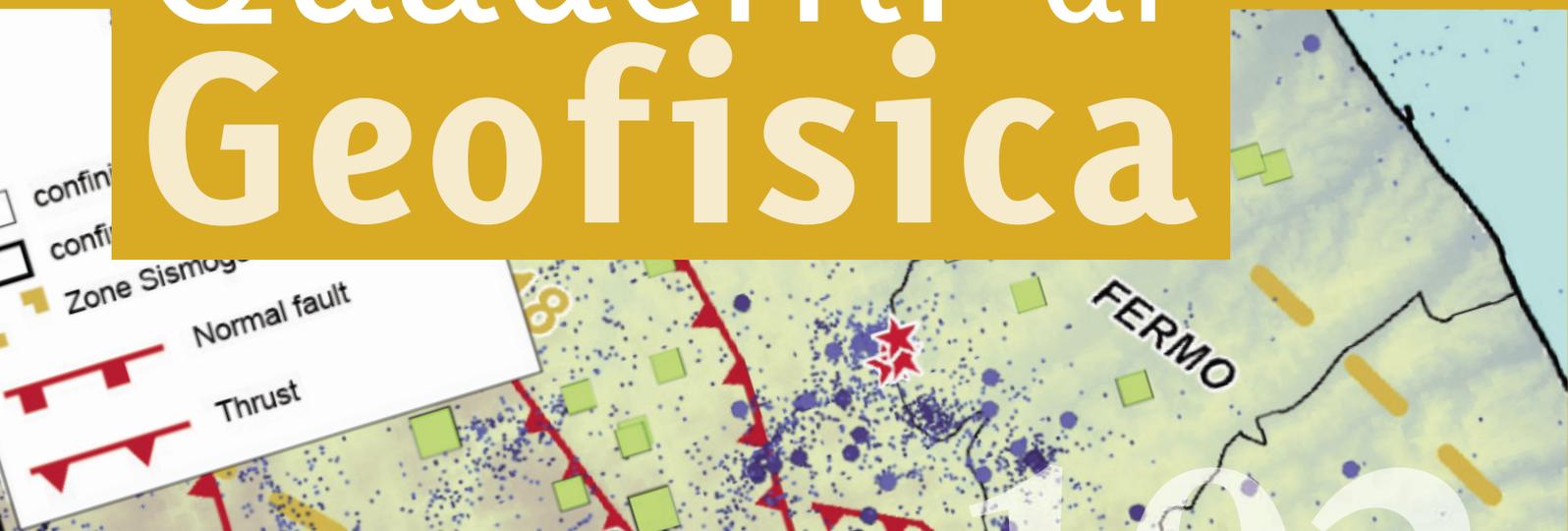


La sequenza sismica del 2010
nelle province di Macerata e
Fermo e la sperimentazione della
trasmissione dei dati in tempo reale
via UMTS

Quaderni di Geofisica



102



Quaderni di Geofisica

Direttore

Enzo Boschi

Editorial Board

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Simona Masina (BO)

Mario Mattia (CT)

Nicola Pagliuca (RM1)

Umberto Sciacca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it

La sequenza sismica del 2010 nelle province di Macerata e Fermo e la sperimentazione della trasmissione dei dati in tempo reale via UMTS

The 2010 seismic sequence in the area between Macerata and Fermo (Central Italy) and the UMTS real-time data acquisition experimentation

Aladino Govoni^{1,2}, Giancarlo Monachesi¹, Marco Cattaneo¹, Milena Moretti¹, Alberto Delladio¹ e Massimo Frapiccini¹

¹INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti)

²OGS (Istituto Nazionale Oceanografia e Geofisica Sperimentale, Centro Ricerche Sismologiche)

La sequenza sismica del 2010 nelle province di Macerata e Fermo e la sperimentazione della trasmissione dei dati in tempo reale via UMTS

A seguito dei tre eventi sismici di magnitudo ≥ 4.0 , che tra il 10 e il 12 gennaio 2010 hanno colpito la zona del Fermano-Maceratese (Italia centrale), sono state installate due stazioni della rete sismica temporanea dell'INGV ad integrazione delle reti permanenti, nazionale e regionale, già presenti nell'area.

Questa zona ha una sismicità particolare confinata in uno strato sismogenetico fragile ad una profondità compresa tra 15 e 25 km meritevole di un'analisi dettagliata.

Le stazioni sono state collegate in tempo reale al centro di acquisizione della Rete Sismica Nazionale dell'INGV utilizzando dei router UMTS. Questa soluzione si è rivelata estremamente rapida e conveniente. Solo una delle stazioni ha infatti risentito della debolezza del segnale UMTS, ma in generale i dati raccolti hanno contribuito a migliorare le localizzazioni ipocentrali prodotte in tempo reale presso la sala di sorveglianza sismica di Roma.

L'integrazione dei dati acquisiti dalle stazioni temporanee ai dati prodotti dalle reti permanenti, ha fornito un dataset di buona qualità già rielaborato per degli studi di dettaglio dell'area.

Following the three $M_L = 4.0$ seismic events that struck the Fermano-Maceratese area (Central Italy) between January 10, 2010 and January 12, two real time temporary seismic stations of the INGV rapid response seismic network were deployed to improve detection and hypocentral locations.

This area has a peculiar seismicity confined in a fragile seismogenetic layer at a depth between 15 and 25 km that is worth studying.

The stations were connected to the INGV national network data acquisition center using UMTS routers. This solution has proved to be extremely fast and cost effective. Only one of the stations suffered from UMTS signal weakness, yet data gathered contributed to improve the real time hypocentral locations during the sequence.

The joint dataset composed by data from national, temporary and regional stations has been reprocessed producing higher quality data for the seismic studies in the area.

Introduzione

Tra il 10 ed il 12 gennaio 2010, tre scosse di magnitudo (M_L) ≥ 4.0 hanno interessato un ristretto settore del territorio marchigiano meridionale al confine tra le province di Macerata e di Fermo dando l'avvio ad una breve sequenza sismica.

Dal punto di vista storico, la sequenza è localizzata tra le aree di maggior danneggiamento degli eventi di Offida del 3 Ottobre 1943 ($I_O=VIII-IX$) e delle Marche meridionali del 12

marzo 1873 ($I_O=VIII$). Dal punto di vista strumentale, l'area è caratterizzata da una sismicità confinata all'interno di uno strato sismogenetico fragile, compreso tra 15 e 25 km circa di profondità in una zona limitata ai piedi dei Monti Sibillini, un massiccio montuoso lungo l'Appennino Umbro-Marchigiano. Analizzando i cataloghi della sismicità queste caratteristiche risultano essere uniche per l'area umbro-marchigiana [periodo 1981 – 2010, Fonte dati: CSI¹ e ISIDE²; De Luca et al. 2009; Monachesi et al. 2012].

Sin dal 1980, nell'area umbro-marchigiana è attiva una rete

¹<http://csi.rm.ingv.it/>

²<http://iside.rm.ingv.it>

sismometrica regionale che a partire dal 2000 si è notevolmente espansa grazie ai programmi sinergici tra la Regione Marche e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Attualmente, la rete sismometrica integra i dati delle stazioni regionali (Marche e Umbria) e nazionali (Rete Sismica Nazionale, RSN) presenti in questo settore. Questa Rete Sismometrica Integrata [RSI, Cattaneo et al., 2011; D'Alema et al., 2011], è composta da 74 stazioni permanenti in *real-time* che, con diverse modalità trasmissive, vengono acquisite contemporaneamente dagli apparati delle sale di monitoraggio sismico dell'INGV delle sedi di Roma e di Ancona (ospite presso il Centro Funzionale del Dipartimento per le Politiche Integrate di Sicurezza e per la Protezione Civile della Regione Marche - DSPC). Completano la RSI 10 stazioni *dial-up* in trasmissione GSM o UHF, acquisite solamente presso la sede di Ancona, i cui dati vengono mensilmente integrati *off-line* con quelli delle stazioni in *real-time*.

Nonostante la densa rete sismica esistente, sin dalle prime scosse della sequenza oggetto di studio del presente lavoro, è risultato evidente un *gap* azimutale nei settori più orientali relativamente al monitoraggio in *real-time*. Le stazioni *dial-up*, infatti, pur coprendo il *gap*, consentivano il miglioramento qualitativo delle localizzazioni solamente in modalità *off-line*.

