie pre-esistenti, orientate anche in maniera sfavorevole rispetto al regime di stress di una regione, rende plausibili direzioni degli assi P e T anche molto lontane dalle direzioni dei massimi stress di compressione e tensione (*Scholz*, 1990). Si deduce, quindi, che un singolo meccanismo focale non è assolutamente sufficiente a fornire indicazioni corrette sul campo di stress dell'area in esame, tuttavia, considerando l'insieme degli assi P e T calcolati per numerosi eventi, si possono ottenere informazioni sul regime di sforzi regionale.

7. PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI

7.1 Analisi delle forme d'onda: SEISMPOL

Nel presente lavoro di tesi sono state analizzate le forme d'onda di circa 500 terremoti, per un totale di circa 134,000 tracce sismiche. L'analisi dei segnali sismici e lo studio delle loro forme d'onda sono stati effettuati tramite il programma di calcolo *SeismPol*, Versione 2.1, (Patanè e Ferrari, 1998).

La determinazione dei tempi d'arrivo (*picking*) delle fasi P, è stata effettuata sulle forme d'onda registrate sia dalle stazioni a sola componente verticale, sia dalle stazioni a tre componenti. Queste ultime registrano l'evento su tre piani ortogonali tra di loro: uno verticale (Z) e due orizzontali, di cui uno orientato N-S e l'altro E-W. Ricordiamo che le onde P producono un'oscillazione delle particelle del mezzo in cui si propagano, parallelamente alla direzione di propagazione dell'onda. Le onde S invece producono un'oscillazione delle particelle perpendicolarmente alla direzione di propagazione. A causa di queste modalità di vibrazione, sulla componente verticale è ben registrata la fase P, mentre sulle componenti orizzontali è più evidenziata la fase S. Di conseguenza, i tempi d'arrivo delle onde di taglio, sono stati determinati sulle forme d'onda registrate dalle stazioni a tre componenti.

Per ogni lettura delle onde P effettuata, sono state individuate le caratteristiche relative al primo impulso, necessarie per il calcolo ipocentrale e per la determinazione dei meccanismi focali dei terremoti. Queste caratteristiche sono qui di seguito riportate:

- segnale ***impulsivo*** o ***emergente***, a seconda se la risalita del primo impulso è ripida o graduale;
- ***up*** o ***down***, se il primo impulso è rispettivamente verso l'alto o verso il basso;
- ***peso***, precisione con cui è stata effettuata la lettura (può variare da 0, ottima, a 4, scarsa).

In questo lavoro i pesi sono stati assegnati proporzionalmente all'incertezza (secondi) sulla lettura (che dipende soprattutto dalla qualità del segnale), secondo la Tabella qui di seguito riportata:

PESO	0	1	2	3	4
Onde-P	< 0.05	0.05 ÷ 0.1	0.1 ÷ 0.15	0.15 ÷ 0.2	>0.2
Onde-S	< 0.1	0.1 ÷ 0.175	0.175 ÷ 0.25	0.25 ÷ 0.3	>0.3

Tabella 1

Nel caso più semplice, in cui si aveva un bassissimo rumore di fondo e l'arrivo dell'impulso P era particolarmente evidente, è stato assegnato un peso pari a 0. Nel caso in cui la qualità del segnale non era ottimale è stato attribuito un peso superiore, in funzione dell'incertezza stimata.

In basso è riportato un esempio di analisi su un segnale registrato, in Sicilia sud-orientale, da una stazione a tre componenti. La forma d'onda P presenta un *picking* di tipo **impulsivo**, con polarità **up** e con **peso** 0, lo stesso attribuito all'arrivo della fase S (Fig. 15).

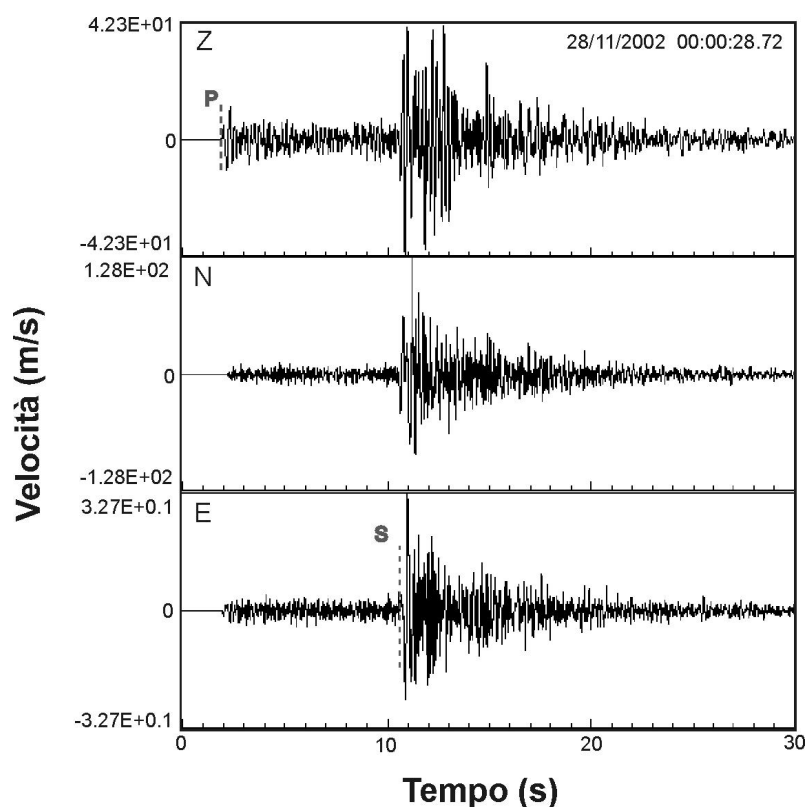


Figura 15. Esempio di *picking* di un evento registrato alla stazione a tre componenti SSY.

Un'analisi più dettagliata delle forme d'onda è stata condotta per identificare la direzione di polarizzazione delle fasi S e l'angolo di incidenza delle fasi P, al fine di includere i dati così ottenuti nella procedura di inversione per la determinazione delle soluzioni focali. Alle tracce sismiche delle stazioni a tre componenti è stato applicato, quindi, un filtro di polarizzazione in grado di discriminare le onde di compressione dalle onde di taglio. Il filtro di polarizzazione utilizzato dal programma è basato sull'algoritmo di *Montalbetti e Kanasewich* (1970), secondo cui è calcolata la matrice di covarianza (Covariance Matrix Decomposition, CMD). Il risultato del filtro è controllato dalle funzioni di *rettilinearità*, valutazione della propagazione del raggio sismico secondo una linea retta, e di *coerenza*, indice di correlazione tra le fasi d'onda. Su una finestra temporale del segnale sismico, la matrice di covarianza fornisce tre autovalori e tre autovettori associati all'ellissoide di polarizzazione, che descrivono il movimento del suolo (*Jurkevics*, 1988). In tal modo il programma fornisce due parametri indispensabili per definire la direzione di propagazione dell'onda in esame: l'angolo di *back-azimuth*, misurato sull'orizzontale e definito come l'angolo necessario per portare in ricoprimento il vettore congiungente la stazione e il nord sul vettore epicentro-stazione, e l'*angolo d'incidenza*, variabile tra 0° e 90° e misurato tra la direzione del raggio sismico e la verticale. In virtù delle caratteristiche di propagazione dei diversi tipi di onde sismiche, l'angolo di incidenza presenta in genere bassi valori per le fasi P, e valori prossimi a 90° per le onde S. Le funzioni di rettilinearità, variabile tra 0 e 1, e di coerenza, variabile tra -1 e 1, assumono valori prossimi all'unità nel caso di onde di volume, sia compressive che di taglio. In Figura 16 è mostrato un esempio di analisi di un terremoto registrato in Sicilia sud-orientale. Osservando gli odogrammi (sulla sinistra), il *particle motion* sul piano Z-R (piano verticale contenente la direzione di propagazione del raggio sismico) consente un riscontro visivo dell'angolo di incidenza delle onde P e S.

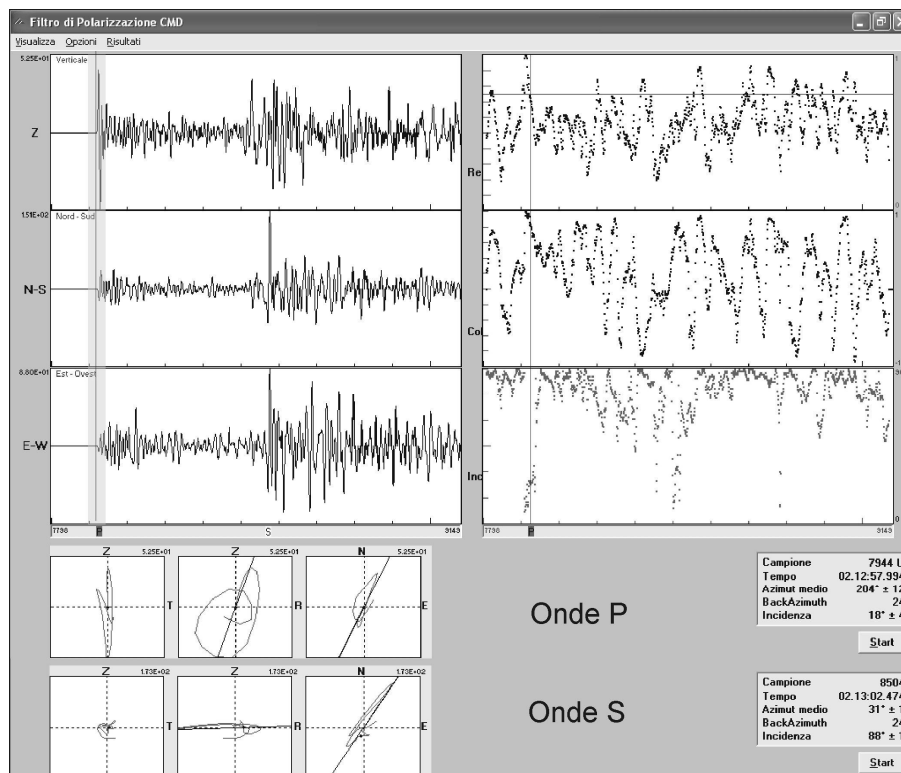


Figura 16. Finestra di lavoro del programma *SeismPol*. Esempio di analisi di un evento sismico (21 Febbraio del 2002) registrato alla stazione SR3 (a tre componenti) mediante applicazione del filtro di polarizzazione CMD. Sono messi a confronto i risultati ricavati con il filtro CMD (azimuth e angolo di incidenza, sulla destra) e gli odogrammi del *particle motion* (sulla sinistra).

Il calcolo dei parametri suddetti rende possibile la rotazione automatica, da parte del programma, di ciascuna traccia sismica in un nuovo sistema di coordinate definito da un asse longitudinale (L), un asse trasversale (T) e da un terzo asse (Q) ortogonale ai precedenti (Fig. 17). Gli assi L, Q e T coincidono con la direzione di propagazione rispettivamente dell'onda P, dell'onda SH (movimento sul piano orizzontale) e dell'onda SV (movimento sul piano verticale). La rotazione nel sistema L-Q-T verifica la validità dell'analisi e mostra la ripartizione dell'energia delle onde S nelle componenti SH e SV.

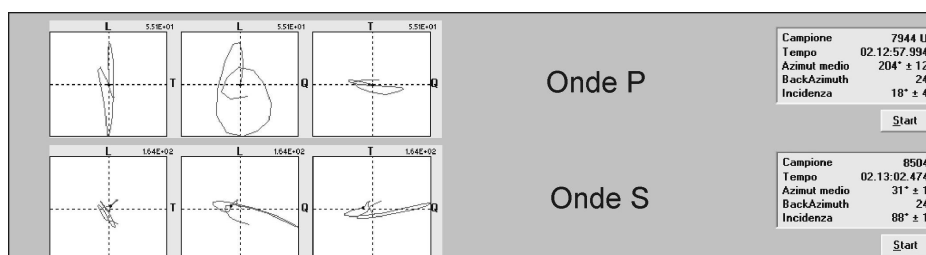


Figura 17. Esempio di visualizzazione delle tracce sismiche nel sistema di coordinate LQT.

L'analisi di polarizzazione delle fasi S deve essere effettuata in maniera accurata, in quanto le onde di taglio possono subire deformazione a causa dell'interazione con la superficie libera, per raggi sismici prossimi all'orizzontale. Per ridurre gli effetti che causano la distorsione della direzione di polarizzazione delle fasi S, occorre considerare segnali con angolo di incidenza alla stazione inferiore a quello critico. Per un semispazio perfettamente omogeneo, con un coefficiente di Poisson pari a 0.25, l'angolo critico è 35° .

In questo studio, l'analisi della direzione di polarizzazione delle fasi S è stata condotta seguendo un criterio di selezione dei dati sismici che consente di escludere le tracce sismiche delle onde di taglio che abbiano subito effetti di distorsione. Sono stati, quindi, considerati i terremoti con distanza epicentrale inferiore a $1.5 \times$ profondità, angolo di incidenza $P < 40^\circ$, angolo di incidenza $S > 70^\circ$, rettilinearità > 0.70 .

Durante la fase di analisi dei segnali sismici sono stati individuati degli eventi, ravvicinati nel tempo, caratterizzati da forme d'onda molto simili tra loro (Fig. 18). Eventi sismici caratterizzati da analoghe forme d'onda vengono chiamati "multipletti". Alcuni autori (e.g. *Geller e Mueller*, 1980; *Pechmann e Kanamori*, 1982) li interpretano come un rilascio di stress sulle asperità della stessa struttura sismogenetica.

In Figura 18 vengono rappresentati quattro eventi sismici appartenenti a un multipletto registrato alla stazione SSY il 30 Luglio del 2007, nel settore a nord dell'Avampaese Ibleo. Si nota come le forme d'onda siano molto simili e siano caratterizzate da una fase P di tipo impulsivo con polarità verso il basso. Per i multipletti individuati in questo lavoro si osservano meccanismi focali simili, ipotizzando un processo di sorgente univoco per i diversi terremoti (Figura 42; cap 8.3.4).

STAZIONE SSY (30/07/2007)

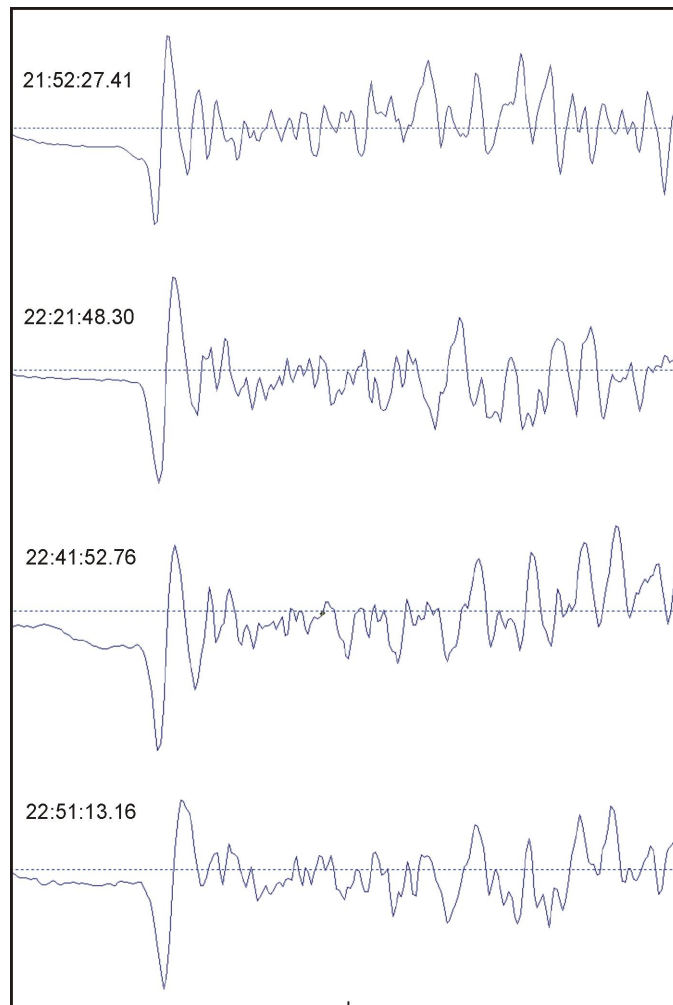


Figura 18. Forme d'onda di quattro eventi sismici appartenenti a un multipletto registrato alla stazione SSY. Ciascuna forma d'onda rappresenta una finestra del segnale in velocità, avente lunghezza di 2 s. I tempi origine sono indicati in alto a sinistra di ciascuna traccia. Tutte le tracce sono allineate rispetto al primo impulso del segnale.

In questo lavoro di tesi sono state ricavate 8,474 letture dei tempi d'arrivo delle onde P e 1,667 letture di onde S. Successivamente, da questo data-set iniziale (500 eventi sismici) sono stati selezionati 464 terremoti con un numero di osservazioni minimo pari a 6 (comprendente fasi P ed S).

7.2 Localizzazioni ipocentrali: HYPOELLIPSE

Le localizzazioni ipocentrali sono state realizzate tramite il programma HYPOELLIPSE (Lahr, 1999).

Questo programma si basa sull'algoritmo di Geiger, il quale permette di ridurre l'errore associato alla localizzazione tramite una serie di reiterazioni che tendono a minimizzare la sommatoria dei quadrati degli scarti (vedi cap. 4).

Il file di input (*.DAT) contiene una serie di informazioni:

- **modello di velocità** con strati orizzontali e paralleli tra loro, in cui vengono indicati la velocità, la profondità di ciascuno strato e il rapporto tra velocità delle onde P ed S;
- **lista delle stazioni** costituenti la rete sismica in questione, nella quale viene specificata latitudine, longitudine, quota e, dove disponibile, le eventuali correzioni alle stazioni;
- **tempi d'arrivo** delle onde P ed S determinati col criterio precedentemente esposto.

Oltre a queste informazioni bisogna inserire in questo file tutta una serie di opzioni (chiamate TEST), in modo da personalizzare l'analisi dei dati, in funzione anche delle conoscenze sull'assetto geologico-strutturale dell'area in esame. Alcune di queste opzioni sono rappresentate in Tabella 2.

TEST	Descrizione	Valore utilizzato
1	Rapporto V_p/V_s	1.73
5	Profondità iniziale (km rispetto al l.d.m.)	1.0
8	Elevazione del tetto del modello (km rispetto al l.d.m.)	0.0
21	Massimo numero di iterazioni	15.0

Tabella 2

Come detto nel paragrafo precedente, alle letture delle fasi P ed S è stato assegnato un peso variabile da 0 a 4 in funzione dell'incertezza sulla lettura, che dipende anche dalla qualità del segnale. Le letture con peso pari a 4 non verranno utilizzate nel calcolo ipocentrale, mentre quelle con peso inferiore a 4 influenzeranno in maniera diversa la localizzazione, in base al criterio seguito dal programma di calcolo (Tabella 3).

Peso assegnato dall'operatore	Peso assegnato dal programma
0	1.0
1	1/25
2	1/100
3	1/400
4	0.0

Tabella 3

Il grafico in Figura 19 mette in relazione il peso in funzione dell'incertezza (secondi). Si nota come all'aumentare del peso assegnato dall'operatore, il programma attribuisca un valore sempre maggiore all'incertezza (Standard error).

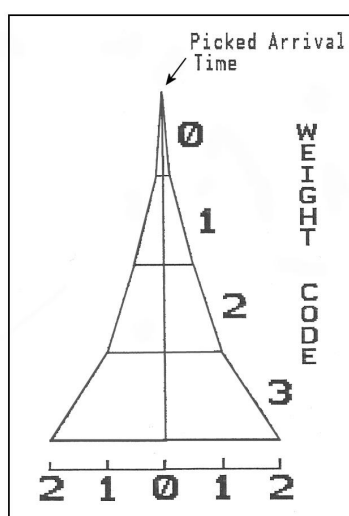


Figura 19. Grafico che mette in relazione il peso assegnato dall'operatore in funzione dell'incertezza (s).

Dopo aver compilato il file di input (*.DAT) e avviato il programma, esso fornirà alcuni file di output che descrivono le caratteristiche della localizzazione effettuata. Essi sono:

- *.SUM, contiene le principali informazioni sulla localizzazione;
- *.LOG, fornisce i residui per ogni stazione e segnala eventuali messaggi di errore;
- *.OUT, contiene le informazioni sulle procedure utilizzate e il risultato completo della localizzazione;
- *.ARC, archivia le fasi utilizzate.

In Figura 20 è rappresentata una parte del file *.OUT in cui sono riportate le principali informazioni sulla localizzazione, tra cui *tempo origine* dell'evento, *latitudine*, *longitudine*, *profondità* e i relativi *errori associati* (nel tempo e nello spazio).

DATE	ORIGIN	LAT	LONG	DEPTH	MAG	NO	D1	GAP	D	RMS	AVWT	SE				
20405	451	25.55	38N26.99	15E 5.91	11.33		15	12	156	1	.13	1.00	.10			
SEH SEZ Q SQD ADJ IN NR AVR AAR NM AVXM SDXM NF AVFM SDFM																
	.5	.4	C B C	.58	10	27	.0000	.099	0		.0	0	.0			
-- TRAVEL TIMES AND DELAYS --																
STN	C	PHA	REMK	P	P-SEC	S-SEC	RESID	STD-ER	DIST	AZM	AIN	TC	C	VTHK	TTOB-TTCAL-DLAY-EDLY=RESID	
VUGZ			IPDO	D	28.56		.08	.10	11.5	239	135	2		3.01	2.90	.032 .08
VUGN			P	4	28.56		.08	-----	11.5	239	135	2		3.01	2.90	.032 .08
VUGN	S		S	3		30.61	-.01	.40			135	2		5.06	5.01	.055 -.01
VCRZ			IPDO	D	28.71		.07	.10	12.8	250	131	2		3.16	3.07	.021 .07
VPLZ			IPDO	D	28.75		.02	.10	13.2	232	131	2		3.20	3.12	.057 .02
VPLN			P	4	28.75		.02	-----	13.2	232	131	2		3.20	3.12	.057 .02
VPLN	S		S	3		30.80	-.25	.40			131	2		5.25	5.40	.099 -.25
LIQV			IPUD	C	29.15		-.14	.10	17.3	293	123	2		3.60	3.71	.034 -.14
PANV			IPDO	D	29.99		.13	.10	21.2	353	118	2		4.44	4.31	.003 .13
MILZ			IPDO	D	30.63		-.22	.10	23.0	150	97	6		5.08	5.32	-.02 -.22
SLNA			IPD4	D	31.09		.36	-----	26.4	299	113	2		5.54	5.15	.026 .36
MALZ			IPDO	D	35.34		.01	.10	51.4	149	72	6		9.79	9.79	-.26 .254 .01
MALN			P	4	35.34		.01	-----	51.4	149	72	6		9.79	9.79	-.26 .254 .01
MALN	S		S	3		42.98	.45	.40			72	6		17.43	17.13	-.60 .444 .45
SCLL			IPD4	D	36.60		.21	-----	58.0	112	72	6		11.05	10.82	.020 .21
MMME			P	4	36.68		-.07	-----	58.7	167	72	6		11.13	10.94	.010 .242 -.07
MMME	S		S	2		45.18	.42	.20			72	6		19.63	19.15	-.36 .424 .42
MMMZ			IPDO	D	36.68		-.05	.10	58.8	167	72	6		11.13	10.95	.010 .228 -.05
ACLV			IPDO	D	37.33		-.04	.10	65.5	278	59	2		11.78	11.81	.013 -.04
ECMV			P	3	38.09		.36	.40	66.1	167	59	1		12.54	11.94	.240 .36
MTTG			IPD4	D	38.61		-.14	-----	72.3	133	72	6		13.06	13.06	.137 -.14
S3RZ			P	4	47.96		.75	-----	129.7	183	53	3		22.41	21.58	.082 .75
S3RN			P	4	47.96		.75	-----	129.7	183	53	3		22.41	21.58	.082 .75
S3RN	S		S	4		65.91	2.57	-----			52	4		40.36	37.68	.113 2.57
S3RE			P	4	47.96		.75	-----	129.7	183	53	3		22.41	21.58	.082 .75
S3RE	S		S	4		65.11	1.77	-----			52	4		39.56	37.68	.113 1.77
S7RZ			P	3	52.48		.28	.41	167.9	190	53	3		26.93	26.41	.232 .28

Figura 20. Esempio di file .OUT fornito dal programma *Hypoellipse* (Lahr, 1999) per l'evento registrato il 5 Aprile del 2002 alle Isole Eolie.

Oltre alle suddette informazioni vengono forniti anche tutta una serie di parametri, che il programma combina tra loro, fornendo tre differenti tipi di qualità. Tali parametri sono:

- NO, numero di letture delle fasi P ed S che sono state utilizzate per il calcolo ipocentrale;
- D1, distanza epicentrale (in km) della stazione più vicina utilizzata nella soluzione;
- GAP, distanza angolare massima tra due stazioni, misurata come angolo all'epicentro;

- RMS, errore nel tempo origine (in sec.):

$$\text{RMS} = \sqrt{\sum_1^N W_i R_i^2 / \sum_1^N W_i}$$

dove R_i sono i residui alle stazioni, cioè il tempo osservato meno quello calcolato, mentre W_i (con $i=1,N$) sono i pesi delle letture;

- SEH, errore sulle coordinate orizzontali (latitudine e longitudine) in km;
- SEZ, errore sulla profondità dell'ipocentro in km.

Combinando questi parametri nel modo schematizzato nelle Tabelle 4, 5 e 6, il programma attribuisce al risultato della localizzazione, rispettivamente le qualità S, Q, D.

La qualità **Q** tiene conto degli errori sulle coordinate orizzontali, la qualità **S** oltre a questi errori prende in considerazione l'errore sul tempo origine, mentre la qualità **D** è definita dalla distribuzione delle stazioni e dal numero di letture.

S	RMS (s)	SEH (km)	SEZ (km)
A	< 0.15	≤ 1.0	≤ 2.0
B	< 0.30	≤ 2.5	≤ 5.0
C	< 0.50	≤ 5.0	
D	Altri		

Tabella 4

Q	SEH, SEZ (km)
A	≤ 1.34
B	≤ 2.67
C	≤ 5.35
D	> 5.35

Tabella 5

D	No	GAP (°)	DMIN
A	≥ 6	≤ 90	$\leq$ Profondità o 5 km
B	≥ 6	≤ 135	≤ 2 Profondità o 10 km
C	≥ 6	≤ 180	≤ 50 km
D	Altri		

Tabella 6

7.3 Meccanismi Focali: FPFIT

Lo studio dei meccanismi focali permette di determinare il meccanismo responsabile di un terremoto. Il programma di calcolo utilizzato, preliminarmente, a tale scopo è FPFIT (*Reasenberg e Oppenheimer*, 1985). Questo programma considera come modello sorgente dell'evento sismico piani di faglia con meccanismo di doppia coppia (in tal modo i momenti di forze si annullano e il sistema alla sorgente risulta bilanciato). Proiettando le polarità dei primi impulsi delle onde P sulla sfera focale, esso elabora la soluzione che meglio si adatta alla loro distribuzione.

La determinazione della coppia di piani normali tra loro (soluzione focale), viene effettuata mediante un procedimento di ricerca a griglia, che tende a minimizzare la somma normalizzata e pesata delle differenze tra tempi d'arrivo teorici e sperimentali, rispetto a un modello sorgente caratterizzato da un certo valore di *strike*, *dip* e *rake*.

Questa minimizzazione viene effettuata prendendo in considerazione due tipologie di peso: uno che è stato precedentemente assegnato dall'operatore per ciascuna lettura del primo impulso, l'altro viene assegnato dal programma stesso in funzione della distribuzione teorica delle ampiezze delle onde P. Il criterio seguito dal programma è di dare un maggior peso a quelle stazioni posizionate a maggior distanza dai piani nodali.

Per ciascun evento sismico, il programma confronta le polarità osservate alle varie stazioni con quelle calcolate per una *suite* di modelli sorgente, infine definisce la qualità del confronto mediante una funzione F , detta "funzione di misfit". Tale funzione viene calcolata per ciascun modello sorgente della *suite* e il modello che minimizza F viene scelto come soluzione del meccanismo focale. Può verificarsi che più modelli sorgente minimizzino la funzione F allo stesso modo (soluzione non univoca), in tal caso il programma fornisce le soluzioni multiple (indicandole con un asterisco) e i relativi errori associati. Per avviare FPFIT occorre inserire un file di input *.ARC che viene fornito in uscita dal programma *Hypoellipse*. Dopo l'elaborazione della migliore soluzione focale il programma fornisce alcuni file di output, tra questi ricordiamo il file *.POL che verrà successivamente utilizzato per avviare FPLOT, una parte del programma che permette di visualizzare le soluzioni finali. Queste vengono rappresentate su diagrammi equi-areali, proiettando le polarità

sull'emisfero inferiore della sfera focale. Il programma FPLOT visualizza la migliore soluzione all'interno di un cerchio più grande, mentre all'interno di un cerchio più piccolo vengono rappresentati i campi contenenti le possibili orientazioni degli assi di deformazione.

L'asse di **pressione** (P) è posizionato nel quadrante in distensione, mentre quello di **tensione** (T) nel quadrante in compressione. In Figura 21 è rappresentato un esempio di soluzione focale così come schematizzata da FPLOT. Nel cerchio piccolo si osserva una buona distribuzione degli assi P e T all'interno di campi abbastanza ristretti. Questa distribuzione, associata a bassi errori sullo *strike*, *dip* e *rake*, indica una buona qualità della soluzione focale ottenuta.

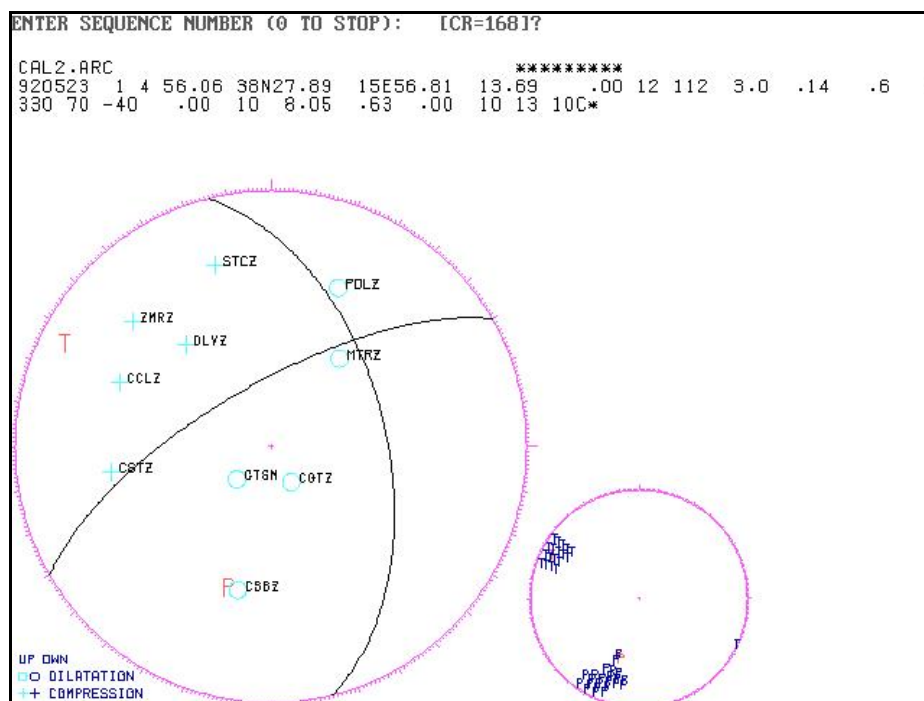


Figura 21. Finestra del programma FPLOT (Reasenberg e Oppenheimer, 1985).

Per ogni meccanismo focale viene riportata la localizzazione ipocentrale, l'orientazione di uno dei due piani (l'altro piano, essendo perpendicolare, viene ottenuto in maniera univoca) e tutta una serie di parametri utili a definire la qualità della soluzione.

I parametri che definiscono l'orientazione nello spazio del piano nodale sono:

- **strike**, angolo che la direzione del piano nodale forma rispetto al nord, misurato in senso orario a partire dal nord (in gradi);

- **dip**, angolo che il piano nodale forma rispetto all'orizzontale, misurato in gradi su un piano verticale perpendicolare allo strike;
- **rake**, angolo tra la direzione del piano e il vettore movimento misurato in gradi sul piano stesso. Il programma utilizza un codice basato sul valore del rake: 0° =trascorrente sinistra, 90° =inversa, $\pm 180^\circ$ =trascorrente destra, -90° =diretta.

I parametri che danno indicazioni sull'affidabilità della soluzione sono:

- **Fj**, funzione che esprime l'accordo tra polarità osservate e teoriche, varia tra 0.0 e 1.0. $F_j=0.0$ indica un ottimo accordo dei dati;
- **Nobs**, numero di osservazioni (polarità) utilizzate nella soluzione;
- **AVWT**, valore medio dei pesi attribuiti alle osservazioni, varia da 0.0 a 30.0. Più si avvicina a 30.0, migliore sarà la soluzione;
- **STDR**, indica la distribuzione azimuthale delle polarità sulla sfera focale in relazione al pattern di radiazione delle onde P, varia da 0.0 a 1.0. Se $STDR < 0.5$ si ha un numero elevato di polarità in prossimità dei piani nodali, cioè sono mal distribuite sul piano equatoriale.

Infine vengono riportati gli errori associati allo *strike*, *dip* e *rake* che sono rispettivamente ΔSTR , ΔDIP , ΔRAK . Più bassi sono questi valori, migliore sarà la qualità della soluzione.

Dai meccanismi focali ottenuti dall'analisi dei terremoti in una determinata area, possiamo soltanto ipotizzare la presenza di una struttura coincidente con uno dei due piani focali.

Per poter definire quale dei due corrisponde al piano di faglia si ricorre allo studio degli *aftershock* (eventi sismici successivi a quello principale), i quali si distribuiscono sul piano di faglia, oppure all'analisi della polarizzazione delle onde S (metodo strumentale più affidabile), ma occorrono diverse letture delle fasi S, e infine a osservazioni geologico-strutturali di campagna.

7.4 Meccanismi Focali integrati:

In una seconda fase, allo scopo di ottenere soluzioni focali più affidabili, è stato adottato un metodo di inversione non lineare (*De Natale et al.*, 1991; *Zollo e Bernard*, 1991), che utilizza ulteriori dati ottenuti dall'analisi dei segnali sismici.

Il metodo è basato su un approccio probabilistico di tipo bayesiano e si avvale di due osservabili sperimentali: la polarità dei primi impulsi P e la direzione di polarizzazione delle onde S. A differenza delle tecniche standard, esso è particolarmente adatto allo studio dei microterremoti ($2 < M < 4$) e richiede la stabilità della direzione di polarizzazione dell'onda S in una finestra temporale dell'ordine della durata della dislocazione (*De Natale et al.*, 1995). Tale stabilità nella fase S diretta è coerente con l'ipotesi di una dislocazione stabile in un mezzo isotropo, in assenza di particolari effetti di propagazione (amplificazione di sito, effetti di interfaccia e di sorgente vicina, onde di superficie, marcate discontinuità di velocità durante il percorso, angolo di incidenza critico). Tali fenomeni perturbatori influiscono notevolmente sulle alte frequenze ($f > 1$ Hz) presenti nelle registrazioni dei microterremoti, per distanze ipocentro-stazione di poche decine di km (*Bernard e Zollo*, 1989) e la conseguente complessità delle forme d'onda osservate produce spesso notevoli difficoltà interpretative. In determinate condizioni (assenza di marcate eterogeneità, angolo di incidenza quasi verticale alla superficie libera) gli effetti di perturbazione sulla polarizzazione S possono comunque ritenersi trascurabili e si può quindi applicare il metodo probabilistico.

La tecnica di inversione prevede l'assunzione, *a priori*, di un modello di sorgente (con parametri *strike*, *dip* e *slip*) e la definizione di una funzione densità di probabilità (pdf), *a posteriori*, associata al modello stesso. Tale funzione evidenzia la compatibilità esistente tra modello e osservabili sperimentali. La funzione densità di probabilità per le direzioni di polarizzazione S, data una serie di modelli di parametri, è definita assumendo una distribuzione di tipo gaussiano degli errori previsti. Il data-set di polarità P osservate è preso in considerazione in termini di funzione densità di probabilità *a priori*, definita secondo *Brillinger et al.* (1980). Infine, i valori delle probabilità *a posteriori* vengono rappresentati in proiezione su tre piani ortogonali (*strike-dip*, *strike-slip* e *dip-slip*). Quindi si visualizzano i

meccanismi appartenenti a tre livelli di probabilità (66%, 90% e 99%), ovvero le soluzioni migliori con i corrispondenti limiti di confidenza (vedi Fig. 23).

Affinché il programma possa procedere con il calcolo della soluzione focale, bisogna fornire un file di input (*.IMF) con una serie di informazioni:

- **angolo di take-off** delle fasi P, angolo che la direzione del raggio sismico forma rispetto alla verticale, al punto sorgente (in gradi);
- **azimuth** delle fasi P, angolo che la direzione del raggio sismico P, proiettata sull'orizzontale, forma rispetto al nord (in gradi);
- **polarità** dei primi impulsi P, impulso verso l'alto (+) o verso il basso (-);
- **angolo di incidenza** delle fasi P, angolo che la direzione del raggio sismico forma rispetto alla verticale, alla stazione (in gradi);
- **direzione di polarizzazione** delle fasi S, esprime l'angolo, misurato in gradi, tra la direzione di vibrazione dall'onda sismica trasversale e il nord.

Dopo aver avviato il programma, oltre alle informazioni introdotte tramite il file di input *.IMF, bisogna inserire il modello di velocità, utilizzato per la localizzazione ipocentrale dell'evento, e la profondità focale dell'evento stesso. In tal modo il programma procede con il calcolo della velocità media di propagazione delle fasi P (V_p) e S (V_s), necessaria per ricostruire il tragitto del raggio sismico dal punto sorgente alla stazione. In Figura 22 è rappresentata la finestra di lavoro del programma utilizzato, in cui sono presenti le informazioni (sopra indicate) necessarie per l'inversione dei dati.

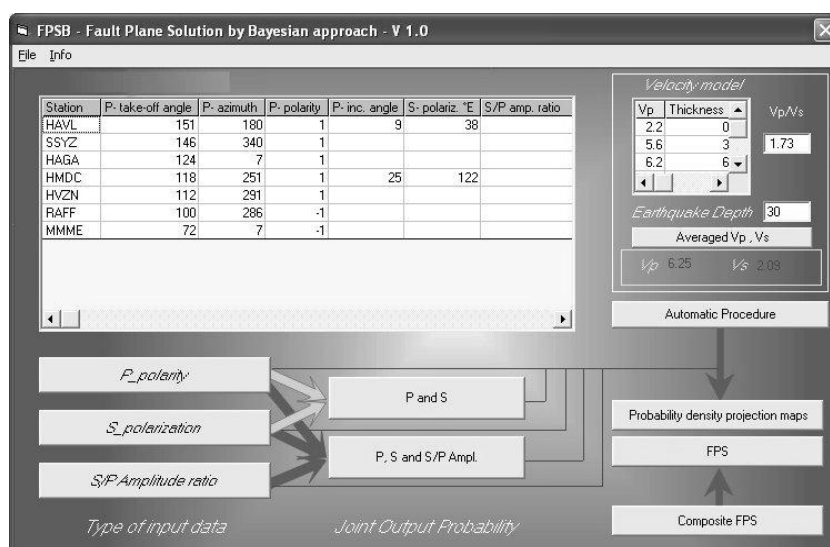


Figura 22. Finestra di lavoro del programma elaborato da *De Natale et al.* (1991) e da *Zollo e Bernard* (1991).

Come esempio, in Figura 23 sono riportati i risultati dell'inversione per tre terremoti localizzati in Sicilia sud-orientale e nord-orientale. Viene mostrata la proiezione dei diversi livelli di probabilità e il meccanismo focale (emisfero inferiore) associato al massimo valore della funzione di probabilità, ottenuti invertendo le polarità P (Fig. 23, in alto) e le polarità P e polarizzazione S congiuntamente (Fig. 23, in basso). Dal confronto dei risultati si nota una sensibile riduzione delle aree di confidenza dei valori di probabilità e della dispersione degli assi P e T, invertendo i dati P e S. L'uso anche di due soli dati di polarizzazione S (in alcuni casi anche uno), produce generalmente un miglioramento della soluzione focale, riducendo le incertezze associate ai parametri di sorgente.