Pertanto, ponendo una prioritaria attenzione al miglioramento del monitoraggio in *real-time* dell'evoluzione della sequen-

za, e considerando anche l'interesse scientifico per l'acquisizione di nuovi dati di alta qualità e dettaglio utili per successivi studi di una area sismogenetica così complessa, unitamente allo stato di allarme generatosi tra la popolazione in seguito alle tre scosse principali, il *team* della Rete Sismica Mobile (Re.Mo) del Centro Nazionale Terremoti (CNT) dell'INGV ha disposto un intervento volto all'installazione di due stazioni temporanee mirate a coprire il *gap* suddetto. Nella circostanza è stata nuovamente sperimentata la trasmissione dei dati in tempo reale verso il centro di acquisizione sismica di Roma utilizzando lo *standard* di telefonia mobile GPRS/EDGE (2G) o UMTS/HSDPA (3G). La trasmissione in telefonia mobile 2G o 3G era infatti già stata utilizzata durante l'emergenza sismica in zona frusinate nell'autunno-inverno del 2009 [Moretti et al., 2011], ma solo parzialmente, a causa della scarsa copertura del segnale da parte dell'unico operatore di telefonia mobile allora a disposizione.

L'intervento nell'area Fermo-Maceratese ha infine consentito di collaudare le modalità di intervento congiunto fra operatori di sedi dell'INGV differenti ma comunemente impegnati nel settore del monitoraggio e dell'emergenza.

Di seguito, insieme alla dettagliata descrizione dell'intervento della Re.Mo. nella regione marchigiana, viene mostrata una preliminare e sintetica analisi della sequenza sismica così come risulta dall'integrazione dei dati rilevati dal complesso delle stazioni permanenti, sia in *real-time* che *dial-up*, che temporanee della Re.Mo.

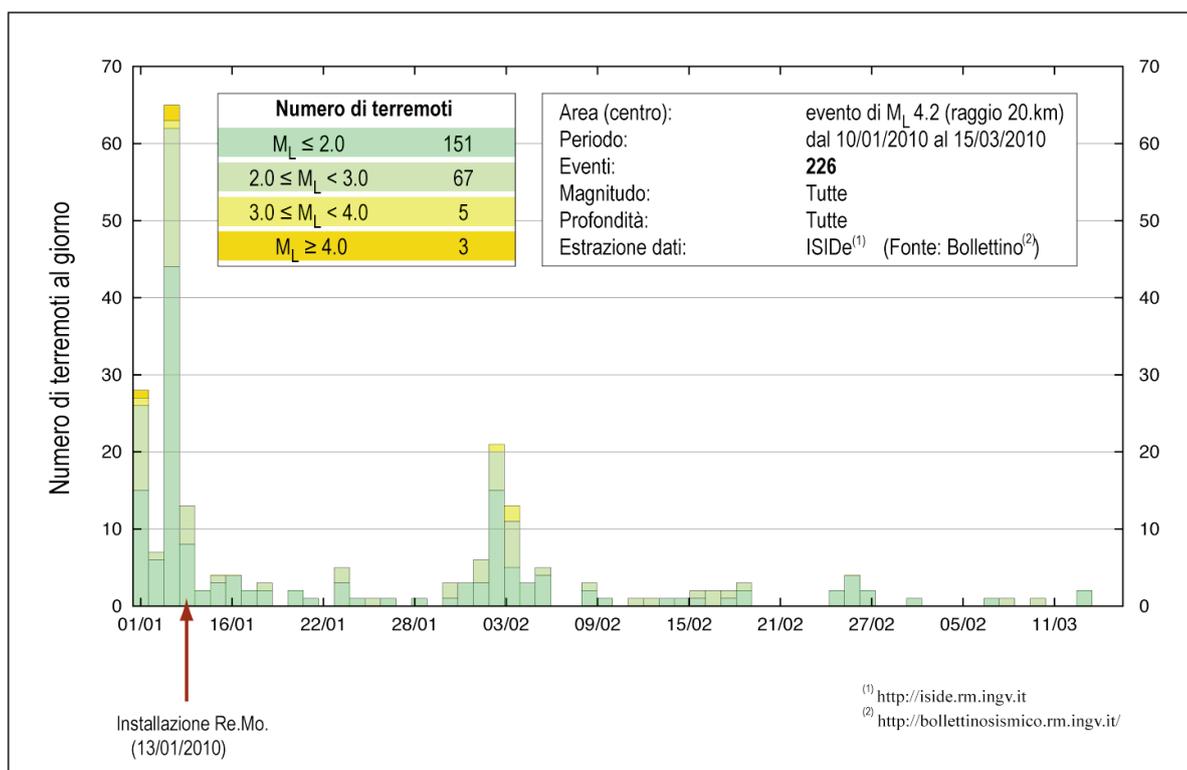


Figura 1 Andamento della sismicità nell'area fermano-maceratese dal 1 gennaio 2010 fino al 15 marzo 2010.

Figure 1 Evolution of the seismicity in the area between Fermo and Macerata from January 1, 2010 to March 15, 2010.

1. La sequenza sismica del 2010 nell'area fermato-maceratese ed il contesto sismotettonico

Più di 100 scosse sono state registrate dalla RSN [Delladio, 2011] dal 10 al 12 gennaio 2010 in una stretta area delle Marche meridionali a cavallo tra le province di Fermo e Macerata. L'attività sismica, ad eccezione di una piccola ripresa all'inizio del mese di febbraio, è andata ben presto scemando (Figura 1). In circa tre mesi sono stati registrati più di 400 eventi dalle stazioni permanenti e temporanee delle reti sismiche presenti in area epicentrale con valori di magnitudo compresi tra 0.7 e 4.2. In Tabella 1 vengono riportati alcuni parametri focali degli eventi più significativi ($M_L \geq 3.0$).

Gli eventi in questione ricadono all'interno della zona sismogenetica (ZS) 918 (Figura 2) che, nel settore della sequenza, è caratterizzata da meccanismi focali "probabilmente distensivi" o "trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture" [da Meletti and Valensise, 2004]. Ad est della ZS 918 gli autori disegnano la ZS 917 che rappresenta la fascia più esterna in compressione dell'arco appenninico settentrionale.

In uno studio recente di De Luca et al. [2009], le soluzioni focali di eventi registrati nel periodo 2005-2006, calcolate utilizzando la polarità del primo arrivo delle onde P con numero di polarità > 25 ed il codice PPFIT [Reasenberg and Oppenheimer, 1985], mostrano un'eterogeneità di soluzioni principalmente legate ad una tettonica compressiva (Figura 2). In particolare la gran parte delle soluzioni riportate in De Luca et al. [2009] sono riferite ad alcuni eventi allineati lungo una struttura con direzione anti-

appenninica e meccanismi focali *strike-slip* destri con uno dei due assi ad orientamento anti-appenninico. Secondo gli autori questa struttura poteva essere interpretata come la rampa laterale destra di un *thrust*. I restanti meccanismi, riferiti ad eventi dispersi nell'area, sono inversi, *strike-slip* e *oblique-slip*; un complesso di dati che conferma un sostanziale regime tettonico compressivo dominante nell'area.

Dall'analisi del catalogo storico [CPTI Gruppo di Lavoro, 2004] l'area epicentrale degli eventi attuali si caratterizza per una scarsa attività sismica ed è compresa tra le aree di massimo danneggiamento di due eventi energeticamente significativi:

- il terremoto di Offida del 3 ottobre 1943 ($I_O=VII-IX$, $I_X=IX$) con effetti massimi valutati del IX-X grado d'intensità nella frazione di San Venanzo nel Comune di Castignano (AP). A Castignano viene assegnato il valore d'intensità VIII o al più IX. L'evento, recentemente riesaminato [Tertulliani et al., 2010], danneggiò gravemente gli edifici di molte località principalmente ricadenti nel territorio della provincia di Ascoli Piceno e marginalmente in quella di Teramo. Un danneggiamento non grave interessò molte località delle province limitrofe. L'evento fu avvertito in un'area che comprende le località di L'Aquila, Roma e Rimini (Figura 3a).
- il terremoto delle Marche meridionali del 12 marzo 1873 ($I_O=VIII$, $I_X=IX$) con effetti massimi a Morello, una contrada di San Ginesio (MC), che fu quasi distrutta. Danni minori ma sempre gravi si verificarono anche a Camerino, San Ginesio e Fabriano (Figura 3b). L'evento (o forse i diversi eventi, n.d.aa.) sembra caratterizzato da una ampissima area di risentimento (la Liguria, la

DATA	ORA (UTC)	LAT (N)	LONG (E)	PROF (KM)	M_L
10/01/2010	08:33:35.64	43.119	13.445	16.9	4.0
10/01/2010	12:37:38.19	43.117	13.442	23.1	3.1
12/01/2010	08:07:16.35	43.125	13.433	16.2	3.0
12/01/2010	08:25:11.32	43.119	13.451	17.1	4.1
12/01/2010	13:35:45.29	43.135	13.433	18.1	4.2
02/02/2010	19:42:42.63	43.100	13.391	26.2	3.5
03/02/2010	07:53:55.76	43.129	13.437	21.3	3.2
03/02/2010	11:16:45.67	43.130	13.434	18.1	3.3

Tabella 1 Parametri focali degli eventi più significativi ($M_L \geq 3.0$) della sequenza sismica che dal 10 gennaio 2010 per circa 3 mesi ha interessato le Marche meridionali in un'area a cavallo delle province di Fermo e Macerata [Fonte dati: ISIDE³, Mele et al., 2011].