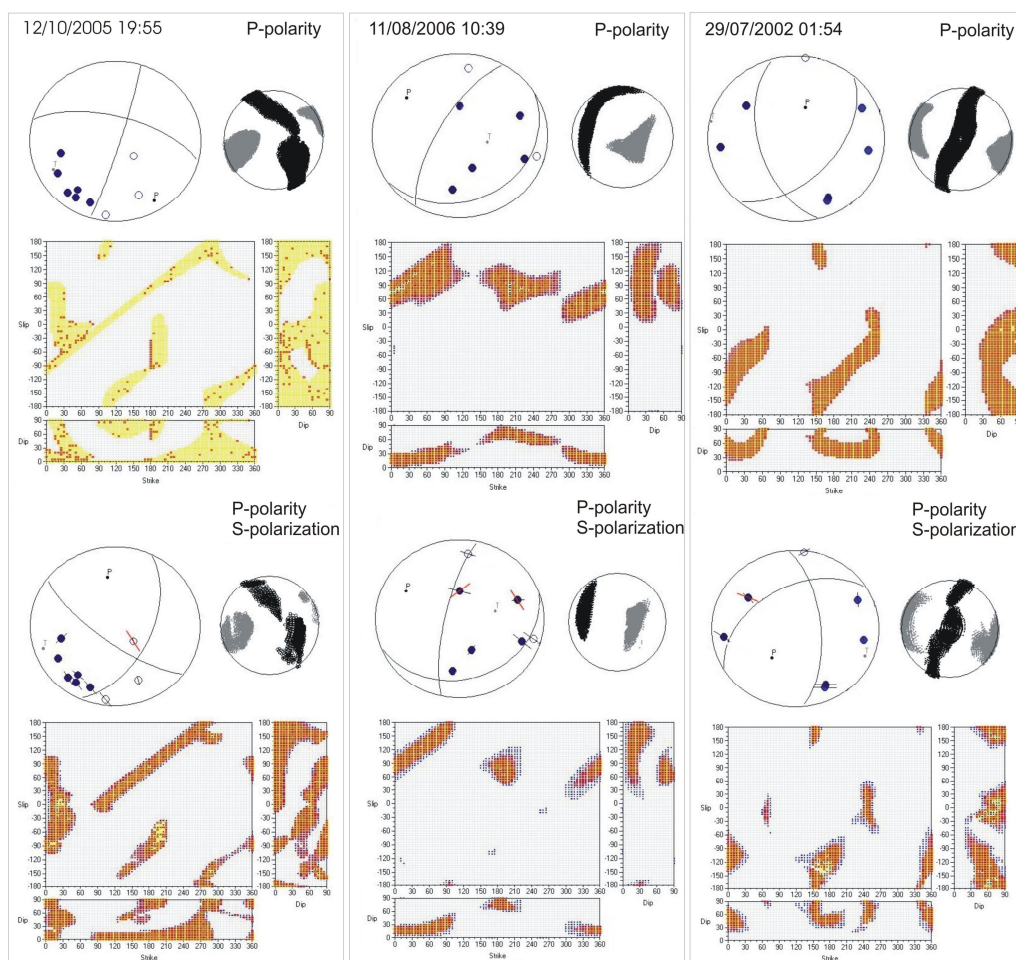


Figura 23. Esempio di inversione per tre terremoti. Proiezione, su tre piani ortogonali, della densità di probabilità relativa allo *strike*, *dip* e *slip* ricavate dall'inversione delle polarità P (in alto) e polarità P e polarizzazione S (in basso). La proiezione riguarda i parametri di sorgente appartenenti a livelli di probabilità 0-66% (giallo), 66-90% (rosso) e 90-99% (blu). Sono rappresentati i meccanismi focali e i limiti di confidenza al 90% degli assi P e T. Le polarità P sono indicate con cerchi di colore nero (*up*) e bianco (*down*), mentre le polarizzazioni S con segmenti di colore rosso (osservate) e nero (teoriche).

7.5 Campo di sforzo

Il programma utilizzato per determinare l'orientazione dei tre assi di sforzo è il programma di *Gephart e Forsyth* (1984).

Questo programma fornisce, per un determinato volume di roccia, il corrispondente tensore degli sforzi, partendo da soluzioni a faglia piana (FPS) dei terremoti che hanno interessato lo stesso volume. Oltre all'utilizzo di soluzioni focali, il programma è in grado di fornire il tensore degli sforzi partendo da indicatori cinematici osservati in campagna.

Il metodo si basa su alcune assunzioni:

1. il campo di stress è uniforme nel volume di roccia preso in esame;
2. la dislocazione avviene lungo piani di faglia preesistenti;
3. lo scorrimento avviene lungo la stessa direzione dello sforzo di taglio individuato sul piano di faglia.

Mediante l'inversione, il programma determina un campo di stress in grado di minimizzare le discrepanze tra il set di dati inserito dall'operatore e un set di dati che sia concorde con il modello ottenuto. Infine il programma fornisce l'**orientazione** (direzione e plunge) degli assi principali di stress e un parametro R che indica la **magnitudo** dello sforzo totale. Tale parametro descrive la forma dell'ellissoide di stress, ed è espresso dal seguente rapporto:

$$R = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\sigma_3 - \sigma_1) \quad \text{con } 0 < R < 1$$

Ricordiamo che σ_1 , σ_2 , σ_3 rappresentano rispettivamente lo sforzo di compressione massima, intermedia e minima. Al variare della loro entità varia la geometria dell'ellissoide, quindi l'ambiente tettonico:

- R tende ad 1 se $\sigma_2 = \sigma_3$ Regime *UNIASSIALE*

- R tende a 0 se $\sigma_1 = \sigma_2$ Regime *BIASSIALE*

Il programma non fornisce l'intensità di ogni singolo asse di stress, ma soltanto l'orientazione.

In Figura 24 sono rappresentate le differenti forme dell'ellissoide degli stress, relative ai due valori estremi che può assumere R.

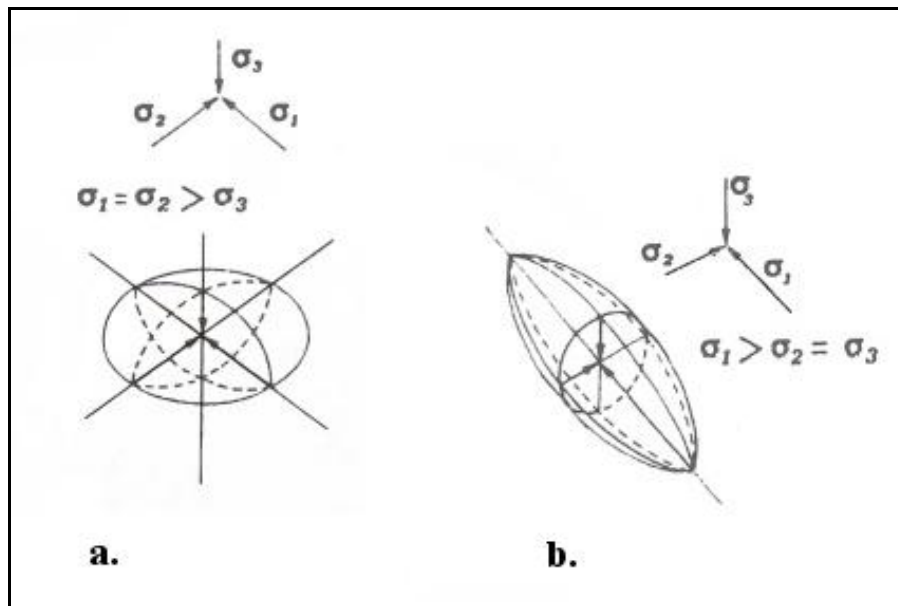


Figura 24. Possibili forme dell'ellissoide degli sforzi: **a.** sferoide oblato, **b.** sferoide prolato.

Il programma inoltre fornisce un parametro molto importante chiamato ***misfit***, il quale rappresenta l'errore associato al campo di stress ottenuto e corrisponde a un valore angolare.

Il “misfit” è definito come la rotazione minima attorno a ogni asse arbitrario che ciascuna FPS (soluzione del piano di faglia) deve subire per coincidere con una geometria che soddisfi il modello di stress trovato.

Le fasi principali del programma vengono qui di seguito descritte:

1. si assume un modello di stress attribuendo valori specifici ai parametri del tensore degli sforzi;
2. viene costituita una famiglia di FPS in funzione dello stress considerato nella prima fase, e, considerando differenti orientazioni di una superficie di dislocazione ipotetica, vengono forniti i misfit per entrambi i piani focali. Inoltre viene anche specificato il valore minimo (M) tra i due misfit ottenuti. Questa seconda fase viene ripetuta per tutte le soluzioni di faglia che l'operatore ha inserito e successivamente viene calcolato il valore medio dei misfit ottenuti (AM);
3. le fasi 1 e 2 vengono ripetute più volte considerando diversi modelli di stress, attraverso una griglia di ricerca (con passo stabilito dall'operatore) e infine viene individuato il miglior modello (F), corrispondente al minimo valore di AM;

4. successivamente, considerando il numero di osservazioni utilizzate (FPS con peso diverso da 0), una costante ($K=4$) che indica il numero di variabili, e infine il minimo valore di misfit medio ricavato (F), vengono calcolati i limiti di confidenza della soluzione ottenuta.

Il programma può utilizzare due differenti metodi per l'inversione dei dati, e trovare quindi la rotazione minima tra osservazioni e modello teorico:

- *Metodo approssimato*, richiede tempi inferiori per l'elaborazione dei dati però fornisce un valore del "misfit minimo" approssimativo;
- *Metodo esatto*, richiede tempi di elaborazione più lunghi ma fornisce un "misfit minimo" molto più preciso.

In genere si inizia col metodo approssimato, investigando tutti i 360° della sfera focale con un passo della griglia di ricerca pari a 10° . Successivamente si procede col metodo esatto, riducendo il campo di investigazione in funzione dei risultati ottenuti col primo metodo: si riduce la varianza e il passo della griglia di ricerca (da 10° a 5°).

Il programma prenderà in considerazione il piano nodale col misfit più basso.

In Figura 25 è mostrato un esempio di modello di stress ottenuto da soluzioni di meccanismi focali, a cui corrisponde il minimo valore di misfit medio. Il programma visualizza la distribuzione degli assi σ_1 e σ_3 , nel caso specifico nella porzione centrale e laterale del cerchio grande, e si nota che per ciascun asse si ha una dispersione di punti che rappresentano l'errore associato al modello di stress.

Ovviamente, minore è il campo di dispersione dei punti, migliore sarà la soluzione, in quanto sia il σ_1 che il σ_3 risultano più vincolati. L'istogramma rappresenta la distribuzione dei valori di R .

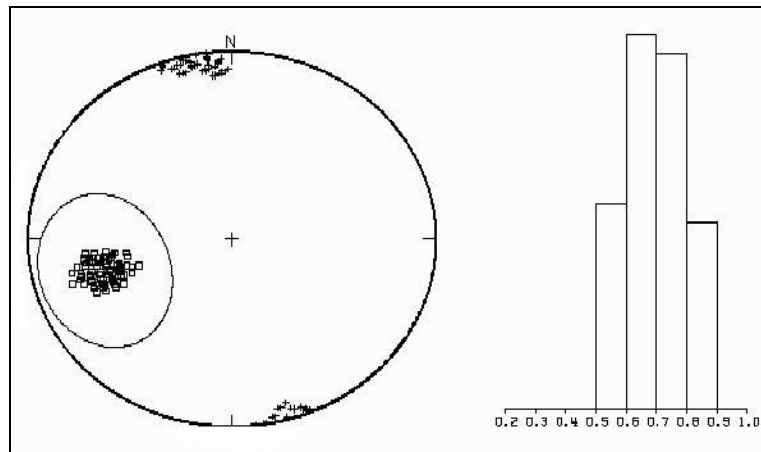


Figura 25. Finestra del programma di calcolo *Gephart e Forsyth* (1984) per il tensore dello sforzo calcolato nell'area delle Eolie.

Il valore del misfit medio (F) ottenuto, che corrisponde al miglior modello di stress, ci fornisce indicazioni sul grado di omogeneità dello stress agente nel volume investigato. In funzione della rotazione minima ottenuta (tra dati inseriti dall'operatore e modello teorico) possiamo avere diversi gradi di omogeneità (*Wyss et al.*, 1992):

- per $\text{misfit} < 6^\circ$, il campo di stress si considera ***uniforme***;
- per $\text{misfit} > 9^\circ$, il campo di stress ***non è uniforme***;
- per $6^\circ \leq \text{misfit} \leq 9^\circ$, la soluzione ottenuta è accettabile ma presenta alcuni ***livelli di eterogeneità***. In tal caso si suddivide il data-set iniziale in due o più *sub-set* (spaziali o temporali) e si procede nuovamente con l'inversione.

8 ANALISI DEI RISULTATI

8.1 Modelli di velocità utilizzati

Per ottenere una buona localizzazione ipocentrale dei terremoti, è necessario disporre di un appropriato modello di velocità in modo da ridurre gli errori associati al tempo origine e alle coordinate spaziali dell'ipocentro. Nella realtà non esiste, all'interno della Terra, un mezzo che sia perfettamente omogeneo, isotropo e continuo; se così fosse le onde si propagherebbero secondo dei fronti d'onda perfettamente sferici, senza alcuna ripartizione e attenuazione di energia lungo il tragitto ipocentro-stazione. Risulta quindi di fondamentale importanza definire una legge di propagazione delle onde sismiche che sia il più possibile vicina all'assetto geologico-strutturale del semispazio in cui esse stesse si propagano.

Differenti modelli di velocità monodimensionali (1D) sono stati utilizzati nell'ambito di questa tesi in funzione del settore in cui gli eventi sismici si sono verificati. Per la Sicilia nord-orientale e sud-orientale, sono stati utilizzati i modelli ottenuti da *Langer et al.* (2007) e *Musumeci et al.* (2003), rispettivamente. Per i settori Etna e Isole Eolie sono stati adottati i modelli di velocità di *Hirn et al.* (1991) e *Jeffreys e Bullen* (1967), rispettivamente. Un modello di velocità utilizzato dall'INGV (Sezione di Catania) è stato considerato per la localizzazione degli eventi sismici in prossimità di Stromboli. In Figura 25 vengono rappresentati i modelli di velocità sopra menzionati. In ascissa è stata riportata la velocità delle onde P, mentre in ordinata la profondità, rispetto al livello del mare. I modelli sono rappresentati da una successione di strati piano-paralleli, con velocità delle fasi P costanti all'interno di ciascuno strato e crescenti con la profondità (ad eccezione del modello di Stromboli che presenta inversione della velocità di propagazione).

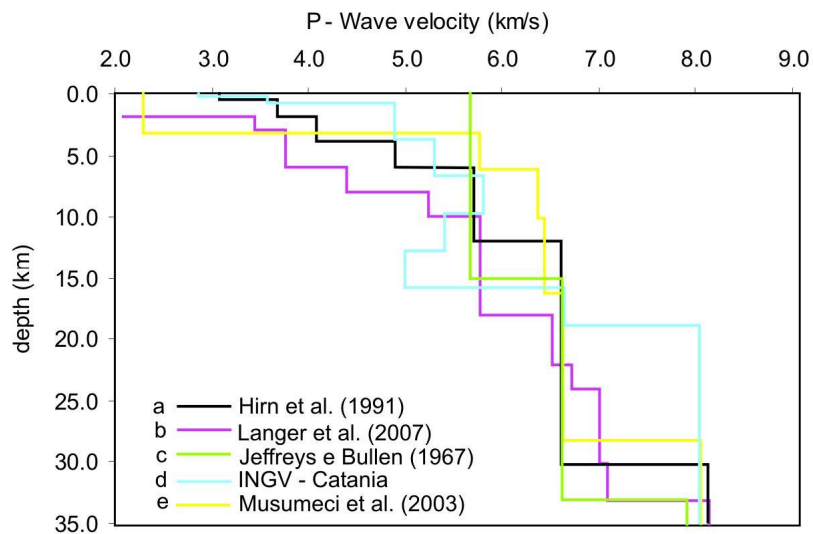


Figura 25. Modelli di velocità 1D utilizzati: a) Etna, b) Sicilia nord-orientale, c) Isole Eolie, d) Stromboli, e) Sicilia sud-orientale.

La bontà del modello di velocità dipende principalmente da tre fattori: una buona distribuzione delle stazioni costituenti la rete sismica, un elevato numero di osservazioni (primi arrivi delle fasi P ed S) e buoni metodi di analisi (dalle letture dei sismogrammi fino all'inversione simultanea dei dati).

8.2 Localizzazioni ipocentrali

Gli eventi sismici localizzati individuano una fascia compresa tra 36.491° e 39.093° di latitudine, mentre la longitudine è variabile tra 14.021° e 16.220° .

In Figura 26 è rappresentata la distribuzione ipocentrale dei 464 eventi sismici selezionati, aventi numero di osservazioni minimo pari a 6 (comprendente fasi P e S), un'incertezza sulle coordinate epicentrali (Erh) e profondità (Erz) inferiore a 2.5 km e 3.5 km, rispettivamente, ed errore nel tempo origine (rms) inferiore a 0.3 s. Il valore medio degli errori ipocentrali con la relativa deviazione standard è 0.7 ± 0.5 e 0.8 ± 0.6 km per le coordinate epicentrali e la profondità, rispettivamente. Tutti gli eventi presentano un errore nel tempo origine (rms) abbastanza contenuto, inferiore a 0.3 sec. La magnitudo (M_d) varia principalmente tra 2.0 e 3.5, con un valore massimo di 5.7.

Terremoti di magnitudo superiore o uguale a 3 sono stati localizzati soprattutto nel settore Etna e in Sicilia nord-orientale, mentre in Sicilia sud-orientale si ha una prevalenza di eventi sismici con magnitudo minore o uguale a 3. Dalle sezioni W-E e N-S (Fig. 26) si nota come gli eventi si approfondiscano procedendo verso N-W, raggiungendo una profondità massima di circa 170 km. La maggior parte degli ipocentri risulta comunque confinata ad una profondità crostale di circa 30 km. Nella sezione N-S si osserva una mancanza di sismicità nel volume di crosta, ampio circa 12 km, compreso tra l'Avampese Ibleo e l'Etna.

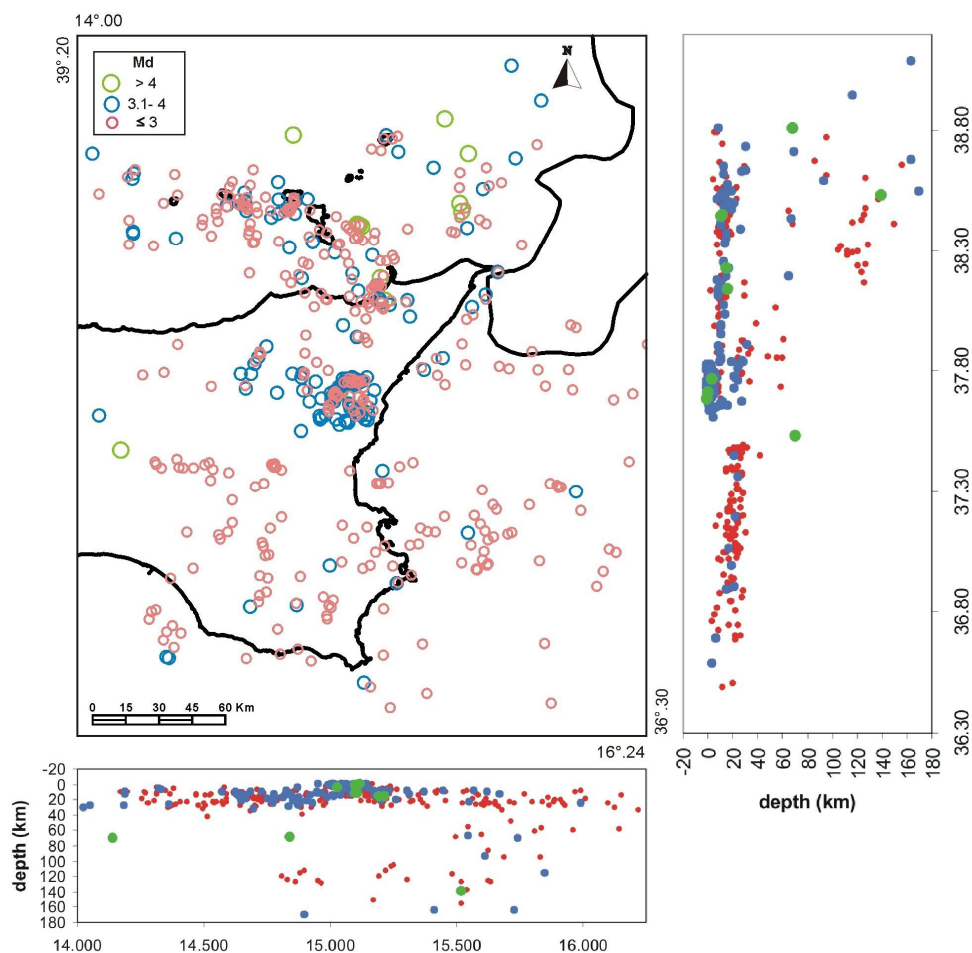


Figura 26. Mappa e sezioni E-W e N-S delle localizzazioni ipocentrali dei 464 eventi sismici selezionati. I cerchi di differente colore e dimensione indicano terremoti con diversa magnitudo (vedi legenda).

Di seguito vengono riportate alcune statistiche relative alla localizzazione ipocentrale dei 464 eventi sismici (Fig. 27).

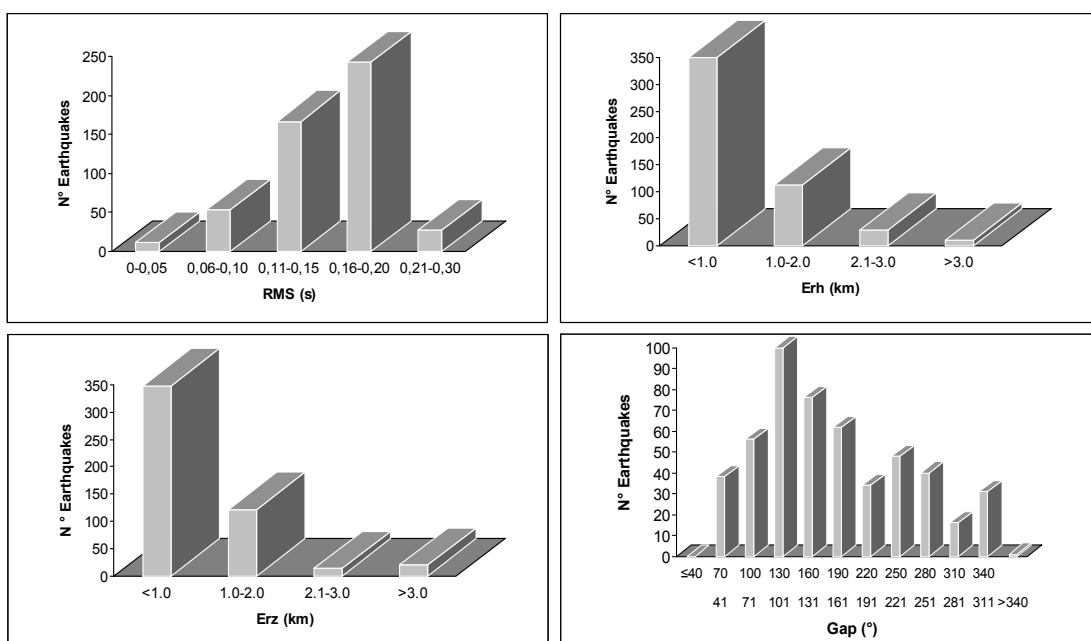


Figura 27. Statistiche relative alla localizzazione ipocentrale dei 464 terremoti. I grafici mettono in relazione il numero di eventi e i relativi errori associati al tempo origine (rms), alle coordinate orizzontali (Erh), alla profondità (Erz) e al valore di Gap.

8.2.1 Isole Eolie e Sicilia Nord-orientale

Visionando i risultati delle localizzazioni in Sicilia nord-orientale e Isole Eolie (Fig. 28) si possono individuare alcuni aspetti sulla distribuzione della sismicità che caratterizza quest'area. La distribuzione degli epicentri (terremoti con $M_d \geq 2.5$) non è omogenea, la maggior parte dell'attività sismica si concentra nel settore occidentale dell'Arcipelago Eoliano e nell'area del Golfo di Patti, *offshore* e *inland*.

Raggruppamenti minori degli epicentri si osservano nella zona dello Stretto di Messina e al largo della costa calabra occidentale. Da notare l'assenza di sismicità in Sicilia nord-orientale in prossimità della costa ionica. Dalle sezioni E-W e N-S osserviamo che gli eventi più profondi si verificano maggiormente nella parte sud-orientale del mar Tirreno. Le profondità ipocentrali principalmente interessano un livello crostale tra 6 e 30 km.

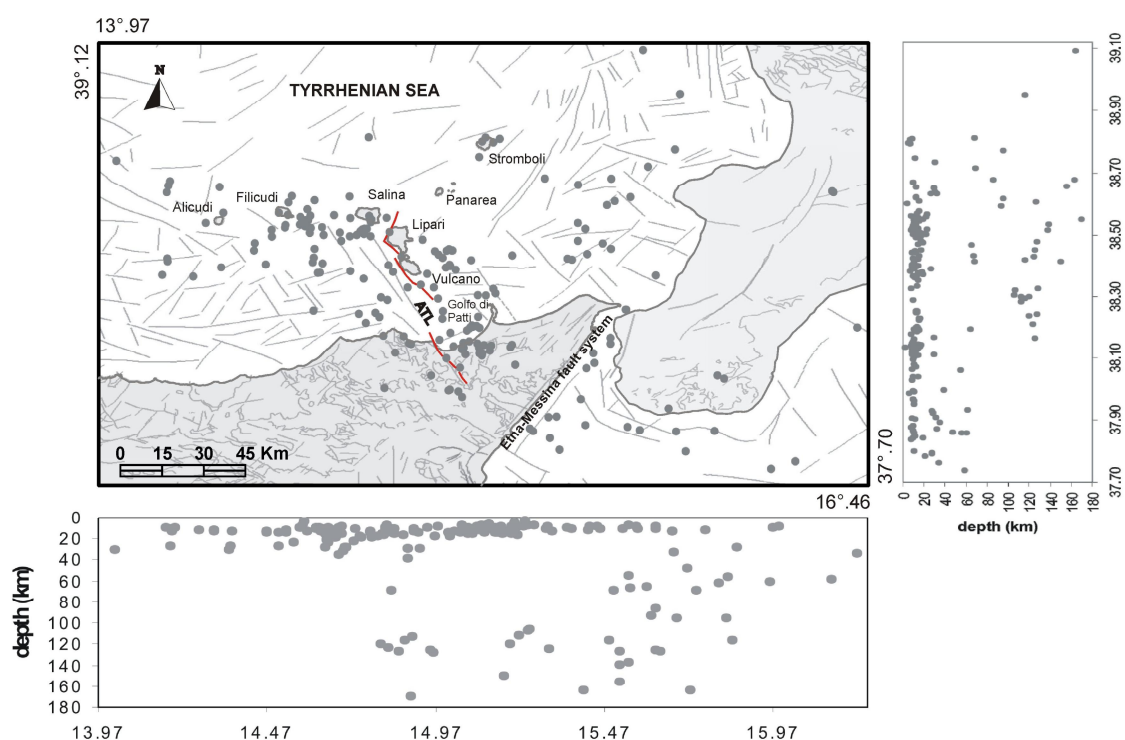


Figura 28. Mappa strutturale dell'Arco Calabro-Peloritano e Tirreno meridionale (Vilardo *et al.*, 2009; Sistema Informativo Sismotettonico della Sicilia), e localizzazione ipocentrale degli eventi sismici selezionati (cerchi di colore grigio). Le linee di colore rosso indicano il sistema di faglie ATL (Aeolian-Tindari-Letojanni fault system).

In Figura 29, i due grafici mettono in relazione gli eventi sismici localizzati (disposti in ordine cronologico) con i relativi valori di longitudine e latitudine. Da questo tipo di grafico si evince che gli eventi, raggruppati in termini di latitudine e longitudine, costituiscono delle sequenze sismiche che si verificano in determinati intervalli temporali. Complessivamente si osserva una dispersione della sismicità nel tempo, con l'eccezione di due *clusters* di eventi sismici localizzati in prossimità del golfo di Patti, *inland* e *offshore*, che individuano uno stesso valore medio di longitudine, di $15^{\circ}.19$, e due livelli di latitudine, $38^{\circ}.10$ e $38^{\circ}.20$, rispettivamente (bande evidenziate in grigio). I terremoti registrati nel golfo di Patti definiscono un *cluster* che si verifica tra il 18 e il 19 Agosto del 2007, ad una profondità compresa tra 10 e 15 km, mentre gli eventi sismici localizzati nella zona *inland* costituiscono un *cluster* di terremoti registrati, nel periodo tra Aprile e Luglio del 2003, a profondità leggermente inferiore (8 – 13 km).

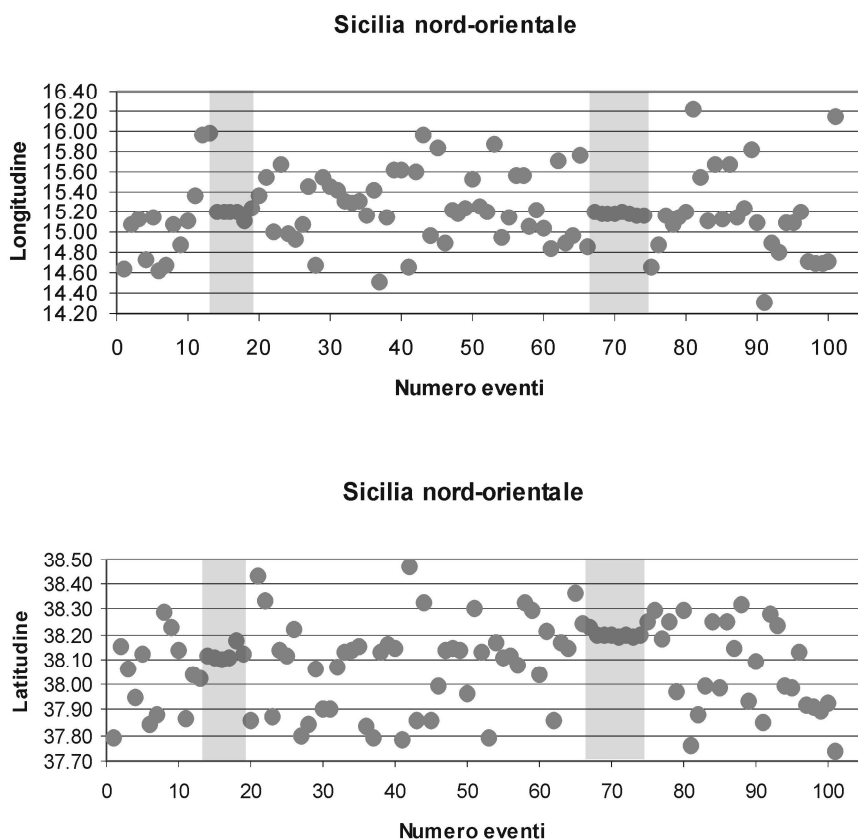


Figura 29. Grafici che mettono in relazione gli eventi sismici (in ordine cronologico) localizzati in Sicilia nord-orientale con i rispettivi valori di longitudine e latitudine. Gli eventi sono indicati con numero progressivo in ordine cronologico. Le bande verticali di colore grigio indicano i *clusters* di terremoti.

8.2.2 Etna

L'analisi della sismicità all'Etna risulta alquanto complessa a causa della coesistenza di terremoti legati all'attività vulcanica e terremoti puramente tettonici. Le principali fasi eruttive che si sono succedute durante il periodo di indagine riguardano le eruzioni: Ottobre 2002 - Gennaio 2003, Settembre 2004 - Marzo 2005, Luglio - Dicembre 2006, Maggio 2008 - Luglio 2009. I risultati delle localizzazioni, mostrati in Figura 30, mettono in evidenza la relazione tra gli eventi sismici ($M \geq 3$) e i principali lineamenti tettonici che caratterizzano l'edificio vulcanico. La quasi totalità dei terremoti vulcano-tettonici (cerchi di colore rosso) riguarda l'attività eruttiva che si è verificata tra il 2002 e il 2003 e si distribuisce principalmente in corrispondenza dei crateri sommitali, lungo la faglia della Pernicana e in parte nel versante sud-orientale del vulcano. Le profondità interessano prevalentemente un livello crostale tra -1.5 e 3.0 km, con profondità massima di 6 km.

Gli eventi sismici registrati in periodo non eruttivo (cerchi di colore grigio) sono stati localizzati in corrispondenza della faglia della Pernicana e nel versante orientale e occidentale del vulcano. Dalle sezioni si nota come gli ipocentri tendono ad approfondirsi verso NW, raggiungendo circa 30 km di profondità, e verso Est dove risultano confinati nei primi 8 km di crosta.

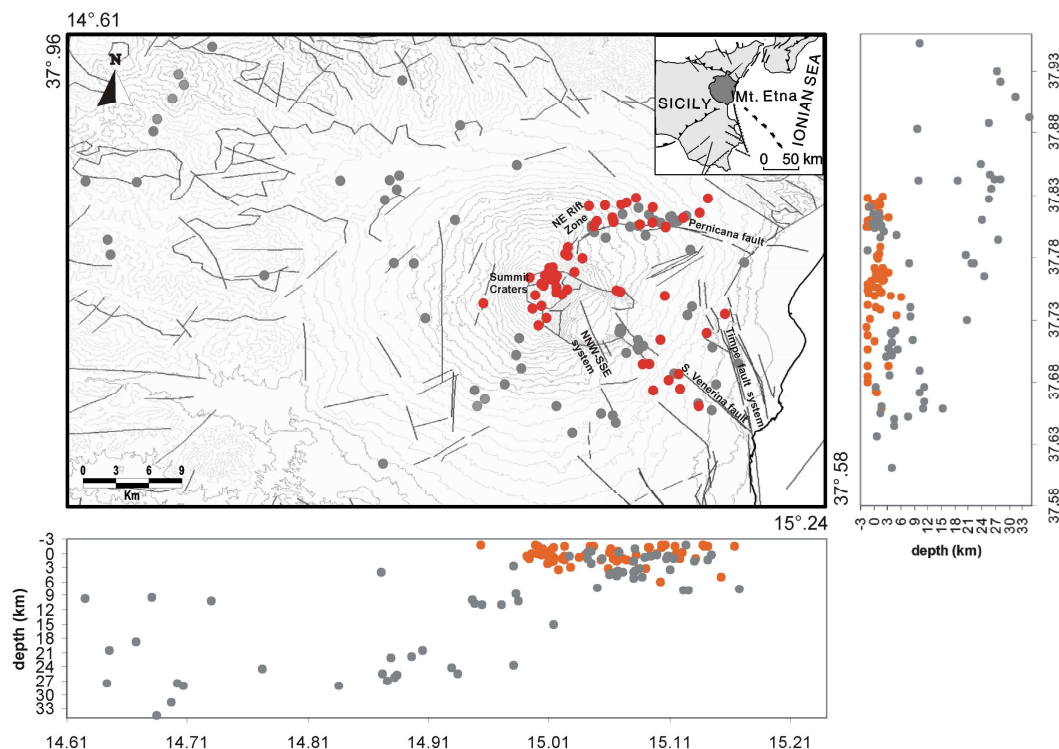


Figura 30. Mappa strutturale dell' Etna (Vilardo *et al.*, 2009; Sistema Informativo Sismotettonico della Sicilia) e localizzazione ipocentrale dei terremoti selezionati. I cerchi di colore rosso e grigio rappresentano gli eventi sismici registrati in periodo eruttivo (Eruzioni: Ottobre 2002-Gennaio 2003; Settembre 2004-Marzo 2005; Luglio-Dicembre 2006; Maggio 2008-Luglio 2009) e non, rispettivamente.

I grafici di Figura 31 danno delle informazioni sull'evoluzione spazio-temporale dell' attività sismica rilevata sull'Etna durante il periodo di riferimento. Osserviamo la sismicità legata all'eruzione Ottobre 2002 - Gennaio 2003 (cerchi di colore rosso). I terremoti che vanno dal numero 15 al 32 (banda di colore rosso), registrati il 27 Ottobre del 2002 ad una longitudine media di $15^{\circ}.00$, individuano un'attività sismica concentrata esclusivamente nella parte sommitale del vulcano. Successivamente gli eventi coinvolgono il *rift* di NE (terremoti dal numero 34 al 38, registrati il 27/10/2002) fino ad interessare contemporaneamente la faglia della Pernicana e il settore orientale dell'Etna (terremoti dal numero 39 al 72). Cessata l'eruzione, parte dell'attività sismica (eventi dal numero 73 a 83, banda di colore grigio), concentrata ad una latitudine media di $37^{\circ}.80$, ha continuato a persistere in corrispondenza della faglia della Pernicana.

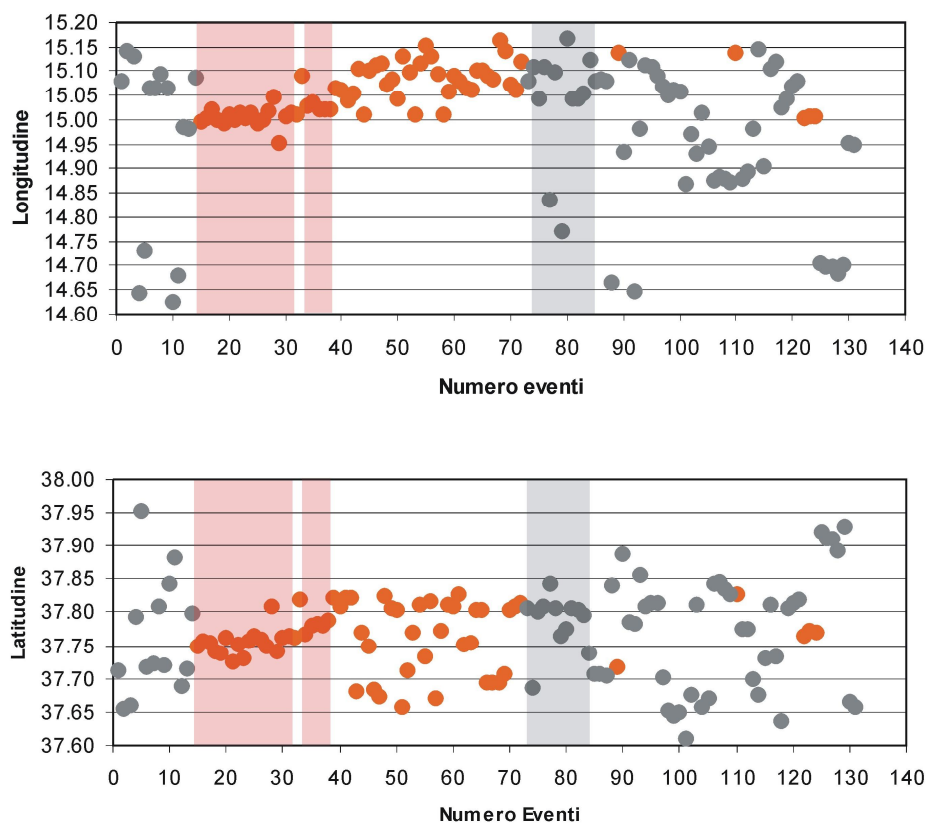


Figura 31. Grafici che mettono in relazione gli eventi sismici con i rispettivi valori di longitudine e latitudine. Gli eventi sono indicati con numero progressivo in ordine cronologico. I cerchi di colore rosso e grigio rappresentano gli eventi sismici registrati in periodo eruttivo (bande verticali in rosso) e non (bande verticali in grigio), rispettivamente.

8.2.3 Sicilia Sud-orientale

Per quanto riguarda la Sicilia sud-orientale gli epicentri dei terremoti ($M_d \geq 2.0$) si ripartiscono sia nel settore degli Iblei che *offshore* (Fig. 32). Moderati addensamenti di terremoti si possono individuare in alcune zone dell'area considerata. Parte degli eventi sismici si distribuisce, secondo una direzione circa N-S, in prossimità del sistema di faglie Scicli-Ragusa, mentre una sequenza sismica, verificatasi tra il 30 e il 31 Luglio 2007, ha interessato un'area ristretta nella parte nord (ad ovest di Catania). Altri terremoti sono stati localizzati nel settore est dell'Avampaese Ibleo, in corrispondenza di strutture tettoniche orientate prevalentemente WNW-ESE, e nella zona offshore, caratterizzata dal sistema di faglie della scarpata Ibleo-Maltese. Una mancanza di sismicità, relativamente alla soglia di magnitudo adottata, si osserva nella piana di Catania e nella zona del graben Scordia-Lentini. Le profondità ipocentrali, che tendono ad aumentare procedendo verso nord, interessano maggiormente uno spessore crostale compreso tra 10 e 30 km.

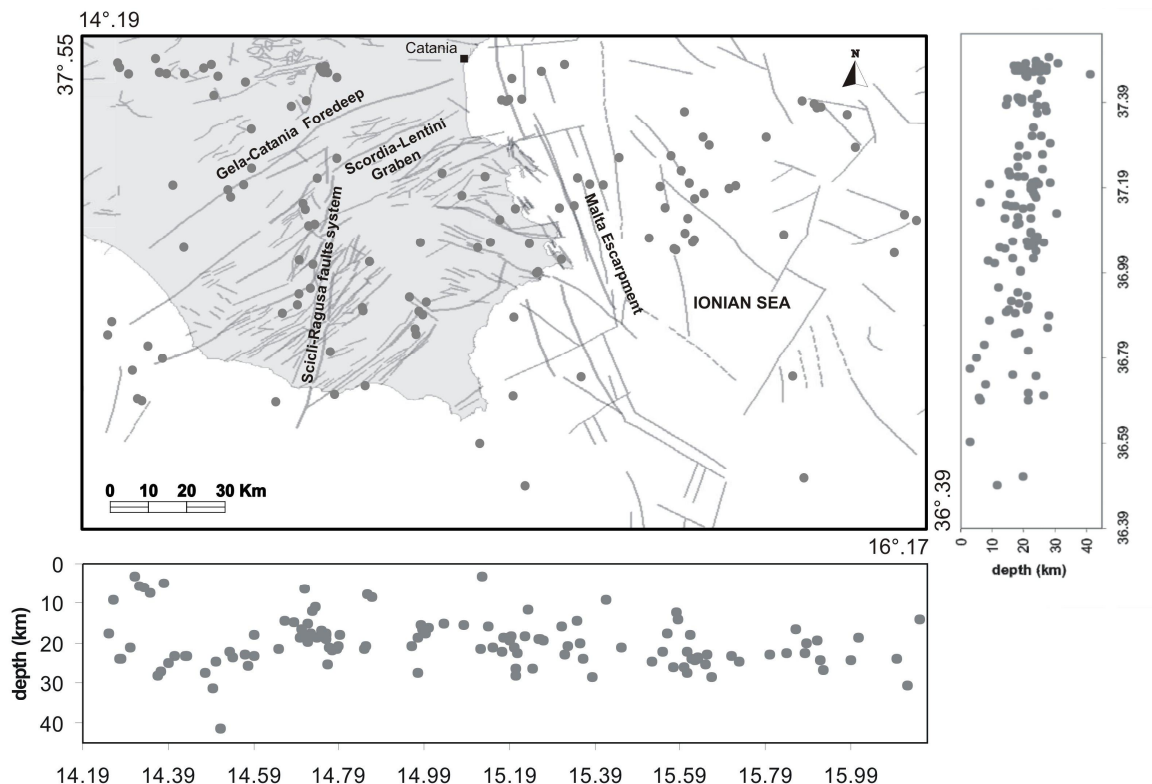


Figura 32. Mappa strutturale della Sicilia sud-orientale (Vilardo *et al.*, 2009; Sistema Informativo Sismotettonico della Sicilia) e localizzazione ipocentrale dei terremoti selezionati (cerchi di colore grigio).