Table 1 Focal parameters of the most energetic events ($M_L \geq 3.0$) recorded during the seismic sequence. [Data source: ISIDE³, Mele et al., 2011].

³<http://iside.rm.ingv.it>

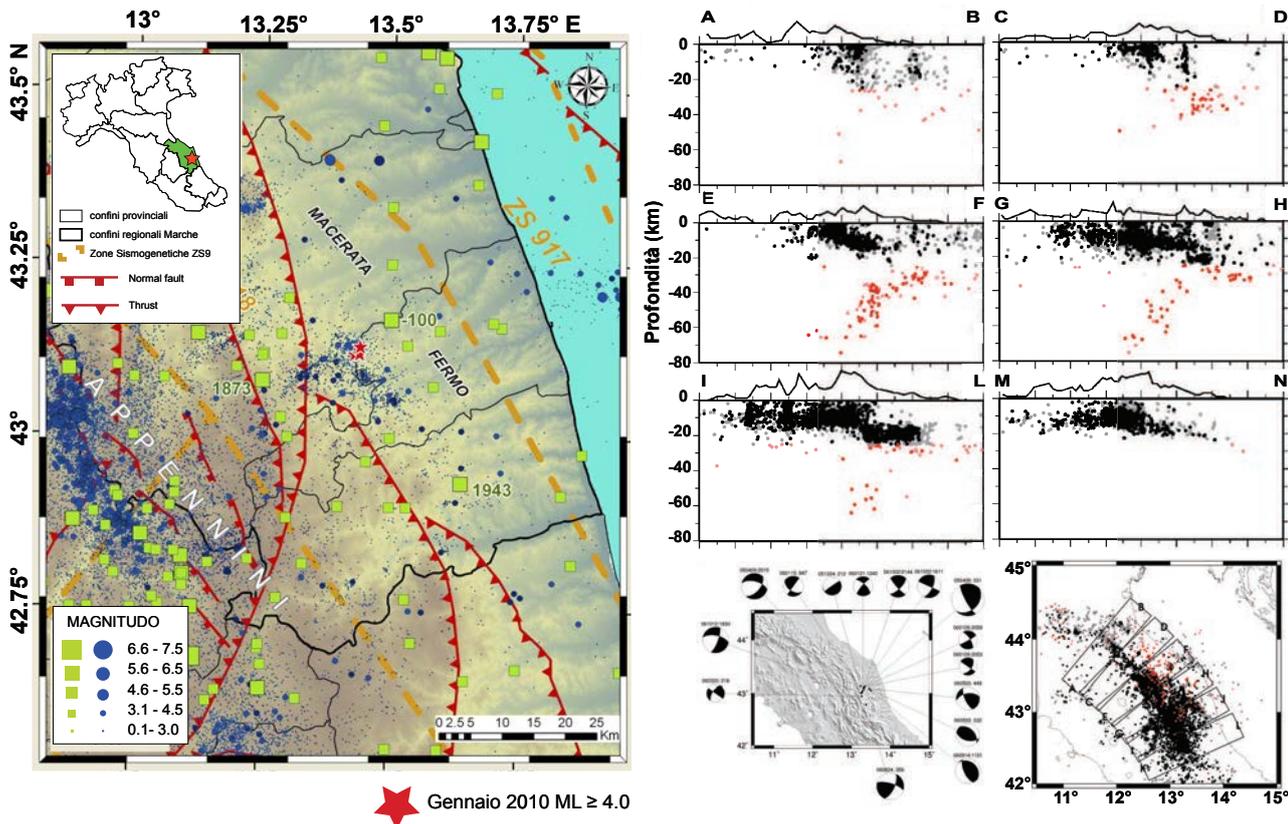


Figura 2 Nella mappa a sinistra sono indicate le aree sismogenetiche [vedi Meletti e Valensise, 2004], le strutture principali, la sismicità storica [CPTI Working Group, 2004⁴] e strumentale recente [Castello et al., 2006; INGVAN, 2011] dell'area interessata dalla sequenza fermana-maceratese. Con le stelle in rosso sono evidenziati gli eventi maggiori del 2010. A destra, la distribuzione degli eventi dal 2002 al 2010 ed i meccanismi focali per alcuni eventi significativi registrati nel 2005 - 2006 [vedi De Luca et al., 2009]. **Figure 2** On the left the map of the area. The sismogenetic structures [see Meletti e Valensise, 2004], the main structures, the historic [CPTI Working Group, 2004⁴] and instrumental seismicity are outlined. On the right the seismicity recorded from 2002 to 2010 with the relative cross sections and the focal mechanism of the most energetic events recorded in 2005-2006 [see De Luca et al., 2009].

Lombardia la Puglia, il Veneto, l'Istria) e dalla ripresa del danneggiamento in località molto distanti tra di loro (Es. Firenze, Figline Val D'Arno, Perugia, Spoleto, Orvieto) e ben separate da aree dove il terremoto fu solamente avvertito con paura (Fiesole, Arezzo, Siena, Umbertide, Narni, Orte, Rieti).

L'evidente differenza d'ampiezza dell'area di risentimento dei due eventi potrebbe suggerire una loro diversa profondità che nel caso dell'evento sismico del 1873 potrebbe essere ben più profonda di quella ipotizzabile per il terremoto del 1943.

Il catalogo storico riporta inoltre un evento accaduto nell'anno 100 aC (I_0 =VIII-IX, I_x =VIII-IX) nel Picenum, ossia in una vasta area comprensiva di buona parte delle attuali Marche (a sud del fiume Esino), ma anche delle attuali province di Teramo e Pescara (regione Abruzzo). I motivi della sua localizzazione ai margini nord orientali della zona fermano-maceratese non sono noti. La genericità

delle informazioni disponibili non consente alcuna valutazione sulla sua reale collocazione e sulla significatività di questo evento per l'area in questione.

Dalla distribuzione della sismicità strumentale più recente, dal 1981 al 2010 [Castello et al., 2006; INGVAN, 2011], compresi gli eventi di questa sequenza (Figura 4), si nota come quest'area sia sede di una frequente attività sismica di debole energia confinata all'interno di uno strato sismogenetico fragile a profondità comprese tra 15 e 25 km circa. Nei limiti dei trenta anni di attività di monitoraggio strumentale regionale, questo strato è presente unicamente nel territorio umbro-marchigiano intorno al 43° parallelo ai piedi della catena dei Monti Sibillini (Appennini centrali) tra le province di Fermo e Macerata e secondo alcuni recenti studi [Chiarabba et al., 2009] il suo comportamento fragile potrebbe essere collegabile alla non idratazione dei volumi di roccia di questa zona, dove la crosta Adriatica viene "raschiata" ed inglobata nel cuneo orogenico.

Inoltre è evidente nei settori più nord-orientali dell'area

⁴<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>

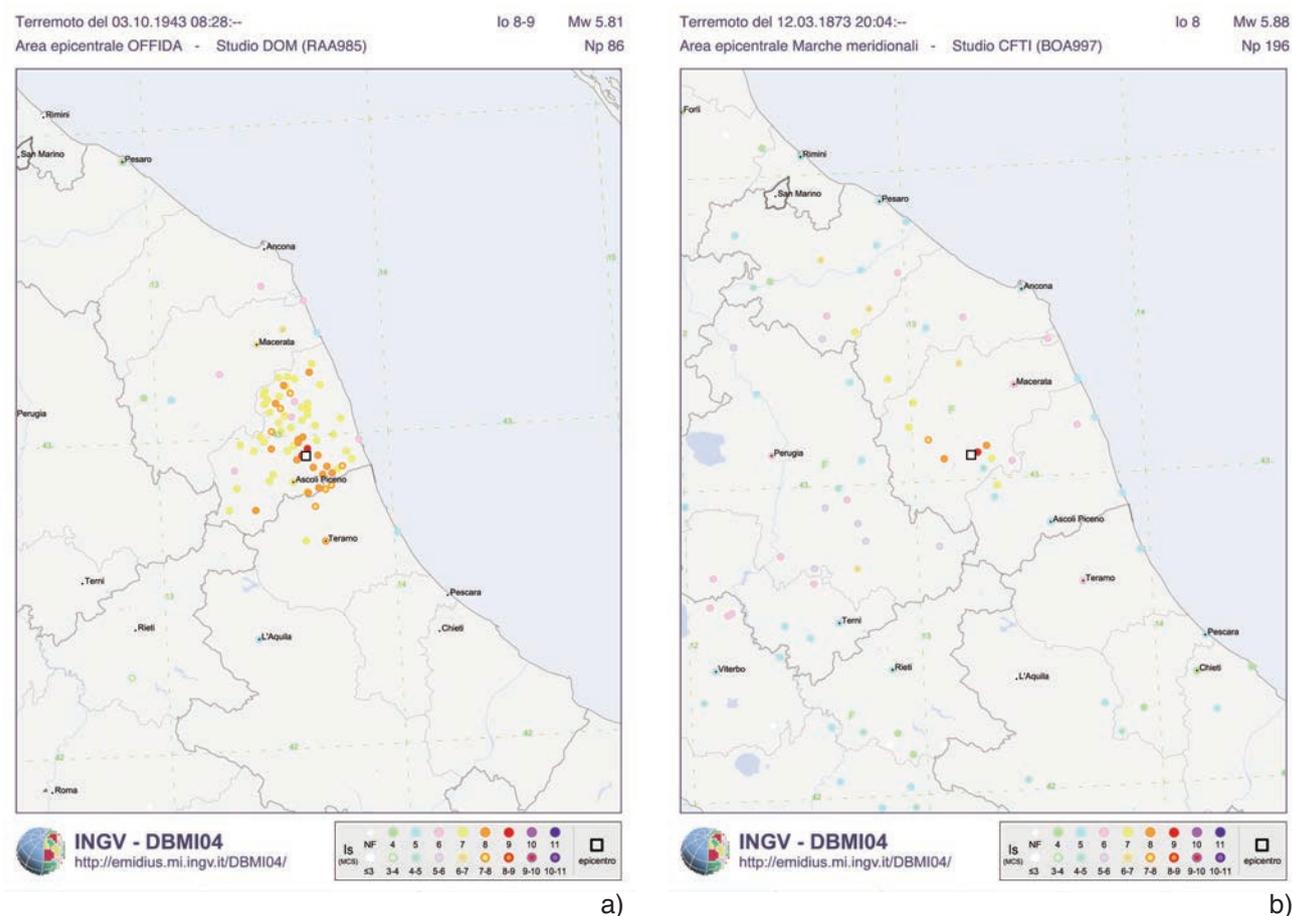


Figura 3 Distribuzione delle intensità osservate in occasione dei terremoti di Offida del 1943 (a) e delle Marche meridionali del 1873 (b). Nel riquadro in alto della Figura 3b è evidenziata la vasta area di risentimento dell'evento del 1873 [Fonte dati: Stucchi et al., 2007]. **Figure 3** Intensities observed for the 1943 Offida earthquake (a) and for the 1873 Southern Marche earthquake (b). In the inset of Figure 3b the large area affected by the 1873 earthquake is outlined [Data source: Stucchi et al., 2007].

fermana-maceratese, in sovrapposizione alla sismicità dello strato sismogenetico sopra descritto, la presenza di una sismicità superficiale associabile alla tettonica distensiva attiva nella crosta superiore delle Marche orientali ed una sismicità subcrostale caratterizzata da poche scosse con ipocentri compresi tra 40 e 70 km di profondità, magnitudo generalmente basse ma con qualche episodio energeticamente significativo e meccanismi focali inversi *strike* o *oblique-slip* [De Luca et al, 2009]. Questi eventi profondi, ancor più evidenti nei settori settentrionali umbro-marchigiani, delineano la geometria della crosta litosferica adriatica che al di sotto dell'Appennino è subdotta a quella tirrenica (Figura 2).

Gli eventi della sequenza oggetto di studio del presente lavoro si collocano all'interno della crosta inferiore nel settore più orientale dello strato fragile e sismogenetico sopra ricordato.

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale⁵, l'area è classificata sismica Zona 2 ovvero di media pericolosità. Il picco di accelerazione al suolo, con probabilità inferiore al 10% di essere superata nei prossimi 50 anni, è com-

preso tra i valori 0,175 g e 0,200 g. Da notare che ai territori limitrofi posti nel settore più nord orientale sono state assegnate accelerazioni massime attese leggermente inferiori comprese tra i valori 0,150 g e 0,175 g. (Figure 5 a e b).

2. Il monitoraggio sismico della regione umbro-marchigiana

Il monitoraggio sismico della regione umbro-marchigiana è oggi garantito da 84 stazioni sismometriche, 74 in *real-time* e 10 in *dial-up* (Figura 6), con modalità di funzionamento descritte in D'Alema et al. [2011] e Cattaneo et al. [2011] a cui si rimanda per maggiori dettagli. La rete è gestita da personale della sezione CNT dell'INGV in servizio presso l'Osservatorio Sismico di Ancona i cui uffici sono ospitati presso il Dipartimento per le Politiche Integrate di Sicurezza e per la Protezione Civile della Regione Marche (Passo del Varano, Ancona).

Come si può osservare in Figura 6, la sequenza sismica in oggetto ha interessato un'area che non è ben coperta dalla

⁵http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html

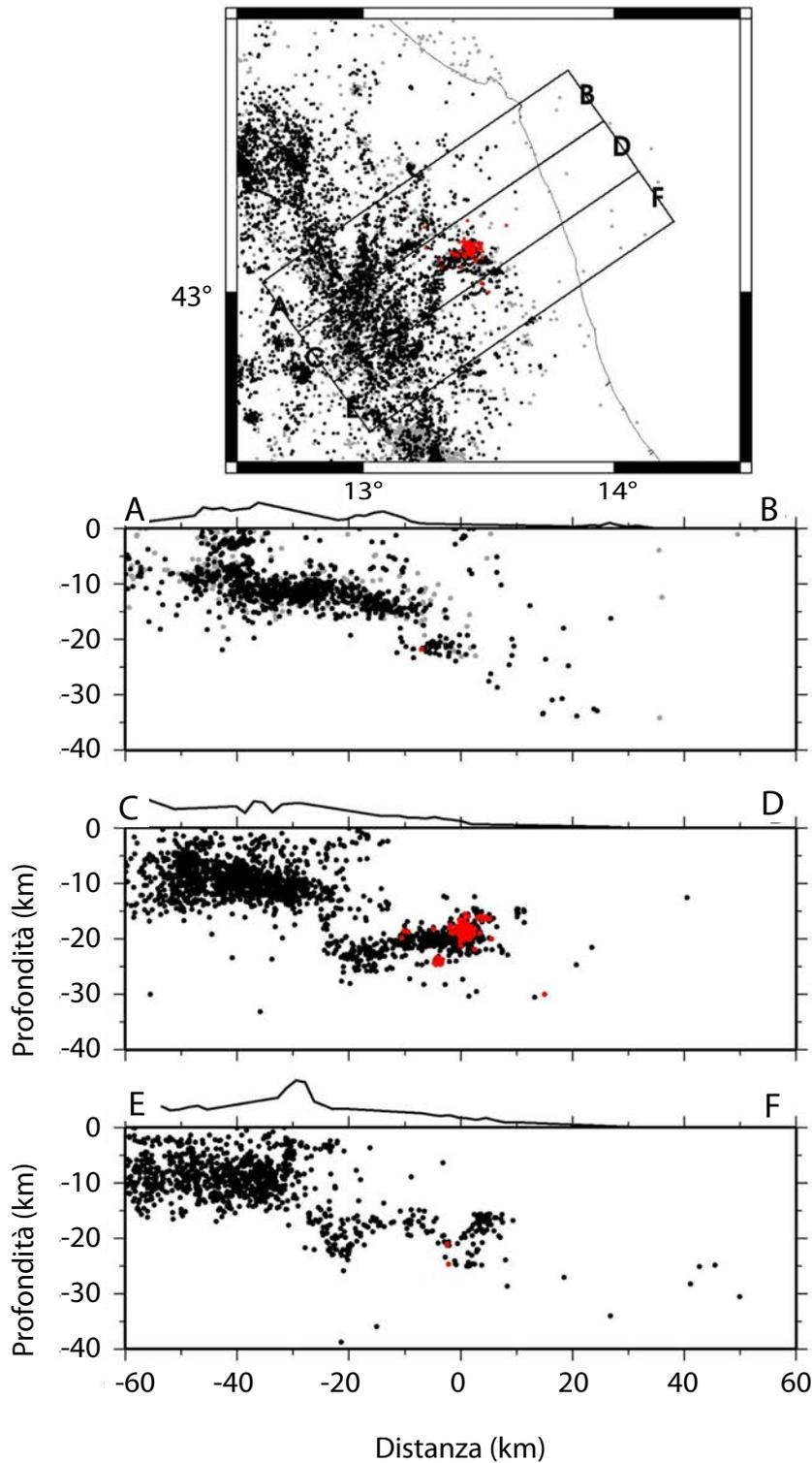


Figura 4 Distribuzione della sismicità registrata dalle reti sismiche regionali e nazionali nel periodo 2002 - 2010. In rosso viene evidenziata la sequenza fermana-maceratese del 2010 [Fonte dati: INGVAN, 2011].