I grafici di Figura 33 mostrano la presenza di alcuni *clusters* di terremoti rispetto ad una prevalente dispersione spazio-temporale della sismicità. Un piccolo gruppo di eventi (dal numero 4 all' 8, banda di colore grigio) che individua valori di longitudine e latitudine di circa 15°.20 e 37°.40, rispettivamente, è stato registrato nel golfo di Catania nel periodo Febbraio-Maggio del 2002. Una sequenza sismica più importante (eventi dal numero 72 all'82) si è verificata tra il 30 e il 31 Luglio del 2007, ad una longitudine e latitudine media di 14°.75 e 37°.50, rispettivamente. La porzione di crosta interessata da tale sequenza è compresa tra 17 e 21 km.

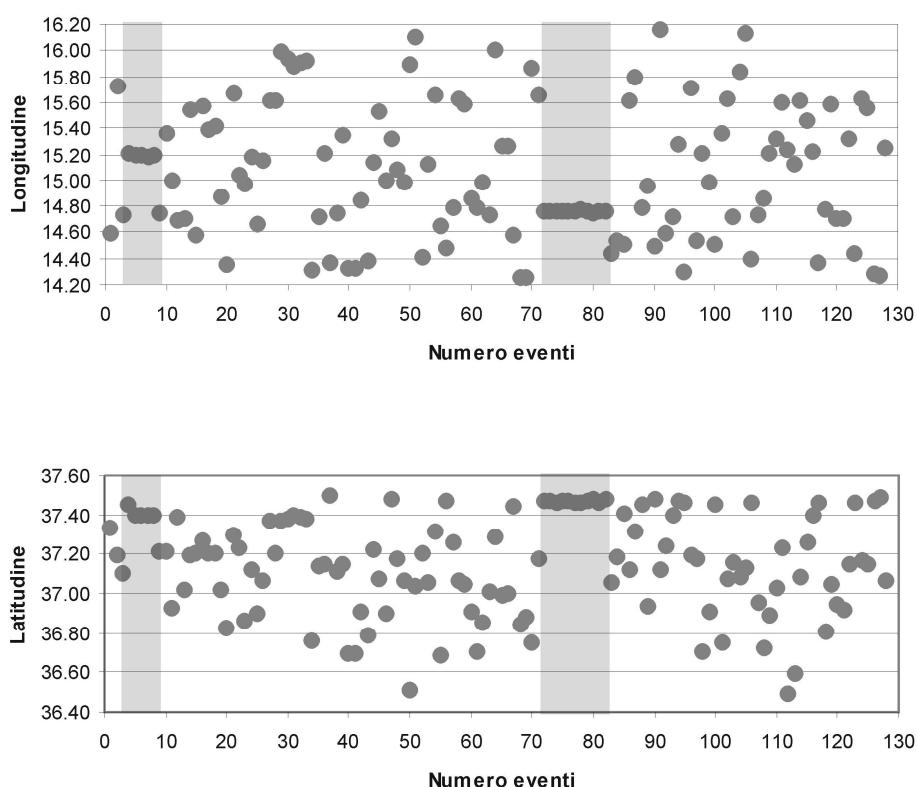


Figura 33. Grafici che mettono in relazione gli eventi sismici con i rispettivi valori di longitudine e latitudine. Gli eventi sono indicati con numero progressivo in ordine cronologico. Le bande di colore grigio indicano i *clusters* di terremoti.

8.3 Soluzioni focali

Dai 464 eventi sismici considerati, sono stati selezionati i terremoti aventi un numero di polarità ≥ 6 , Erh e $Erz < 2.0$ km, in modo da ottenere un campione di eventi idoneo al calcolo delle soluzioni focali. Nessun limite di Gap è stato posto allo scopo di includere nell'analisi gli eventi *offshore* che caratterizzano principalmente la Sicilia nord-orientale e l'Arcipelago Eoliano. Valori di Gap abbastanza contenuti si hanno per i terremoti localizzati all'Etna, conseguenza dell'elevato numero di stazioni e della buona copertura azimutale. Al fine di raggiungere il numero minimo di 7 polarità per ciascun evento e migliorare il vincolo dei piani nodali, riducendo l'errore associato ai parametri di sorgente, i primi impulsi P degli eventi selezionati sono stati integrati con quelli ricavati dalle forme d'onda di nove stazioni della Rete Sismica Nazionale Centralizzata installate nella regione.

Su questo campione di terremoti è stato eseguito il calcolo preliminare dei meccanismi focali, tramite il programma FPFIT (*Reasenberg e Oppenheimer*, 1985), invertendo le polarità dei primi impulsi delle fasi P. Successivamente, per gli eventi sismici la cui analisi delle forme d'onda ha fornito almeno una direzione di polarizzazione della fase S, è stato applicato un algoritmo di inversione non lineare (*De Natale et al.*, 1991; *Zollo e Bernard*, 1991) che consente di invertire congiuntamente le polarità P e le direzioni di polarizzazione delle fasi S, ottenendo meccanismi di sorgente più affidabili, con piani nodali meglio vincolati.

Per gli eventi sismici per i quali non è stata possibile l'analisi di polarizzazione delle onde S, sono stati confrontati i meccanismi focali ottenuti invertendo solo i primi impulsi delle fasi P, calcolati con entrambi i metodi di inversione sopra citati, al fine di stabilire quale dei due programmi di calcolo fornisse le soluzioni più soddisfacenti. Pur avendo ottenuto nella stragrande maggioranza dei casi meccanismi focali molto simili, si è scelto, nella prosecuzione del lavoro, di considerare quelli ricavati mediante FPFIT il quale, oltre a fornire soluzioni con piani nodali che si accordano meglio alla distribuzione delle polarità P, in alcuni casi consente di discriminare tra soluzioni multiple.

Tutti i meccanismi focali ottenuti sono stati accuratamente analizzati per stabilirne la qualità, adottando un criterio di valutazione basato su una serie di parametri che caratterizzano le soluzioni stesse, tra cui: incertezze associate ai valori di *strike*, *dip* e *rake*,

misfit e aree di confidenza degli assi di deformazione P e T. Tra le soluzioni focali che presentano polarità P in disaccordo, sono state prese in considerazione quelle con numero di discrepanze inferiore al 20% del totale dei primi impulsi P. Con questo criterio è stato ottenuto un dataset di 257 meccanismi focali per l'intera regione di studio.

Le soluzioni ottenute possono essere classificate, in funzione del valore assunto dal *rake*, nelle tipologie indicate dalla convenzione adottata da *Aki e Richards* (1980), (Fig. 34). Le linee tratteggiate e i relativi valori angolari individuano il *range* di variabilità del *rake* per ciascuna categoria di faglie. Come richiesto dal programma *Gephart e Forsyth* (1984), a ogni soluzione focale è stato attribuito un codice che assume i valori 1, 2, 3 e 4, il quale identifica la tipologia corrispondente.

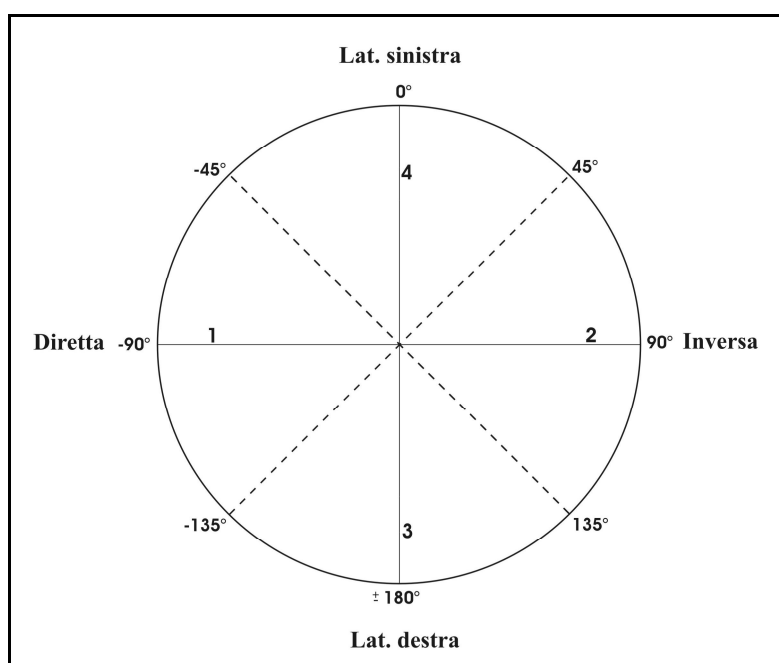


Figura 34. Convenzione per la classificazione delle soluzioni di piani di faglia, basata sul valore del *rake*. Le linee tratteggiate individuano gli intervalli di variabilità del *rake* per ciascuna categoria di faglie. I numeri 1, 2, 3 e 4 sono gli indici attribuiti a ciascuna soluzione focale, come richiesto dal programma *Gephart e Forsyth* (1984).

Di seguito viene fatta una descrizione riguardo la distribuzione spaziale, tipologia e orientazione degli assi di deformazione delle soluzioni di faglia ottenute, separatamente per i diversi contesti tettonici che caratterizzano la Sicilia orientale.

8.3.1 Isole Eolie

I meccanismi focali di buona qualità ottenuti per l'Arcipelago Eoliano sono 56 (Fig 35). L'insieme delle soluzioni evidenzia un certo grado di eterogeneità, riconducibile ai diversi stili deformativi che caratterizzano quest'area a scala locale. Considerando il criterio di classificazione delle soluzioni di faglia adottato da *Aki e Richards* (1980), sono stati individuati 25 meccanismi di *strike-slip* di tipo sinistro, 13 di *strike-slip* di tipo destro, 12 soluzioni di *dip-slip* di tipo normale e 6 meccanismi di tipo inverso. In Figura 35 il diverso colore degli epicentri indica soluzioni con differente componente di movimento. Dalla distribuzione delle soluzioni focali, una ripartizione pressoché uniforme si osserva per i meccanismi di tipo trascorrente, mentre le soluzioni di faglia a componente normale si concentrano soprattutto nel settore centro-orientale dell'area in esame.

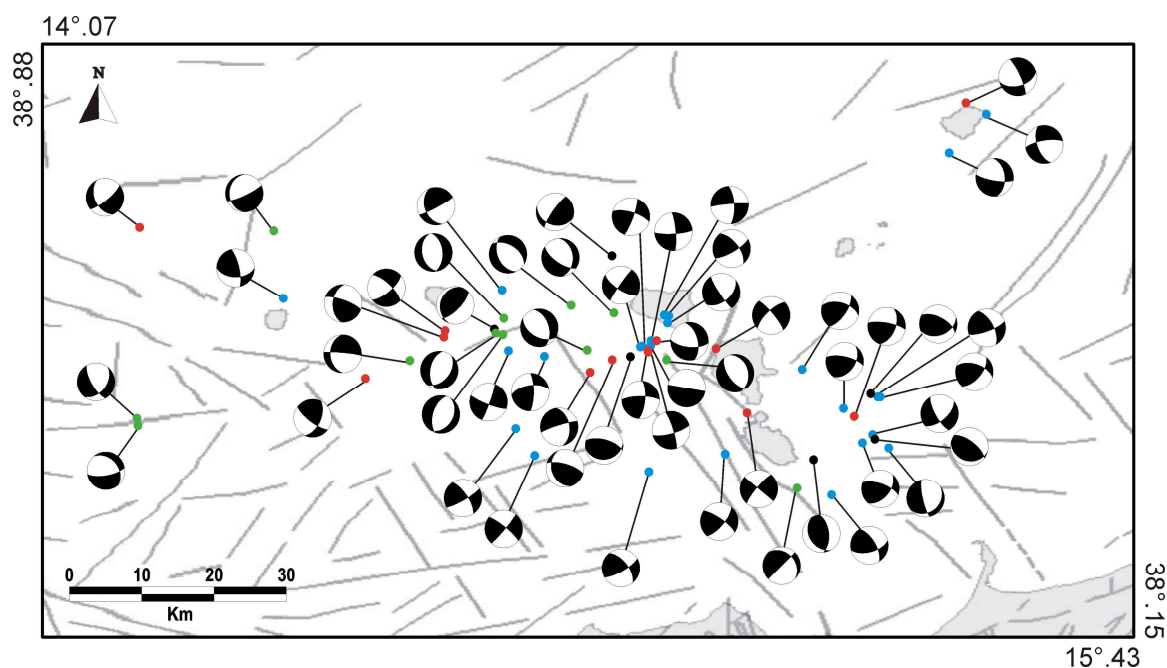


Figura 35. Mappa dei 56 eventi sismici selezionati, localizzati nell'Arcipelago Eoliano, per i quali sono stati calcolati i meccanismi di sorgente (emisfero inferiore). Gli epicentri di colore verde, nero, rosso e blu, indicano soluzioni di tipo normale, inversa, trascorrente destra e trascorrente sinistra, rispettivamente.

In Figura 36 vengono proiettati gli azimuth degli assi P delle soluzioni focali considerate. Nonostante una generale disomogeneità delle orientazioni degli assi di deformazione, legata alla diversità di soluzioni di faglia, nel settore orientale si osservano direzioni variabili tra

NNW-SSE e NNE-SSW, che tendono a ruotare disponendosi circa NW-SE nella parte centrale. Tale orientazione sembra coincidere con la direzione dei principali lineamenti tettonici che caratterizzano quest'area. Nella porzione occidentale, la maggiore dispersione delle orientazioni è principalmente dovuta alla presenza di soluzioni di tipo normale, con assi P prossimi alla verticale.



Figura 36. Distribuzione delle orientazioni degli assi P (segmenti in nero) dei 56 meccanismi focali considerati nell'Arcipelago Eoliano.

Complessivamente, dalla cinematica associata ai meccanismi di sorgente ottenuti, possiamo risalire ad uno stile deformativo di tipo trascorrente, caratterizzato da assi P e T debolmente inclinati rispetto all'orizzontale, soprattutto nel settore centro-orientale.

8.3.2 Sicilia Nord-orientale

Osservando la Figura 37, in cui vengono rappresentati i 57 meccanismi focali considerati per la Sicilia nord-orientale, si nota la preponderanza di soluzioni di *dip-slip* di tipo normale (35 meccanismi focali) che identificano una regione interessata da movimenti tettonici di tipo estensionale. Le rimanenti soluzioni focali si distinguono in 10 meccanismi di *strike-slip* di tipo destro, 9 *strike-slip* di tipo sinistro, e soltanto 3 soluzioni di *dip-slip* di tipo inverso.

Nell'area dello Stretto di Messina vengono riportate anche le soluzioni focali relative agli eventi con profondità superiore a 30 km (Fig 37 , soluzioni in grigio). Per tali eventi si hanno in prevalenza soluzioni trascorrenti di tipo destro, mentre per i terremoti a profondità inferiore a 30 km si osservano meccanismi di *dip-slip* di tipo normale e di *strike-slip* con componente normale. La stragrande maggioranza delle soluzioni focali di tipo normale si concentra nella zona del Golfo di Patti, sia *inland* che *offshore*. In particolare, la sequenza di terremoti registrati al largo del Golfo di Patti è caratterizzata da meccanismi focali molto simili, con piani nodali orientati NE-SW, mentre gli eventi localizzati nella zona interna presentano soluzioni focali con piani nodali variamente orientati.

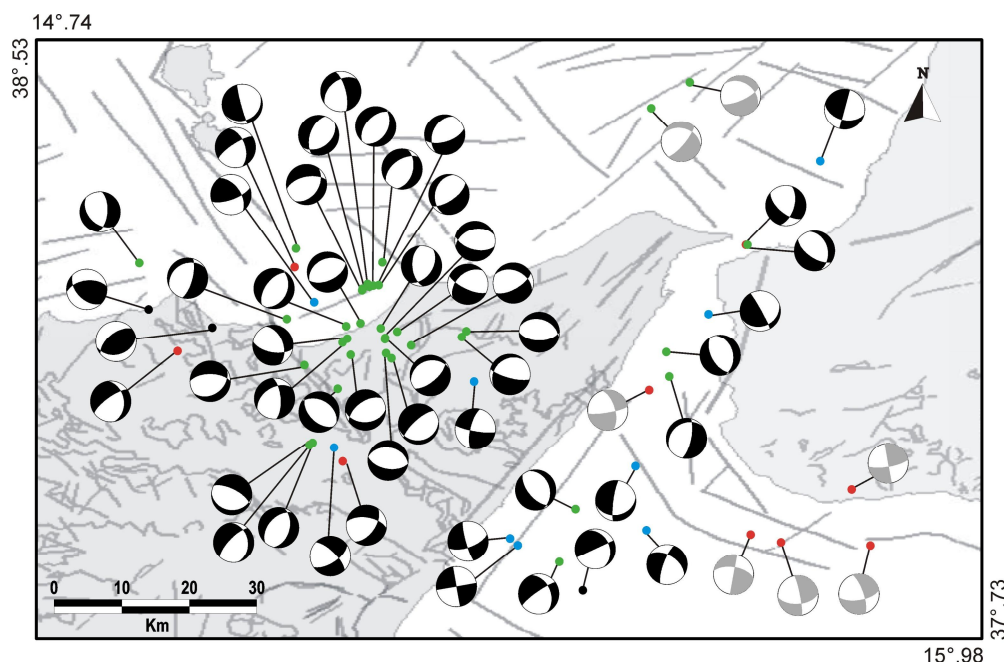


Figura 37. Mappa dei 57 eventi sismici selezionati, localizzati in Sicilia nord-orientale, per i quali sono stati calcolati i meccanismi di sorgente (emisfero inferiore). Le soluzioni focali di colore grigio si riferiscono ai terremoti con profondità superiore a 30 km. Gli epicentri di colore verde, nero, rosso e blu, indicano soluzioni di tipo normale, inversa, trascorrente destra e trascorrente sinistra, rispettivamente.

Data la predominanza di meccanismi focali di tipo normale, con movimento di *dip-slip* quasi puro, in Figura 38 si è scelto di proiettare gli assi di deformazione T che risultano avere inclinazione prossima all'orizzontale. Nell'area del Golfo di Patti, nella porzione *inland*, si osserva una direzione media degli assi T circa N-S, che tende a disporsi circa NW-SE nella zona *offshore*. Nella parte meridionale dello Stretto di Messina si nota una debole isorientazione, circa NW-SE, degli assi di deformazione T (segmenti in nero) degli eventi localizzati a profondità inferiore a 30 km. Per i terremoti più profondi la direzione degli assi T (segmenti in tratteggio) è all'incirca ortogonale.

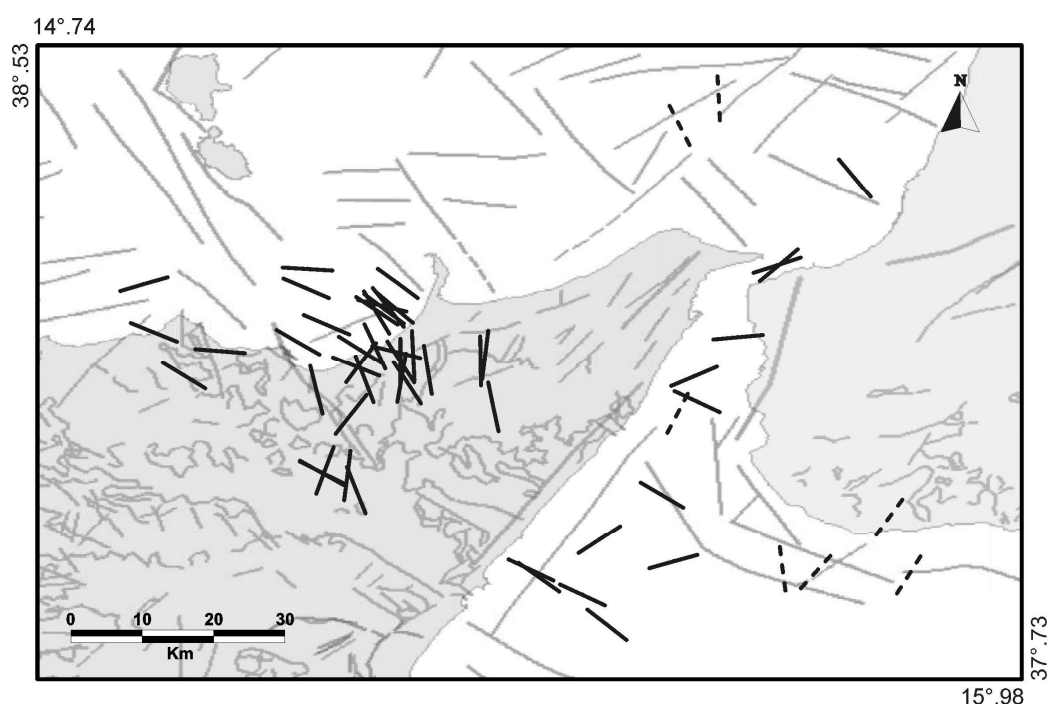


Figura 38. Distribuzione delle orientazioni degli assi T dei 57 meccanismi focali calcolati per la Sicilia nord-orientale. I segmenti in tratteggio nero rappresentano gli assi T dei terremoti profondi ($h > 30$ km) localizzati nell'area dello stretto di Messina.

Nel complesso, le soluzioni a faglia piana con movimento di tipo diretto definiscono lo stile di deformazione sismica in Sicilia nord-orientale. Le direzioni di massimo e minimo raccorciamento risultano prossime alla verticale e all'orizzontale, rispettivamente.

8.3.3 Etna

In Figura 39 sono rappresentati gli epicentri degli 89 terremoti, localizzati all'Etna, per i quali sono stati determinati i meccanismi focali (Figura 40). Complessivamente, le differenti tipologie di soluzioni focali sembrano distribuite uniformemente in tutto l'edificio vulcanico, ad eccezione dei pochi meccanismi di tipo inverso che si posizionano lungo la faglia della Pernicana e nel versante di sud-est. La presenza di soluzioni con diverso meccanismo di sorgente è probabilmente riconducibile alla complessa struttura crostale, interessata da elementi strutturali con diversa orientazione, e alle spinte laterali indotte dalla risalita di magma durante i periodi eruttivi. Le soluzioni di piani di faglia sono state, quindi, classificate in 30 meccanismi di *strike-slip* di tipo sinistro, 25 di *strike-slip* di tipo destro, 23 soluzioni di *dip-slip* di tipo normale e 11 di *dip-slip* di tipo inverso.

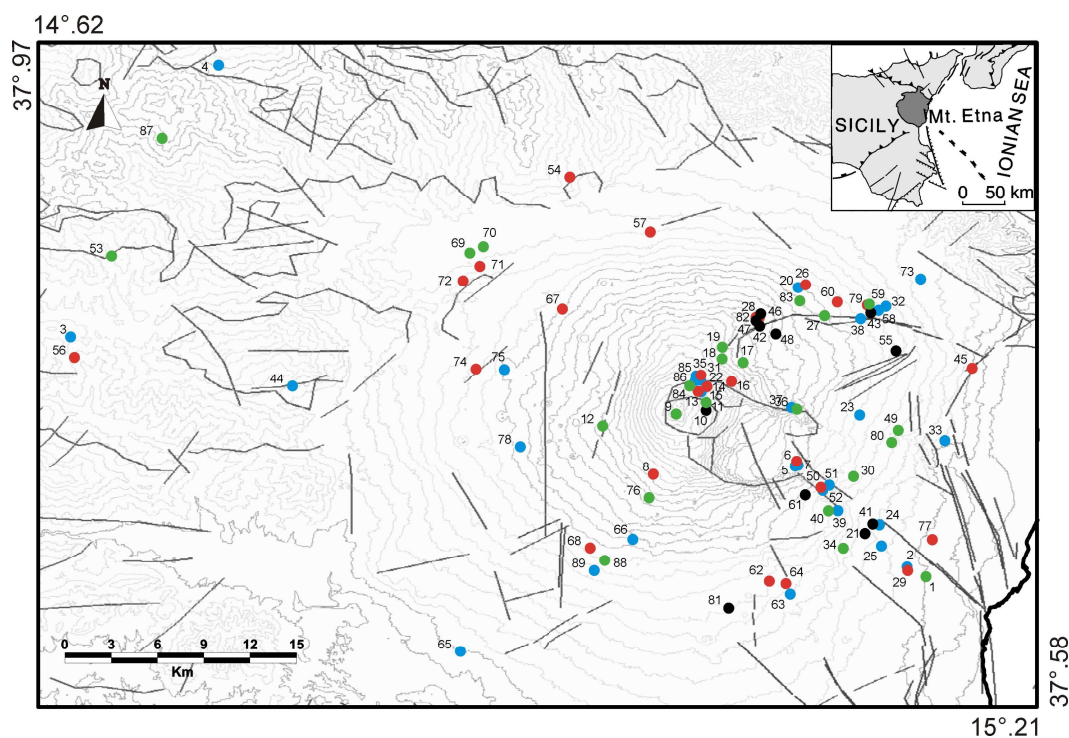


Figura 39. Mappa degli 89 eventi sismici selezionati, per i quali sono stati calcolati i meccanismi di sorgente. Gli epicentri di colore verde, nero, rosso e blu, indicano soluzioni di tipo normale, inversa, trascorrente destra e trascorrente sinistra, rispettivamente. I relativi meccanismi focali sono mostrati in Figura 40.

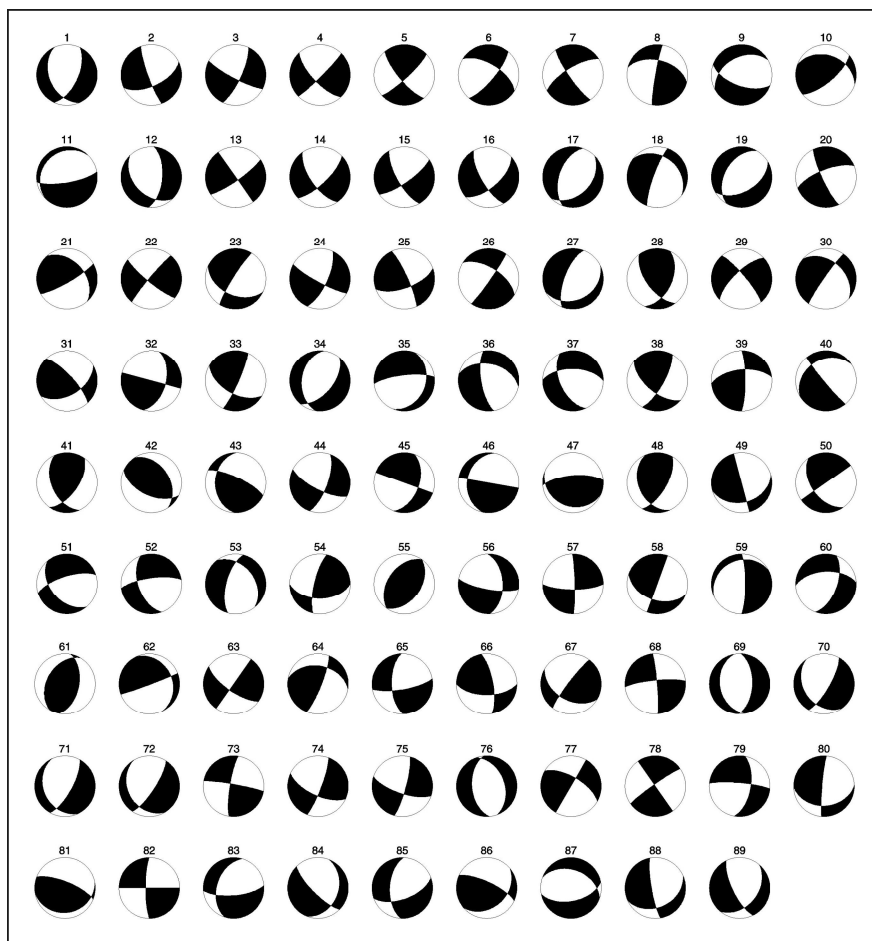


Figura 40. Proiezione sull'emisfero inferiore delle 89 soluzioni di piani di faglia selezionate per il settore Etna. Le aree di colore nero e bianco indicano i quadranti in compressione ed estensione, rispettivamente.

In Figura 41 vengono proiettati gli azimuth degli assi P delle soluzioni focali, di colore rosso e nero per gli eventi registrati durante le fasi eruttive e non, rispettivamente. Nel settore nord-orientale si nota una prevalente orientazione NW-SE degli assi di deformazione P, relativi ai terremoti con profondità superiore a 10 km. Gli eventi associati ad attività vulcanica, in corrispondenza della zona sommitale mostrano una consistente orientazione N-S degli assi P, che tende a ruotare, disponendosi circa E-W (con lieve dispersione), nella zona della faglia della Pernicana. Per gli eventi sismici registrati in periodo non eruttivo, le direzioni degli assi P si orientano WNW-ESE a est della Valle del Bove e circa NE-SW lungo la faglia della Pernicana.

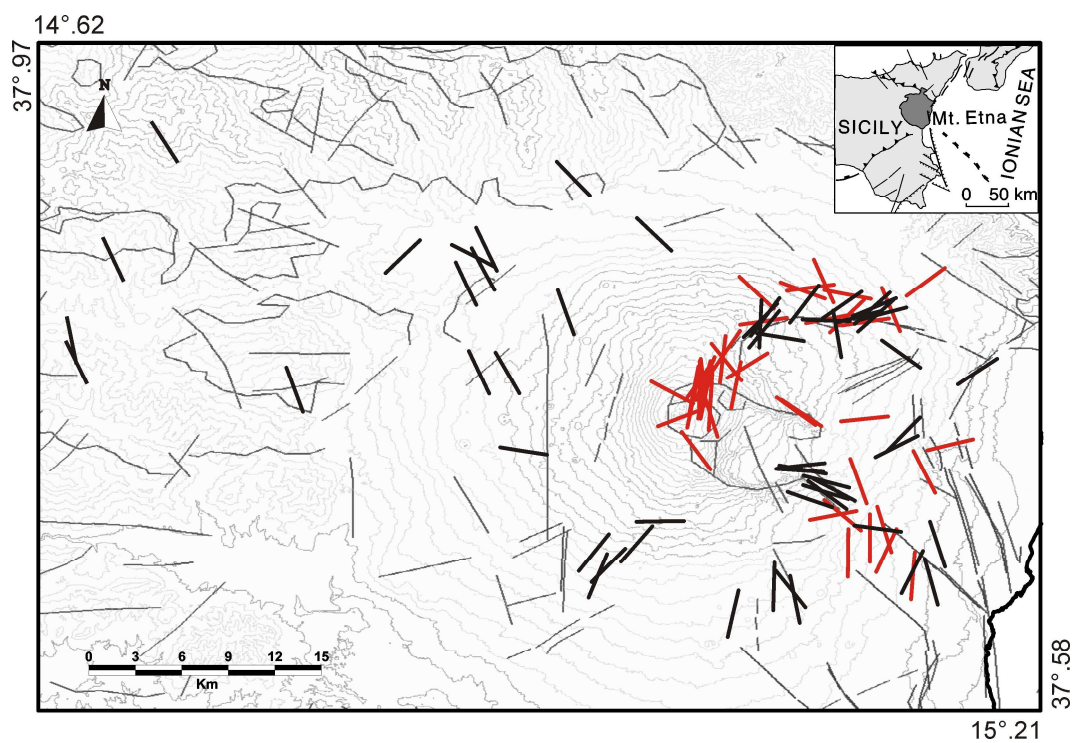


Figura 41. Distribuzione delle orientazioni degli assi P degli 89 meccanismi focali calcolati per l'Etna. I segmenti di colore rosso e nero rappresentano gli assi P dei terremoti registrati in periodo eruttivo e non, rispettivamente.

8.3.4 Sicilia Sud-orientale

In Sicilia sud-orientale sono state selezionate 55 soluzioni di piani di faglia, riportate in Figura 42, che mostrano prevalentemente un meccanismo di *strike-slip* di tipo destro (20 soluzioni) e sinistro (19 soluzioni). Il resto delle soluzioni focali è rappresentato da 11 meccanismi di *dip-slip* di tipo normale 5 soluzioni di *dip-slip* di tipo inverso.

Nel settore nord dell'avampase ibleo, la sequenza sismica verificatasi tra il 30 e il 31 Luglio 2007 è caratterizzata da soluzioni di piani di faglia molto simili, con meccanismo di tipo trascorrente, in alcuni casi con componente normale. Soluzioni di *strike-slip*, in parte con componente normale, sono presenti nel Golfo di Catania. I pochi meccanismi focali di tipo inverso si localizzano nel settore occidentale.

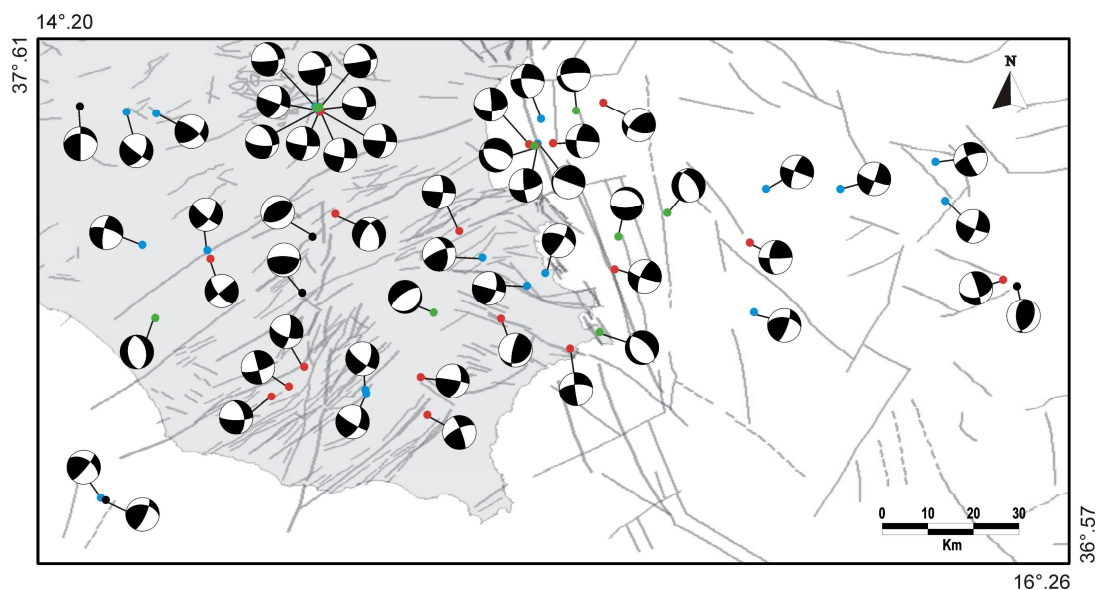


Figura 42. Mappa dei 55 eventi sismici selezionati, localizzati in Sicilia sud-orientale, per i quali sono stati calcolati i meccanismi di sorgente (emisfero inferiore). Gli epicentri di colore verde, nero, rosso e blu, indicano soluzioni di tipo normale, inversa, trascorrente destra e trascorrente sinistra, rispettivamente.

In Figura 43 sono riportate le orientazioni degli assi di deformazione P dei 55 meccanismi focali selezionati. In generale si osserva una consistente isorientazione, circa NNW-SSE, degli assi P, che individua la principale direzione di raccorciamento per questo settore.

La predominanza di meccanismi di strike-slip, con assi P e T prossimi all'orizzontale, denota una regione interessata da uno stile deformativo di tipo trascorrente.

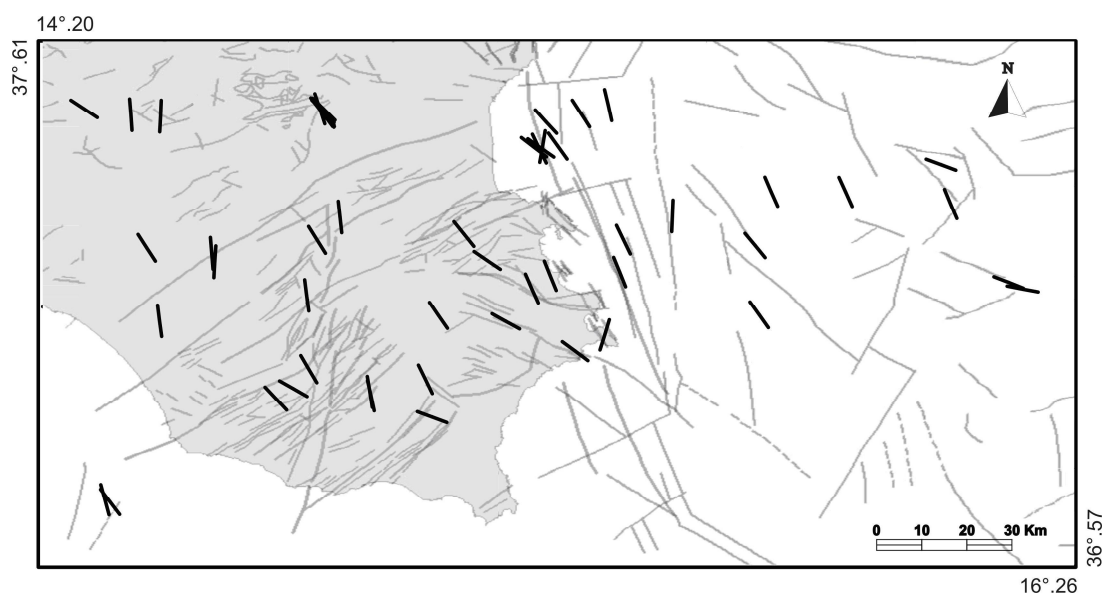


Figura 43. Distribuzione delle orientazioni degli assi P (segmenti in nero) dei 55 meccanismi focali considerati in Sicilia sud-orientale.

8.4 Soluzioni del tensore degli sforzi

8.4.1 Introduzione

Al fine di determinare il campo di stress della regione in esame è stato applicato, alle soluzioni di piani di faglia, l'algoritmo di *Gephart e Forsyth* (1984). A ciascuna soluzione focale è stato attribuito un peso, variabile da 1 (medio) a 2 (ottimo), basato sul numero e distribuzione dei primi impulsi P (nonché sulla percentuale di discrepanze) e su una serie di parametri che indicano la qualità delle soluzioni (Δ_{str} , Δ_{dip} , Δ_{rak} , F_j , STDR, aree di confidenza degli assi P e T).

La relazione che intercorre tra i principali elementi strutturali di una regione e l'orientazione degli assi di stress è importante per comprenderne i processi sismo-tettonici. Se le soluzioni di piani di faglia sono prodotte da un singolo tensore di stress, la loro varietà può essere il risultato della presenza di superfici di debolezza pre-esistenti, con differenti orientazioni, che si riattivano. In caso contrario, la variazione rifletterebbe la disomogeneità del regime di stress dentro la crosta (*Gephart e Forsyth*, 1984). L'algoritmo di inversione del tensore dello sforzo si basa sull'assunzione che il campo di stress sia omogeneo nel volume di roccia investigato, nel periodo di tempo considerato. Un elevato valore di *misfit* indica un regime di stress disomogeneo, per un determinato data-set di terremoti, in tal caso si può procedere alla suddivisione del campione in sub-sets, in modo da definire sottovolumi in cui l'orientazione dello stress risulti uniforme. Generalmente la suddivisione del data-set iniziale viene fatta secondo criteri soggettivi, sulla base di considerazioni tettoniche, *clusters* di epicentri, modelli geodinamici e stile di deformazione dell'area in esame.

In questo lavoro, al fine di valutare la stabilità dei risultati e identificare quantitativamente le variazioni di direzione del campo di stress, è stato applicato il metodo del *misfit* cumulativo introdotto da *Wyss e Lu* (1995). Tale metodo prende in considerazione i valori di *misfit* associati a ciascuna soluzione di faglia, calcolati assumendo un modello di stress di riferimento, i quali dovrebbero essere relativamente costanti per sottovolumi con campo di stress omogeneo. L'ampiezza dei sottovolumi è stabilita dalle variazioni di inclinazione della

curva di *misfit* cumulativo, $\Sigma f(x)$, relativa ad un tensore di stress di riferimento, assunto sulla base dell'assetto tettonico o calcolato per un singolo settore dell'area di studio. Successivamente, applicando il test Z per la verifica d'ipotesi (Davis, 1986), viene valutato il livello di "significatività" della variazione di pendenza dei segmenti contigui.

Quindi, la variazione della direzione del campo di stress in Sicilia orientale è stata indagata riportando il *misfit* cumulativo $f(N)$ come:

$$f(N) = \Sigma f_i \quad i = 1, 2, \dots, N$$

in funzione del numero (N) di terremoti ordinati secondo diversi criteri (longitudine, latitudine, ordine cronologico etc.), dove f_i rappresenta il valore di *misfit* della i -esima soluzione di faglia. Considerando due sottovolumi (segmenti della curva di *misfit* cumulativo), 1 e 2, il valore fornito dal test Z è dato da:

$$Z = (F_1 - F_2) / \sqrt{(s_1^2 / n_1 + s_2^2 / n_2)}$$

dove F è il *misfit* medio, s la relativa deviazione standard e n è il numero di soluzioni di faglia per ciascun campione (Slejko et al., 1999). I due valori di *misfit* medio, F_1 ed F_2 , risultano differenti ad un livello di confidenza del 99% se $Z > 2.3$.