Figure 4 Seismicity recorded by the regional and national seismic network from 2002 to 2010. The events of the 2010 Fermo-Macerata seismic sequence are plotted in red [Data source: INGVAN, 2011].

rete marchigiana in *real-time*. Pertanto per poter meglio seguire l'evoluzione in tempo reale della sismicità dalla sala di sorveglianza sismica dell'INGV di Roma e poter acquisire dati di migliore qualità finalizzati anche allo studio di que-

st'area sismogenetica, è stato deciso l'intervento, seppur minimale, della Re.Mo. [Moretti et al., 2010] realizzato grazie alla proficua collaborazione dei colleghi delle sedi INGV di Roma e Ancona.

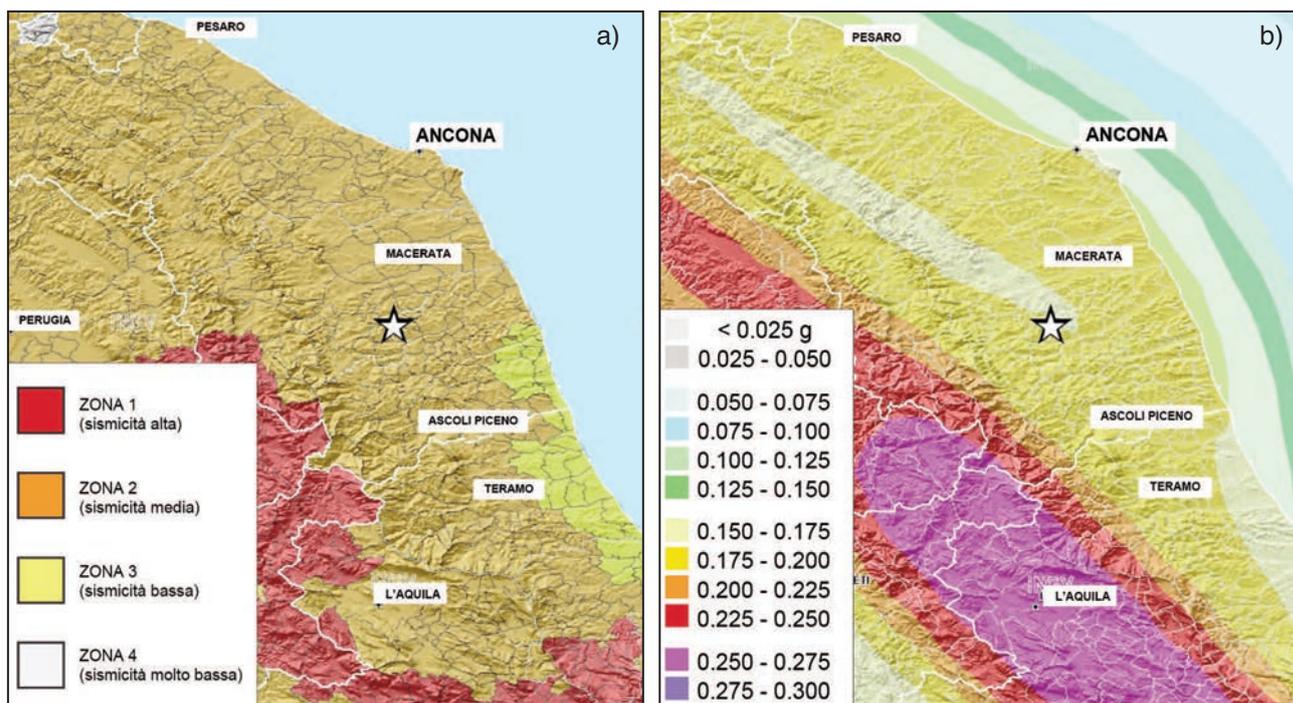


Figura 5 Classificazione e pericolosità sismica dell'area d'interesse. a) Classificazione sismica della Regione Marche (Ordinanza PCM 3275 del 20/03/2003). b) Mappa di pericolosità sismica della Regione Marche (Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, Allegato 1b). La stella indica la localizzazione degli eventi maggiori della sequenza fermano-maceratense.

Figure 5 Seismic classification and hazard map of the area. a) Seismic classification of Regione Marche (Act PCM 3275 del 20/03/2003). b) Seismic hazard map of Regione Marche (Act PCM of April 28, 2006, n. 3519, attachment 1b). The location of the most energetic events of the fermano-maceratense sequence are shown (stars).

2.1 La rete sismica temporanea Re.Mo.: motivazioni e tempistica dell'intervento

In occasione della sequenza sismica marchigiana, la Re.Mo. è stata attivata solo nel tardo pomeriggio del 12 gennaio a seguito dell'evento di $M_L = 4.2$ (Tabella 1) e l'installazione delle stazioni è stata realizzata nel corso della mattina successiva. Il relativo ritardo con cui si è deciso l'intervento della struttura è legato essenzialmente al fatto che la magnitudo massima fino allora avuta ($M_L = 4.0$ delle 8.33 UTC 10 gennaio) era ben al di sotto della soglia di intervento tipica ($M_L \geq 5.0$) e perché, in prima istanza, le stazioni sismiche presenti nell'area sembravano garantire una buona copertura. L'intervento è stato deciso allorché le prime analisi dell'attività sismica effettuate presso la sala di

sorveglianza di Roma hanno evidenziato un *gap* del monitoraggio *real-time* nel settore est dell'area epicentrale (Figura 6).

Nella scelta dei due siti si è tenuto conto della geometria della rete ma anche delle seguenti esigenze:

- disponibilità di un vettore trasmissivo UMTS grazie al quale poter trasferire i dati in tempo reale dal sito remoto al centro di acquisizione dati di Roma;
- possibilità di alimentazione a corrente in modo da ridurre il numero degli interventi per la manutenzione delle batterie;
- sicurezza della strumentazione, privilegiando l'installazione presso proprietà private anche a discapito della qualità del segnale.

SIGLA	LOCALITÀ	COORDINATE			START	STOP
		LAT (N)	LONG (E)	ALT (M)		
T0401	Montottone (FM)	43.06210	13.59570	343	13/01/2010 10:26	11/03/2010
T0402	Abbadia di Fiastra (MC)	43.22130	13.40630	212	13/01/2010 14:18	06/03/2010

Tabella 2 Le caratteristiche delle due stazioni temporanee installate nell'area fermano-maceratense. In Allegato A, le relative schede stazioni.

Table 2 Code, location and recording period of the temporary stations deployed. All details are in Attachment A.

La prima stazione (T0401) è stata installata in un locale di servizio del cimitero di Montottone (FM) mentre la seconda (T0402) è stata montata nel giardino dell'Abbadia di Fiastra, un esteso complesso monastico nel comune di Tolentino (MC). In tal modo sono state rispettate le condi-

zioni ai punti 2 (le stazioni erano alimentate a corrente con batteria tampone) e 3.

In Tabella 2 le caratteristiche principali delle due stazioni installate. Nell'Allegato A sono riportate le schede di ciascun sito con tutti i dettagli necessari.

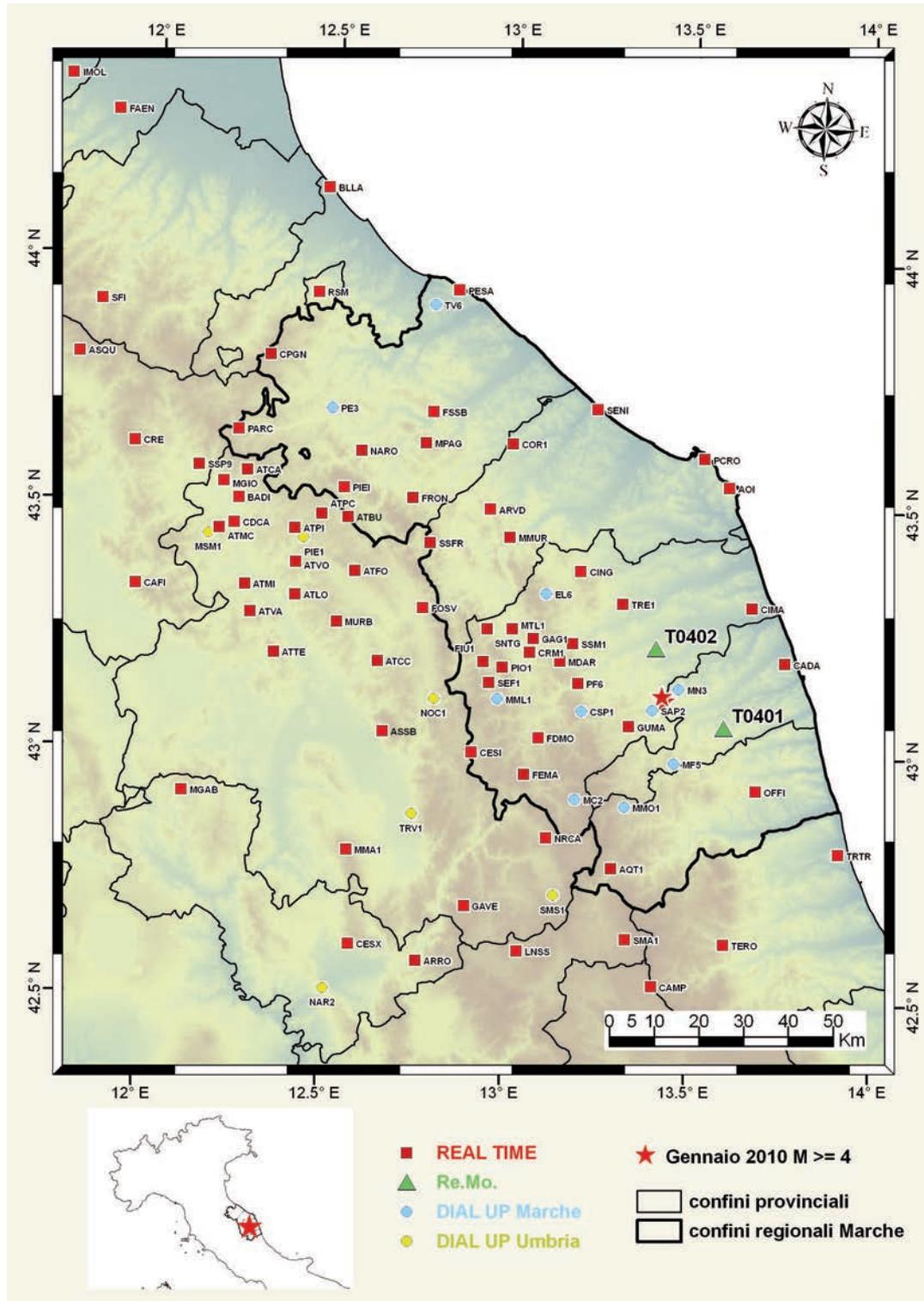


Figura 6 Mappa delle stazioni afferenti alla RSI. La stella in rosso indica la localizzazione degli eventi maggiori ($M_L \geq 4.0$) della sequenza fermano-maceratese.

Figure 6 Map of the RSI seismic network. The stars show the location of the most energetic events ($M_L \geq 4.0$) of the fermano-maceratese sequence.

2.1.1 Strumentazione

Nell'intervento della Re.Mo. sono state utilizzate due delle otto stazioni sismometriche dedicate agli interventi di emergenza sismica [Moretti et al., 2010] dotate di digitalizzatori REF TEK modello 130-1⁶ (da ora 130) equipaggiati con un velocimetro a corto periodo Lennartz LE-3Dlite⁷ ed un accelerometro Kinematics Episensor FBA ES-T⁸ con fondo scala a 2g (Tabella 3). La configurazione *standard* delle stazioni Re.Mo. prevede un passo di campionamento di 125 sps e *gain* 1.

Entrambe le stazioni installate sono state equipaggiate con un *router* UMTS dotato di SIM dati per la trasmissione del dato acquisito in *real-time* alla sala di sorveglianza sismica di Roma (per i dettagli vedi il capitolo successivo). Nella giornata successiva all'installazione è stata completata la configurazione delle stazioni grazie alla collaborazione dell'Unità Funzionale Analisi Dati per la Sismologia (ADS) ed entrambe sono diventate utilizzabili per le localizzazioni al centro di acquisizione di Roma.

Contestualmente, le stazioni hanno acquisito il dato in locale sulle *compact flash* di cui l'acquisitore 130 è dotato. Questo garantisce il recupero completo dell'archivio dei dati anche in caso di problemi nella trasmissione dati UMTS.

3. La trasmissione dei dati tramite UMTS

A gennaio 2010, era già in fase di avanzata sperimentazione presso la Re.Mo. l'utilizzo del *router* UMTS/HSDPA UR5 della Conel⁹ [Falco, 2008] per la trasmissione del dato acquisito in tempo reale. Questo apparecchio basato su un *single*

board computer con sistema operativo Linux ha dimostrato una notevole affidabilità *hardware*, bassi consumi ed è attivamente sviluppato dalla ditta Conel⁹ a livello di *software*. L'impiego dei *router* UMTS è fortemente condizionato dalla qualità del segnale dell'operatore telefonico. Una precedente esperienza condotta durante il monitoraggio dei monti reatini, poco dopo la sequenza Aquilana del 2009, ha dato risultati particolarmente positivi con una perdita di dati inferiore a 1%, mentre un'analoga esperienza ad ottobre 2009, in occasione di uno sciame sismico verificatosi in area frusinate [Moretti et al., 2011] è stata vanificata dall'insufficiente copertura del segnale su tutte le stazioni installate.

Già da alcuni anni, la realizzazione della Rete Sismica Mobile in telemetria satellitare [Re.Mo.Tel., Abruzzese et al., 2011] ha consentito l'acquisizione e la trasmissione in *real-time* di stazioni temporanee al centro operativo della sede romana dell'INGV permettendo un notevole miglioramento della *detection* e della qualità delle localizzazioni prodotte dalla sala di sorveglianza sismica in caso di sequenza sismica. Un'applicazione molto significativa è stata la lunga emergenza aquilana [Margheriti et al., 2010]. Tuttavia l'utilizzo di tale struttura è riservato alle emergenze sismiche maggiori. La trasmissione dei dati tramite UMTS è dipendente dalla qualità del segnale in sito (in Italia la qualità del segnale segue sostanzialmente la densità di popolazione) e dall'affidabilità del servizio garantito dall'operatore telefonico. Entrambe queste caratteristiche sono in continua crescita sul territorio nazionale (anche se gli *standard* generali rimangono inferiori a quelli di altri paesi europei) ma potrebbero venire meno a seguito di una crisi sismica particolarmente rilevante che danneggia le infrastrutture di comunicazione.

STRUMENTO	TIPO	FOTO	CARATTERISTICHE TECNICHE	
REF TEK 130-1 [REF TEK]	Acquisitore		Dinamica	> 135 dB
			Risoluzione	24 bit – 20 VPP
LE-3D lite [Lennartz]	Sensore Velocimetro (corto periodo)		Poli	-4.444 / +4.444j -4.444 / -4.444j -1.083 / 0.000j
			Zeri	Triplo zero all'origine
			Banda frequenza	1 Hz, 80 Hz
Episensor FBA ES-T [Kinematics]	Sensore accelerometro		Fondo scala	2g
			Range dinamico	155 dB
			Banda frequenza	DC a 200 Hz

Tabella 3 La strumentazione in uso presso la Re.Mo. [Moretti et al., 2010].
Table 3 Equipment used by the Re.Mo. Seismic network [Moretti et al., 2010].