Di seguito vengono descritti i risultati dell'analisi di inversione dello stress, condotta separatamente per i settori, a diverso regime tettonico, che costituiscono la regione investigata. Per ciascun settore, la prima inversione viene effettuata considerando l'intero data-set di soluzioni focali ottenute, al fine di verificare se tutti i meccanismi di faglia possono essere spiegati con un singolo campo di stress uniforme. Successivamente, nel caso in cui il regime degli sforzi risulti disomogeneo, si procede alla suddivisione del campione di dati iniziale in subset, in modo da individuare sottovolumi che soddisfino le condizioni di omogeneità.

8.4.2 Isole Eolie

In seguito ad una inversione preliminare (che ha fornito un campo di sforzi non omogeneo) dell'intero data-set (56 MF), le soluzioni focali dei tre terremoti localizzati in corrispondenza del vulcano Stromboli sono state escluse, in quanto eventi di tipo vulcano-tettonico. In tal caso l'origine dei terremoti potrebbe essere legata al movimento indotto, sulle strutture pre-esistenti, dalla risalita di magma all'interno del condotto vulcanico. In Figura 44 vengono mostrati gli ipocentri dei 53 eventi sismici selezionati per le successive fasi di inversione dello stress.

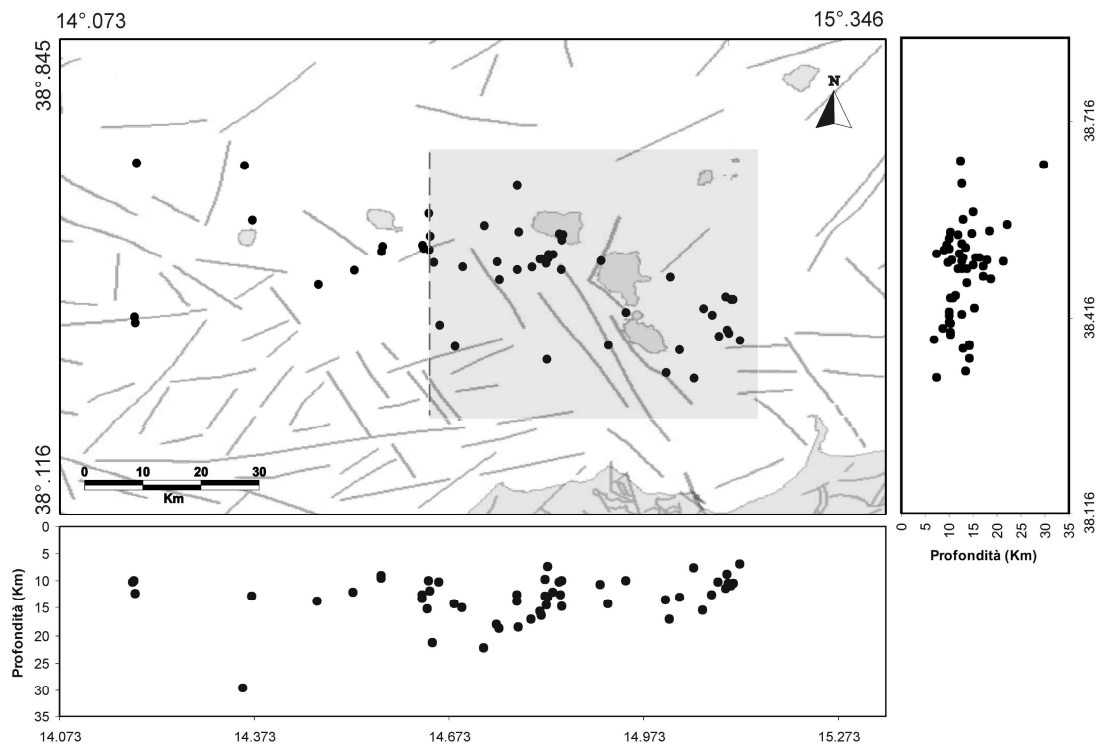


Figura 44. Distribuzione ipocentrale dei 53 eventi sismici costituenti il set di dati iniziale. La linea tratteggiata e il riquadro ombreggiato in grigio indicano, rispettivamente, il valore di longitudine e il sottovolume individuato applicando il metodo del *misfit* cumulativo (in funzione della longitudine), assumendo come stress di riferimento quello ricavato dall'inversione dei 53 MF.

I risultati ottenuti dall'inversione dei 53 MF (*Totale*) per l'intero settore eoliano sono qui di seguito riassunti: $F = 6.6^\circ$; $R = 0.7$; $\sigma_1 = N347^\circ E$ dip 2° ; $\sigma_2 = N80^\circ E$ dip 56° ; $\sigma_3 = N255^\circ E$ dip 34° . Il valore del *misfit* medio pari a 6.6° , indica che il data-set considerato è accettabile

ma affetto da qualche eterogeneità, mentre il valore di 0.7 assunto da R, denota un campo di stress che si avvicina a un regime di tipo uniassiale (Fig. 45a).

Al fine di identificare il volume di crosta dove le condizioni di omogeneità fossero soddisfatte, è stato applicato il metodo del *misfit* cumulativo, precedentemente descritto. I valori di *misfit* individuali, calcolati assumendo come stress di riferimento quello ricavato dall'inversione del campione di dati iniziale (53 MF), sono stati riportati in funzione della longitudine, latitudine e profondità ipocentrale. Una sensibile riduzione del *misfit*, evidenziata da una diminuzione dell'inclinazione della curva, è stata osservata disponendo i dati per longitudine crescente (Fig. 45). La variazione di pendenza si verifica in coincidenza dell'evento 13, a cui corrisponde un valore di longitudine di $14^{\circ}.641$ (linea tratteggiata).

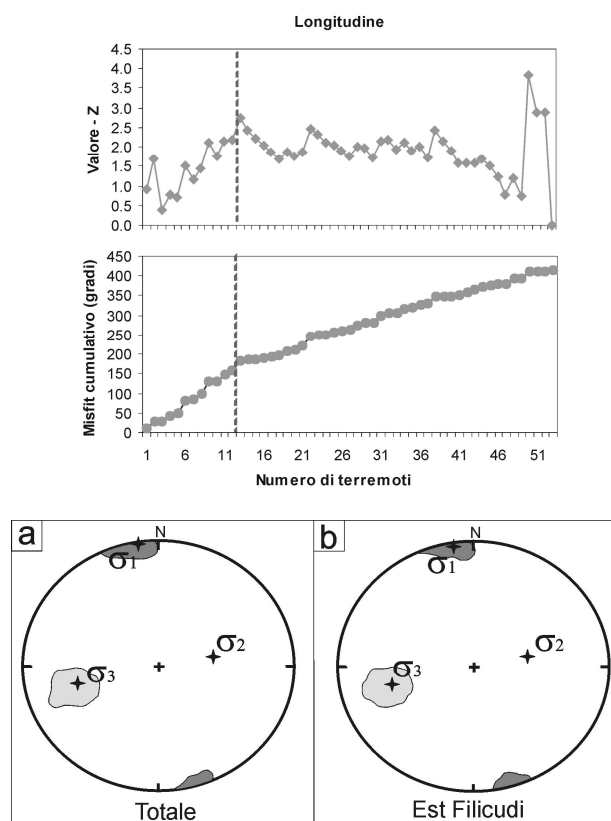


Figura 45. Proiezione sull'emisfero inferiore delle orientazioni degli assi principali di stress (stelle), ottenute dall'inversione delle 53 (a) e 41 (b) soluzioni di piani di faglia. Le aree di colore grigio scuro e grigio chiaro rappresentano il 90% dei limiti di confidenza del σ_1 e σ_3 , rispettivamente. In alto, il *misfit* cumulativo $\Sigma f(N)$ e i valori del test Z in funzione del numero di terremoti ordinati per longitudine crescente.

Contemporaneamente, agli stessi dati, è stato applicato il test Z (Davis, 1986) per valutare il livello di significatività dei due segmenti contigui, confermando un grado di confidenza superiore al 99%. Dall'insieme dei valori Z ottenuti, bisogna sempre escludere quelli associati agli eventi iniziali e finali (circa 7 eventi) del data-set considerato, in quanto il test statistico perde di affidabilità avvicinandosi ai termini estremi (Slejko *et al.*, 1999). In tal modo è stato ricavato un subset di 41 MF (*Est Filicudi*), relativi al tratto di curva a minor pendenza, che comprende i terremoti localizzati a est dell'isola di Filicudi (Fig. 44, riquadro ombreggiato in grigio). Si è proceduto ad invertire il nuovo set di dati ottenendo un tensore dello sforzo uniforme, con *misfit* medio pari a 5.4° (Tabella 7), che mantiene inalterate le direzioni degli assi principali di stress rispetto a quelle ricavate dall'inversione del data-set *Totale* (Fig. 45, b). Dai risultati si deduce che la disomogeneità del campo di stress risiede nel settore occidentale dell'Arcipelago Eoliano dove si hanno soluzioni di piani di faglia con *misfit* più elevato.

In Figura 46 vengono riportate le orientazioni degli assi di deformazione derivanti dalle soluzioni focali ottenute per l'intero campione di dati (a) e per il subset ad est di Filicudi (b). Per quest'ultimo si osserva una minore dispersione degli assi P, che risultano più vicini all'orizzontale rispetto all'intero settore. Complessivamente, lo stesso stile di deformazione sismica viene riscontrato. Si nota anche un buon accordo tra le orientazioni di massima e minima compressione (σ_1 e σ_3) e quelle di massimo e minimo raccorciamento (P e T).

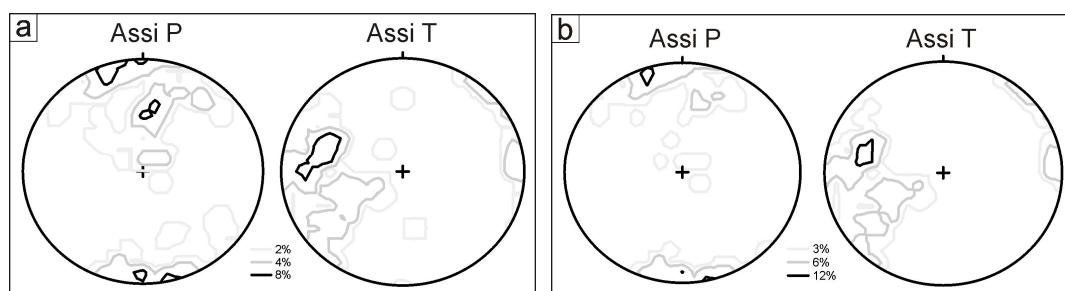


Figura 46. Proiezione sull'emisfero inferiore delle orientazioni degli assi di deformazione P e T delle 53 (a) e 41 (b) soluzioni di piani di faglia. Le curve con gradazione di grigio più intensa, racchiudono aree a maggiore densità di punti.

Nonostante per il sottovolume, identificato in maniera quantitativa, sia stato ricavato un regime di stress uniforme, una ulteriore inversione è stata eseguita in funzione della profondità, al fine di individuare ulteriori livelli di omogeneità dello stress lungo la verticale.

A tal proposito i singoli valori di *misfit*, calcolati assumendo come stress di riferimento quello ottenuto dall'inversione del subset *Est Filicudi*, sono stati riportati in funzione della profondità (Fig. 47, in alto). Una diminuzione di pendenza significativa della curva di *misfit* cumulativo si ha in corrispondenza dell'evento 24 a profondità di 13 km (linea tratteggiata).

Due ulteriori subset di 23 e 18 MF, rispettivamente per $h < 13$ km e per $h > 13$ km, sono stati invertiti ottenendo i risultati mostrati in Figura 47 e Tabella 7. Tenendo in considerazione il diverso numero di soluzioni invertite, non si hanno particolari variazioni delle orientazioni di stress lungo la verticale, se non una maggiore omogeneità ($F = 3.7^\circ$) per profondità superiori a 13 km.

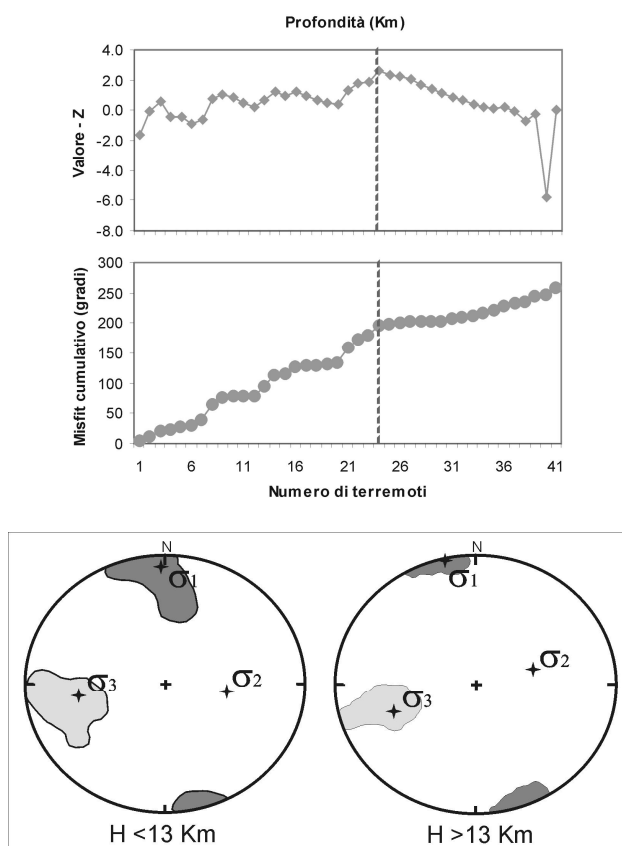


Figura 47. Proiezione sull'emisfero inferiore delle orientazioni degli assi principali di stress (stelle), ottenute dall'inversione di 23 e 18 soluzioni di piani di faglia, rispettivamente per $h < 13$ km e per $h > 13$ km. Le aree di colore grigio scuro e grigio chiaro rappresentano il 90% dei limiti di confidenza del σ_1 e σ_3 , rispettivamente. In alto, il *misfit* cumulativo $\Sigma f(N)$ e i valori del test Z in funzione del numero di terremoti ordinati per profondità crescente.

Tabella 7

Data set	N	F(°)	σ_1		σ_2		σ_3		R
			Dip	Strike	Dip	Strike	Dip	Strike	
Totale	53	6.6	2	347	56	80	34	255	0.7
Est Filicudi	41	5.4	2	347	56	80	34	255	0.7
H<13 km	23	6.0	8	356	53	96	36	260	0.6
H>13 km	18	3.7	1	342	54	73	36	251	0.7

Risultati delle inversioni dello stress. N , F ed R indicano, rispettivamente, il numero di soluzioni utilizzate per ciascuna inversione, il *misfit* medio ottenuto per ogni soluzione di stress, e la misura della magnitudo relativa dello stress. σ_1 , σ_2 e σ_3 sono gli assi principali di stress, di massima, intermedia e minima compressione, rispettivamente.

Dall'analisi del tensore dello sforzo nel settore delle isole Eolie, è stato individuato un regime tettonico di tipo traspressivo, caratterizzato da un asse di massima compressione orizzontale, orientato circa N-S, e un asse di minima compressione inclinato di 34°, circa E-W. Complessivamente, i risultati mostrano una certa stabilità delle orientazioni di stress per le diverse inversioni condotte sia in termini di longitudine che profondità.

8.4.3 Sicilia Nord-orientale

In Sicilia nord-orientale un totale di 50 MF di buona qualità sono state considerate per l'analisi del tensore degli sforzi. Gli eventi con profondità superiore a 30 km, sono stati esclusi in quanto di pertinenza sub-crostante. In Figura 48 viene mostrata la localizzazione ipocentrale degli eventi sismici selezionati.

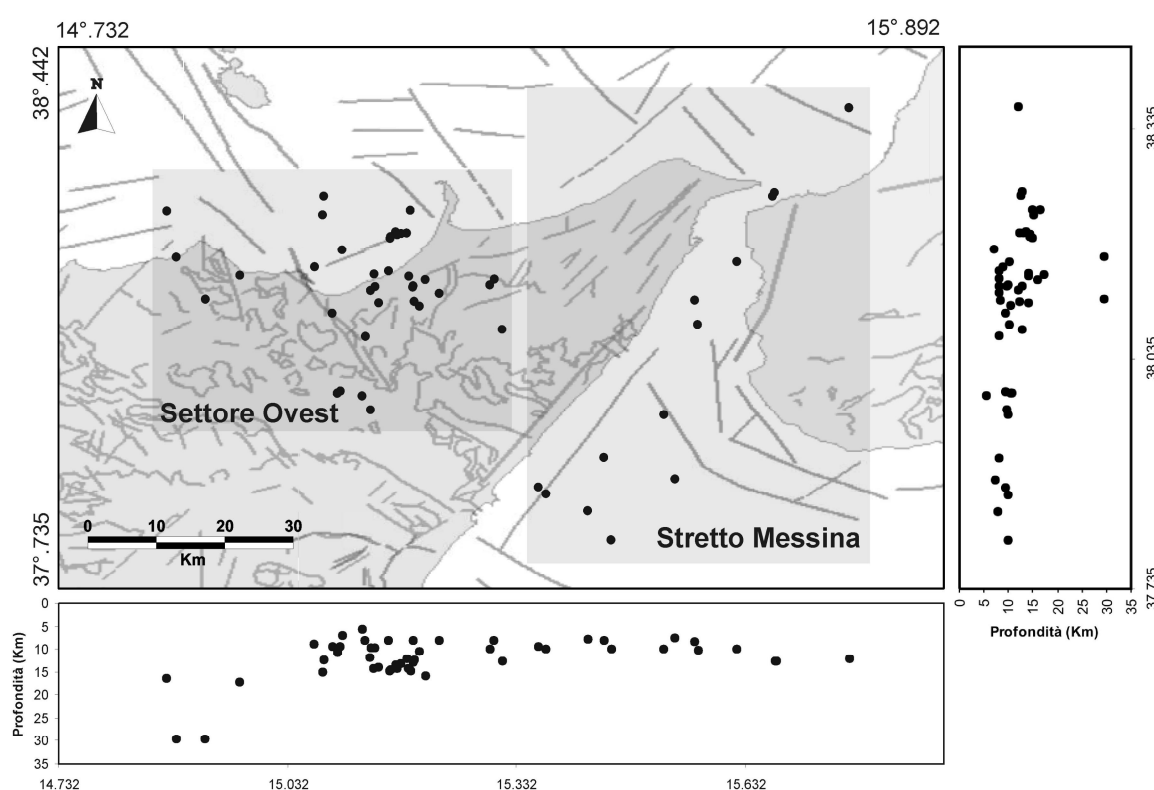


Figura 48. Distribuzione ipocentrale dei 50 eventi sismici costituenti il data-set iniziale. I riquadri ombreggiati in grigio, *Settore Ovest* e *Stretto di Messina*, indicano i due subsets di soluzioni focali considerati per le successive inversioni dello stress.

L'inversione eseguita per l'intero campione di dati (*Totale*) ha fornito i seguenti risultati: $F = 7.3^\circ$; $R = 0.5$; $\sigma_1 = N9^\circ E$ dip 65° ; $\sigma_2 = N225^\circ E$ dip 21° ; $\sigma_3 = N129^\circ E$ dip 13° . Come indicato dal valore del *misfit* medio (7.3°) il data-set considerato, pur essendo accettabile, presenta dei livelli di eterogeneità che possono essere risolti suddividendolo in subsets.

Ipotizzando che le direzioni del campo di stress varino nello spazio, in funzione della distribuzione della sismicità, sono stati individuati due sottovolumi dell'area investigata (Fig.

48). Il *Settore Ovest* (37 MF) è stato individuato considerando la sismicità che interessa il Golfo di Patti e il tratto meridionale del sistema di faglie ATL (Aeolian-Tindari-Letojanni fault system). Invece, il settore *Stretto di Messina* (13 MF) comprende gli eventi registrati nella fascia che intercorre tra Sicilia nord-orientale e Calabria meridionale. Si è passati, dunque, all'inversione delle soluzioni focali per ciascun subset, i cui risultati vengono mostrati in Figura 49 e Tabella 8.

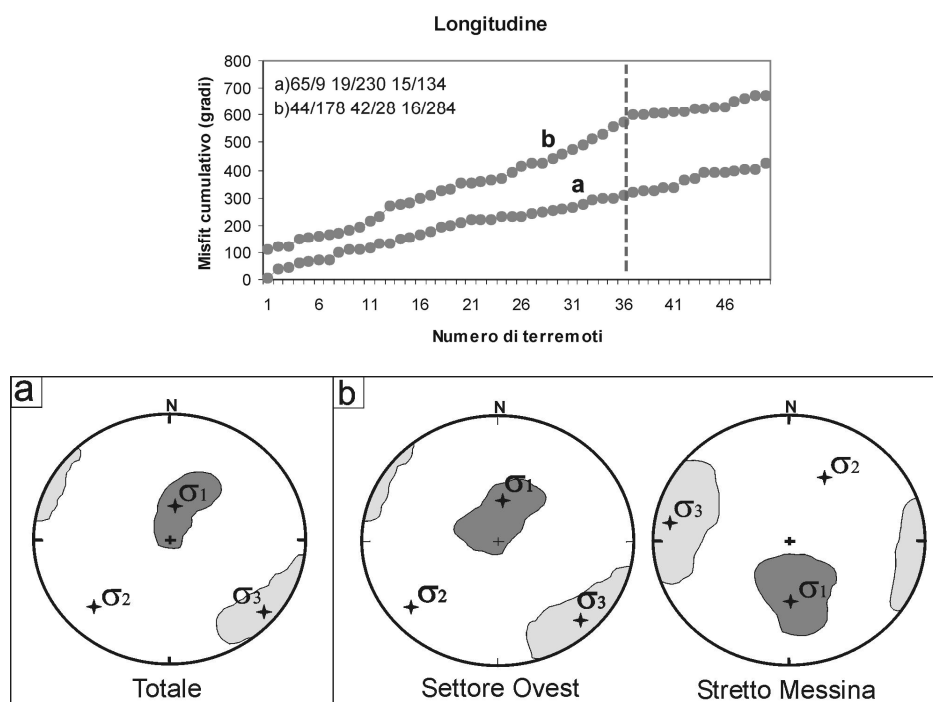


Figura 49. Proiezione sull'emisfero inferiore delle orientazioni degli assi principali di stress (stelle), ottenute invertendo: (a) 50 soluzioni focali ; (b) 37 e 13 MF, data-set *Settore ovest* e *Stretto Messina*, rispettivamente. Le aree di colore grigio scuro e grigio chiaro rappresentano il 90% dei limiti di confidenza del σ_1 e σ_3 , rispettivamente. In alto, il *misfit* cumulativo $\Sigma f(N)$ in funzione del numero di terremoti ordinati per longitudine crescente. I *misfit* individuali sono stati calcolati considerando lo stress di riferimento: a) del data-set *Settore Ovest*; b) del data-set *Stretto Messina*. La curva b è traslata verso l'alto per favorire la visualizzazione.

Il regime di sforzo ottenuto per il settore ovest rimane pressoché invariato, sia in termini di omogeneità ($F = 7.3^\circ$) che di orientazione degli assi principali di stress, rispetto all'intero dataset. Per l'area dello stretto di Messina i risultati hanno fornito un campo di stress omogeneo (4.4°), legato anche al ridotto numero di meccanismi focali utilizzati, con asse di minima compressione σ_3 orizzontale, orientato circa WNW-ESE, leggermente ruotato rispetto

a quello fornito dall'intero campione di dati. Per verificare, in modo quantitativo, la suddivisione in settori effettuata sulla base della distribuzione della sismicità, è stato applicato il metodo del *misfit* cumulativo ai 50 MF. I *misfit* individuali sono stati calcolati assumendo, alternativamente, come stress di riferimento sia quello ottenuto per il settore ovest che per lo stretto di Messina. Per quest'ultimo, disponendo i dati per longitudine crescente, è stata osservata una diminuzione significativa del *misfit* ad una longitudine di 15°.313 (Fig. 49), confermando il limite fissato inizialmente per la suddivisione del data-set *Totale*.

Tabella 8

Data set	N	F(°)	σ_1		σ_2		σ_3		R
			Dip	Strike	Dip	Strike	Dip	Strike	
Totale	50	7.3	65	9	21	225	13	129	0.5
Settore Ovest	37	7.3	65	9	19	230	15	134	0.5
Stretto Messina	13	4.4	44	178	42	28	16	284	0.8

Risultati delle inversioni dello stress. *N*, *F* ed *R* indicano, rispettivamente, il numero di soluzioni utilizzate per ciascuna inversione, il *misfit* medio ottenuto per ogni soluzione di stress, e la misura della magnitudo relativa dello stress. σ_1 , σ_2 e σ_3 sono gli assi principali di stress, di massima, intermedia e minima compressione, rispettivamente.

Relativamente al settore ovest, per meglio identificare il sottovolume di roccia dove le condizioni di omogeneità fossero soddisfatte, i *misfit* individuali sono stati riportati in funzione della longitudine, latitudine e profondità. Ciò non ha messo in evidenza alcuna diminuzione di pendenza della curva, quindi nessun decremento del *misfit* medio è stato identificato in modo quantitativo. Ripetuti tentativi di inversione dei meccanismi focali sono stati effettuati, escludendo alcuni eventi periferici rispetto al *cluster* centrale, ancora una volta senza riduzioni significative del *misfit*.

Complessivamente i risultati evidenziano una regione interessata da un regime di stress di tipo estensionale, con direzione di minima compressione σ_3 , orizzontale, variabile tra E-W e NW-SE. Una componente di trascorrenza importante è stata riscontrata nell'area dello stretto di Messina, in cui l'asse di massima compressione σ_1 risulta inclinato di 44°.

8.4.4 Isole Eolie e Sicilia Nord-orientale

La regione del Tirreno meridionale è caratterizzata da una struttura crostale alquanto articolata, con forti discontinuità laterali, legata ad un contesto di convergenza N-S tra placca Africana ed Euroasiatica. Nello specifico, sulla base di considerazioni tettoniche, stile di fagliazione e modelli geodinamici, si è cercato di condurre un'analisi degli sforzi agenti nella porzione di crosta che comprende le Isole Eolie, il Golfo di Patti e le aree circostanti. A tale scopo è stato preso in considerazione il modello di zone sismogenetiche per la stima del rischio sismico in Italia, proposto da *Meletti et al.* (2008). In particolare le zone sismogenetiche di interesse per questo studio riguardano la SSZ932 e la SSZF che comprendono, rispettivamente, il sistema di faglie ATL (Aeolian-Tindari-Letojanni fault system) unitamente alle faglie orientate E-W che segmentano il Golfo di Patti, e il complesso sistema di fratture E-W nella porzione occidentale dell'Arcipelago Eoliano (Fig. 50).

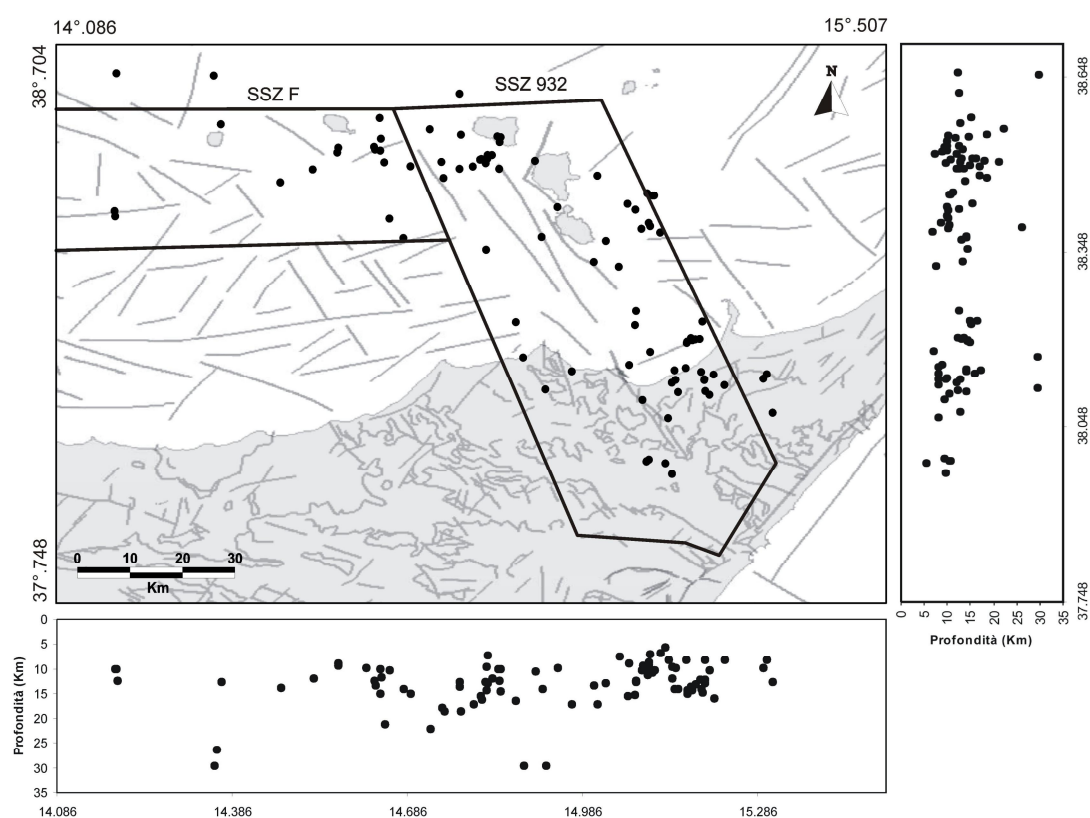


Figura 50. Distribuzione ipocentrale dei terremoti localizzati nelle Isole Eolie e Sicilia nord-orientale. I due poligoni, denominati SSZ932 e SSZF, rappresentano le zone sismogenetiche individuate da *Meletti et al.* (2008), nonché i due sottovolumi contenenti le soluzioni focali considerate per l'inversione del tensore dello sforzo in questo lavoro.

Sono stati, dunque, identificati due data-set di terremoti *SSZ932* e *SSZF* che includono 64 e 16 MF, rispettivamente. I risultati dell'inversione hanno fornito valori di *misfit* medio 7.6° e 6.5°, che denotano regimi di stress accettabili, seppur con qualche livello di eterogeneità (Figura 51 e Tabella 9).

Complessivamente i tensori dello sforzo presentano meccanismo di *dip-slip* di tipo normale, con direzione di minima compressione σ_3 che varia da NE-SW a circa E-W per il data-set *SSZF* e *SSZ932*, rispettivamente. Una certa componente trascorrente ($\sigma_1 = 54^\circ$) si osserva per il data-set *SSZF*, da considerare anche il numero esiguo di soluzioni focali disponibili per questa zona.

Diversi tentativi di inversione sono stati eseguiti, ampliando e restringendo alternativamente i limiti delle zone sismogenetiche considerate (e quindi il numero di eventi), al fine di individuare volumi di roccia omogenei, senza però riscontrare alcuna riduzione di *misfit*.

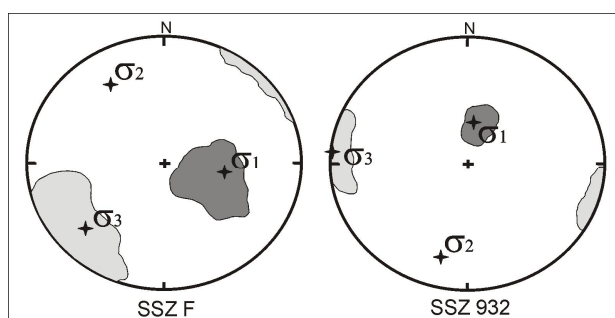


Figura 51. Proiezione sull'emisfero inferiore delle orientazioni degli assi principali di stress (stelle), ottenute dall'inversione delle 16 e 64 soluzioni di piani di faglia per il data-set *SSZF* e *SSZ932*, rispettivamente. Le aree di colore grigio scuro e grigio chiaro rappresentano il 90% dei limiti di confidenza del σ_1 e σ_3 , rispettivamente.

Tabella 9

Data set	N	F(°)	σ_1		σ_2		σ_3		R
			Dip	Strike	Dip	Strike	Dip	Strike	
SSZ932	64	7.6	65	15	25	194	0	284	0.6
SSZF	16	6.5	54	107	28	328	20	227	0.9

Risultati delle inversioni dello stress. *N*, *F* ed *R* indicano, rispettivamente, il numero di soluzioni utilizzate per ciascuna inversione, il *misfit* medio ottenuto per ogni soluzione di stress, e la misura della magnitudo relativa dello stress. σ_1 , σ_2 e σ_3 sono gli assi principali di stress, di massima, intermedia e minima compressione, rispettivamente.

In Figura 52 vengono riportati gli assi di deformazione P e T derivanti dalle soluzioni focali considerate per la zona sismogenetica SSZ932. Si nota una elevata dispersione degli assi di deformazione, a differenza dei limiti di confidenza molto contenuti degli assi di stress σ_1 e σ_3 . Ciò può essere dovuto alla riattivazione di superfici di debolezza, con diversa orientazione, che interessano il settore orientale dell'Arcipelago Eoliano e l'area circostante il Golfo di Patti. Come sottolineato in fase di analisi delle soluzioni focali, i due settori sono caratterizzati prevalentemente da meccanismi di *strike-slip* e *dip-slip* di tipo normale, rispettivamente.

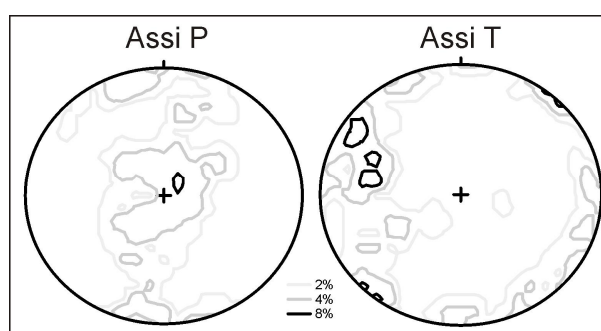


Figura 52. Proiezione sull'emisfero inferiore delle orientazioni degli assi P e T delle 64 soluzioni di piani di faglia per il data-set SSZ932. Le curve con gradazione di grigio più intensa, racchiudono aree a maggiore densità di punti.

I livelli di eterogeneità del regime di sforzo ottenuto per la zona sismogenetica SSZ932, con buona probabilità risiedono nel settore meridionale dove, per l'area del Golfo di Patti, è stato ottenuto un campo di stress simile, con asse di minima compressione (σ_3) ruotato in direzione NW-SE e con un certo grado di eterogeneità (Vedi Fig. 49). La porzione nord della zona sismogenetica SSZ932, coincide in buona parte col settore *Est Filicudi* individuato per le Isole Eolie, per il quale è stato ricavato un regime di stress uniforme di tipo trascorrente (Vedi Fig. 45).

8.4.5 Etna

L'Etna, all'interno della regione di studio, è ubicata tra il dominio compressivo che caratterizza la Sicilia occidentale e quello tensionale che interessa il settore calabro-ionico. A questo contesto tettonico articolato si aggiungono le spinte magmatiche subcrustali testimoniate dall'attività vulcanica. Pertanto, effettuare un'analisi del campo di stress in una regione caratterizzata da intensa attività eruttiva e sismica non risulta particolarmente agevole. In Figura 53 viene mostrata la localizzazione ipocentrale degli eventi sismici selezionati per l'inversione del tensore dello sforzo.

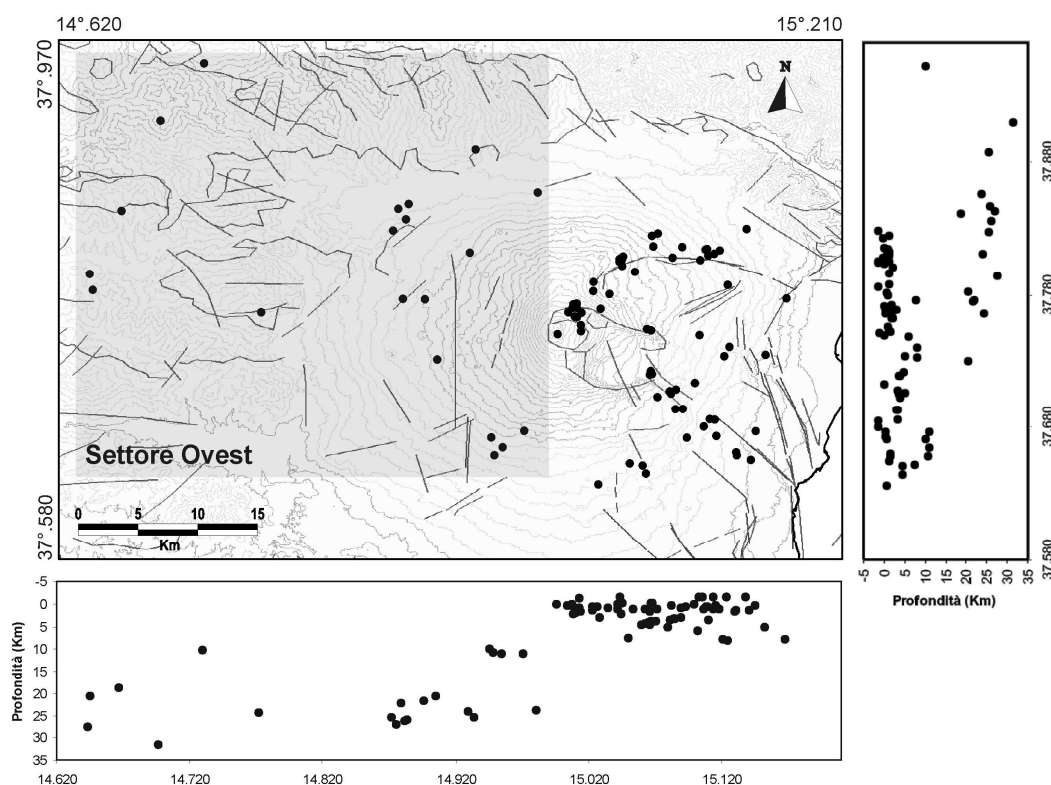


Figura 53. Distribuzione ipocentrale degli 89 eventi sismici costituenti il data-set iniziale. Il riquadro ombreggiato in grigio indica il sottovolume (*Settore Ovest*) contenente i 20 MF considerati per l'inversione del tensore dello sforzo.

Il data-set iniziale (*Totale*) è costituito da 89 MF, distribuiti in tutto l'edificio vulcanico, che individuano uno spessore di crosta compreso tra -1.6 e 31 km. Dall'inversione del data-set *Totale* sono stati ottenuti i seguenti risultati: $F = 10.2^\circ$; $R = 0.4$; $\sigma_1 = N45^\circ E$ dip 47° ; $\sigma_2 = N190^\circ E$ dip 37° ; $\sigma_3 = N295^\circ E$ dip 18° . Il valore di *misfit* medio ricavato indica chiaramente la

presenza di eterogeneità nel volume investigato, anche se le aree di dispersione degli assi di compressione e estensione risultano piuttosto contenute (Fig 54).

Nel tentativo di ridurre il *misfit* medio, individuando dei sottovolumi di crosta più ristretti, si è scelto di selezionare gli eventi localizzati a profondità superiore a 10 km. Sulla base di studi precedenti condotti all'Etna (Cocina *et al.*, 1998; Barberi *et al.*, 2000), i meccanismi focali di terremoti localizzati a profondità inferiore a 10 km, risultano influenzati dallo stress indotto dalla risalita di magma all'interno dell'edificio vulcanico. E' stato così identificato un data-set (*Settore ovest*) di 20 eventi sismici localizzati esclusivamente nel settore occidentale del vulcano (Fig. 53, riquadro in grigio), dalla cui inversione sono stati ottenuti i seguenti risultati: $F = 4.3^\circ$; $R = 0.3$; $\sigma_1 = N2^\circ E$ dip 36° ; $\sigma_2 = N182^\circ E$ dip 54° ; $\sigma_3 = N272^\circ E$ dip 0° (Fig 54; Tabella 10). Il regime di stress ottenuto presenta un buon grado di omogeneità, con asse di massima compressione σ_1 inclinato di 36° in direzione N-S e asse di minima compressione σ_3 orizzontale, orientato E-W. Il valore basso di magnitudo dello sforzo ($R = 0.3$) indica un regime di stress di tipo biassiale.

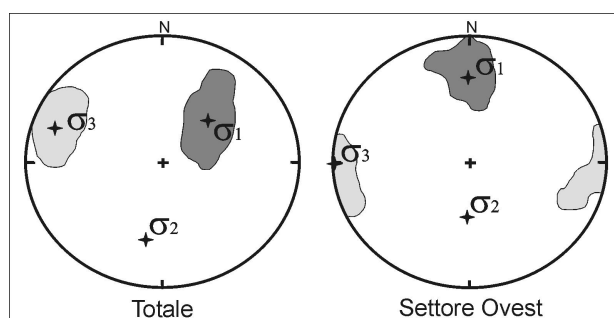


Figura 54. Proiezione sull'emisfero inferiore delle orientazioni degli assi principali di stress (stelle), ottenute dall'inversione delle 89 e 20 soluzioni di piani di faglia per il data-set *Totale* e *Settore Ovest*, rispettivamente. Le aree di colore grigio scuro e grigio chiaro rappresentano il 90% dei limiti di confidenza del σ_1 e σ_3 , rispettivamente.

Tabella 10

Data set	N	F($^\circ$)	σ_1		σ_2		σ_3		R
			Dip	Strike	Dip	Strike	Dip	Strike	
Totale	89	10.2	47	45	37	190	18	295	0.4
Settore Ovest	20	4.3	36	2	54	182	0	272	0.3

Risultati delle inversioni dello stress. N , F ed R indicano, rispettivamente, il numero di soluzioni utilizzate per ciascuna inversione, il *misfit* medio ottenuto per ogni soluzione di stress, e la misura della magnitudo relativa dello stress. σ_1 , σ_2 e σ_3 sono gli assi principali di stress, di massima, intermedia e minima compressione, rispettivamente.

Per verificare la stabilità dei risultati un'ulteriore inversione è stata condotta escludendo i sei eventi localizzati nella porzione più ad ovest del vulcano. Sono stati ottenuti un identico valore di *misfit* (4.3°) e orientazioni degli assi principali di stress pressoché invariate.

Successivamente sono stati invertiti i 69 MF rimanenti ($H < 10$ km), che interessano la porzione centro-orientale dell'Etna, ottenendo un modello di stress equivalente a quello ricavato per l'intero data-set, con un irrisorio abbassamento del *misfit* medio. La permanenza di eterogeneità nei risultati delle inversioni è legata probabilmente sia alla coesistenza di soluzioni focali di terremoti vulcano-tettonici e non, che alla presenza di superfici di debolezza variamente orientate lungo il versante orientale. Si è tentato di invertire 45 MF relativi a tutti gli eventi sismici registrati in periodi pre-eruttivi, ottenendo un *misfit* medio di 9.4° (eterogeneo) e orientazione degli assi di massima e minima compressione ancora una volta simile a quella ricavata per l'intero settore.

Infine, considerando le diverse fasi eruttive (Ottobre 2002 - Gennaio 2003; Settembre 2004 - Marzo 2005; Luglio - Dicembre 2006; Maggio 2008 - Luglio 2009) che si sono verificate durante il periodo investigato, è stata effettuata una ripartizione dei terremoti in funzione dei singoli periodi eruttivi e pre-eruttivi. Ciascun subset ottenuto risulta costituito da un numero di soluzioni focali insufficiente per una analisi affidabile del campo di stress.

Concludendo, possiamo affermare che per profondità superiori a 10 km, durante il periodo di riferimento, il campo di stress nel settore occidentale del vulcano è omogeneo e in accordo con quello a scala regionale. Ciò conferma quanto ricavato da altri autori (*Cocina et al.* 1996, 1997), per differenti periodi e metodologie applicate. Relativamente al settore centro-orientale del vulcano, nessun modello di stress uniforme è stato ricavato per profondità inferiori a 10 km.

8.4.6 Sicilia Sud-orientale

Per la determinazione del campo di sforzi che agisce in Sicilia sud-orientale vengono presi in considerazione 55 MF, distribuiti sia nella porzione *inland* che *offshore*. In Figura 55 si ha la localizzazione ipocentrale degli eventi selezionati e i sottovolumi (riquadri in grigio) individuati per l'inversione finale dei dati.

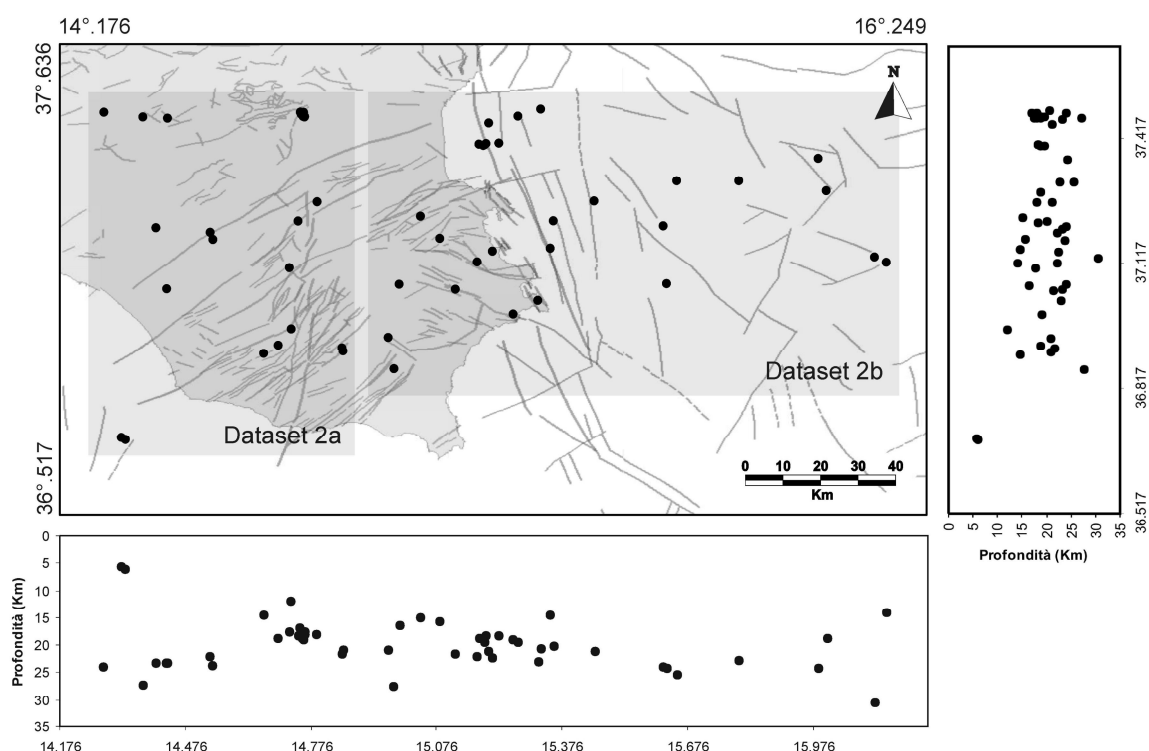


Figura 55. Distribuzione ipocentrale dei 55 eventi sismici costituenti il data-set iniziale. I riquadri ombreggiati in grigio, indicano i due sottovolumi (data-set 2a; data-set 2b) contenenti le soluzioni focali considerate per l'inversione finale del tensore dello sforzo.

Inizialmente è stato invertito l'intero data-set di 55 MF, al fine di verificare se tutti i meccanismi di sorgente sono in accordo con un singolo regime di stress uniforme. I risultati ottenuti vengono qui di seguito riassunti: $F = 7.0^\circ$; $R = 0.5$; $\sigma_1 = N324^\circ E$ dip 5° ; $\sigma_2 = N62^\circ E$ dip 57° ; $\sigma_3 = N231^\circ E$ dip 33° . Dal valore del *misfit* medio pari a 7.0° si può affermare, anche per questo settore, che l'intero campione di dati è affetto da un certo grado di eterogeneità. Il tensore degli sforzi è di tipo trascorrente, con asse di massima (σ_1) e minima (σ_3) compressione orizzontale e debolmente inclinato, rispettivamente (Fig. 56a). Tentativi di

inversione sono stati eseguiti escludendo gli eventi localizzati a maggior distanza dalla costa ionica, senza però riscontrare sostanziali riduzioni di *misfit*. Si è optato, quindi, per le successive inversioni dello stress, di includere tali eventi.

Al fine di individuare delle porzioni di crosta che soddisfino la condizione di omogeneità dello stress, è stato adottato inizialmente il criterio seguito da *Musumeci et al.* (2005), per studi sismologici precedenti condotti nella stessa area. Secondo tale criterio la regione è stata suddivisa in tre settori, in funzione della distribuzione della sismicità. I settori I, II e III, includono gli eventi localizzati nella porzione occidentale, centrale e orientale, rispettivamente. Applicando tale criterio ai dati disponibili in questo lavoro, sono stati individuati due data-set, 1a (24 MF) e 1b (23 MF), che includono gli eventi registrati nella porzione occidentale e orientale (incluso il mar Ionio), rispettivamente. Per il settore centrale si ha un numero insufficiente di soluzioni focali (8 MF) per poter effettuare un tentativo di inversione. I risultati ottenuti dall'inversione dei due subsets (1a e 1b) sono riassunti in Tabella 11. Successivamente, i due tensori di stress ricavati sono stati assunti come riferimento per calcolare i *misfit* individuali dei 55 MF per identificare, in modo quantitativo, eventuali limiti spaziali di variazione delle orientazioni dello stress. Disponendo i dati in funzione della longitudine, latitudine e profondità focale, una evidente riduzione del *misfit* (diminuzione dell'inclinazione della curva) è stata osservata per longitudine crescente (Fig. 56, in alto). La variazione di pendenza si verifica in coincidenza dell'evento 27, a cui corrisponde un valore di longitudine di $14^{\circ}.961$ (linea tratteggiata). Applicando il test Z (*Davis*, 1986) è stato confermato, con un livello di confidenza superiore al 99%, che esiste una variazione dello stress con la longitudine.

Infine, sulla base del valore di longitudine ottenuto, il campione iniziale è stato ripartito in due subset, 2a (26 MF) e 2b (29 MF) (Fig. 55, riquadri in grigio). I risultati delle inversioni (Tabella 11) hanno fornito modelli di stress con *misfit* medio di 3.5° e 5.4° , evidenziando un buon grado di omogeneità. I regimi di sforzo per entrambi i settori sono di tipo trascorrente e una lieve differenza si ha in termini di orientazione degli assi di massima (σ_1) e minima (σ_3) compressione, circa N-S e E-W per il settore occidentale, NW-SE e NE-SW per il settore orientale (Fig. 56b)

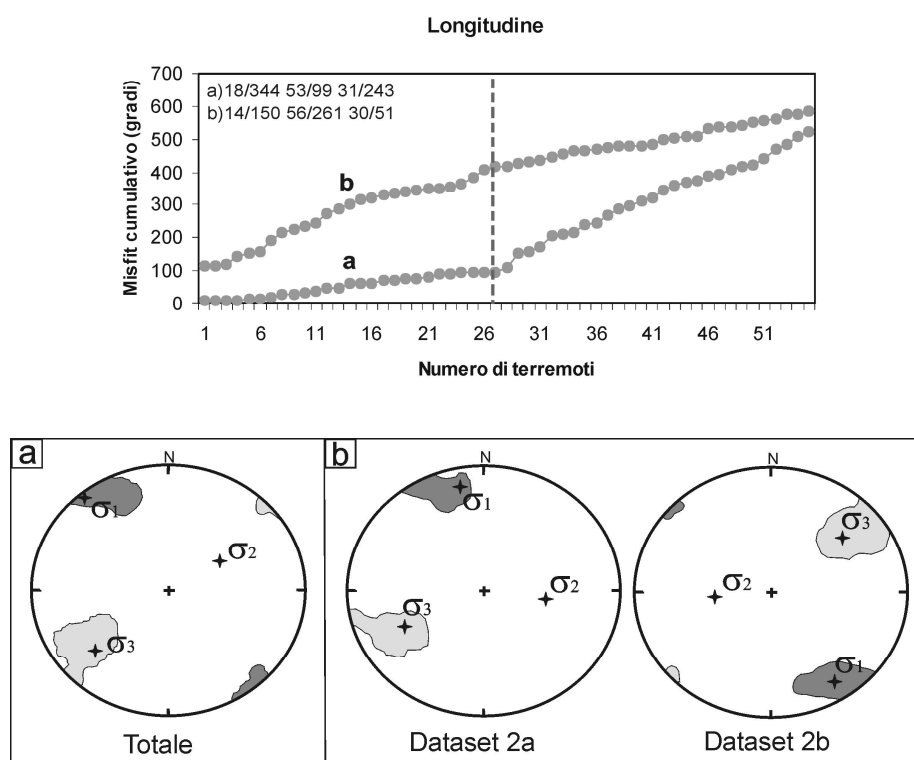


Figura 56. Proiezione sull'emisfero inferiore delle orientazioni degli assi principali di stress (stelle), ottenute invertendo: (a) 55 soluzioni focali ; (b) 26 e 29 MF, data-set 2a e 2b rispettivamente. Le aree di colore grigio scuro e grigio chiaro rappresentano il 90% dei limiti di confidenza del σ_1 e σ_3 , rispettivamente. In alto, il *misfit* cumulativo $\Sigma f(N)$ in funzione del numero di terremoti ordinati per longitudine crescente. I *misfit* individuali sono stati calcolati considerando lo stress di riferimento: a) del data-set 1a ; b) del data-set 1b. La curva b è traslata verso l'alto per favorire la visualizzazione.

In Figura 57 vengono riportati gli assi P e T derivanti dalle soluzioni focali ottenute per il settore occidentale (2a) e orientale (2b). La dispersione degli assi di deformazione è alquanto contenuta per il settore occidentale dell'Avampaese Ibleo, con assi P aventi un'inclinazione media di 30° . Il settore orientale e *offshore*, presenta alcune direzioni degli assi P prossime alla verticale e una buona concentrazione di assi T vicino all'orizzontale. Si ha, inoltre, una buona coincidenza tra lo sforzo agente nell'area e lo stile di deformazione sismica.

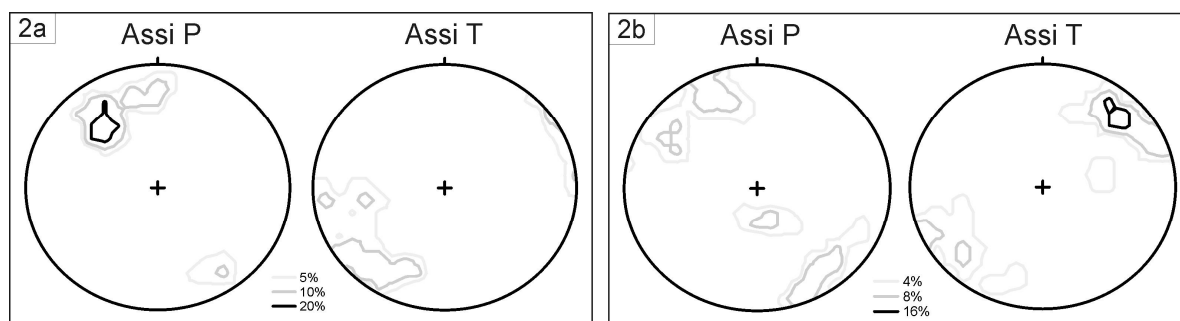


Figura 57. Proiezione sull'emisfero inferiore delle orientazioni degli assi P e T delle 26 (2a) e 29 (2b) soluzioni di piani di faglia. Le curve con gradazione di grigio più intensa, racchiudono aree a maggiore densità di punti.

Infine è stato ipotizzato che l'orientazione del campo di stress potesse variare con la profondità. A tal proposito sono stati individuati due sottovolumi di crosta, con profondità inferiore e superiore a 20 km, per i quali sembra esserci, seppur lieve, una differente dispersione degli eventi. Da studi di tomografia sismica per questa regione, è stato evidenziato un livello a bassa velocità delle onde P (V_p) a profondità superiore a 20 km, ad ovest del sistema di faglie Scicli-Ragusa (Scarfi *et al.*, 2007). Il campione di dati analizzato risulta ripartito in 30 e 25 MF, rispettivamente per $H < 20$ km e per $H > 20$ km.

I risultati delle inversioni, per i due differenti intervalli di profondità, sono riportati in Figura 58 e Tabella 11. Entrambe i regimi di stress risultano omogenei con *misfit* medio di 5.5° e 5.0° . Per la porzione di crosta inferiore a 20 km di profondità si ha un campo degli sforzi molto simile a quello ottenuto per il settore orientale, mentre per il volume di crosta a profondità superiore di 20 km si distingue un σ_1 inclinato di 31° , quindi una maggior compressione verticale. Assumendo i due modelli di stress così ottenuti come riferimento per il calcolo dei *misfit* individuali, e riportando i dati in funzione della profondità crescente, una variazione significativa del *misfit* (confermata dal test statistico) si riscontra all'evento 31, a cui corrisponde esattamente una profondità di 20 km (Fig. 58, in alto). Applicando il metodo quantitativo, quindi, è stato confermato il limite inizialmente ipotizzato per l'individuazione delle diverse orientazioni dello stress.

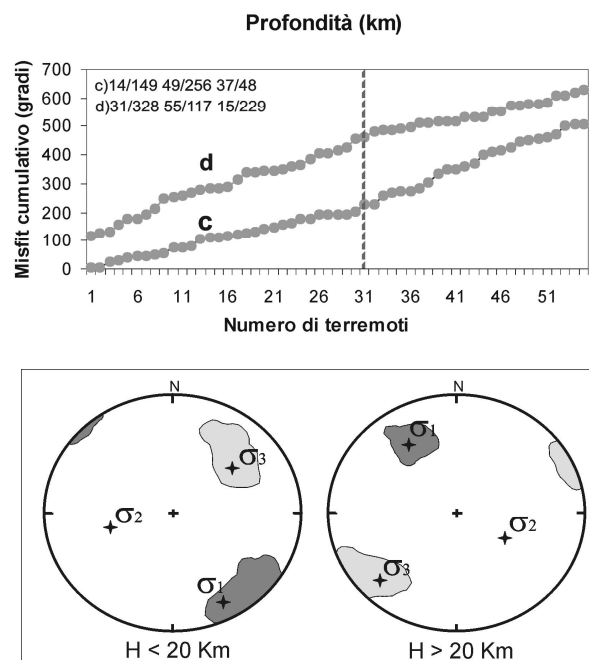


Figura 58. Proiezione sull'emisfero inferiore delle orientazioni degli assi principali di stress (stelle), ottenute invertendo 30 e 25 MF, rispettivamente per $h < 20$ km e per $h > 20$ km. Le aree di colore grigio scuro e grigio chiaro rappresentano il 90% dei limiti di confidenza del σ_1 e σ_3 , rispettivamente. In alto, il *misfit* cumulativo $\Sigma f(N)$ in funzione del numero di terremoti ordinati per profondità crescente. I *misfit* individuali sono stati calcolati considerando lo stress di riferimento: c) del data-set con $H < 20$ km ; d) del data-set con $H > 20$ km. La curva b è traslata verso l'alto per favorire la visualizzazione

Tabella 11

Data set	N	F(°)	σ_1		σ_2		σ_3		R
			Dip	Strike	Dip	Strike	Dip	Strike	
Totale	55	7.0	5	324	57	62	33	231	0.5
1a	24	3.8	18	344	53	99	31	243	0.5
1b	23	5.5	14	150	56	261	30	51	0.5
2a	26	3.5	18	344	53	99	31	243	0.5
2b	29	5.4	17	150	56	267	29	51	0.5
H < 20 km	30	5.5	14	149	49	256	37	48	0.5
H > 20 km	25	5.0	31	328	55	117	15	229	0.7

Risultati delle inversioni dello stress. N , F ed R indicano, rispettivamente, il numero di soluzioni utilizzate per ciascuna inversione, il *misfit* medio ottenuto per ogni soluzione di stress, e la misura della magnitudo relativa dello stress. σ_1 , σ_2 e σ_3 sono gli assi principali di stress, di massima, intermedia e minima compressione, rispettivamente.

L'analisi del regime di stress in Sicilia sud-orientale ha individuato, complessivamente, una regione interessata da un tensore degli sforzi di tipo trascorrente, con direzione di massima compressione (σ_1) che varia da N-S a NW-SE procedendo verso la costa ionica. Ciò evidenzia un buon accordo col campo di stress a scala regionale. I risultati mostrano una certa

stabilità delle orientazioni di stress per le inversioni condotte sia in termini di longitudine che profondità. Per quest'ultima viene messa in risalto una maggiore componente normale per profondità superiori a 20 km.

9. Discussione e conclusioni

Al fine di meglio interpretare i dati sismici analizzati in questo lavoro, è stato eseguito un confronto con i dati disponibili in letteratura. Numerosi studi basati su dati geostretturali, sismologici e GPS hanno interessato la Sicilia orientale.

Billi et al. (2006) hanno condotto delle analisi di tipo strutturale sul sistema di faglie di Tindari (Tindari Fault System), che interessa la Sicilia nord-orientale nella zona compresa tra l'Etna e la porzione a sud delle Isole Eolie (*Atzori et al.*, 1978; *Ghisetti*, 1979). Tale sistema di faglie risulta costituito da strutture principali e secondarie orientate, rispettivamente, NNW-SSE e NE-SW (Fig. 59), entrambe ad alto angolo di inclinazione e con movimento di *strike-slip* di tipo destro e sinistro, rispettivamente, riconducibile al Pliocene inferiore (*Ghisetti*, 1979).

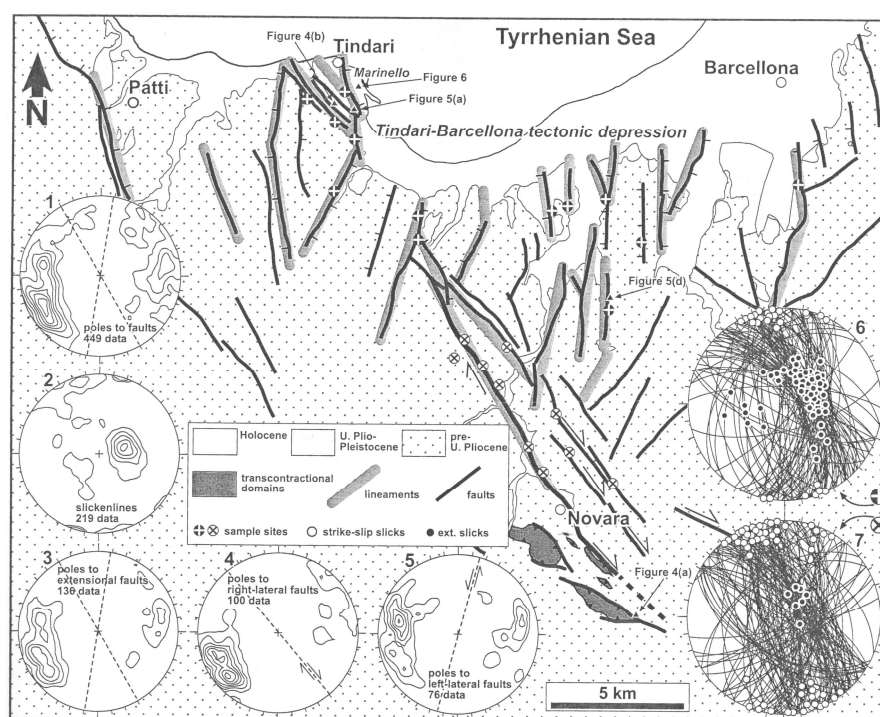


Figura 59. Mappa strutturale del settore *inland* del sistema di faglie di Tindari. (da *Billi et al.*, 2006). I diagrammi di Schmidt (emisfero inferiore) 1, 2, 3, 4 e 5 mostrano i limiti di confidenza dei dati strutturali ricavati lungo il sistema di faglie. Le linee tratteggiate all'interno dei diagrammi indicano la direzione media delle strutture. I diagrammi 6 e 7 mostrano le proiezioni dei piani di faglia e i relativi indicatori cinematici.

Dall'analisi dei dati recenti, l'area risulta interessata da un regime tettonico di tipo estensionale sin dal Pliocene Superiore-Pleistocene, che ha riattivato le pre-esistenti superfici di fratturazione e ne ha generato altre che dislocano i sedimenti Pliocenici-Pleistocenici della depressione strutturale Tindari-Barcellona (*Billi et al.*, 2006). Analizzando i dati di misure GPS in Sicilia nord-orientale (ricavate tra il 1994 e il 2001 da *Hollenstein et al.*, 2003), *Billi et al.* (2006) hanno combinato i vettori velocità, registrati in due stazioni posizionate a est e ovest del sistema di faglie di Tindari, ricavando una direzione di estensione N162°E.

Altre indagini, basate su dati GPS, sono state condotte da *Mattia et al.* (2009) in Sicilia nord orientale, al fine di ottenere maggiori informazioni sul tasso di deformazione dell'area. Gli autori hanno analizzato i dati ottenuti, tra il 1996 e il 2008, dalle reti geodetiche installate nei Monti Peloritani, Isole Eolie e Stretto di Messina, e utilizzato un approccio statistico per la decomposizione dei vettori velocità rilevati alle stazioni posizionate sui lati opposti delle faglie considerate (Fig. 60).

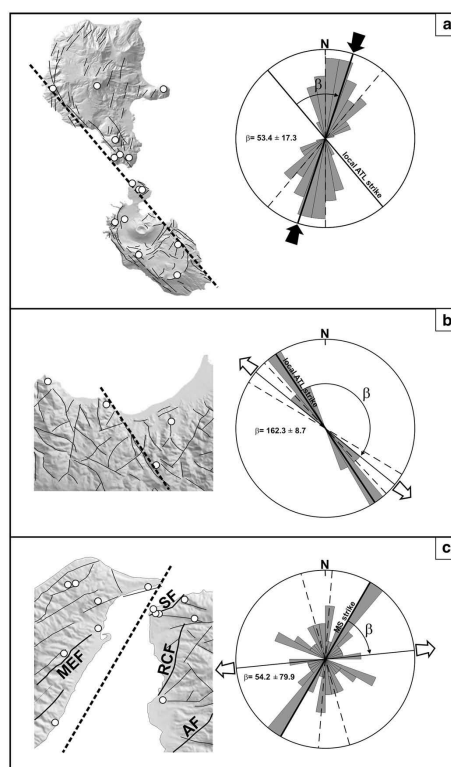


Figura 60. A sinistra, mappa strutturale semplificata dei singoli settori investigati; geometria della rete geodetica utilizzata (cerchi in bianco); modelli semplificati delle faglie considerate (linee tratteggiate). A destra, diagrammi *rose* che mettono in relazione i vettori spostamento ricavati e le direzioni delle strutture considerate (da *Mattia et al.*, 2009).

I principali risultati evidenziano movimenti di *strike-slip* di tipo destro per il sistema di faglie ATL, con una certa componente traspressiva e trastensiva per il tratto settentrionale (a) e meridionale (b), rispettivamente. Nel settore dello Stretto di Messina i risultati presentano uno scarso vincolo dovuto al complesso stile de formativo di quest'area (Mattia *et al.*, 2009).

Uno studio sismologico è stato eseguito da Neri *et al.* (2005) in Sicilia settentrionale, allo scopo di identificare le variazioni del regime di stress. Gli autori hanno considerato 131 meccanismi focali (per il periodo 1908 – 2002) relativi ad eventi con magnitudo compresa tra 2.2 e 7.0 e localizzati a profondità inferiore di 30 km. Applicando l'algoritmo di inversione di Gephart e Forsyth (1984) a diversi subset di soluzioni focali, in funzione dei diversi ambienti tettonici, Neri *et al.* (2005) hanno ottenuto i risultati mostrati in Figura 61. Un regime di sforzo ti tipo compressivo, con diversa orientazione dell'asse di massima compressione (σ_1), è stato ricavato dagli autori in Sicilia occidentale, Isole Eolie ed Etna, mentre in Sicilia nord-orientale hanno ottenuto un campo di stress ti tipo estensionale, con σ_3 orientato circa NW-SE. In alcuni casi l'elevata dispersione degli assi principali di stress può essere legata al numero esiguo di soluzioni focali utilizzate per l'inversione dei dati.

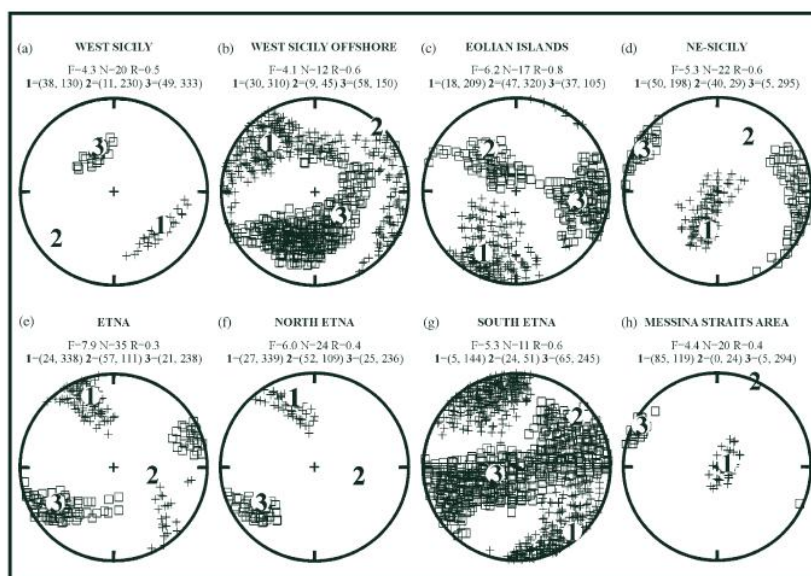


Figura 61. Orientazione degli assi principali di stress ottenute dall'inversione delle soluzioni focali per diversi sottovolumi della regione di studio. I numeri 1, 2 e 3 indicano le direzioni di massima, media e minima compressione, rispettivamente. I quadratini e le crocette indicano il 95% dei limiti di confidenza del σ_3 e σ_1 , rispettivamente (da Neri *et al.*, 2005).

Un ulteriore studio sismologico, relativo alla Sicilia sud-orientale, è stato compiuto da *Musumeci et al.* (2005). L'analisi è basata principalmente su localizzazioni ipocentrali e soluzioni focali, allo scopo di identificare i settori sismici più attivi e il regime di stress. È stato utilizzato un ampio data-set di eventi sismici ($1.0 \leq M_L \leq 4.6$), verificatisi nel periodo compreso tra Gennaio 1994 e Dicembre 2002, registrati dalla Rete Sismica della Sicilia Sud-orientale. Complessivamente la sismicità si distribuisce lungo i principali lineamenti tettonici, compreso il sistema di faglie della Scarpata di Malta, orientato NNW-SSE, concentrandosi ad una profondità tra 15 e 25 km. Gli autori hanno calcolato 70 soluzioni focali, ottenute dall'inversione congiunta dei primi impulsi P e direzioni di polarizzazione delle fasi S, costituite prevalentemente da meccanismi di *strike-slip* e *dip-slip* di tipo normale (Figura 62). Queste ultime risultano maggiormente localizzate in prossimità della costa ionica e *offshore*.

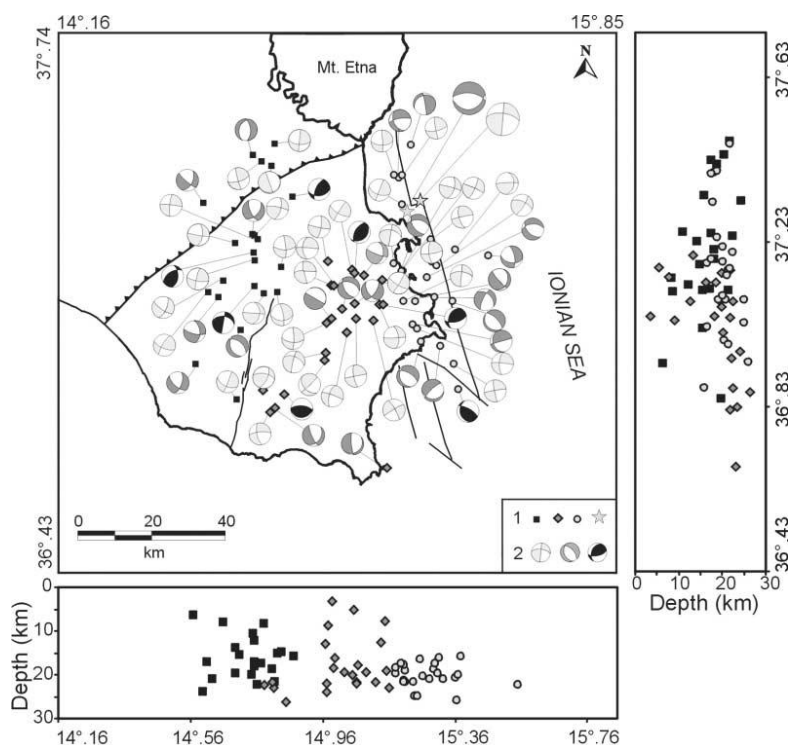


Figura 62. Mappa e sezioni dei 70 eventi selezionati e relativi meccanismi focali (da *Musumeci et al.*, 2005). (1) epicentri dei terremoti localizzati nei diversi settori (I, II e III, da ovest verso est, rispettivamente). (2) Meccanismi focali di *strike-slip* e *dip-slip* di tipo normale e inverso.

Per l'inversione del tensore dello sforzo, effettuata col programma di calcolo *Gephart e Forsyth* (1984), gli autori hanno suddiviso l'intero set di dati in tre subset (epicentri con diversa simbologia in Fig. 62), individuando tre settori dell'area di studio. L'inversione delle

soluzioni focali ha fornito un regime di stress di tipo trascorrente con asse di massima compressione (σ_1) orientato circa NNW-SSE nei settori occidentale e centrale, e NW-SE nel settore orientale.

Nell'ambito della presente ricerca, l'attenzione è stata rivolta alla definizione del regime di sforzo in Sicilia orientale, attraverso l'analisi della sismicità e dei meccanismi focali. Lo scopo della tesi è stato quello di porre dei possibili vincoli alle relazioni intercorrenti tra sismicità e strutture tettoniche e verificare le possibili variazioni di orientazione dello stress nello spazio. Lo studio è stato articolato nelle seguenti fasi:

1) In una fase preliminare sono state analizzate le forme d'onda di circa 500 eventi sismici, localizzati in Sicilia orientale e Calabria meridionale dalla rete sismica dell' INGV di Catania. Una differente soglia di magnitudo è stata considerata per i vari settori (Isole Eolie, Sicilia nord-orientale, Etna e Sicilia sud-orientale), al fine di ottenere un numero di eventi idoneo all'analisi della sismicità e del tensore dello sforzo. Si è proceduto, quindi, alla localizzazione ipocentrale degli eventi, tramite il programma di calcolo *Hypoellipse* (Lahr, 1999), utilizzando diversi modelli di velocità mono-dimensionali in funzione del settore in cui si è verificato il terremoto. La maggior parte dell'attività sismica si distribuisce nell'area delle Isole Eolie occidentali e nel Golfo di Patti, in prossimità del sistema di faglie ATL (Aeolian-Tindari-Letojanni fault system) (vedi Fig 26; 28). La sismicità all'Etna interessa in prevalenza la parte sommitale dell'edificio vulcanico, la faglia della Pernicana e il versante orientale, per profondità inferiori a 10 km. Complessivamente, per la regione esaminata, gli ipocentri si concentrano ad un livello crostale compreso tra 0 e 30 km di profondità (vedi Fig. 26). Un'attenta analisi dei risultati ottenuti ha permesso anche di identificare la presenza di sequenze sismiche o "multipletti", cioè gruppi di eventi sismici ravvicinati in termini di tempo e di spazio con forme d'onda molto simili, probabilmente espressione del rilascio di energia sismica da parte di una medesima struttura sismogenica (vedi Fig. 18; cap 7.1).

2) Il passo successivo è stato quello di selezionare 325 eventi, sulla base del numero di polarità ($N_{pol} \geq 7$) e di una serie di parametri ipocentrali ($rms \leq 0.3$ s, Erh e $Erz \leq 2.0$ km), per la determinazione preliminare dei meccanismi focali con il programma di calcolo *FPFIT* (Reasenberg e Oppenheimer, 1985). Le soluzioni focali così ottenute mostrano, anche se in piccola percentuale, errori associati a *strike*, *dip* e *rake* non accettabili per la determinazione del regime di stress di una regione. Pertanto, un'ulteriore selezione degli eventi, effettuata

sulla base dei parametri di qualità e stabilità ottenuti per i meccanismi focali, ha portato a individuare un campione di 257 eventi (N_{poi} medio pari a 15) così distribuiti: 56 Isole Eolie, 57 Sicilia nordorientale, 89 Etna e 55 Sicilia sud-orientale.

3) Al fine di ottenere soluzioni focali con piani nodali meglio vincolati, è stato adottato un algoritmo di inversione non lineare (*De Natale et al.*, 1991; *Zollo e Bernard*, 1991) che consente di invertire congiuntamente i primi impulsi delle fasi P e le direzioni di polarizzazione delle onde S. Si è proceduto, quindi, con l'analisi di polarizzazione delle fasi S, tramite il programma di calcolo SeismPol (*Patanè e Ferrari*, 1998). A tale scopo, per escludere eventuali cause di distorsione delle onde di taglio, legate all'interazione dei raggi sismici prossimi all'orizzontale con la superficie libera, vengono presi in considerazione i segnali sismici con distanza epicentrale inferiore a $1.5 \times \text{Profondità}$ (km). Analizzando i meccanismi focali così ottenuti per l'intera regione investigata, possiamo rilevare:

(3.a) per le Isole Eolie, una predominanza di soluzioni di *strike-slip* con piani nodali orientati circa NE-SW e NW-SE, in accordo con la direzione dei principali sistemi di faglia (vedi Fig. 35). Gli assi di deformazione P, orizzontali, si dispongono mediamente N-S nel settore orientale e circa NW-SE nella zona centrale, secondo il *trend* del sistema di faglie ATL che principalmente interessa la regione (vedi Fig. 36).

(3.b) In Sicilia nord-orientale oltre il 60% dei meccanismi focali presenta un movimento di *dip-slip* di tipo diretto, con piani nodali variamente orientati (vedi Fig. 37). L'area dello Stretto di Messina è caratterizzata da soluzioni di *dip-slip* di tipo diretto e di *strike-slip* con componente normale. Nel settore occidentale gli assi di deformazione T si dispongono circa N-S e NW-SE nella zona *inland* e *offshore*, rispettivamente (vedi Fig. 38).

(3.c) All'Etna, complessivamente, si ha una distribuzione uniforme delle diverse tipologie di soluzioni di piani di faglia, la cui eterogeneità è probabilmente dovuta alla struttura crostale articolata e alle pressioni indotte dalla risalita di magma durante le fasi eruttive. Per il settore nord-occidentale del vulcano, in cui sono stati registrati i terremoti a profondità superiore di 10 km, si nota una prevalente orientazione NW-SE degli assi P (vedi Fig. 41), in accordo con la direzione di deformazione a scala regionale.

(3.d) In Sicilia sud-orientale prevalgono soluzioni di *strike-slip* di tipo destro e sinistro, con piani nodali orientati circa NNE-SSW e E-W. I meccanismi focali della sequenza sismica registrata, il 30 e 31 Luglio 2007, nella parte nord dell'Avampese Ibleo è caratterizzata da

soluzioni molto simili, con meccanismo di tipo trascorrente, per alcuni eventi con componente normale (vedi Fig. 42). Una consistente orientazione NNW-SSE degli assi P è stata ricavata per l'intero settore, *inland* e *offshore* (vedi Fig. 43).

4) Si è passati, infine, alla determinazione del tensore dello sforzo per i diversi settori della regione in esame, utilizzando l'algoritmo di *Gephart e Forsyth* (1984). Applicando il metodo del *misfit* cumulativo introdotto da *Wyss e Lu* (1995), viene affinato il criterio di suddivisione del data-set iniziale per l'identificazione dei sottovolumi con orientazione dello stress uniforme. I principali risultati dell'inversione sono qui di seguito riassunti:

(4.a) per il settore centro-orientale delle Isole Eolie (longitudine 14°.641 E) è stato ottenuto un regime di stress uniforme ($F = 5.4^\circ$) di tipo trascorrente, con σ_1 orizzontale, orientato circa NNW-SSE, e σ_3 inclinato di 34° (vedi Fig. 45; 63). Un'analisi dello stress in funzione della profondità non ha evidenziato variazioni sostanziali delle orientazioni dello sforzo, soltanto un maggior grado di omogeneità per profondità superiori a 13 km.

(4.b) In Sicilia nord-orientale è stato ricavato un campo di stress prevalentemente di tipo estensionale, con asse di minima compressione (σ_3), orizzontale, orientato circa WNW-ESE nell'area dello Stretto di Messina e NW-SE nel settore occidentale, nella zona circostante al Golfo di Patti (vedi Fig. 63). Per quest'ultimo settore, i livelli di eterogeneità ($F = 7.3^\circ$) associati al tensore dello sforzo potrebbero essere legati alle numerose superfici di dislocazione variamente orientate, che si sono riattivate nel Pliocene Superiore-Pleistocene (*Billi et al.*, 2006). Per entrambi i settori il σ_1 mostra una certa inclinazione, indicando una componente trascorrente.

(4.c) L'inversione dello stress effettuata considerando la zona sismogenetica SSZ932 (*Meletti et al.*, 2008), che include l'intero sistema di faglie ATL, ha fornito un regime di stress di tipo normale con asse di minima compressione (σ_3) orientato circa E-W. Il volume di roccia considerato è complessivamente soggetto a movimenti tettonici di tipo estensionale, anche se con qualche grado di eterogeneità degli sforzi agenti ($F = 7.6^\circ$).

(4.d) All'Etna, per il settore occidentale, è stato fornito un campo di stress uniforme di tipo trascorrente, con asse di massima compressione (σ_1) orientato N-S, confermando l'influenza dello sforzo a scala regionale (vedi Fig. 63). Tale risultato è conforme a quello ottenuto da studi sismologici precedenti sull'Etna (*Cocina et al.*, 1997; *Patanè e Privitera*, 2001). Nel settore centro-orientale non è stato ricavato nessun modello di stress uniforme,

probabilmente a causa dell'eterogeneità delle soluzioni focali di terremoti registrati in periodo eruttivo e non.

(4.e) In Sicilia sud-orientale, variazioni delle orientazioni dello stress sono state identificate in funzione della longitudine e della profondità. Il tensore dello sforzo, di tipo trascorrente, presenta un σ_1 prossimo all'orizzontale con direzione NNW-SSE nel settore occidentale, e circa NW-SE nella porzione orientale e *offshore* (vedi Fig. 63). Per profondità superiori a 20 km, pur rimanendo stabili le orientazioni degli assi principali di stress, prevale una componente trassensiva ($\sigma_1 = 31^\circ$) per l'intera regione.