⁶<http://www.reftek.com/>

⁷<http://www.lennartz-electronic.de>

⁸<http://www.kinematics.com>

⁹<http://www.conel.cz/>

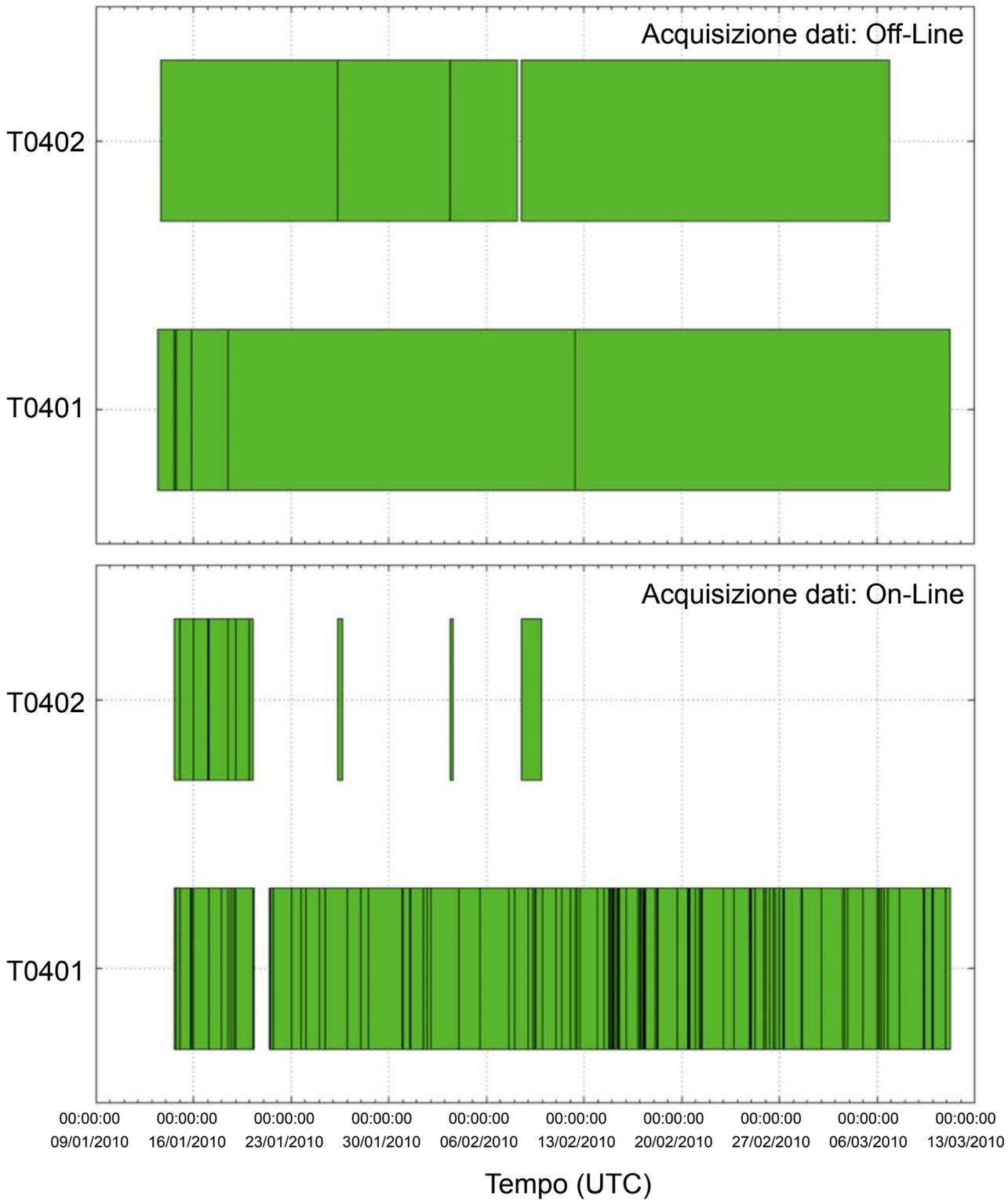


Figura 7 In alto, la situazione dei dati registrati in locale sulle *compact flash*. La percentuale di dati persi è di 0.0211% (8 gap in totale) per la T0401 e di 0.5013% (10 gap in totale) per T0402 a causa di un ritardo nella missione di manutenzione. In basso, situazione dei dati registrati in telemetria al *server* in sede. Mentre la percentuale di dati persi per la T0401 è 0.9390 % (per un totale di 169 gap), la T0402, a causa della pessima copertura UMTS, ha totalizzato quasi il 71% di perdita dati in sole 6 interruzioni alcune delle quali molto prolungate. Vedi Tabella 4 per i dettagli.

Figure 7 Data acquisition comparison between the data actually recorded on each station compact flash (top) and the data received by the data server (bottom). The lost data percentage is 0.0211% (8 gaps) for station T0401 and 0.5013% (10 gaps) for station T0402 (mostly due to a delay in a data gather trip) for the local acquisition. At the data server the percentage of lost data is 0.9390 % (169 gaps) for station T0401, while station T0402, due to the low UMTS coverage, has lost almost 71% of the data with 6 long gaps in which the UMTS router was not able to recover the connection. See table 4 for details.

L'impiego di questa tecnologia con acquisitori 130 risulta però particolarmente efficace sia per i tempi minimi di installazione sia per la semplicità dell'operazione che non necessita di personale particolarmente addestrato. In uno scenario tipico d'intervento, sulla base delle esperienze precedentemente maturate, stimiamo che possano essere coperte dal servizio UMTS una media del 50% delle stazioni installate e che la perdita di dati durante la trasmissione difficilmente possa superare, mediamente, il 10%. Il contributo al miglioramento della qualità delle elaborazioni in tempo reale della sala sismica è comunque rilevante soprattutto se paragonato ai ridotti costi d'installazione ed esercizio. Operativamente, il loro impiego non modifica sostanzialmente le operazioni effettuate: una volta giunti in area epicentrale, l'installazione delle stazioni temporanee viene effettuata nel minor tempo possibile acquisendo i dati in locale in modo da non perdere dati importanti. Dopodiché, valutata la geometria della rete sismica presente (sia di stazioni permanenti che temporanee) e la copertura del segnale UMTS, un certo numero di stazioni (da stabilire di volta in volta) potrebbero essere trasformate da *stand-alone* a *real-time* per garantire un valido contributo al servizio di sorveglianza sismica senza appesantire inutilmente il flusso dati al centro di acquisizione.

La programmazione del *router* è particolarmente semplice ed intuitiva e può essere realizzata sia in locale che in remoto tramite un qualsiasi *browser* WEB.

3.1 Prime valutazioni

Complessivamente, il sito di Montottone (T0401) godeva di una buona copertura del segnale dell'operatore telefonico a nostra disposizione. La trasmissione dati è stata pressoché continua dal 14 gennaio con un buco di circa otto ore tra il 20 e il 21 gennaio dovuto a problematiche legate alla manutenzioni degli impianti di alimentazione della sala *server* pres-

so la sede di Roma.

Più sfortunato il sito all'Abbadia di Fiastra (T0402) dove il segnale si è dimostrato di qualità scarsa e d'intensità altalenante. Paradossalmente il sito si trova sotto ad un ponte radio ma di un altro operatore telefonico con un ottimo segnale, ma quello a nostra disposizione ha avuto grossi problemi di aggancio al segnale e si è spesso scollegato per lunghi periodi malgrado gli interventi di ottimizzazione della posizione dell'antenna e di *reboot* fisico degli apparati.

In Figura 7 è riportato il confronto tra i dati registrati in locale sulla *compact flash* (a) e quelli effettivamente trasmessi ai *server* in sede (b). Dai dettagli sugli intervalli di registrazione riportati in Tabella 4 si vede che la stazione T0401 ha perso circa 1% di dati (~12 ore su ~52 giorni) anche se il numero di interruzioni dovute alla perdita ed al successivo riaggancio al segnale UMTS è stato considerevole (169). La performance di T0402 è stata invece assolutamente negativa, la stazione ha perso più del 70% dei dati. Come già detto, il segnale UMTS sul sito è risultato estremamente altalenante sia in intensità che in qualità del servizio con continui passaggi da UMTS a GPRS (che non ha banda sufficiente per trasmettere tutti e 6 i canali).

Dall'analisi di questi dati si ricava che l'implementazione del sistema di trasmissione via rete UMTS per le stazioni della Re.Mo. ha sicuramente dei vantaggi. A fronte di un aggravio nei consumi elettrici della stazione permette, dove il segnale è sufficiente, di inoltrare i dati al sistema di acquisizione dei dati della RSN contribuendo al miglioramento della qualità delle localizzazioni in tempo reale della sala di sorveglianza sismica con affidabilità superiore al 99%.

Il *router* UMTS è un dispositivo di dimensioni ridotte e viene facilmente collegato all'alimentazione della stazione ed alla porta *ethernet* dell'acquisitore 130 senza particolare aggravio sulle operazioni di installazione. Il segnale UMTS non può in generale essere considerato ad alta affidabilità, ma le perdite

	TIPO DI ACQUISIZIONE	START	STOP	DATI PERSI	IN %	GAP
T0401	DISCO in locale	13/01/2010 10:26:09.3750	11/03/2010 06:37:36.7430	0d00h17m14.2160s	0.0211	8
	UMTS real-time	14/01/2010 14:21:06.7990	11/03/2010 06:37:36.7430	0d12h33m00.3200s	0.9390	169
	TIPO DI ACQUISIZIONE	START	STOP	DATI PERSI	IN %	GAP
T0402	DISCO in locale	13/01/2010 14:18:30.7590	06/03/2010 22:10:47.6080	0d06h17m42.6000	0.5013	10
	UMTS real-time	14/01/2010 14:20:57.2320	09/02/2010 23:11:56.9510	18d16h35m42.0400s	70.8849	6

Tabella 4 Confronto dei periodi di registrazione tra i dati memorizzati direttamente sulla *compact flash* della stazione e quelli ricevuti dal *server* di acquisizione. Non è stata distinta la perdita di circa 8 ore dovuta allo spegnimento (brutale) del *server* di acquisizione dati in seguito ai lavori di adeguamento dell'impianto elettrico dell'Istituto.

Table 4 Data acquisition comparison between the data actually recorded on each station compact flash (top) and the data received by the data server (bottom). An 8 hour downtime of the data server caused by the maintenance of the UPS system is included in the figures.