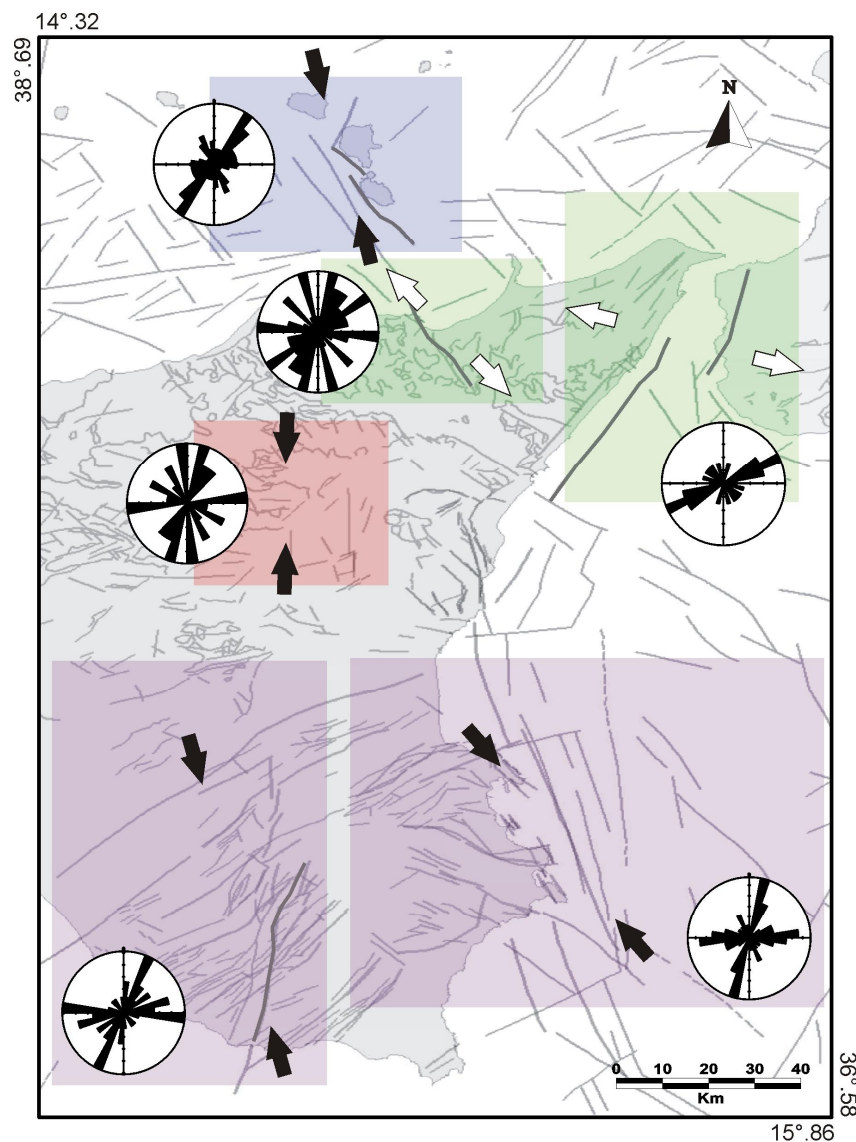


Figura 63. Mappa strutturale della Sicilia orientale. Le frecce di colore nero e bianco indicano le direzioni di massima compressione σ_1 e estensione σ_3 , rispettivamente, ottenute in questo studio. I riquadri, di vario colore, identificano i sottovolumi considerati per le inversioni dello stress nei diversi settori. I diagrammi *rose* mostrano le orientazioni dei piani nodali dei meccanismi focali invertiti.

Il confronto dei risultati ottenuti nel presente lavoro e quelli ricavati da altri autori, tenendo presente il diverso periodo di indagine, il numero e la tipologia di dati utilizzati e le diverse metodologie applicate, permette di fare alcune considerazioni.

I risultati delle localizzazioni ipocentrali in Sicilia orientale mostrano una distribuzione degli eventi non omogenea, confermando l'esistenza di una relazione tra sismicità e principali strutture tettoniche, evidenziata da studi precedenti (*Neri et al.*, 2003; *Barberi et al.*, 2004, *Musumeci et al.*, 2005).

In Sicilia nord-orientale, nella zona circostante il Golfo di Patti, la predominanza di soluzioni focali con componente di *dip-slip* di tipo normale e piani nodali variamente orientati (vedi Fig. 37), è in accordo con i risultati dell'analisi strutturale condotta da *Billi et al.* (2006). Gli autori individuano per quest'area superfici di faglia con un ampio *range* di orientazioni, da NNW-SSE a NNE-SSW (vedi Fig. 59), caratterizzate da indicatori cinematici prevalentemente subverticali che dimostrano il regime tettonico di tipo estensionale, attivatosi nel Pliocene Superiore-Pleistocene.

La sequenza sismica individuata in questo lavoro, registrata nel Golfo di Patti il 18 e 19 Agosto 2007, è caratterizzata da piani nodali con una consistente orientazione NE-SW (vedi Fig. 37), coincidente con la direzione delle faglie responsabili della segmentazione del Bacino di Cefalù e Golfo di Patti (*Pepe et al.*, 2000).

I risultati del campo di stress in Sicilia nord-orientale e Isole Eolie, qui ricavati, suggeriscono un movimento di tipo trascorrente destro lungo il principale sistema di faglie ATL (vedi Fig. 63). In particolare una componente traspressiva e trastensiva distingue, rispettivamente, il tratto settentrionale e meridionale del sistema di fratture, in buon accordo con le misure di dati GPS (*Mattia et al.*, 2009) e osservazioni di tipo geologico-strutturale (*Ghisetti*, 1979; *Ventura*, 1994, 1999). Il sistema di faglie ATL, orientato circa NW-SE, accomoda l'arretramento verso SE della litosfera del Tirreno meridionale (*Finetti e Del Ben*, 1986; *Billi et al.*, 2006). Nell'area dello Stretto di Messina, la direzione di minima compressione (σ_3) ricavata in questo studio, è circa ortogonale al *trend* di faglie, orientate NNE-SSW, che bordano il margine ionico (vedi Fig. 63), confermando il movimento di *dip-slip* di tipo normale, già noto da diversi studi di carattere geologico-strutturale (*Tortorici et al.*, 1995; *Jacques et al.*, 2001).

L'analisi del tensore dello sforzo per i diversi settori dell'area investigata ha fornito, in questo lavoro di tesi, risultati coerenti con quelli ricavati da *Neri et al.* (2005), per un differente intervallo di tempo, numero e qualità di soluzioni invertite (vedi Fig. 61). Una differenza è stata riscontrata nella soluzione dello stress relativa all'Arcipelago Eoliano, per il quale *Neri et al.* (2005) hanno ricavato una direzione di massima compressione (σ_1) circa NE-SW, rispetto all'orientazione NNW-SSE ottenuta in questo lavoro.

Per la Sicilia sud-orientale, la stabilità dei risultati, in termini di soluzioni focali e orientazione degli assi di stress, è confermata da quelli ricavati da *Musumeci et al.* (2005). La predominanza di soluzioni di *strike-slip* con piani nodali coincidenti con i principali lineamenti di faglia, evidenzia una regione sottoposta a un regime tettonico di tipo trascorrente. In particolare, meccanismi focali simili, di *strike-slip* con componente normale, si osservano per il gruppo di eventi localizzati nel Golfo di Catania a Maggio e Aprile del 2002 (vedi Fig. 42; 62). Il tensore dello sforzo, determinato in questo lavoro, per il periodo compreso tra il 2001 e il 2008, è pressochè invariato rispetto a quello fornito da *Musumeci et al.* (2005) per gli anni precedenti (1994-2002). Una minore inclinazione del σ_1 (18°), orientato NNW-SSE, è stata qui ricavata per il settore occidentale, rispetto a quella ottenuta ($\sigma_1 = 36^\circ$) da *Musumeci et al.* (2005).

L'orientazione media, NNW-SSE, degli assi di deformazione P delle soluzioni focali calcolate in Sicilia sud-orientale, sia *inland* che *offshore*, è in accordo col vettore velocità registrato, dalla rete VLBI, alla stazione di Noto che si sposta in direzione N334°E rispetto alla placca Euro-asiatica (*Hollenstein et al.*, 2003).

Complessivamente, i risultati ottenuti in questo lavoro di tesi, considerando il periodo di indagine, evidenziano:

- una sismicità, con magnitudo che varia prevalentemente tra 2.0 e 3.5, distribuita lungo i principali lineamenti tettonici, confermando il vincolo tra sismicità e strutture tettoniche;
- settori con diverso stile deformativo, caratterizzati da differenti meccanismi di sorgente e orientazione degli assi di deformazione;
- due principali domini di stress:

- un regime trascorrente, con asse di massima compressione (σ_1) che varia da N-S, nel settore occidentale dell'Etna, a NNW-SSE nelle Isole Eolie e Sicilia sud-orientale;
- un regime distensivo in Sicilia nord-orientale, con asse di minima compressione (σ_3) orientato WNW-ESE nello Stretto di Messina e NW-SE nel settore occidentale.

APPENDICE

Tabella 12 – Parametri ipocentrali dei 464 eventi selezionati.

N°	Data	Tempo orig.	M _d	Lat. N°	Long. E°	Prof.	N° lett.	Gap	rms	Erh	Erz
1	20/08/2001	22:44:59.17	3.3	37.712	15.080	3.94	32	49	0.15	0.2	0.2
2	07/09/2001	15:17:05.87	2.0	37.330	14.590	23.25	10	288	0.04	1.2	1.4
3	05/10/2001	13:29:34.41	3.0	37.198	15.727	24.63	21	250	0.10	1.0	0.6
4	28/10/2001	09:03:58.96	3.5	37.655	15.141	1.29	26	129	0.12	0.3	0.2
5	28/10/2001	15:05:11.64	3.2	37.660	15.130	1.59	28	115	0.20	0.2	0.2
6	03/11/2001	14:53:46.72	3.0	37.794	14.643	27.58	27	202	0.13	0.6	0.5
7	05/11/2001	10:17:52.05	2.6	37.105	14.725	17.72	12	263	0.11	0.8	0.5
8	26/11/2001	15:48:33.45	2.8	38.155	15.067	8.98	21	228	0.13	0.8	0.8
9	29/11/2001	05:27:45.95	2.7	38.064	15.134	8.21	18	216	0.09	0.9	0.9
10	25/12/2001	15:53:25.83	3.2	37.953	14.729	10.12	36	196	0.14	0.5	0.4
11	21/02/2002	02:12:51.73	3.3	37.450	15.201	21.16	29	163	0.20	0.6	0.7
12	13/03/2002	22:38:01.26	3.1	38.492	14.777	13.67	23	131	0.16	0.5	0.4
13	24/03/2002	23:04:06.22	3.0	37.719	15.065	4.00	26	61	0.16	0.2	0.2
14	24/03/2002	23:05:35.17	3.1	37.722	15.066	4.71	22	80	0.12	0.3	0.6
15	05/04/2002	04:51:25.55	4.2	38.450	15.099	11.33	15	156	0.13	0.5	0.4
16	05/04/2002	04:52:21.47	4.6	38.446	15.107	10.78	12	158	0.15	0.5	0.5
17	09/04/2002	20:52:17.58	2.6	38.432	15.065	15.39	14	93	0.10	0.8	0.8
18	12/04/2002	19:59:18.37	3.0	37.810	15.094	0.68	15	94	0.12	0.3	0.6
19	13/04/2002	08:59:52.23	3.0	37.719	15.067	3.67	34	57	0.16	0.2	0.2
20	21/04/2002	14:40:53.93	2.4	37.401	15.195	18.27	18	171	0.16	0.5	0.7
21	14/05/2002	04:07:37.38	2.8	37.398	15.191	19.48	22	189	0.20	0.7	0.7
22	14/05/2002	13:14:44.67	2.7	37.399	15.178	18.77	24	153	0.20	0.5	0.8
23	24/05/2002	02:50:47.75	2.7	37.396	15.188	18.76	18	139	0.18	0.4	0.7
24	07/06/2002	07:06:06.57	2.6	38.400	14.505	14.05	14	199	0.18	1.4	0.6
25	10/06/2002	19:14:00.23	2.9	38.422	15.078	12.57	21	96	0.11	0.8	1.2
26	07/07/2002	03:57:18.26	2.0	37.215	14.745	18.36	10	224	0.12	0.7	1.4
27	13/07/2002	00:19:02.23	2.8	37.216	15.356	20.10	12	226	0.15	0.9	0.8
28	24/07/2002	14:04:53.59	2.0	36.925	15.001	16.02	7	234	0.04	0.9	2.4
29	29/07/2002	01:54:17.13	2.5	38.124	15.141	11.90	18	145	0.16	0.3	0.6
30	13/08/2002	02:30:20.61	3.3	37.842	14.625	9.71	24	229	0.16	0.9	0.6
31	13/08/2002	05:29:44.09	3.1	37.883	14.681	9.48	19	241	0.12	1.0	0.5
32	21/08/2002	03:54:39.23	2.5	38.289	15.064	9.13	17	132	0.10	0.7	1.3
33	27/08/2002	06:42:14.49	2.2	37.385	14.684	14.64	13	230	0.09	0.6	1.4
34	31/08/2002	21:18:50.93	3.0	37.690	14.984	10.21	24	76	0.20	0.4	0.4
35	31/08/2002	21:27:23.59	3.0	37.714	14.983	8.68	25	67	0.17	0.5	0.5
36	16/09/2002	18:53:37.78	2.7	38.407	14.657	10.25	15	163	0.08	0.8	0.6
37	22/09/2002	16:01:50.59	3.6	37.798	15.087	4.90	17	119	0.10	0.6	0.8
38	16/10/2002	09:56:16.90	2.5	38.403	14.689	8.15	10	200	0.06	1.1	3.2
39	19/10/2002	13:16:18.53	2.6	38.373	14.673	18.74	13	179	0.11	1.2	2.0
40	27/10/2002	00:07:29.93	3.5	37.749	14.996	0.12	26	44	0.17	0.1	0.2
41	27/10/2002	00:10:28.35	3.3	37.757	15.003	-0.17	27	47	0.17	0.2	0.2
42	27/10/2002	00:13:21.34	3.0	37.754	15.022	-1.54	17	78	0.12	0.4	1.4
43	27/10/2002	00:29:40.51	3.1	37.740	15.001	0.23	12	173	0.16	0.9	1.1
44	27/10/2002	00:30:40.07	3.2	37.738	14.994	1.25	19	49	0.15	0.8	1.1
45	27/10/2002	00:34:12.29	3.1	37.762	15.012	-0.70	7	126	0.11	0.7	1.9
46	27/10/2002	00:35:04.04	3.0	37.724	14.998	-1.59	20	48	0.16	0.3	0.6
47	27/10/2002	00:36:09.99	3.1	37.751	15.013	-1.25	19	55	0.16	0.2	0.9
48	27/10/2002	00:41:49.46	3.2	37.730	15.005	-0.89	21	48	0.14	0.4	0.9
49	27/10/2002	01:11:25.39	3.0	37.756	15.013	0.88	23	56	0.12	0.2	0.3
50	27/10/2002	01:13:32.67	3.3	37.764	14.991	0.56	23	98	0.10	0.2	0.5
51	27/10/2002	01:23:48.86	3.0	37.759	15.001	-1.54	13	75	0.17	0.6	1.6
52	27/10/2002	01:26:24.86	3.0	37.750	15.018	3.58	22	69	0.13	0.5	0.8
53	27/10/2002	01:28:17.59	3.5	37.810	15.047	-1.57	18	92	0.19	0.3	1.0
54	27/10/2002	01:58:11.42	4.0	37.742	14.953	-1.58	22	134	0.19	0.2	0.5
55	27/10/2002	02:18:30.31	3.2	37.762	15.009	2.11	22	66	0.11	0.2	0.2
56	27/10/2002	02:29:29.16	3.5	37.765	15.014	1.74	23	112	0.11	0.3	0.4
57	27/10/2002	02:39:10.59	3.3	37.762	15.010	1.79	25	66	0.15	0.3	0.4
58	27/10/2002	02:42:11.90	3.4	37.821	15.093	-1.13	21	159	0.17	0.3	0.5
59	27/10/2002	02:50:25.56	4.2	37.768	15.028	3.06	23	115	0.23	0.3	0.5
60	27/10/2002	05:31:11.68	3.3	37.779	15.035	0.78	25	131	0.15	0.3	0.2
61	27/10/2002	05:46:46.15	3.4	37.783	15.020	1.09	21	134	0.15	0.2	0.4
62	27/10/2002	06:06:55.62	3.4	37.782	15.023	0.72	27	79	0.17	0.2	0.2
63	27/10/2002	07:32:06.63	3.2	37.788	15.023	1.30	25	71	0.14	0.2	0.2
64	27/10/2002	15:51:08.09	3.0	37.823	15.067	-0.33	25	88	0.19	0.3	0.4
65	27/10/2002	16:48:11.94	3.0	37.809	15.060	-0.15	17	76	0.19	0.5	1.6
66	28/10/2002	03:01:40.47	3.2	37.822	15.040	0.35	28	78	0.18	0.3	0.5
67	28/10/2002	09:12:38.21	3.2	37.823	15.053	1.49	10	83	0.08	0.6	0.6

Tabella 12 – Parametri ipocentrali dei 464 eventi selezionati.

N°	Data	Tempo orig.	M _d	Lat. N°	Long. E°	Prof.	N° lett.	Gap	rms	Erh	Erz
68	28/10/2002	11:40:11.03	3.1	37.680	15.106	-1.58	16	128	0.12	0.2	1.1
69	28/10/2002	16:27:04.82	3.0	37.770	15.009	2.03	23	43	0.15	0.2	0.3
70	29/10/2002	10:02:09.63	3.0	37.749	15.103	6.03	22	101	0.16	0.4	0.4
71	29/10/2002	10:02:20.49	4.4	37.685	15.114	-1.55	15	134	0.15	0.4	0.9
72	29/10/2002	10:04:41.58	3.1	37.673	15.115	0.22	26	141	0.14	0.2	0.3
73	29/10/2002	10:56:09.50	3.6	37.825	15.071	1.09	22	90	0.14	0.3	0.3
74	29/10/2002	11:02:35.59	4.0	37.807	15.082	0.35	24	79	0.18	0.3	0.3
75	29/10/2002	15:49:50.67	3.8	37.805	15.044	-1.56	25	68	0.15	0.2	0.5
76	29/10/2002	16:39:47.21	4.0	37.658	15.131	1.53	28	120	0.20	0.2	0.2
77	29/10/2002	17:14:51.23	4.1	37.713	15.099	0.05	33	60	0.21	0.2	0.2
78	30/10/2002	00:00:13.67	3.1	37.769	15.010	1.94	25	43	0.18	0.3	0.4
79	30/10/2002	15:25:43.81	3.2	37.812	15.118	1.25	18	69	0.14	0.3	0.2
80	31/10/2002	10:41:04.13	3.2	37.734	15.152	5.02	26	173	0.12	0.6	0.6
81	01/11/2002	08:53:14.23	3.0	37.816	15.131	1.05	9	133	0.06	0.7	0.5
82	01/11/2002	09:21:19.30	3.0	37.671	15.093	0.55	22	107	0.18	0.2	0.3
83	01/11/2002	15:32:03.38	3.1	37.772	15.010	1.92	24	44	0.18	0.2	0.3
84	01/11/2002	18:01:42.49	3.4	37.812	15.059	3.11	22	61	0.16	0.3	0.5
85	02/11/2002	09:01:49.25	3.0	37.808	15.092	-1.14	16	93	0.13	0.3	0.9
86	03/11/2002	10:21:59.42	3.5	37.829	15.079	1.77	21	94	0.12	0.3	0.3
87	04/11/2002	10:52:35.88	3.0	37.752	15.066	1.63	29	82	0.16	0.2	0.2
88	04/11/2002	10:54:20.92	3.1	37.753	15.063	1.25	37	70	0.17	0.2	0.2
89	06/11/2002	16:40:54.45	3.2	37.805	15.103	-1.59	18	98	0.15	0.3	0.8
90	17/11/2002	04:56:04.69	2.0	37.023	14.703	16.48	9	228	0.10	0.7	1.1
91	19/11/2002	06:43:28.39	3.0	37.805	15.103	-1.26	12	98	0.13	0.4	1.6
92	20/11/2002	02:31:24.13	3.5	38.229	14.873	16.45	22	180	0.16	0.4	0.6
93	24/11/2002	06:59:59.38	3.7	37.693	15.090	3.09	36	52	0.19	0.2	0.2
94	24/11/2002	11:03:36.89	3.0	37.693	15.084	3.23	29	66	0.13	0.2	0.2
95	27/11/2002	04:40:44.86	3.0	37.694	15.163	-1.44	17	190	0.20	0.4	0.4
96	28/11/2002	00:00:28.72	3.4	37.196	15.550	22.17	20	268	0.18	0.6	1.0
97	02/12/2002	12:28:14.08	3.6	37.707	15.142	-1.41	23	175	0.13	0.3	0.3
98	03/12/2002	13:50:25.47	3.0	37.805	15.074	1.30	16	105	0.22	0.6	0.6
99	03/12/2002	20:18:26.99	2.5	38.443	15.053	10.94	9	201	0.10	1.2	1.7
100	17/12/2002	23:13:43.40	2.5	38.134	15.114	14.21	22	102	0.16	0.3	0.4
101	24/12/2002	01:12:58.00	3.7	37.810	15.061	-1.05	26	94	0.15	0.2	0.4
102	27/12/2002	10:37:14.58	3.2	37.814	15.120	-0.05	11	116	0.11	0.6	0.4
103	12/02/2003	08:57:18.16	3.0	37.867	15.361	9.32	31	126	0.15	0.4	0.4
104	13/02/2003	05:32:41.96	3.8	37.806	15.080	1.55	15	169	0.13	1.6	0.6
105	25/02/2003	07:22:19.53	2.9	38.558	14.650	9.54	9	160	0.08	1.3	1.6
106	26/02/2003	08:09:37.24	2.2	37.200	14.572	22.89	9	273	0.08	0.9	1.2
107	09/03/2003	07:56:00.15	3.0	37.685	15.110	3.40	41	71	0.16	0.2	0.2
108	12/03/2003	00:10:13.84	2.8	38.039	15.968	9.10	12	261	0.19	0.9	1.2
109	12/03/2003	05:49:22.56	2.6	38.028	15.989	8.65	10	299	0.09	1.1	1.1
110	01/04/2003	13:26:45.99	3.1	37.801	15.044	2.08	24	66	0.14	0.2	0.3
111	11/04/2003	04:59:32.80	2.6	37.267	15.575	25.94	24	274	0.12	0.5	0.3
112	21/04/2003	15:45:06.33	2.6	38.111	15.207	9.81	20	110	0.16	0.3	0.4
113	21/04/2003	17:47:09.55	2.7	38.110	15.198	12.27	22	89	0.17	0.3	0.4
114	09/06/2003	06:32:12.15	2.6	38.451	14.663	17.37	11	159	0.07	0.9	1.3
115	11/06/2003	07:15:25.88	2.7	38.104	15.205	10.43	17	101	0.12	0.3	0.5
116	11/06/2003	08:32:59.19	2.8	38.108	15.202	13.34	18	117	0.15	0.3	0.5
117	13/06/2003	23:19:27.86	3.2	38.178	15.103	7.10	38	123	0.15	0.3	0.4
118	01/07/2003	23:49:37.13	3.1	38.120	15.231	8.12	38	96	0.18	0.2	0.4
119	17/07/2003	12:41:02.93	3.4	37.808	15.109	0.68	29	75	0.18	0.2	0.3
120	18/07/2003	21:26:41.35	2.6	37.201	15.384	28.39	15	249	0.12	1.4	0.7
121	23/07/2003	16:00:44.80	3.0	38.502	14.822	9.74	14	127	0.14	0.5	0.6
122	19/08/2003	14:23:53.04	3.3	37.858	15.371	10.01	37	128	0.16	0.3	0.3
123	22/08/2003	11:17:39.62	2.5	38.512	14.525	13.63	9	168	0.09	1.7	1.6
124	29/08/2003	15:47:06.22	3.1	37.843	14.835	28.04	37	142	0.18	0.5	0.5
125	24/09/2003	11:05:57.33	3.5	38.634	14.185	26.61	12	332	0.12	2.3	0.8
126	01/11/2003	06:31:43.17	2.8	38.530	14.616	9.86	13	115	0.13	0.8	0.8
127	02/11/2003	05:40:01.73	2.2	37.200	15.417	9.18	9	254	0.17	1.0	1.2
128	11/01/2004	03:42:02.68	2.8	38.445	15.091	8.09	9	184	0.13	1.1	1.8
129	27/01/2004	08:16:30.89	3.0	38.601	14.579	3.84	10	180	0.11	1.3	1.6
130	10/02/2004	19:38:20.49	3.1	37.808	15.099	0.41	21	100	0.20	0.3	0.4
131	21/02/2004	07:38:42.95	3.2	38.434	15.546	66.64	19	197	0.19	1.3	2.0
132	23/03/2004	02:55:36.83	3.1	37.766	14.772	24.38	38	164	0.15	0.5	0.3
133	25/03/2004	17:13:58.12	2.1	37.020	14.867	8.47	10	292	0.10	1.3	1.0
134	27/03/2004	03:04:02.04	3.1	38.515	14.825	7.36	18	134	0.12	0.5	0.5

Tabella 12 – Parametri ipocentrali dei 464 eventi selezionati.

N°	Data	Tempo orig.	M _d	Lat. N°	Long. E°	Prof.	N° lett.	Gap	rms	Erh	Erz
135	27/03/2004	03:54:47.94	3.0	38.515	14.832	12.07	19	133	0.20	0.4	0.4
136	24/04/2004	14:49:24.87	2.5	38.503	14.821	12.68	15	138	0.22	0.5	0.9
137	08/05/2004	14:21:16.45	3.4	38.333	15.007	13.38	30	114	0.19	0.4	0.4
138	16/05/2004	09:06:48.59	3.1	37.776	15.168	7.70	45	160	0.18	0.3	0.3
139	16/05/2004	20:44:28.54	2.8	38.509	14.825	13.01	15	121	0.13	0.5	0.6
140	16/05/2004	20:49:21.17	2.6	38.500	14.823	12.07	9	153	0.19	0.6	0.1
141	19/05/2004	20:52:12.41	3.2	38.391	14.361	26.20	15	296	0.15	1.6	0.9
142	29/05/2004	12:36:01.30	3.5	38.530	14.631	12.51	36	116	0.19	0.3	0.4
143	29/05/2004	12:57:45.48	2.9	38.543	14.635	10.89	14	129	0.09	1.1	0.6
144	29/05/2004	13:01:55.04	3.1	38.578	14.640	15.13	26	209	0.19	0.8	1.0
145	29/05/2004	14:29:52.31	2.7	38.608	14.663	14.77	11	224	0.10	1.9	0.1
146	01/06/2004	10:14:10.31	3.0	37.808	15.045	-0.31	26	77	0.15	0.2	0.3
147	01/06/2004	10:32:28.81	3.5	37.804	15.042	-0.03	30	70	0.18	0.2	0.2
148	01/06/2004	11:18:31.64	3.4	37.796	15.054	1.24	26	68	0.17	0.2	0.2
149	06/06/2004	10:28:21.58	2.6	37.872	15.677	32.22	16	226	0.13	0.9	0.6
150	14/06/2004	17:10:30.11	3.0	37.740	15.125	7.98	38	83	0.20	0.2	0.2
151	15/06/2004	16:27:26.54	2.6	38.415	15.497	68.09	11	224	0.14	2.2	3.3
152	01/07/2004	16:46:07.39	2.6	38.141	14.977	7.65	13	246	0.15	0.8	0.8
153	21/07/2004	04:27:28.26	2.5	38.446	15.110	10.32	14	121	0.16	0.6	0.1
154	22/07/2004	02:08:52.63	3.3	37.706	15.080	5.18	40	48	0.17	0.2	0.3
155	22/07/2004	02:11:27.42	3.4	37.708	15.085	3.25	44	51	0.20	0.1	0.2
156	22/07/2004	02:12:31.17	3.1	37.705	15.081	3.66	35	52	0.17	0.2	0.2
157	22/07/2004	08:47:47.46	2.5	38.113	14.924	29.49	15	131	0.13	0.5	1.2
158	25/07/2004	20:59:58.04	2.5	36.821	14.347	7.28	21	300	0.14	1.9	0.9
159	08/08/2004	08:09:15.68	2.5	38.224	15.078	15.16	20	113	0.20	0.4	1.4
160	25/08/2004	13:36:33.41	2.8	37.798	15.456	10.05	31	190	0.19	0.4	0.5
161	29/08/2004	09:24:59.74	4.0	38.679	15.409	163.41	27	246	0.15	1.4	2.9
162	12/09/2004	13:28:46.23	3.1	37.842	14.667	18.67	23	186	0.21	0.6	0.7
163	22/09/2004	04:32:55.70	2.9	38.062	15.544	54.54	16	176	0.14	0.8	1.1
164	03/10/2004	21:05:23.15	3.4	38.354	14.823	14.31	17	156	0.17	0.7	0.6
165	05/10/2004	03:45:42.46	2.1	37.292	15.665	28.37	7	248	0.05	1.3	2.5
166	07/10/2004	04:41:47.54	3.5	38.528	14.569	9.37	18	110	0.15	1.0	0.8
167	07/10/2004	05:28:28.75	2.7	38.622	14.590	12.28	11	232	0.07	2.1	1.0
168	07/10/2004	08:55:32.21	3.0	38.520	14.568	8.95	16	100	0.14	0.5	0.7
169	11/10/2004	07:31:41.49	3.3	37.906	15.447	8.16	48	130	0.20	0.2	0.4
170	11/10/2004	07:32:45.49	2.5	37.904	15.421	11.25	11	201	0.12	1.0	1.0
171	22/10/2004	21:10:13.89	3.5	38.073	15.313	12.69	30	118	0.19	0.2	0.4
172	24/10/2004	16:18:53.00	2.7	38.523	14.641	10.00	16	110	0.17	0.6	1.0
173	04/11/2004	20:37:42.44	2.0	37.227	15.038	15.13	11	190	0.09	0.6	0.4
174	21/11/2004	19:13:15.47	2.0	36.861	14.975	27.57	9	276	0.16	1.0	0.5
175	03/12/2004	03:30:26.83	2.6	38.132	15.297	9.96	15	115	0.18	0.3	0.4
176	03/12/2004	08:54:37.10	3.1	38.139	15.303	8.20	27	109	0.21	0.2	0.3
177	05/12/2004	15:36:30.10	2.0	37.118	15.173	22.14	14	156	0.19	0.6	0.6
178	30/12/2004	04:04:49.94	3.9	36.898	14.663	14.52	31	302	0.19	0.5	0.4
179	01/01/2005	02:14:48.69	2.3	37.065	15.151	21.21	6	263	0.03	2.1	0.8
180	03/01/2005	20:09:41.43	2.7	38.150	15.164	8.14	19	127	0.15	0.4	0.9
181	09/01/2005	01:57:43.60	2.3	37.371	15.607	27.44	11	233	0.19	1.1	0.5
182	20/01/2005	04:13:35.76	2.8	38.568	14.368	12.80	13	274	0.13	0.9	0.4
183	21/01/2005	13:43:00.19	3.0	37.718	15.137	-1.58	21	115	0.17	0.2	0.4
184	07/03/2005	15:19:01.36	2.5	37.836	15.425	7.81	33	160	0.17	0.3	0.5
185	08/03/2005	21:08:14.15	2.5	37.204	15.618	24.01	18	243	0.15	0.9	0.1
186	09/03/2005	04:01:32.19	3.0	37.791	14.505	27.15	25	202	0.19	0.9	0.5
187	17/03/2005	18:57:15.87	3.2	37.365	15.989	24.18	28	250	0.22	1.2	1.1
188	17/03/2005	19:02:59.25	2.1	37.383	15.928	26.78	13	258	0.17	1.5	1.4
189	17/03/2005	19:07:42.29	2.3	37.397	15.884	22.67	18	253	0.20	0.8	0.6
190	17/03/2005	20:25:47.40	2.7	37.390	15.912	19.49	21	256	0.17	0.7	0.9
191	17/03/2005	22:00:07.68	2.3	37.381	15.918	24.30	16	257	0.17	1.8	0.6
192	20/03/2005	02:18:17.12	2.6	36.763	14.310	3.07	21	313	0.11	2.1	1.1
193	20/03/2005	20:28:09.99	2.7	38.451	15.623	125.74	13	245	0.12	1.8	1.2
194	22/03/2005	18:44:32.03	2.6	38.129	15.147	9.76	21	125	0.18	0.3	0.5
195	19/04/2005	22:36:23.91	3.3	38.162	15.621	10.08	26	109	0.20	0.3	0.4
196	20/04/2005	01:18:29.97	2.5	38.143	15.622	8.51	11	179	0.17	0.6	1.7
197	21/04/2005	12:53:39.95	3.0	37.888	14.934	25.42	33	139	0.15	0.5	0.3
198	23/04/2005	08:03:12.36	3.0	37.786	15.124	-1.58	18	130	0.18	0.3	0.7
199	22/05/2005	20:20:32.10	3.2	37.782	14.646	20.47	34	171	0.18	0.5	0.4
200	05/06/2005	07:13:14.79	2.3	37.143	14.717	19.86	11	216	0.17	1.1	2.3
201	09/06/2005	05:36:23.27	2.5	38.468	15.597	64.79	14	239	0.17	1.8	2.2

Tabella 12 – Parametri ipocentrali dei 464 eventi selezionati.

N°	Data	Tempo orig.	M _d	Lat. N°	Long. E°	Prof.	N° lett.	Gap	rms	Erh	Erz
202	25/06/2005	21:47:27.81	2.1	37.144	15.210	22.36	21	167	0.18	0.5	0.5
203	26/06/2005	12:55:21.07	2.1	37.496	14.365	28.19	11	281	0.06	1.1	2.7
204	10/07/2005	13:38:51.90	3.0	37.856	14.981	23.70	44	60	0.19	0.3	0.2
205	27/07/2005	02:58:33.76	2.5	37.859	15.958	60.09	16	236	0.19	1.2	1.5
206	29/07/2005	02:44:55.24	2.0	37.108	14.739	18.60	13	179	0.10	0.6	0.7
207	12/08/2005	19:39:30.70	2.6	38.325	14.965	128.24	19	118	0.14	1.2	1.4
208	14/08/2005	21:45:04.51	3.0	37.810	15.114	1.22	24	136	0.18	0.3	0.2
209	14/08/2005	21:56:49.02	3.0	37.813	15.108	0.72	28	117	0.20	0.2	0.2
210	14/08/2005	22:02:25.94	3.0	37.815	15.090	0.86	20	90	0.15	0.2	0.3
211	29/08/2005	18:16:53.11	2.1	37.151	15.348	14.50	26	217	0.17	0.5	0.7
212	03/09/2005	02:52:10.64	2.6	38.535	14.311	12.21	12	273	0.14	1.8	0.7
213	25/09/2005	20:02:06.13	2.5	38.605	15.636	126.70	11	254	0.16	1.8	1.8
214	01/10/2005	08:35:20.72	3.4	36.691	14.333	6.02	16	300	0.16	1.7	0.8
215	01/10/2005	08:41:43.03	3.5	36.696	14.322	5.67	16	323	0.17	1.6	0.8
216	02/10/2005	13:46:48.96	2.6	37.858	15.834	55.85	13	226	0.13	1.1	1.8
217	10/10/2005	23:17:11.58	2.5	38.561	14.577	7.30	13	99	0.13	0.9	0.6
218	12/10/2005	19:55:55.43	2.2	36.912	14.850	21.61	17	234	0.17	0.7	0.6
219	15/10/2005	01:30:34.35	2.3	36.791	14.381	4.95	9	314	0.14	2.1	1.2
220	18/10/2005	18:21:03.69	3.1	38.546	14.848	14.67	16	136	0.15	0.5	0.4
221	18/10/2005	18:31:45.45	2.5	38.538	14.846	9.99	13	143	0.17	0.6	0.5
222	21/10/2005	06:46:00.22	2.7	38.557	14.840	13.76	11	153	0.09	0.8	1.3
223	21/10/2005	07:37:02.76	3.0	38.547	14.842	10.19	12	148	0.17	0.6	0.6
224	21/10/2005	22:13:00.32	3.1	37.702	15.071	3.93	43	65	0.19	0.1	0.1
225	30/10/2005	05:42:12.03	3.2	37.652	15.050	7.40	38	105	0.17	0.3	0.3
226	30/10/2005	06:06:50.05	3.5	37.645	15.062	4.35	48	134	0.17	0.2	0.2
227	31/10/2005	00:02:41.34	3.6	37.651	15.060	4.48	43	110	0.17	0.2	0.4
228	04/11/2005	09:27:31.69	2.7	38.399	15.101	8.68	13	113	0.15	0.7	1.2
229	04/11/2005	14:45:36.49	3.2	37.611	14.870	3.92	35	146	0.14	0.4	0.3
230	21/11/2005	10:57:40.58	4.7	37.534	14.137	70.30	37	278	0.19	1.0	1.4
231	17/12/2005	06:19:01.96	2.0	37.219	15.139	15.84	7	172	0.03	0.8	1.2
232	27/12/2005	00:37:36.33	2.0	37.075	15.524	24.45	12	305	0.12	1.1	0.6
233	08/01/2006	16:09:24.09	3.2	37.677	14.971	11.00	48	66	0.17	0.2	0.2
234	09/01/2006	21:13:15.61	2.2	36.895	14.993	17.46	10	233	0.09	0.8	0.9
235	29/01/2006	12:18:58.08	2.8	37.998	14.890	38.42	13	274	0.12	1.5	1.8
236	27/02/2006	04:34:01.75	4.2	38.139	15.212	16.01	43	93	0.17	0.2	0.4
237	27/02/2006	09:11:59.22	3.1	38.143	15.191	14.17	19	110	0.18	0.3	0.5
238	27/02/2006	14:16:05.57	3.0	38.137	15.235	2.31	26	116	0.16	0.5	0.2
239	02/03/2006	20:35:37.72	3.4	37.811	14.930	24.03	40	64	0.19	0.4	0.2
240	09/03/2006	02:16:41.14	2.1	37.483	15.326	20.66	11	204	0.14	0.9	0.8
241	18/03/2006	14:38:20.67	2.4	37.174	15.084	15.63	17	99	0.15	0.4	0.4
242	31/03/2006	04:50:15.05	2.8	37.962	15.525	9.95	23	164	0.17	0.4	0.8
243	17/04/2006	20:16:27.96	3.2	38.375	14.918	14.16	15	189	0.14	1.0	0.5
244	18/04/2006	19:31:41.65	3.0	38.806	15.263	7.02	16	223	0.18	1.2	0.9
245	23/04/2006	14:42:38.29	4.0	37.064	14.987	16.50	30	103	0.19	0.3	0.4
246	01/05/2006	19:09:58.29	2.3	36.509	15.888	19.95	17	283	0.17	1.6	0.7
247	02/05/2006	07:30:52.75	2.8	38.518	14.651	22.91	16	156	0.13	1.5	1.3
248	03/05/2006	21:37:50.87	2.4	37.041	16.100	24.04	16	251	0.09	1.8	1.9
249	05/05/2006	20:49:24.10	3.6	38.810	15.217	8.08	33	194	0.16	0.7	0.2
250	09/05/2006	01:05:11.16	2.8	38.306	15.250	105.12	14	109	0.16	1.5	2.4
251	09/05/2006	07:31:10.85	3.4	38.543	14.643	11.82	25	129	0.13	0.3	0.2
252	20/05/2006	06:05:46.60	3.1	37.658	15.013	15.19	12	264	0.16	1.3	0.7
253	20/05/2006	07:05:56.21	3.4	37.672	14.946	10.05	54	79	0.20	0.2	0.2
254	22/05/2006	19:20:59.69	2.5	38.795	15.242	6.99	16	257	0.12	1.3	0.7
255	09/06/2006	00:34:10.10	2.6	38.397	14.903	13.25	10	194	0.10	1.2	0.7
256	19/06/2006	20:55:34.59	3.5	37.843	14.876	26.87	48	112	0.17	0.4	0.3
257	19/06/2006	21:20:13.02	3.0	37.847	14.884	25.80	46	143	0.18	0.4	0.2
258	20/06/2006	13:16:35.41	3.0	37.836	14.882	26.12	44	64	0.16	0.4	0.2
259	21/06/2006	02:00:26.34	2.9	38.504	14.746	17.90	15	150	0.15	0.6	0.5
260	21/06/2006	07:17:49.90	3.1	37.827	14.872	25.39	44	87	0.16	0.4	0.2
261	27/06/2006	14:00:49.06	2.5	38.525	14.633	13.30	16	132	0.17	0.7	0.7
262	06/07/2006	23:05:26.35	3.0	37.199	14.406	23.22	26	176	0.16	0.5	0.4
263	18/07/2006	07:42:40.31	3.0	38.129	15.196	12.84	28	90	0.19	0.2	0.4
264	20/07/2006	09:06:06.41	2.9	37.792	15.865	27.64	10	211	0.18	1.2	1.2
265	02/08/2006	20:34:57.75	2.8	38.167	14.952	125.72	14	117	0.17	1.1	1.2
266	05/08/2006	20:47:19.70	3.2	38.550	14.779	18.49	31	179	0.19	0.5	0.4
267	11/08/2006	10:39:44.50	2.1	37.052	15.122	21.50	13	116	0.16	0.5	0.6
268	19/08/2006	16:29:08.88	2.9	38.651	14.356	29.67	15	288	0.16	1.6	0.4

Tabella 12 – Parametri ipocentrali dei 464 eventi selezionati.

N°	Data	Tempo orig.	M _d	Lat. N°	Long. E°	Prof.	N° lett.	Gap	rms	Erh	Erz
269	29/08/2006	07:01:13.29	3.2	37.828	15.138	-1.55	21	140	0.20	0.3	0.6
270	30/08/2006	22:45:03.31	2.8	37.311	15.651	25.47	23	202	0.21	0.7	0.4
271	06/09/2006	22:05:09.55	2.7	38.422	14.660	14.14	12	169	0.15	0.9	0.5
272	09/09/2006	15:45:23.27	3.1	38.656	14.190	12.34	18	177	0.19	0.7	0.4
273	20/09/2006	16:16:59.35	2.5	38.108	15.151	14.04	19	108	0.19	0.3	0.5
274	22/09/2006	10:10:41.17	2.3	36.689	14.648	21.54	10	312	0.10	1.1	0.8
275	06/10/2006	21:16:23.95	3.2	38.112	15.566	8.43	22	132	0.19	0.3	0.5
276	07/10/2006	09:53:35.69	2.7	38.080	15.570	10.10	17	130	0.16	0.4	0.8
277	10/10/2006	01:02:06.82	2.0	37.474	14.478	27.42	10	269	0.15	1.5	0.7
278	14/10/2006	13:58:27.46	2.5	38.325	15.050	7.48	23	105	0.16	0.6	0.9
279	14/10/2006	23:55:30.38	2.8	37.261	14.791	18.04	28	104	0.14	0.3	0.7
280	18/10/2006	05:35:51.15	2.5	38.299	15.218	111.81	11	119	0.13	1.5	1.3
281	21/10/2006	06:33:11.50	2.6	38.568	14.548	22.80	11	183	0.13	0.9	0.8
282	26/10/2006	14:28:46.09	5.7	38.534	15.516	138.92	46	136	0.18	0.7	2.4
283	04/11/2006	05:59:22.00	3.1	38.038	15.041	13.78	29	111	0.17	0.3	0.4
284	24/11/2006	18:24:50.78	3.5	38.736	14.021	30.27	14	173	0.17	1.5	0.7
285	05/12/2006	05:01:18.69	2.5	37.066	15.627	24.10	19	237	0.20	0.6	0.4
286	06/12/2006	21:21:44.94	2.6	38.419	15.483	116.15	20	143	0.13	1.0	1.3
287	08/12/2006	22:03:38.30	2.6	38.210	14.829	123.40	14	130	0.15	0.9	1.0
288	11/12/2006	22:01:01.46	2.5	38.797	15.206	4.66	13	198	0.09	1.3	0.6
289	16/12/2006	19:42:34.13	2.6	38.772	15.831	95.37	15	170	0.13	0.9	1.2
290	17/12/2006	16:38:59.26	2.8	38.618	15.686	94.73	14	175	0.16	1.2	1.1
291	19/12/2006	14:58:06.24	3.6	37.776	14.879	22.10	53	95	0.18	0.3	0.2
292	20/12/2006	01:46:23.75	3.0	37.775	14.896	21.74	39	100	0.18	0.4	0.2
293	20/12/2006	11:38:06.86	3.2	38.410	14.187	10.03	16	172	0.17	0.7	0.5
294	20/12/2006	11:45:22.08	3.1	38.419	14.186	10.09	12	171	0.16	1.1	0.8
295	31/12/2006	07:25:16.76	2.6	37.862	15.717	47.59	18	140	0.20	0.5	0.6
296	01/01/2007	07:58:27.71	2.7	38.168	14.886	29.55	20	133	0.19	0.5	0.8
297	02/01/2007	13:30:10.67	2.7	38.144	14.969	17.20	23	148	0.15	0.3	0.7
298	09/01/2007	09:57:09.08	2.1	37.047	15.587	14.19	8	312	0.15	1.2	1.7
299	11/02/2007	20:30:59.26	3.2	36.904	14.853	20.90	24	234	0.19	0.6	0.5
300	03/03/2007	14:10:09.37	2.0	36.706	14.785	21.57	12	280	0.14	0.8	1.4
301	04/03/2007	16:52:59.29	2.0	36.849	14.977	18.52	11	259	0.18	0.7	0.1
302	10/03/2007	20:49:59.52	2.1	37.013	14.735	10.82	9	161	0.17	0.7	0.1
303	27/04/2007	23:22:57.40	3.6	38.951	15.847	115.95	33	189	0.19	0.6	0.8
304	29/04/2007	22:04:47.55	2.6	38.365	14.170	9.31	9	189	0.14	1.7	1.6
305	09/05/2007	18:50:11.12	3.0	37.700	14.980	2.57	46	44	0.18	0.1	0.1
306	17/05/2007	05:48:12.96	3.6	38.503	14.648	21.23	21	177	0.18	0.6	0.3
307	17/05/2007	05:50:56.32	2.8	38.496	14.693	14.95	19	137	0.21	0.7	0.4
308	19/05/2007	09:01:12.78	2.6	38.374	14.681	14.12	17	168	0.18	0.8	0.8
309	21/05/2007	21:35:42.56	2.8	37.925	14.886	28.55	27	158	0.15	0.6	0.7
310	04/06/2007	10:48:41.74	2.5	37.287	16.008	18.74	24	260	0.19	0.8	0.7
311	06/06/2007	21:24:28.07	2.7	38.368	15.028	12.95	19	125	0.16	0.5	0.4
312	15/06/2007	22:56:00.96	3.3	36.993	15.260	19.12	44	237	0.21	0.4	0.4
313	16/06/2007	17:31:55.08	2.1	36.996	15.263	19.07	15	269	0.13	0.7	0.6
314	17/06/2007	12:11:58.37	3.0	38.364	15.768	12.00	35	91	0.25	0.3	0.6
315	19/06/2007	14:36:22.72	2.1	37.441	14.576	25.63	10	177	0.16	0.6	0.8
316	01/07/2007	10:29:17.47	2.7	38.748	15.196	11.74	26	103	0.10	0.6	0.4
317	04/07/2007	14:51:46.92	2.2	36.847	14.252	17.50	8	328	0.07	1.8	1.3
318	04/07/2007	23:55:58.20	4.5	38.812	14.839	68.06	17	218	0.16	1.6	3.0
319	05/07/2007	23:43:34.12	2.6	36.878	14.262	8.97	13	290	0.15	1.2	1.1
320	11/07/2007	18:23:51.06	2.5	38.242	14.861	126.76	20	144	0.16	1.6	1.3
321	14/07/2007	05:52:48.58	2.3	36.749	15.861	16.45	10	330	0.06	2.0	0.9
322	14/07/2007	10:35:16.08	3.4	39.093	15.727	163.54	15	234	0.14	2.4	3.3
323	14/07/2007	18:13:03.45	3.3	38.621	14.777	12.63	26	178	0.16	0.5	0.4
324	21/07/2007	08:29:51.73	2.0	37.180	15.653	22.92	9	318	0.05	1.1	1.1
325	29/07/2007	15:22:12.01	2.8	38.658	15.517	155.45	15	189	0.14	2.0	1.1
326	30/07/2007	19:52:00.84	2.5	37.471	14.757	17.95	33	112	0.16	0.3	0.6
327	30/07/2007	19:58:02.07	2.8	37.468	14.759	19.11	39	112	0.16	0.3	0.5
328	30/07/2007	21:52:27.41	2.4	37.464	14.761	18.02	29	111	0.16	0.4	0.6
329	30/07/2007	22:21:48.30	2.6	37.471	14.753	18.38	35	112	0.15	0.3	0.6
330	30/07/2007	22:41:52.76	2.6	37.474	14.754	17.54	32	112	0.19	0.3	0.5
331	30/07/2007	22:51:13.16	2.1	37.465	14.761	17.51	20	162	0.18	0.4	0.1
332	31/07/2007	00:33:48.88	2.0	37.464	14.769	21.18	14	108	0.18	0.8	0.3
333	31/07/2007	06:07:30.53	2.2	37.475	14.759	17.98	25	112	0.19	0.3	0.6
334	31/07/2007	06:53:15.90	2.9	37.476	14.751	16.94	42	113	0.19	0.3	0.4
335	31/07/2007	10:37:54.80	2.3	37.466	14.757	18.73	22	112	0.16	0.3	0.6

Tabella 12 – Parametri ipocentrali dei 464 eventi selezionati.

N°	Data	Tempo orig.	M _d	Lat. N°	Long. E°	Prof.	N° lett.	Gap	rms	Erh	Erz
336	31/07/2007	18:56:19.72	2.0	37.478	14.763	25.16	13	110	0.10	0.9	0.1
337	01/08/2007	04:35:50.36	2.7	38.506	14.906	10.64	19	146	0.11	0.8	0.4
338	01/08/2007	23:38:16.62	3.3	37.676	15.145	0.40	39	81	0.21	0.2	0.2
339	13/08/2007	10:45:57.53	2.7	38.491	14.526	11.97	14	177	0.12	0.6	0.3
340	18/08/2007	14:04:07.74	4.2	38.230	15.193	14.78	34	92	0.17	0.2	0.3
341	18/08/2007	14:10:18.30	3.0	38.202	15.173	13.57	26	110	0.17	0.2	0.4
342	18/08/2007	14:21:11.50	3.2	38.198	15.176	14.24	25	110	0.15	0.3	0.4
343	18/08/2007	14:59:49.13	2.9	38.200	15.188	12.16	21	109	0.19	0.3	0.7
344	18/08/2007	15:00:10.56	2.7	38.194	15.197	10.32	14	126	0.11	0.5	0.9
345	18/08/2007	16:01:46.97	2.5	38.200	15.181	13.10	19	109	0.16	0.4	0.8
346	18/08/2007	16:43:01.31	2.8	37.053	14.431	23.30	15	234	0.17	0.9	0.5
347	18/08/2007	20:29:00.15	2.7	38.193	15.166	14.93	18	133	0.12	0.5	0.3
348	19/08/2007	05:10:30.18	2.5	38.195	15.167	14.43	21	133	0.11	0.4	0.4
349	20/08/2007	21:29:01.82	2.7	38.250	14.660	12.82	24	196	0.21	0.7	1.1
350	28/08/2007	09:21:08.20	2.6	37.189	14.535	22.13	17	145	0.11	0.4	0.9
351	02/09/2007	11:02:40.22	2.2	37.410	14.502	24.47	11	206	0.16	0.7	0.5
352	05/09/2007	21:24:13.71	3.3	38.492	14.845	12.53	22	121	0.20	0.5	0.4
353	08/09/2007	11:15:20.84	3.2	38.592	15.610	93.36	24	173	0.20	0.9	0.8
354	11/09/2007	14:16:02.27	2.5	38.293	14.878	115.97	16	127	0.16	1.0	1.7
355	13/09/2007	15:19:51.23	2.8	38.186	15.157	13.58	24	136	0.13	0.4	0.4
356	14/09/2007	01:06:21.67	3.2	38.248	15.079	12.42	36	94	0.21	0.2	0.4
357	15/09/2007	10:12:19.02	2.4	37.121	15.615	18.07	9	319	0.17	0.9	1.1
358	22/09/2007	16:25:02.09	2.8	37.311	15.799	22.80	28	223	0.17	0.6	0.5
359	22/09/2007	22:19:33.42	2.0	37.452	14.791	20.81	13	231	0.21	0.9	1.1
360	23/09/2007	07:12:46.59	3.6	38.509	14.814	16.24	27	130	0.18	0.4	0.3
361	25/09/2007	19:06:42.75	2.6	38.554	14.618	10.23	13	149	0.17	1.2	0.6
362	30/09/2007	03:20:27.88	2.5	36.937	14.961	20.91	13	199	0.16	0.5	1.1
363	30/09/2007	15:41:20.80	3.0	38.496	14.800	17.04	21	129	0.14	0.5	0.4
364	30/09/2007	21:25:06.34	2.0	37.483	14.496	31.14	13	181	0.17	0.7	1.5
365	01/10/2007	19:32:20.76	2.5	37.117	16.152	14.06	15	278	0.12	1.2	0.7
366	03/10/2007	08:45:37.30	2.7	38.508	14.812	15.54	17	135	0.19	0.5	0.5
367	05/10/2007	20:52:10.73	2.2	37.238	14.591	18.06	12	128	0.07	0.8	1.0
368	13/10/2007	04:46:35.03	3.1	38.717	15.743	69.05	30	144	0.17	0.4	0.9
369	27/10/2007	08:39:45.77	2.9	37.969	15.141	9.68	20	101	0.21	0.4	0.6
370	01/11/2007	00:59:53.05	2.4	37.398	14.719	15.04	17	120	0.13	0.4	1.3
371	07/11/2007	10:32:36.02	2.7	37.466	15.271	19.49	30	173	0.17	0.5	0.7
372	09/11/2007	01:28:42.02	2.8	38.671	14.195	9.77	12	179	0.20	1.1	0.7
373	25/11/2007	18:57:24.82	2.5	38.514	14.819	12.12	9	144	0.08	1.6	1.5
374	14/12/2007	21:45:49.35	2.3	37.460	14.302	21.23	16	275	0.25	1.2	0.8
375	16/12/2007	11:39:18.74	2.7	38.378	14.780	17.99	15	203	0.09	1.4	1.1
376	01/01/2008	04:18:10.38	2.5	38.480	15.013	17.09	13	84	0.14	0.8	1.2
377	08/01/2008	14:37:29.65	2.7	38.299	15.192	119.81	15	122	0.18	1.1	1.2
378	12/01/2008	01:51:22.47	3.2	37.730	14.905	20.58	47	59	0.20	0.3	0.2
379	13/01/2008	14:26:41.66	2.4	37.192	15.712	23.07	9	270	0.10	1.1	1.0
380	16/01/2008	19:43:47.01	2.6	37.761	16.220	33.55	16	214	0.18	0.7	1.2
381	28/01/2008	18:40:36.57	2.2	37.172	14.541	23.70	16	152	0.13	0.5	0.7
382	09/02/2008	07:46:35.51	3.0	37.878	15.540	7.43	29	159	0.20	0.4	0.5
383	09/02/2008	10:16:58.89	2.2	36.703	15.205	26.45	8	311	0.03	1.4	0.5
384	15/02/2008	09:34:35.65	3.2	37.813	15.107	1.15	28	96	0.17	0.2	0.2
385	20/02/2008	21:14:23.39	3.4	37.674	14.049	27.11	34	235	0.18	0.7	0.5
386	28/02/2008	11:50:35.36	2.8	38.445	14.468	12.67	9	186	0.20	0.8	0.8
387	28/02/2008	12:06:55.01	3.0	38.469	14.470	13.75	14	146	0.19	0.6	0.4
388	28/02/2008	23:57:57.46	2.6	37.993	15.101	9.30	31	102	0.20	0.2	0.4
389	02/03/2008	21:57:19.61	2.6	38.253	15.673	12.69	26	76	0.22	0.3	0.3
390	09/03/2008	18:00:09.14	2.6	38.413	15.171	150.10	13	157	0.22	1.7	1.7
391	10/03/2008	11:23:22.08	3.0	37.987	15.129	5.55	44	117	0.19	0.3	0.3
392	12/03/2008	18:48:30.85	2.0	36.903	14.984	15.44	10	226	0.05	0.8	1.6
393	15/03/2008	20:37:32.23	2.0	37.455	14.512	41.39	8	163	0.19	0.9	2.3
394	23/03/2008	02:06:54.61	2.1	36.748	15.365	23.80	11	312	0.18	1.5	1.0
395	05/04/2008	19:10:35.46	3.0	38.678	15.624	86.05	33	161	0.20	0.6	1.1
396	09/04/2008	04:14:36.03	3.0	37.733	15.121	7.93	54	65	0.21	0.2	0.2
397	13/04/2008	13:06:57.36	3.2	38.253	15.670	12.74	27	76	0.21	0.2	0.3
398	20/04/2008	07:47:25.47	3.2	37.636	15.026	0.63	38	84	0.19	0.2	0.1
399	28/04/2008	17:27:33.19	2.5	38.146	15.145	14.19	22	118	0.16	0.3	0.5
400	30/04/2008	20:06:20.09	2.5	38.521	14.688	14.26	11	151	0.14	1.0	0.6
401	01/05/2008	21:05:47.66	3.3	37.806	15.042	1.15	31	81	0.21	0.2	0.2
402	01/05/2008	22:43:49.12	3.2	37.815	15.068	-0.07	34	117	0.18	0.2	0.2

Tabella 12 – Parametri ipocentrali dei 464 eventi selezionati.

N°	Data	Tempo orig.	M _d	Lat. N°	Long. E°	Prof.	N° lett.	Gap	rms	Erh	Erz
403	02/05/2008	01:26:05.01	2.9	38.426	14.945	9.87	19	109	0.18	0.4	0.3
404	02/05/2008	12:04:56.24	3.0	37.820	15.081	-0.89	19	122	0.22	0.3	0.4
405	08/05/2008	15:02:42.21	2.6	38.360	14.270	11.33	9	263	0.09	1.8	1.6
406	09/05/2008	04:15:25.93	2.4	37.071	15.631	23.49	10	236	0.07	1.2	1.1
407	11/05/2008	22:05:07.53	2.1	37.157	14.712	6.29	10	205	0.10	0.9	0.9
408	13/05/2008	09:28:05.27	3.0	37.766	15.004	0.36	28	99	0.09	0.2	0.2
409	13/05/2008	10:07:47.76	3.2	37.772	15.007	0.06	28	106	0.12	0.2	0.2
410	13/05/2008	12:07:57.62	2.5	37.083	15.841	22.40	11	328	0.12	1.1	0.5
411	13/05/2008	12:13:41.95	3.3	37.769	15.007	0.43	30	102	0.18	0.2	0.2
412	16/05/2008	11:18:26.42	2.8	37.130	16.124	30.44	19	272	0.22	1.4	1.6
413	31/05/2008	21:33:49.16	2.6	38.429	15.304	123.93	13	137	0.15	1.2	1.0
414	05/06/2008	17:21:38.56	2.5	38.320	15.242	106.51	17	126	0.14	1.2	1.1
415	11/06/2008	23:33:37.74	2.0	37.461	14.391	25.12	8	230	0.12	1.6	1.2
416	13/06/2008	00:31:14.07	3.1	38.476	14.750	18.58	19	159	0.11	0.7	0.5
417	28/06/2008	05:11:05.00	2.6	36.957	14.729	12.04	12	268	0.15	0.6	0.5
418	29/06/2008	07:16:31.23	2.3	36.727	14.857	7.77	10	279	0.18	1.4	1.7
419	29/06/2008	12:29:08.85	2.7	36.890	15.206	28.06	13	251	0.09	1.0	0.6
420	01/07/2008	09:44:39.03	2.2	37.025	15.319	22.97	16	241	0.13	0.7	0.5
421	02/07/2008	14:52:57.48	2.3	37.232	15.600	25.96	8	220	0.11	1.6	0.9
422	02/07/2008	14:54:44.00	2.8	37.931	15.810	61.05	19	135	0.20	0.6	0.9
423	05/07/2008	18:48:16.50	2.5	36.491	15.233	11.73	10	318	0.13	1.3	1.8
424	16/07/2008	07:44:18.75	2.6	38.095	15.090	9.48	26	140	0.14	0.4	0.6
425	23/07/2008	04:07:13.84	3.3	36.592	15.126	3.01	12	314	0.21	1.4	1.0
426	24/07/2008	00:56:24.46	3.0	36.075	15.222	5.59	18	311	0.21	1.8	1.0
427	27/07/2008	11:59:57.71	2.7	38.383	15.121	6.78	17	120	0.17	0.8	1.3
428	29/07/2008	09:12:20.05	2.7	37.848	14.313	11.58	17	187	0.08	0.9	1.3
429	29/07/2008	21:26:44.90	3.4	38.196	16.421	64.52	34	220	0.15	0.7	0.6
430	01/08/2008	22:38:10.59	2.7	38.394	15.104	10.36	18	94	0.14	0.7	1.1
431	06/08/2008	15:20:08.15	2.6	38.389	15.088	10.27	21	98	0.10	0.7	0.9
432	06/08/2008	17:18:55.73	2.5	37.087	15.608	22.31	8	313	0.09	1.3	1.2
433	13/08/2008	00:48:29.25	2.5	38.284	14.899	112.23	25	96	0.15	0.6	1.3
434	15/08/2008	05:11:11.91	2.0	37.263	15.454	21.11	17	235	0.20	0.8	0.8
435	17/08/2008	01:36:56.02	3.5	38.551	14.897	170.00	19	153	0.20	1.0	2.7
436	18/08/2008	19:53:30.49	2.5	38.239	14.807	120.06	13	205	0.18	1.3	1.4
437	22/08/2008	10:53:06.09	2.6	37.402	15.225	18.28	37	159	0.20	0.4	0.5
438	01/09/2008	14:45:41.19	3.3	37.991	15.097	10.35	41	107	0.19	0.2	0.4
439	02/09/2008	09:16:45.22	3.5	37.990	15.097	10.64	45	102	0.16	0.2	0.3
440	15/09/2008	09:03:47.70	2.6	37.464	14.374	27.20	15	234	0.15	0.7	0.4
441	30/09/2008	05:56:23.86	2.2	36.807	14.775	21.64	13	260	0.15	0.7	0.8
442	03/10/2008	16:33:38.49	2.2	37.049	15.582	12.46	11	312	0.10	0.7	0.2
443	04/10/2008	04:00:58.79	2.6	38.477	15.516	126.82	16	149	0.14	1.0	1.5
444	05/10/2008	05:25:51.69	2.0	36.944	14.702	18.30	11	229	0.12	0.7	1.2
445	05/10/2008	05:27:25.42	2.7	36.918	14.698	18.71	25	236	0.12	0.5	0.4
446	07/10/2008	16:22:38.54	2.1	37.146	15.313	15.91	7	262	0.19	2.3	1.7
447	10/10/2008	19:18:28.10	2.4	37.461	14.433	23.17	18	192	0.18	0.6	0.6
448	21/10/2008	00:53:23.77	2.6	38.559	14.726	22.14	16	174	0.17	1.1	0.8
449	24/10/2008	16:55:37.27	2.8	38.634	16.343	31.58	14	124	0.12	0.7	0.5
450	24/10/2008	18:47:54.70	3.3	38.638	16.339	30.40	15	129	0.17	0.7	0.6
451	27/10/2008	10:55:55.33	3.8	38.130	15.197	8.13	32	113	0.18	0.2	0.4
452	16/11/2008	09:19:51.45	2.6	38.516	15.540	137.29	13	157	0.21	1.2	1.1
453	18/11/2008	21:05:43.33	2.8	37.921	14.706	28.00	24	134	0.15	0.7	0.7
454	18/11/2008	21:07:27.06	3.1	37.910	14.697	31.53	44	158	0.18	0.5	0.5
455	18/11/2008	21:18:08.23	2.7	37.893	14.684	34.40	20	160	0.16	0.6	1.3
456	18/11/2008	21:22:24.27	2.7	37.930	14.702	27.39	26	135	0.15	0.4	0.5
457	02/12/2008	19:26:53.54	2.5	37.168	15.631	24.03	11	272	0.12	1.2	0.5
458	16/12/2008	02:30:14.52	3.7	37.664	14.954	11.08	38	72	0.18	0.2	0.3
459	16/12/2008	02:33:28.47	3.2	37.658	14.948	10.80	30	74	0.16	0.3	0.4
460	16/12/2008	05:36:28.75	2.5	37.147	15.562	17.52	13	280	0.18	0.8	0.9
461	18/12/2008	01:10:56.75	2.7	37.736	16.142	58.26	19	209	0.19	0.8	1.5
462	22/12/2008	21:51:15.22	2.6	37.475	14.281	23.90	16	276	0.16	1.3	0.6
463	22/12/2008	21:54:40.54	2.5	37.486	14.276	24.04	14	282	0.19	1.7	0.8
464	24/12/2008	22:20:40.27	2.5	37.062	15.243	26.47	14	223	0.11	0.6	0.5

Tabella 13

N°	Data	Tempo orig.	M _d	Lat. N°	Long. E°	Prof.	Gap	rms	Erh	Erz	N _{pol}	Strike	Dip	Rake	Asse P		Asse T	
															Azimut	Plunge	Azimut	Plunge
1	13/03/2002	22:38:01.26	3.1	38.492	14.777	13.67	131	0.16	0.5	0.4	8	160	30	140	34	23	164	57
2	05/04/2002	04:51:25.55	4.2	38.450	15.099	11.33	156	0.13	0.5	0.4	12	70	40	50	8	11	255	63
3	05/04/2002	04:52:21.47	4.6	38.446	15.107	10.78	158	0.15	0.5	0.5	8	70	75	30	198	9	294	32
4	09/04/2002	20:52:17.58	2.6	38.432	15.065	15.39	93	0.10	0.8	0.8	8	35	45	30	344	14	237	49
5	10/06/2002	19:14:00.23	2.9	38.422	15.078	12.57	96	0.11	0.8	1.2	11	280	75	140	336	15	234	38
6	16/09/2002	18:53:37.78	2.7	38.407	14.657	10.25	163	0.08	0.8	0.6	10	60	80	20	192	7	285	21
7	23/07/2003	16:00:44.80	3.0	38.502	14.822	9.74	127	0.14	0.5	0.6	7	270	75	160	318	3	227	25
8	27/03/2004	03:04:02.04	3.1	38.515	14.825	7.36	134	0.12	0.5	0.5	10	355	80	-10	311	14	221	0
9	27/03/2004	03:54:47.94	3.0	38.515	14.832	12.07	133	0.20	0.4	0.4	15	95	65	-140	315	45	218	6
10	24/04/2004	14:49:24.87	2.5	38.503	14.821	12.68	138	0.22	0.5	0.9	7	75	75	-170	298	17	29	3
11	08/05/2004	14:21:16.45	3.4	38.333	15.007	13.38	114	0.19	0.4	0.4	16	225	90	-60	161	37	288	37
12	16/05/2004	20:44:28.54	2.8	38.509	14.825	13.01	121	0.13	0.5	0.6	9	350	0	-20	9	45	190	44
13	29/05/2004	12:36:01.30	3.5	38.530	14.631	12.51	116	0.19	0.3	0.4	20	45	70	100	127	24	331	64
14	29/05/2004	13:01:55.04	3.1	38.578	14.640	15.13	209	0.19	0.8	1.0	11	160	40	10	122	28	7	38
15	21/07/2004	04:27:28.26	2.5	38.446	15.110	10.32	121	0.16	0.6	0.1	8	40	60	40	163	2	255	48
16	03/10/2004	21:05:23.15	3.4	38.354	14.823	14.31	156	0.17	0.7	0.6	14	60	75	30	188	9	284	32
17	07/10/2004	04:41:47.54	3.5	38.528	14.569	9.37	110	0.15	1.0	0.8	13	50	70	-160	271	28	2	1
18	07/10/2004	08:55:32.21	3.0	38.520	14.568	8.95	100	0.14	0.5	0.7	9	185	45	160	50	19	159	42
19	24/10/2004	16:18:53.00	2.7	38.523	14.641	10.00	110	0.17	0.6	1.0	8	30	35	-80	83	78	293	10
20	20/01/2005	04:13:35.76	2.8	38.568	14.368	12.80	274	0.13	0.9	0.4	9	90	50	20	44	16	300	40
21	18/10/2005	18:21:03.69	3.1	38.546	14.848	14.67	136	0.15	0.5	0.4	9	60	75	30	188	9	284	32
22	18/10/2005	18:31:45.45	2.5	38.538	14.846	9.99	143	0.17	0.6	0.5	7	50	50	-10	16	33	272	21
23	21/10/2005	07:37:02.76	3.0	38.547	14.842	10.19	148	0.17	0.6	0.6	7	265	85	-20	219	18	313	10
24	04/11/2005	09:27:31.69	2.7	38.399	15.101	8.68	113	0.15	0.7	1.2	8	50	60	-20	13	34	277	8
25	17/04/2006	20:16:27.96	3.2	38.375	14.918	14.16	189	0.14	1.0	0.5	8	40	70	15	353	4	261	24
26	05/05/2006	20:49:24.10	3.6	38.810	15.217	8.08	194	0.16	0.7	0.2	24	75	50	-165	286	36	31	18 *
27	09/05/2006	07:31:10.85	3.4	38.543	14.643	11.82	129	0.13	0.3	0.2	16	355	50	-85	299	83	81	4
28	22/05/2006	19:20:59.69	2.5	38.795	15.242	6.99	257	0.12	1.3	0.7	9	160	60	-20	124	34	28	8 *
29	21/06/2006	02:00:26.34	2.9	38.504	14.746	17.90	150	0.15	0.6	0.5	10	120	50	-120	323	67	231	1
30	27/06/2006	14:00:49.06	2.5	38.525	14.633	13.30	132	0.17	0.7	0.7	10	190	50	-110	35	74	294	3
31	05/08/2006	20:47:19.70	3.2	38.550	14.779	18.49	179	0.19	0.5	0.4	13	355	35	-45	355	59	233	17
32	19/08/2006	16:29:08.88	2.9	38.651	14.356	29.67	288	0.16	1.6	0.4	11	65	80	-70	358	51	138	32
33	09/09/2006	15:45:23.27	3.1	38.656	14.190	12.34	177	0.19	0.7	0.4	8	155	45	-160	1	42	110	19
34	14/10/2006	13:58:27.46	2.5	38.325	15.050	7.48	105	0.16	0.6	0.9	12	75	60	30	23	3	290	41
35	20/12/2006	11:38:06.86	3.2	38.410	14.187	10.03	172	0.17	0.7	0.5	10	80	70	-120	312	55	192	19
36	20/12/2006	11:45:22.08	3.1	38.419	14.186	10.09	171	0.16	1.1	0.8	7	150	70	-130	17	49	268	15
37	17/05/2007	05:48:12.96	3.6	38.503	14.648	21.23	177	0.18	0.6	0.3	15	20	85	-10	335	11	66	3
38	17/05/2007	05:50:56.32	2.8	38.496	14.693	14.95	137	0.21	0.7	0.4	9	0	75	30	128	9	224	32
39	19/05/2007	09:01:12.78	2.6	38.374	14.681	14.12	168	0.18	0.8	0.8	9	40	85	10	174	3	265	11

(Continua)

Tabella 13

N°	Data	Tempo orig.	M_d	Lat. N°	Long. E°	Prof.	Gap	rms	Erh	Erz	N_{pol}	Strike	Dip	Rake	Asse P		Asse T	
															Azimut	Plunge	Azimut	Plunge
40	06/06/2007	21:24:28.07	2.7	38.368	15.028	12.95	125	0.16	0.5	0.4	15	150	35	70	74	11	300	73
41	01/07/2007	10:29:17.47	2.7	38.748	15.196	11.74	103	0.10	0.6	0.4	15	355	45	-20	329	42	220	19 *
42	14/07/2007	18:13:03.45	3.3	38.621	14.777	12.63	178	0.16	0.5	0.4	18	215	80	60	329	29	94	47
43	01/08/2007	04:35:50.36	2.7	38.506	14.906	10.64	146	0.11	0.8	0.4	9	320	80	-160	185	21	92	7
44	13/08/2007	10:45:57.53	2.7	38.491	14.526	11.97	177	0.12	0.6	0.3	7	275	85	-125	153	39	33	31
45	05/09/2007	21:24:13.71	3.3	38.492	14.845	12.53	121	0.20	0.5	0.4	14	145	60	-100	30	73	242	14
46	23/09/2007	07:12:46.59	3.6	38.509	14.814	16.24	130	0.18	0.4	0.3	19	20	80	20	152	7	245	21
47	30/09/2007	15:41:20.80	3.0	38.496	14.800	17.04	129	0.14	0.5	0.4	11	285	65	100	7	19	214	68
48	03/10/2007	08:45:37.30	2.7	38.508	14.812	15.54	135	0.19	0.5	0.5	13	215	85	20	347	10	81	18
49	01/01/2008	04:18:10.38	2.5	38.480	15.013	17.09	84	0.14	0.8	1.2	9	35	65	40	158	6	255	45
50	28/02/2008	12:06:55.01	3.0	38.469	14.470	13.75	146	0.19	0.6	0.4	8	25	55	160	252	11	351	37
51	02/05/2008	01:26:05.01	2.9	38.426	14.945	9.87	109	0.18	0.4	0.3	13	310	90	-170	175	7	85	7
52	13/06/2008	00:31:14.07	3.1	38.476	14.750	18.58	159	0.11	0.7	0.5	15	350	45	-170	200	35	309	24
53	27/07/2008	11:59:57.71	2.7	38.383	15.121	6.78	120	0.17	0.8	1.3	9	50	25	-30	52	52	275	29
54	01/08/2008	22:38:10.59	2.7	38.394	15.104	10.36	94	0.14	0.7	1.1	12	105	25	70	30	21	234	67
55	06/08/2008	15:20:08.15	2.6	38.389	15.088	10.27	98	0.10	0.7	0.9	9	40	50	30	349	11	247	46
56	21/10/2008	00:53:23.77	2.6	38.559	14.726	22.14	174	0.17	1.1	0.8	10	155	45	-65	146	72	47	2

Parametri ipocentrali e focali dei 56 meccanismi focali calcolati alle Isole Eolie. N° , numero assegnato a ciascun evento; M_d , magnitudo; N_{pol} , numero di polarità utilizzate; $Prof.$, profondità ipocentrale (km); Gap , distanza angolare (in gradi) massima tra due stazioni, misurata come angolo all'epicentro; rms , errore nel tempo origine (in sec.). Gli asterischi indicano gli eventi localizzati all'isola di Stromboli, non utilizzati per l'inversione dello stress.

Tabella 14

N°	Data	Tempo orig.	M _d	Lat. N°	Long. E°	Prof.	Gap	rms	Erh	Erz	N _{pol}	Strike	Dip	Rake	Asse P		Asse T	
															Azimut	Plunge	Azimut	Plunge
1	26/11/2001	15:48:33.45	2.8	38.155	15.067	8.98	228	0.13	0.8	0.8	13	15	70	-110	256	60	120	22
2	29/11/2001	05:27:45.95	2.7	38.064	15.134	8.21	216	0.09	0.9	0.9	10	135	50	-80	98	81	218	5
3	29/07/2002	01:54:17.13	2.5	38.124	15.141	11.90	145	0.16	0.3	0.6	7	355	65	-130	217	52	112	11
4	20/11/2002	02:31:24.13	3.5	38.229	14.873	16.45	180	0.16	0.4	0.6	20	5	60	-60	324	62	74	10
5	12/02/2003	08:57:18.16	3.0	37.867	15.361	9.32	126	0.15	0.4	0.4	16	70	65	-10	30	24	295	11
6	21/04/2003	17:47:09.55	2.7	38.110	15.198	12.27	89	0.17	0.3	0.4	13	100	55	-90	10	80	190	10
7	11/06/2003	07:15:25.88	2.7	38.104	15.205	10.43	101	0.12	0.3	0.5	8	80	20	-60	123	61	327	27
8	13/06/2003	23:19:27.86	3.2	38.178	15.103	7.10	123	0.15	0.3	0.4	23	70	70	40	193	11	293	42
9	01/07/2003	23:49:37.13	3.1	38.120	15.231	8.12	96	0.18	0.2	0.4	23	60	65	-120	287	59	171	15
10	19/08/2003	14:23:53.04	3.3	37.858	15.371	10.01	128	0.16	0.3	0.3	29	80	90	0	35	0	125	0
11	21/02/2004	07:38:42.95	3.2	38.434	15.546	66.64	197	0.19	1.3	2.0	10	40	75	-120	276	51	153	24 *
12	06/06/2004	10:28:21.58	2.6	37.872	15.677	32.22	226	0.13	0.9	0.6	10	10	90	-150	23	10	173	78 *
13	22/07/2004	08:47:47.46	2.5	38.113	14.924	29.49	131	0.13	0.5	1.2	8	350	35	-150	181	51	301	22
14	08/08/2004	08:09:15.68	2.5	38.224	15.078	15.16	113	0.20	0.4	1.4	8	340	50	-160	190	39	293	15
15	25/08/2004	13:36:33.41	2.8	37.798	15.456	10.05	190	0.19	0.4	0.5	11	65	90	60	182	38	308	38
16	22/09/2004	04:32:55.70	2.9	38.062	15.544	54.54	176	0.14	0.8	1.1	9	80	80	-150	306	28	208	13 *
17	11/10/2004	07:31:41.49	3.3	37.906	15.447	8.16	130	0.20	0.2	0.4	36	140	60	-100	25	73	237	14
18	22/10/2004	21:10:13.89	3.5	38.073	15.313	12.69	118	0.19	0.2	0.4	23	100	80	-20	55	21	148	7
19	03/12/2004	03:30:26.83	2.6	38.132	15.297	9.96	115	0.18	0.3	0.4	13	105	75	-70	40	56	179	27
20	03/12/2004	08:54:37.10	3.1	38.139	15.303	8.20	109	0.21	0.2	0.3	20	90	55	-100	326	77	187	9
21	03/01/2005	20:09:41.43	2.7	38.150	15.164	8.14	127	0.15	0.4	0.9	15	65	55	-90	335	80	155	10
22	07/03/2005	15:19:01.36	2.5	37.836	15.425	7.81	160	0.17	0.3	0.5	12	235	80	-50	182	41	295	24
23	22/03/2005	18:44:32.03	2.6	38.129	15.147	9.76	125	0.18	0.3	0.5	13	100	60	-130	317	55	217	7
24	19/04/2005	22:36:23.91	3.3	38.162	15.621	10.08	109	0.20	0.3	0.4	25	70	25	10	39	36	265	43
25	09/06/2005	05:36:23.27	2.5	38.468	15.597	64.79	239	0.17	1.8	2.0	7	65	70	-120	297	55	177	19 *
26	02/10/2005	13:46:48.96	2.6	37.858	15.834	55.85	226	0.13	1.1	1.8	7	80	65	-160	299	31	32	5 *
27	27/02/2006	04:34:01.75	4.2	38.139	15.212	16.01	93	0.17	0.2	0.4	30	115	70	-50	68	49	177	15
28	27/02/2006	09:11:59.22	3.1	38.143	15.191	14.17	110	0.18	0.3	0.5	14	35	45	-60	24	69	284	4
29	31/03/2006	04:50:15.05	2.8	37.962	15.525	9.95	164	0.17	0.4	0.8	13	80	30	-20	68	47	300	29
30	18/07/2006	07:42:40.31	3.0	38.129	15.196	12.84	90	0.19	0.2	0.4	23	105	55	-70	66	72	181	8
31	20/09/2006	16:16:59.35	2.5	38.108	15.151	14.04	108	0.19	0.3	0.5	14	235	55	-110	94	71	339	7
32	06/10/2006	21:16:23.95	3.2	38.112	15.566	8.43	132	0.19	0.3	0.5	18	150	55	-100	26	77	247	9
33	07/10/2006	09:53:35.69	2.7	38.080	15.570	10.10	130	0.16	0.4	0.8	12	235	25	-50	257	60	115	24
34	31/12/2006	07:25:16.76	2.6	37.862	15.717	47.59	140	0.20	0.5	0.6	12	85	55	-170	301	30	42	18 *
35	01/01/2007	07:58:27.71	2.7	38.168	14.886	29.55	133	0.19	0.5	0.8	14	135	50	130	18	2	112	60
36	02/01/2007	13:30:10.67	2.7	38.144	14.969	17.20	148	0.15	0.3	0.7	15	75	35	110	331	11	105	74
37	17/06/2007	12:11:58.37	3.0	38.364	15.768	12.00	91	0.25	0.3	0.6	18	105	45	0	70	30	320	30
38	18/08/2007	14:04:07.74	4.2	38.230	15.193	14.78	92	0.17	0.2	0.3	28	15	45	-120	206	69	306	4
39	18/08/2007	14:10:18.30	3.0	38.202	15.173	13.57	110	0.17	0.2	0.4	20	345	70	-130	211	48	103	15

(Continua)

Tabella 14

N°	Data	Tempo orig.	M_d	Lat. N°	Long. E°	Prof.	Gap	rms	Erh	Erz	N_{pol}	Strike	Dip	Rake	Asse P		Asse T	
															Azimut	Plunge	Azimut	Plunge
40	18/08/2007	14:21:11.50	3.2	38.198	15.176	14.24	110	0.15	0.3	0.4	24	30	40	-100	177	82	307	5
41	18/08/2007	14:59:49.13	2.9	38.200	15.188	12.16	109	0.19	0.3	0.7	16	55	65	-70	359	64	130	18
42	18/08/2007	16:01:46.97	2.5	38.200	15.181	13.10	109	0.16	0.4	0.8	14	205	40	-130	29	62	142	11
43	18/08/2007	20:29:00.15	2.7	38.193	15.166	14.93	133	0.12	0.5	0.3	15	35	40	-125	216	66	329	9
44	19/08/2007	05:10:30.18	2.5	38.195	15.167	14.43	133	0.11	0.4	0.4	15	200	55	-110	59	71	304	7
45	14/09/2007	01:06:21.67	3.2	38.248	15.079	12.42	94	0.21	0.2	0.4	21	165	85	-110	54	46	273	37
46	27/10/2007	08:39:45.77	2.9	37.969	15.141	9.68	101	0.21	0.4	0.6	13	35	55	-140	245	51	338	2
47	09/02/2008	07:46:35.51	3.0	37.878	15.540	7.43	159	0.20	0.4	0.5	19	200	75	-40	154	38	256	15
48	28/02/2008	23:57:57.46	2.6	37.993	15.101	9.30	102	0.20	0.2	0.4	22	95	25	-110	224	67	20	21
49	02/03/2008	21:57:19.61	2.6	38.253	15.673	12.69	76	0.22	0.3	0.3	18	345	35	-55	354	65	230	14
50	10/03/2008	11:23:22.08	3.0	37.987	15.129	5.55	117	0.19	0.3	0.3	30	315	70	-30	273	35	7	5
51	13/04/2008	13:06:57.36	3.2	38.253	15.670	12.74	76	0.21	0.2	0.3	16	130	60	-140	345	48	252	2
52	28/04/2008	17:27:33.19	2.5	38.146	15.145	14.19	118	0.16	0.3	0.5	17	25	35	-100	152	78	302	10
53	02/07/2008	14:54:44.00	2.8	37.931	15.810	61.05	135	0.20	0.6	0.9	13	80	75	-180	304	11	36	11 *
54	16/07/2008	07:44:18.75	2.6	38.095	15.090	9.48	140	0.14	0.4	0.6	15	55	35	-120	220	69	346	13
55	01/09/2008	14:45:41.19	3.3	37.991	15.097	10.35	107	0.19	0.2	0.4	28	350	30	-140	166	57	296	23
56	02/09/2008	09:16:45.22	3.5	37.990	15.097	10.64	102	0.16	0.2	0.3	31	15	45	-110	202	76	299	2
57	27/10/2008	10:55:55.33	3.8	38.130	15.197	8.13	113	0.18	0.2	0.4	24	50	65	-100	300	68	147	19

Parametri ipocentrali e focali dei 57 meccanismi focali calcolati in Sicilia nord-orientale. N° , numero assegnato a ciascun evento; M_d , magnitudo; N_{pol} , numero di polarità utilizzate; $Prof.$, profondità ipocentrale (km); Gap , distanza angolare (in gradi) massima tra due stazioni, misurata come angolo all'epicentro; rms , errore nel tempo origine (in sec.). Gli asterischi indicano gli eventi localizzati a profondità > 30 km, non utilizzati per l'inversione dello stress.

Tabella 15

N°	Data	Tempo orig.	M _d	Lat. N°	Long. E°	Prof.	Gap	rms	Erh	Erz	N _{pol}	Strike	Dip	Rake	Asse P		Asse T	
															Azimut	Plunge	Azimut	Plunge
1	28/10/2001	09:03:58.96	3.5	37.655	15.141	1.29	129	0.12	0.3	0.2	13	25	60	-60	344	62	94	10
2	28/10/2001	15:05:11.64	3.2	37.660	15.130	1.59	115	0.20	0.2	0.2	20	65	60	-10	27	27	289	14
3	03/11/2001	14:53:46.72	3.0	37.794	14.643	27.58	202	0.13	0.6	0.5	16	25	75	-10	342	18	251	4
4	25/12/2001	15:53:25.83	3.2	37.953	14.729	10.12	196	0.14	0.5	0.4	20	45	85	-20	359	18	93	10
5	24/03/2002	23:04:06.22	3.0	37.719	15.065	4.00	61	0.16	0.2	0.2	18	140	75	10	94	4	3	18
6	24/03/2002	23:05:35.17	3.1	37.722	15.066	4.71	80	0.12	0.3	0.6	10	40	75	-150	264	32	168	9
7	13/04/2002	08:59:52.23	3.0	37.719	15.067	3.67	57	0.16	0.2	0.2	20	145	80	-20	100	21	193	7
8	31/08/2002	21:27:23.59	3.0	37.714	14.983	8.68	67	0.17	0.5	0.5	18	190	85	140	244	23	139	31
9	27/10/2002	00:07:29.93	3.5	37.749	14.996	0.12	44	0.17	0.1	0.2	16	110	60	-60	69	62	179	10
10	27/10/2002	00:36:09.99	3.1	37.751	15.013	-1.25	55	0.16	0.2	0.9	10	50	70	60	162	19	282	55
11	27/10/2002	01:11:25.39	3.0	37.756	15.013	0.88	56	0.12	0.2	0.3	11	80	75	-80	4	59	162	29
12	27/10/2002	01:58:11.42	4.0	37.742	14.953	-1.58	134	0.19	0.2	0.5	10	5	60	-60	324	62	74	10
13	27/10/2002	02:18:30.31	3.2	37.762	15.009	2.11	66	0.11	0.2	0.2	13	325	90	170	10	7	280	7
14	27/10/2002	02:29:29.16	3.5	37.765	15.014	1.74	112	0.11	0.3	0.4	10	145	65	-160	4	31	97	5
15	27/10/2002	02:39:10.59	3.3	37.762	15.010	1.79	66	0.15	0.3	0.4	15	55	75	-20	12	25	103	3
16	27/10/2002	02:50:25.56	4.2	37.768	15.028	3.06	115	0.23	0.3	0.5	14	150	70	-150	12	35	278	5
17	27/10/2002	05:31:11.68	3.3	37.779	15.035	0.78	131	0.15	0.3	0.2	10	45	40	-70	58	76	301	7
18	27/10/2002	06:06:55.62	3.4	37.782	15.023	0.72	79	0.17	0.2	0.2	20	200	80	-60	141	47	266	29
19	27/10/2002	07:32:06.63	3.2	37.788	15.023	1.30	71	0.14	0.2	0.2	12	60	50	-70	35	74	136	3
20	27/10/2002	15:51:08.09	3.0	37.823	15.067	-0.33	88	0.19	0.3	0.4	10	155	80	-20	110	21	203	7
21	28/10/2002	11:40:11.03	3.1	37.680	15.106	-1.58	128	0.12	0.2	1.1	7	60	80	50	180	24	293	41
22	28/10/2002	16:27:04.82	3.0	37.770	15.009	2.03	43	0.15	0.2	0.3	17	220	85	10	354	3	85	11
23	29/10/2002	10:02:09.63	3.0	37.749	15.103	6.03	101	0.16	0.4	0.4	15	115	45	-10	84	36	335	24
24	29/10/2002	10:02:20.49	4.4	37.685	15.114	-1.55	134	0.15	0.4	0.9	11	25	70	-10	343	21	250	7
25	29/10/2002	10:04:41.58	3.1	37.673	15.115	0.22	141	0.14	0.2	0.3	14	70	65	10	25	11	290	24
26	29/10/2002	10:56:09.50	3.6	37.825	15.071	1.09	90	0.14	0.3	0.3	9	35	85	-150	263	24	165	17
27	29/10/2002	11:02:35.59	4.0	37.807	15.082	0.35	79	0.18	0.3	0.3	16	65	30	-50	79	62	306	20
28	29/10/2002	15:49:50.67	3.8	37.805	15.044	-1.56	68	0.15	0.2	0.5	9	25	50	140	262	6	0	53
29	29/10/2002	16:39:47.21	4.0	37.658	15.131	1.53	120	0.20	0.2	0.2	18	320	80	-160	185	21	92	7
30	29/10/2002	17:14:51.23	4.1	37.713	15.099	0.05	60	0.21	0.2	0.2	22	215	85	-50	160	37	274	29
31	30/10/2002	00:00:13.67	3.1	37.769	15.010	1.94	43	0.18	0.3	0.4	13	60	50	20	14	16	270	40
32	30/10/2002	15:25:43.81	3.2	37.812	15.118	1.25	69	0.14	0.3	0.2	9	15	50	0	338	27	232	27
33	31/10/2002	10:41:04.13	3.2	37.734	15.152	5.02	173	0.12	0.6	0.6	12	120	55	10	77	18	336	30
34	01/11/2002	09:21:19.30	3.0	37.671	15.093	0.55	107	0.18	0.2	0.3	11	40	55	-70	1	72	116	8
35	01/11/2002	15:32:03.38	3.1	37.772	15.010	1.92	44	0.18	0.2	0.3	13	20	30	-150	204	52	333	26
36	04/11/2002	10:52:35.88	3.0	37.752	15.066	1.63	82	0.16	0.2	0.2	22	170	70	-50	123	49	232	15
37	04/11/2002	10:54:20.92	3.1	37.753	15.063	1.25	70	0.17	0.2	0.2	22	155	55	-40	125	51	32	2
38	06/11/2002	16:40:54.45	3.2	37.805	15.103	-1.59	98	0.15	0.3	0.8	7	130	60	20	82	8	346	34

(Continua)

Tabella 15

N°	Data	Tempo orig.	M _d	Lat. N°	Long. E°	Prof.	Gap	rms	Erh	Erz	N _{pol}	Strike	Dip	Rake	Asse P		Asse T	
															Azimut	Plunge	Azimut	Plunge
39	24/11/2002	06:59:59.38	3.7	37.693	15.090	3.09	52	0.19	0.2	0.2	29	0	80	30	129	13	226	28
40	24/11/2002	11:03:36.89	3.0	37.693	15.084	3.23	66	0.13	0.2	0.2	18	140	85	-60	79	42	205	33
41	09/03/2003	07:56:00.15	3.0	37.685	15.110	3.40	71	0.16	0.2	0.2	23	35	60	130	98	7	358	55
42	01/04/2003	13:26:45.99	3.1	37.801	15.044	2.08	66	0.14	0.2	0.3	8	115	55	70	219	8	334	72
43	17/07/2003	12:41:02.93	3.4	37.808	15.109	0.68	75	0.18	0.2	0.3	10	295	75	60	48	24	171	51
44	23/03/2004	02:55:36.83	3.1	37.766	14.772	24.38	164	0.15	0.5	0.3	22	20	70	-20	339	28	248	1
45	16/05/2004	09:06:48.59	3.1	37.776	15.168	7.70	160	0.18	0.3	0.3	32	20	50	-180	237	26	342	27
46	01/06/2004	10:14:10.31	3.0	37.808	15.045	-0.31	77	0.15	0.2	0.3	10	280	90	60	37	38	163	38
47	01/06/2004	10:32:28.81	3.5	37.804	15.042	-0.03	70	0.18	0.2	0.2	17	265	70	80	3	24	159	64
48	01/06/2004	11:18:31.64	3.4	37.796	15.054	1.24	68	0.17	0.2	0.2	12	30	65	120	99	15	343	59
49	14/06/2004	17:10:30.11	3.0	37.740	15.125	7.98	83	0.20	0.2	0.2	26	165	90	-125	45	35	284	35
50	22/07/2004	02:08:52.63	3.3	37.706	15.080	5.18	48	0.17	0.2	0.3	29	235	90	-140	107	27	2	26
51	22/07/2004	02:11:27.42	3.4	37.708	15.085	3.25	51	0.20	0.1	0.2	30	140	45	-30	117	48	10	14
52	22/07/2004	02:12:31.17	3.1	37.705	15.081	3.66	52	0.17	0.2	0.2	26	160	55	-20	126	37	27	11
53	12/09/2004	13:28:46.23	3.1	37.842	14.667	18.67	186	0.21	0.6	0.7	11	195	65	-60	148	59	264	15
54	21/04/2005	12:53:39.95	3.0	37.888	14.934	25.42	139	0.15	0.5	0.3	21	90	50	160	316	16	60	40
55	23/04/2005	08:03:12.36	3.0	37.786	15.124	-1.58	130	0.18	0.3	0.7	7	35	45	90	125	0	214	90
56	22/05/2005	20:20:32.10	3.2	37.782	14.646	20.47	171	0.18	0.5	0.4	19	100	75	-140	326	39	224	15
57	10/07/2005	13:38:51.90	3.0	37.856	14.981	23.70	60	0.19	0.3	0.2	29	90	75	-175	313	14	45	7
58	14/08/2005	21:45:04.51	3.0	37.810	15.114	1.22	136	0.18	0.3	0.2	11	110	45	0	75	30	325	30
59	14/08/2005	21:56:49.02	3.0	37.813	15.108	0.72	117	0.20	0.2	0.2	12	0	80	-110	247	51	107	32
60	14/08/2005	22:02:25.94	3.0	37.815	15.090	0.86	90	0.15	0.2	0.3	11	20	60	-140	235	48	143	2
61	21/10/2005	22:13:00.32	3.1	37.702	15.071	3.93	65	0.19	0.1	0.1	27	210	40	105	109	5	230	78
62	30/10/2005	05:42:12.03	3.2	37.652	15.050	7.40	105	0.17	0.3	0.3	28	335	25	175	181	37	315	41
63	30/10/2005	06:06:50.05	3.5	37.645	15.062	4.35	134	0.17	0.2	0.2	32	35	90	-20	348	14	82	14
64	31/10/2005	00:02:41.34	3.6	37.651	15.060	4.48	110	0.17	0.2	0.4	33	280	40	165	141	25	255	41
65	04/11/2005	14:45:36.49	3.2	37.611	14.870	3.92	146	0.14	0.4	0.3	24	80	75	-30	36	32	132	9
66	08/01/2006	16:09:24.09	3.2	37.677	14.971	11.00	66	0.17	0.2	0.2	37	90	60	20	42	8	306	34
67	02/03/2006	20:35:37.72	3.4	37.811	14.930	24.03	64	0.19	0.4	0.2	27	120	45	170	340	24	89	36
68	20/05/2006	07:05:56.21	3.4	37.672	14.946	10.05	79	0.20	0.2	0.2	39	355	85	-170	220	11	129	3
69	19/06/2006	20:55:34.59	3.5	37.843	14.876	26.87	112	0.17	0.4	0.3	39	170	35	-100	297	78	87	10
70	19/06/2006	21:20:13.02	3.0	37.847	14.884	25.80	143	0.18	0.4	0.2	35	30	75	-60	334	51	97	24
71	20/06/2006	13:16:35.41	3.0	37.836	14.882	26.12	64	0.16	0.4	0.2	34	155	30	-140	331	57	101	23
72	21/06/2006	07:17:49.90	3.1	37.827	14.872	25.39	87	0.16	0.4	0.2	32	150	30	-150	334	52	103	26
73	29/08/2006	07:01:13.29	3.2	37.828	15.138	-1.55	140	0.20	0.3	0.6	8	280	85	10	54	3	145	11
74	19/12/2006	14:58:06.24	3.6	37.776	14.879	22.10	95	0.18	0.3	0.2	43	115	65	-170	335	24	70	11
75	20/12/2006	01:46:23.75	3.0	37.775	14.896	21.74	100	0.18	0.4	0.2	32	15	80	-20	330	21	63	7
76	09/05/2007	18:50:11.12	3.0	37.700	14.980	2.57	44	0.18	0.1	0.1	36	175	50	-80	138	81	258	5
77	01/08/2007	23:38:16.62	3.3	37.676	15.145	0.40	81	0.21	0.2	0.2	28	300	65	180	162	17	258	17

(Continua)

Tabella 15

N°	Data	Tempo orig.	M_d	Lat. N°	Long. E°	Prof.	Gap	rms	Erh	Erz	N_{pol}	Strike	Dip	Rake	Asse P		Asse T	
															Azimut	Plunge	Azimut	Plunge
78	12/01/2008	01:51:22.47	3.2	37.730	14.905	20.58	59	0.20	0.3	0.2	35	145	90	-5	99	3	190	3
79	15/02/2008	09:34:35.65	3.2	37.813	15.107	1.15	96	0.17	0.2	0.2	17	10	60	-170	228	27	326	14
80	09/04/2008	04:14:36.03	3.0	37.733	15.121	7.93	65	0.21	0.2	0.2	37	185	85	-125	63	39	303	31
81	20/04/2008	07:47:25.47	3.2	37.636	15.026	0.63	84	0.19	0.2	0.1	38	80	20	60	13	27	217	61
82	01/05/2008	21:05:47.66	3.3	37.806	15.042	1.15	81	0.21	0.2	0.2	16	180	80	180	45	7	135	7
83	01/05/2008	22:43:49.12	3.2	37.815	15.068	-0.07	117	0.18	0.2	0.2	16	85	70	-50	38	49	147	15
84	13/05/2008	09:28:05.27	3.0	37.766	15.004	0.36	99	0.09	0.2	0.2	16	135	75	-120	11	51	248	24
85	13/05/2008	10:07:47.76	3.2	37.772	15.007	0.06	106	0.12	0.2	0.2	13	70	60	-40	35	48	127	2
86	13/05/2008	12:13:41.95	3.3	37.769	15.007	0.43	102	0.18	0.2	0.2	18	50	35	30	1	22	241	51
87	18/11/2008	21:07:27.06	3.1	37.910	14.697	31.53	158	0.18	0.5	0.5	34	290	40	-65	296	72	182	7
88	16/12/2008	02:30:14.52	3.7	37.664	14.954	11.08	72	0.18	0.2	0.3	31	170	80	-125	45	43	286	26
89	16/12/2008	02:33:28.47	3.2	37.658	14.948	10.80	74	0.16	0.3	0.4	23	40	40	-30	23	50	269	18

Parametri ipocentrali e focali degli 89 meccanismi focali calcolati all'Etna. N° , numero assegnato a ciascun evento; M_d , magnitudo; N_{pol} , numero di polarità utilizzate; $Prof.$, profondità ipocentrale (km); Gap , distanza angolare (in gradi) massima tra due stazioni, misurata come angolo all'epicentro; rms , errore nel tempo origine (in sec.).

Tabella 16

N°	Data	Tempo orig.	M _d	Lat. N°	Long. E°	Prof.	Gap	rms	Erh	Erz	N _{pol}	Strike	Dip	Rake	Asse P		Asse T	
															Azimut	Plunge	Azimut	Plunge
1	05/11/2001	10:17:52.05	2.6	37.105	14.725	17.72	263	0.11	0.8	0.5	9	60	20	60	353	27	197	61
2	21/02/2002	02:12:51.73	3.3	37.450	15.201	21.16	163	0.20	0.6	0.7	21	175	60	-15	137	30	40	11
3	21/04/2002	14:40:53.93	2.4	37.401	15.195	18.27	171	0.16	0.5	0.7	12	205	10	5	190	43	30	44
4	14/05/2002	04:07:37.38	2.8	37.398	15.191	19.48	189	0.20	0.7	0.7	16	80	70	170	305	7	38	21
5	14/05/2002	13:14:44.67	2.7	37.399	15.178	18.77	153	0.20	0.5	0.8	15	90	55	-175	307	27	48	20
6	24/05/2002	02:50:47.75	2.7	37.396	15.188	18.76	139	0.18	0.4	0.7	13	145	35	-55	154	65	30	14
7	07/07/2002	03:57:18.26	2.0	37.215	14.745	18.36	224	0.12	0.7	1.4	8	235	40	85	148	5	0	83
8	13/07/2002	00:19:02.23	2.8	37.216	15.356	20.10	226	0.15	0.9	0.8	7	305	25	-55	334	62	188	23
9	04/11/2004	20:37:42.44	2.0	37.227	15.038	15.13	190	0.09	0.6	0.4	7	95	90	-160	321	14	228	13
10	21/11/2004	19:13:15.47	2.0	36.861	14.975	27.57	276	0.16	1.0	0.5	7	245	70	170	110	7	203	21
11	05/12/2004	15:36:30.10	2.0	37.118	15.173	22.14	156	0.19	0.6	0.6	7	15	55	0	336	24	234	24
12	30/12/2004	04:04:49.94	3.9	36.898	14.663	14.52	302	0.19	0.5	0.4	16	90	75	-140	316	38	214	15
13	08/03/2005	21:08:14.15	2.5	37.204	15.618	24.01	243	0.15	0.9	0.1	10	90	85	150	140	17	42	24
14	17/03/2005	18:57:15.87	3.2	37.365	15.989	24.18	250	0.22	1.2	1.1	22	155	80	-20	110	21	203	7
15	25/06/2005	21:47:27.81	2.1	37.144	15.210	22.36	167	0.18	0.5	0.5	11	30	75	30	158	9	254	32
16	29/08/2005	18:16:53.11	2.1	37.151	15.348	14.50	217	0.17	0.5	0.7	11	110	80	160	158	7	65	21
17	01/10/2005	08:35:20.72	3.4	36.691	14.333	6.02	300	0.16	1.7	0.8	11	25	75	50	144	20	255	45
18	01/10/2005	08:41:43.03	3.5	36.696	14.322	5.67	323	0.17	1.6	0.8	11	40	80	40	165	19	269	35
19	12/10/2005	19:55:55.43	2.2	36.912	14.850	21.61	234	0.17	0.7	0.6	10	25	55	-20	351	37	252	11
20	09/03/2006	02:16:41.14	2.1	37.483	15.326	20.66	204	0.14	0.9	0.8	8	110	55	140	347	2	80	51
21	18/03/2006	14:38:20.67	2.4	37.174	15.084	15.63	99	0.15	0.4	0.4	9	350	50	20	304	16	200	40
22	23/04/2006	14:42:38.29	4.0	37.064	14.987	16.50	103	0.19	0.3	0.4	21	55	20	-90	145	64	325	25
23	06/07/2006	23:05:26.35	3.0	37.199	14.406	23.22	176	0.16	0.5	0.4	15	190	75	-20	147	25	238	3
24	11/08/2006	10:39:44.50	2.1	37.052	15.122	21.50	116	0.16	0.5	0.6	7	70	25	145	299	27	76	54
25	30/08/2006	22:45:03.31	2.8	37.311	15.651	25.47	202	0.21	0.7	0.4	11	200	75	0	156	11	64	11
26	14/10/2006	23:55:30.38	2.8	37.261	14.791	18.04	104	0.14	0.3	0.7	14	330	50	-140	174	53	273	6
27	05/12/2006	05:01:18.69	2.5	37.066	15.627	24.10	237	0.20	0.6	0.4	8	20	75	40	144	15	246	38
28	11/02/2007	20:30:59.26	3.2	36.904	14.853	20.90	234	0.19	0.6	0.5	12	25	55	-10	348	30	248	17
29	04/06/2007	10:48:41.74	2.5	37.287	16.008	18.74	260	0.19	0.8	0.7	9	20	75	-10	337	18	246	4
30	15/06/2007	22:56:00.96	3.3	36.993	15.260	19.12	237	0.21	0.4	0.4	23	265	65	-175	126	20	221	14
31	30/07/2007	19:52:00.84	2.5	37.471	14.757	17.95	112	0.16	0.3	0.6	21	80	85	-130	315	37	201	29
32	30/07/2007	19:58:02.07	2.8	37.468	14.759	19.11	112	0.16	0.3	0.5	26	95	75	-140	321	38	219	15
33	30/07/2007	21:52:27.41	2.4	37.464	14.761	18.02	111	0.16	0.4	0.6	15	100	80	-160	325	21	232	7
34	30/07/2007	22:21:48.30	2.6	37.471	14.753	18.38	112	0.15	0.3	0.6	22	95	70	-130	322	49	213	15
35	30/07/2007	22:41:52.76	2.6	37.474	14.754	17.54	112	0.19	0.3	0.5	20	85	80	-130	318	41	205	24
36	30/07/2007	22:51:13.16	2.1	37.465	14.761	17.51	162	0.18	0.4	0.1	9	275	90	150	324	21	226	21
37	31/07/2007	06:07:30.53	2.2	37.475	14.759	17.98	112	0.19	0.3	0.6	20	80	85	-130	315	37	201	29
38	31/07/2007	06:53:15.90	2.9	37.476	14.751	16.94	113	0.19	0.3	0.4	35	20	55	0	341	24	239	24
39	31/07/2007	10:37:54.80	2.3	37.466	14.757	18.73	112	0.16	0.3	0.6	15	5	70	-10	323	21	230	7
40	18/08/2007	16:43:01.31	2.8	37.053	14.431	23.30	234	0.17	0.9	0.5	11	175	45	-85	173	86	81	0

(Continua)

Tabella 16

N°	Data	Tempo orig.	M_d	Lat. N°	Long. E°	Prof.	Gap	rms	Erh	Erz	N_{pol}	Strike	Dip	Rake	Asse P		Asse T	
															Azimut	Plunge	Azimut	Plunge
41	28/08/2007	09:21:08.20	2.6	37.189	14.535	22.13	145	0.11	0.4	0.9	9	35	65	-10	355	24	260	11
42	22/09/2007	16:25:02.09	2.8	37.311	15.799	22.80	223	0.17	0.6	0.5	19	20	85	-10	335	11	66	3
43	30/09/2007	03:20:27.88	2.5	36.937	14.961	20.91	199	0.16	0.5	1.1	9	280	85	140	334	23	229	31
44	01/10/2007	19:32:20.76	2.5	37.117	16.152	14.06	278	0.12	1.2	0.7	8	25	40	110	281	7	38	76
45	07/11/2007	10:32:36.02	2.7	37.466	15.271	19.49	173	0.17	0.5	0.7	16	265	80	-115	147	48	15	30
46	28/01/2008	18:40:36.57	2.2	37.172	14.541	23.70	152	0.13	0.5	0.7	11	140	70	180	3	13	96	14
47	16/05/2008	11:18:26.42	2.8	37.130	16.124	30.44	272	0.22	1.4	1.6	9	80	45	-170	291	36	40	24
48	28/06/2008	05:11:05.00	2.6	36.957	14.729	12.04	268	0.15	0.6	0.5	8	110	65	-160	329	31	62	5
49	01/07/2008	09:44:39.03	2.2	37.025	15.319	22.97	241	0.13	0.7	0.5	9	155	30	-70	197	70	50	16
50	15/08/2008	05:11:11.91	2.0	37.263	15.454	21.11	235	0.20	0.8	0.8	10	180	40	-60	182	69	69	9
51	22/08/2008	10:53:06.09	2.6	37.402	15.225	18.28	159	0.20	0.4	0.5	25	275	90	-150	144	20	45	20
52	15/09/2008	09:03:47.70	2.6	37.464	14.374	27.20	234	0.15	0.7	0.4	7	30	50	-10	356	33	252	21
53	05/10/2008	05:27:25.42	2.7	36.918	14.698	18.71	236	0.12	0.5	0.4	16	75	75	-180	299	11	31	11
54	10/10/2008	19:18:28.10	2.4	37.461	14.433	23.17	192	0.18	0.6	0.6	11	50	55	20	3	12	264	37
55	22/12/2008	21:51:15.22	2.6	37.475	14.281	23.90	276	0.16	1.3	0.6	8	0	90	50	123	33	237	33

Parametri ipocentrali e focali dei 55 meccanismi focali calcolati in Sicilia sud-orientale. N° , numero assegnato a ciascun evento; M_d , magnitudo; N_{pol} , numero di polarità utilizzate; $Prof.$, profondità ipocentrale (km); Gap , distanza angolare (in gradi) massima tra due stazioni, misurata come angolo all'epicentro; rms , errore nel tempo origine (in sec.).

BIBLIOGRAFIA

- Adam, J., M. Grasso, C.M. Reuther, e L. Torelli (2000). Neotectonic stress analysis and active fault kinematics along the Ionian margin of the Hyblean Plateau (Augusta peninsula and adjacent areas, SE Sicily), *Tectonophysics*, **326**, 217–239.
- Aki, K., e P. G. Richards (1980). *Quantitative Seismology, Theory and Methods*, W. H. Freeman, San Francisco, 932 pp.
- Amato, A., R. Azzara, A. Basili, C. Chiarabba, M. Cocco, M. Di Bona, e G. Selvaggi (1995). Main shock and aftershocks of the December 13, 1990, Eastern Sicily earthquake, *Ann. Geofis.*, **38**, 255–266.
- Anderson, H., e J. Jackson (1987). The deep seismicity of the Tyrrhenian Sea, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, **91**, 613–637.
- Atzori, F., F. Ghisetti, A. Pezzino, e L. Vezzani (1978). Struttura ed evoluzione geodinamica recente dell'area peloritana (sicilia nord-orientale), *Boll. Soc. Geol. It.*, **97**, 31-56.
- Azzaro, R., e M.S. Barbano (2000). Analysis of the seismicity of Southeastern Sicily: a proposed tectonic interpretation, *Ann. Geofis.*, **43**, 171–188.
- Baratta, M. (1901). I terremoti d'Italia. Arnoldo Forni Editore, Bologna.
- Barberi, F., P. Gasparini, F. Innocenti, e L. Villari (1973). Volcanism of the Southern Tyrrhenian Sea and its geodynamics implications, *J. Geophys. Res.*, **78**, 5221–5232.
- Barberi, F., A. Gandino, A. Gioncada, P. La Torre, A. Sbrana, e C. Zenuccini (1994). The deep structure of the Eolian arc (Filicudi-Panarea-Vulcano sector) in light of gravity, magnetic and volcanological data, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **61**, 189-206.
- Barberi, G., O. Cocina, G. Neri, E. Privitera, e S. Spampinato (2000). Volcanological inferences from seismic-strain tensor computations at Mt. ETNA Volcano, Sicily, *Bull. Volc.*, **62**, 318–330.

- Barberi, G., M.T. Cosentino, A. Gervasi, I. Guerra, G. Neri, e B. Orecchio (2004). Crustal seismic tomography in the Calabrian Arc region, south Italy, *Phys. Earth Planet. Interiors*, **147**, 297-314.
- Ben-Avraham, Z., e M. Grasso (1990). Collisional zone segmentation in Sicily, *Ann. Tectonicae*, **4**, 131-139.
- Bernard, P., e A. Zollo (1989). Inversion of near-source S polarization for parameters of double-couple point like sources, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **79**, 1779–1809.
- Bianchi, F., S. Carbone, M. Grasso, G. Invernizzi, F. Lentini, G. Longaretti, S. Merlini, e F. Moscardini (1987). Sicilia orientale: profilo geologico Nebrodi-Iblei, *Mem. Soc. Geol. It.*, **38**, 429–458 (in Italian).
- Billi, A., G. Barberi, C. Faccenna, G. Neri, F. Pepe, e A. Sulli (2006). Tectonics and seismicity of the Tindari Fault System, southern Italy: crustal deformations at the transition between ongoing contractional and extensional domains located above the edge of a subducting slab, *Tectonics*, **25**, TC2006.
- Boccaletti, M., e L. Tortorici (1987). *Appunti di geologia strutturale*, Patròn Ed., Bologna, 210 pp.
- Bolt, B.A. (1976). *Nuclear explosions and earthquakes*. The parted veil, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 309 pp.
- Boschi, E., G. Ferrari, P. Gasperini, E. Guidoboni, G. Smriglio, e G. Valensise (1995). Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.c. al 1980. Istituto Nazionale di Geofisica, S.G.A., Roma.
- Boschi, E., E. Guidoboni, G. Ferrari, G. Valensise, e P. Gasperini (1997). Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.c. al 1990. Istituto Nazionale di Geofisica, S.G.A., Roma.
- Brillinger, D.R., A. Udias, e B.A. Bolt (1980). A probability model for regional focal mechanism solutions, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **70**, 149–170

- Catalano, S., G. De Guidi, G. Romagnoli, S. Torrisi, G. Tortorici, e L. Tortorici (2008). The migration of plate boundaries in SE Sicily: influence on the large-scale kinematic model of the African promontory in southern Italy, *Tectonophysics*, **449**, 41–62.
- Cocina, O., G. Neri, E. Privitera, e S. Spampinato (1996). Earthquake and stress tensor space-time distribution at Mount Etna before the 1991-1993 volcanic eruption, *Acta Vulcanologica*, **8** (1), 15-22.
- Cocina, O., G. Neri, E. Privitera, e S. Spampinato (1997). Stress tensor computations in the Mount Etna area (southern Italy) and tectonic implications, *J. Geodyn.*, **23**, no. 2, 109–127.
- Cocina, O., G. Neri, E. Privitera, e S. Spampinato (1998). Seismogenic stress field beneath Mt. Etna (South Italy) and possible relationships with volcano-tectonic features, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **83**, 335–348.
- Cristofolini, R., F. Lentini, G. Patanè, e R. Rasà (1979). Integrazione di dati geologici, geofisici e petrologici per la stesura di un profilo crostale in corrispondenza dell'Etna, *Boll. Soc. Geol. It.*, **98**, 239-247.
- Davis, J.C. (1986). *Statistics and Data Analysis in Geology*, Second Ed., Wiley, New York, 646 pp.
- De Natale, G., A. Ferraro, e J. Virieux (1991). A probability method for earthquake focal mechanism, *Geophys. Res. Lett.*, **18**, 613-616.
- De Natale, G., A. Zollo, A. Ferraro, e J. Virieux (1995). Accurate fault mechanism determinations for a 1984 earthquake swarm at Campi Flegrei caldera (Italy) during an unrest episode: Implications for volcanological research, *J. Geophys. Res.*, **100**, 24,167-24,185.
- Finetti, I., e A. Del Ben (1986). Geophysical study of the Tyrrhenian opening, *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, **28**, 110, 75-155.
- Gasparini, P., G. Iannaccone, P. Scandone, e R. Scarpa (1982). Seismotectonics of the Calabrian Arc, *Tectonophysics*, **84**, 267–286.

- Geiger, L. (1912). Probability method for the determination of earthquake epicenters from the arrival time only, *Bull. St. Louis Univ.*, **8** (1), 56-71.
- Geller, R.J., e C.S. Mueller (1980). Four similar earthquakes in central California, *Geophys. Res. Lett.*, **7**, 821-824.
- Gephart, J.W. (1990). Stress and the direction of slip on fault planes, *Tectonics*, **9**, 845-858.
- Gephart, J.W., e D.W. Forsyth (1984). An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data: application to the San Fernando earthquake sequence, *J. Geophys. Res.*, **89**, 9305-9320.
- Ghisetti, F. (1979). Evoluzione neotettonica dei principali sistemi di faglie della Calabria centrale, *Bollettino Società Geologica Italiana*, **98**, 387-430.
- Ghisetti, F., e L. Vezzani (1980). The structural features of the Iblean plateau and of the Monte Iudica area (South Eastern Sicily). A microtectonic contribution to the deformational history of the Calabrian Arc, *Boll. Soc. Geol. It.*, **99**, 57-102.
- Ghisetti, F., e L. Vezzani (1982). Different styles of deformation in the Calabrian arc (southern Italy): implications for a seismotectonic zoning, *Tectonophysics*, **85**, 149-165.
- Gillot, P.Y., G. Kiefer, e R. Romano (1994). The evolution of Mount Etna in the light of Potassium-argon dating, *Acta Vulcanol.*, **5**, 81-87.
- Gueguen, E., C. Doglioni, e M. Fernandez (1998). On the post-25 Ma geodynamic volution of the western Mediterranean, *Tectonophysics*, **298**, 259-269.
- Hirn, A., A. Nercessian, M. Sapin, e F. Ferrucci (1991). Seismic heterogeneity of Mt. Etna: structure and activity, *Geophys. J. Int.*, **105**, 139-153.
- Hollenstein, Ch., H. G. Kahle, A. Geiger, S. Jenny, S. Goes, e D. Giardini (2003). New GPS constraints on the Africa-Eurasia plate boundary zone in southern Italy, *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 1935, doi 10.1029/ 2003GL017554.

- Jacques, E., C. Monaco, P. Tapponnier, L. Tortorici, e T. Winter (2001). Faulting and earthquake triggering during the 1783 Calabria seismic sequence, *Geophys. J. Int.*, **147**, 499-516.
- Jeffreys, H., e K.E. Bullen (1967). Seismological Tables. British Association, Gray-Milne Trust.
- Jurkevics, A. (1988). Polarization analysis of three-component array data, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **78**, 1725–1743.
- Lahr, J.C. (1999). HYPOELLIPSE: A computer program for determining local earthquake hypocentral parameters, magnitude, e first motion pattern, *USGS Open File Rept.*, 99/23, 112 pp.
- Langer, H., R. Raffaele, A. Scaltrito, e L. Scarfi (2007). Estimation of an optimum velocity model in the Calabro-Peloritan mountains—assessment of the variance of model parameters and variability of earthquake locations, *Geophys. J. Int.*, **170**, 1151-1164.
- Lay, T., e T.C. Wallace (1995). *Modern Global Seismology*, Academy Press, 521 pp.
- Lentini, F., S. Catalano, e S. Carbone (2000). Carta geologica della Provincia di Messina, *SELCA*, Florence, Italy.
- Lillie, R.J. (1999). *Whole Earth Geophysics, An Introductory textbook for Geologists and Geophysicists*, Prentice Hall, London, 361 pp.
- Lo Giudice, E., G. Patanè, R. Rasà, e R. Romano (1982). The structural framework of Etna, *Mem. Soc. Geol. It.*, **23**, 125-158.
- Malinverno, A., e W.B.F. Ryan (1986). Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as result of arc migration driven by sinking of the lithosphere, *Tectonics*, **5**, 227–254.
- Mattia, M., M. Palano, V. Bruno, e F. Cannavò (2009). Crustal motion along the Calabro-Peloritano Arc as imaged by twelve years of measurements on a dense GPS network, *Tectonophysics*, **476**, 528–537.

- Meletti, C., F. Galadini, G. Valensise, M. Stucchi, R. Basili, S. Barba, G. Vannucci, e E. Boschi (2008). A seismic source zone model for the seismic hazard assessment of the Italian territory, *Tectonophysics*, **450**, 85–108.
- Monaco, C., e L. Tortorici (1995). Tettonica estensionale quaternaria nell'Arco Calabro e in Sicilia orientale, *Studi Geologici Camerti, Vol. speciale*, **2**, 351-362.
- Monaco, C., P. Tapponnier, L. Tortorici, e P.Y. Gillot (1997). Late Quaternary slip rates on the Acireale-Piedimonte normal faults and tectonic origin of Mt. Etna (Sicily), *Eart. Planet. Sci. Lett.*, **147**, 125-139.
- Monaco, C., e L. Tortorici (2000). Active faulting in the Calabrian arc and eastern Sicily, *J. Geodyn.*, **29**, 407–424.
- Monaco, C., S. Catalano, O. Cocina, G. De Guidi, C. Ferlito, S. Gresta, C. Musumeci, e L. Tortorici (2005). Tectonic control on the eruptive dynamics at Mt. Etna volcano (eastern Sicily during the 2001 and 2002-2003 eruptions), *J. Volc. Geotherm. Res.*, **144**, 221-233.
- Montalbetti, J.F., e E.R. Kanasevich (1970). Enhancement of telesismic body phase with a polarization filter, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **21**, 119–129.
- Musumeci, C., G. Di Grazia, e S. Gresta (2003). Minimum ID velocity model in Southeastern Sicily (Italy) from local earthquake data, *J. Seism.*, **7**, 469–478.
- Musumeci, C., D. Patanè, L. Scarfi, e S. Gresta (2005). Stress Directions and Shear-Wave Anisotropy: Observation from Local Earthquake in Southeastern Sicily, Italy, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **95**, 1359-1374.
- Neri, G., G. Barberi, B. Orecchio, e A. Mostaccio (2003). Seismic strain and seismogenic stress regime in the crust of the southern Tyrrhenian region, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **213**, 97-112.
- Neri, G., G. Barberi, G. Olivia, e B. Orecchio (2005). Spatial variations of seismogenic stress orientations in Sicily, south Italy, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **148**, 175-191.
- Ogniben, L. (1969). Schema introduttivo alla geologia del Confine calabro-lucano, *Mem. Soc. Geol. It.*, **8**, 453-763.

- Patanè, D., e F. Ferrari (1998). A Visual-Basic computer program for interactive and automatic earthquakes waveform analysis, *Comp. Geosci.*, **23**, 1005-1012.
- Patanè, D., e E. Privitera (2001). Seismicity related to 1989 and 1991-93 Mt. Etna (Italy) eruptions: kinematic constraints by FPS analysis, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **109**, 77-98.
- Pechmann, J.C., e H. Kanamori (1982). Waveforms and spectra of preshocks and aftershocks in the 1979 Imperial Valley, California, earthquake: evidence for fault heterogeneity? *J. Geophys. Res.*, **87**, 10,579-10,597.
- Pepe, F., G. Bertotti, F. Cella, e E. Marsella (2000). Rifted margin formation in the South Tyrrhenian Sea: a high-resolution seismic profile across the North Sicily passive continental margin, *Tectonics*, **19**, 241-257.
- Postpischl, D. (1985). Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980, CNR, P.F. Geodinamica, Graficoop, Bologna, 239 pp.
- Press, F., e R. Siever (1978). *The Earth*, Freeman and Co., San Francisco, 649 pp.
- Rasà, R., R. Romano, e E. Lo Giudice (1982). Morphotectonic Map of Mt. Etna, *Memorie della Società Geologica Italiana*, **23**.
- Reasenber, P.A., e D. Oppenheimer (1985). Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions, *USGS Open File Rept.*, 85/739, 109 pp.
- Reuther, C.D., Z. Ben-Avraham, e M. Grasso (1993). Origin and role of the major strike-slip transfer during plate collision in the central Mediterranean, *Terra Nova*, **5**, 249–257.
- Romano, R. (1982). Succession of the volcanic activity in the Etnean area, *Mem. Soc. Geol. It.*, **23**, 75-97.
- Scarfi, L., E. Giampiccolo, C. Musumeci, D. Patanè, e H. Zhang (2007). New insights on 3D crustal structure in Southeastern Sicily (Italy) and tectonic implications from an adaptive mesh seismic tomography, *Phys. Earth Planet. In.*, **161**, 74–85.
- Selvaggi, G., e C. Chiarabba (1995). Seismicity and P-wave velocity image of the Southern Tyrrhenian subduction zone, *Geophys. J. Int.*, **121**, 818-826.

- Selvaggi, G. (2001). Strain pattern of the Southern Tyrrhenian slab from moment tensors of deep earthquakes: implications on the down-dip velocity, *Ann. Geofis.*, **44** (1), 155–165.
- Scholz, C.H. (1990). *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*, Cambridge University Press, New York, 438 pp.
- Slejko, D., G. Neri, I. Orozova, G. Renner, e M. Wyss (1999). Stress field in Friuli (NE Italy) from fault plane solutions of activity following the 1976 main shock, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **89**, 1037–1052.
- Wyss, M., B. Liang, W.R. Tanigawa, e W. Xiaoping (1992). Comparison of orientations of stress and strain tensor based on fault plane solutions in Kaoiki, Hawaii, *J. Geophys. Res.*, **97**, 4769–4790.
- Wyss, M., e Z. Lu (1995). Plate boundary segmentation by stress directions: southern San Andreas fault, California, *Geophys. Res. Lett.*, **22**, 547–550.
- Tapponnier, P. (1977). Evolution du système Alpin en Méditerranée: poinçonnement et écrasement rigide-plastique, *Bull Soc. Géol. France*, **7**, 437–460.
- Tortorici, L., C. Monaco, C. Tansi, e O. Cocina (1995). Recent and active tectonics in the Calabrian arc (Southern Italy), *Tectonophysics*, **243**, 37–55.
- Ventura, G. (1994). Tectonics, structural evolution and caldera formation on Vulcano Island (Aeolian Archipelago, southern Tyrrhenian Sea), *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **60**, 207–224.
- Ventura, G., G. Vilardo, G. Milano, e N.A. Pino (1999). Relationships among crustal structure, volcanism and strike-slip tectonics in the Lipari–Vulcano Volcanic Complex (Aeolian Islands, Southern Tyrrhenian Sea, Italy), *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **116**, 31–52.
- Vilardo, G., R. Nappi, E. Bellucci Sessa, e G. Bronzino (2009). Sistema Informativo Sismotettonico della Sicilia. (SISS 2.0), © LGC 2009, Laboratorio di Geomatica e Cartografia, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Vesuviano, <http://ipf.ov.ingv.it/sicilia.html>.

Zollo, A., e P. Bernard (1991). Fault mechanism for near source data: joint inversion of P polarities and S polarizations, *Geophys. J. Int.*, **104**, 441–452.