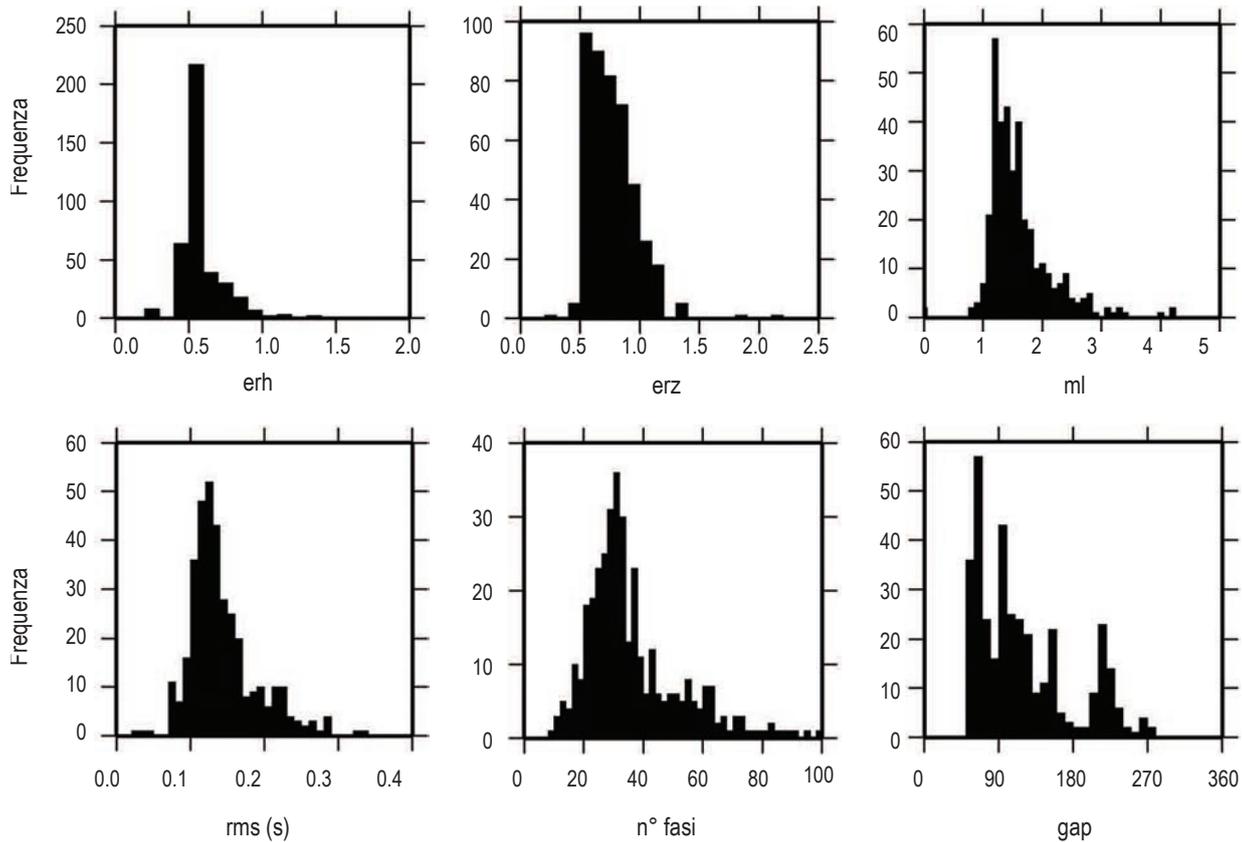


Figura 8 Analisi dei dati registrati e delle localizzazioni.
Figure 8 Analysis of data recorded and localizations.

dei dati in trasmissione non sono problematiche ai fini degli interventi della Re.Mo. poiché le stazioni archiviano comunque i dati localmente.

4. Analisi dati, uno sguardo preliminare alla sequenza

Di seguito vengono riportate alcune considerazioni, molto preliminari, che emergono dall'analisi di *routine* dei dati della sequenza. Ne è stata decisa una citazione in questo lavoro non tanto per fornire una completezza interpretativa, ma per evidenziare la qualità del *dataset* realizzato integrando i dati registrati dal complesso delle stazioni permanenti in *real-time*, *dial-up* e temporanee. Le considerazioni sono di carattere generale e non conclusive visto che la sequenza – analizzata sinteticamente in Amato et al., 2010 – è oggetto di uno studio approfondito a partire dal *dataset* collezionato.

Nel periodo compreso tra il 10 gennaio e l'11 marzo 2010 la rete nel suo complesso ha rilevato 413 eventi (7876 fasi P - una media di 19 fasi P ad evento - e 7679 fasi S) interpretati e localizzati con le procedure ordinarie in uso nella sede di Ancona mediante l'applicativo SacPicker [Spallarossa, 2011] che consente il *picking* manuale, la localizzazione con

Hypoellipse [Lahr, 1989] e l'assegnazione della magnitudo a partire dalla deconvoluzione a Wood Anderson dei diversi tipi di sensori in uso. In Figura 8, è riportata una sintesi dei dati disponibili e della qualità delle soluzioni calcolate con le metodologie ordinarie.

In Figura 9, è visibile la distribuzione degli eventi e si evidenzia come la sequenza potrebbe aver interessato diverse strutture:

- La prima è più orientale (in Figura 9, cerchio rosso) ed è caratterizzata da pochi eventi, debolissimi di $M_L < 1.3$. Gli ipocentri sono i più superficiali di tutta la sequenza, localizzati intorno ai 16 km, e sembrano disegnare una struttura sub-orizzontale. Non sono al momento disponibili i meccanismi focali degli eventi di questa struttura in quanto i calcoli finora fatti sono stati per il momento limitati agli eventi con un numero di polarità > 25 , condizione difficilmente raggiungibile per questi debolissimi eventi.
- La seconda racchiude le tre maggiori scosse e la gran parte delle repliche (Figura 9, cerchio blu). Pur nella dispersione delle localizzazioni gli epicentri sembrano allungati in direzione N-S o NNW-SSE coerentemente con uno dei piani dei meccanismi focali calcolati per i *mainshock*. In profondità gli ipocentri si distribuiscono principalmente tra i 17 e i 20 km mostrando la tendenza

ad un allungamento lungo un piano E-NE vergente con una inclinazione di circa $30^\circ - 40^\circ$. I meccanismi focali delle tre maggiori scosse calcolati con due diverse metodologie [QRCMT, vedi Hermann et al., 2011¹⁰, e FPFIT], sebbene le differenze tra i due metodi siano ben noti, mostrano soluzioni convergenti di tipo inverso con una debole componente laterale destra (Figura 10). L'asse P è quasi sub-orizzontale ed una direzione è parallela al fronte di compressione. I meccanismi focali calcolati con FPFIT, per le repliche di questa struttura con un numero di polarità > 25 , mostrano per la maggior parte degli eventi soluzioni sostanzialmente analoghe a quelle calcolate per gli eventi principali. Per l'evento del giorno 3 febbraio alle ore 11:16 UTC i meccanismi focali calcolati con FPFIT a partire dalle polarità dei primi arrivi e QRCMT sono diversi. Il quadro complessivo sembra disegnare la geometria di un *back-thrust* con uno *strike* N-S o NNW-SSE, immergente a E-NE con una inclinazione che secondo la distribuzione degli eventi potrebbe essere di $30^\circ - 40^\circ$; non proprio simile al dip proposto dalle soluzioni focali delle scosse principali.

- La terza struttura, la più occidentale (in Figura 9, cerchio verde), si è attivata il 2 febbraio ed è caratterizzata da pochi eventi il maggiore di magnitudo 3.6. Gli epicentri sembrano disegnare una struttura con allungamento WNW-ESE. Gli ipocentri sono dispersi e sono i più profondi di tutta la sequenza (tra i 24 e 25 km). Per alcuni dei maggiori eventi di questa sequenza si dispone dei mecca-

nismi focali calcolati a partire dalle polarità che mostrano soluzioni di tipo *strike-slip* destro.

Le eventuali dipendenze/connessioni tra le diverse strutture e loro ruoli nella propagazione della sequenza sono da analizzare.

Va rilevato infine che al momento della redazione di questo rapporto sono in corso di analisi le soluzioni focali di altre repliche che sembrano definire ulteriori famiglie di soluzioni. Queste, pur confermando come tale area sia sostanzialmente caratterizzata da una tettonica compressiva, sottolineano quella complessità/eterogeneità crostale su cui è necessario indagare più approfonditamente.

I dati acquisiti dalle due stazioni della Re.Mo., regolarmente registrate presso il sito presso l'*International Seismological Centre* (ISC)¹¹, sono disponibili tramite il portale EIDA¹² [Mazza et al., 2011], accedendo all'area *Data Request* e selezionando le stazioni contenute nell'area oggetto di studio. All'interno di tale selezione sono comprese, insieme alle stazioni temporanee, le stazioni delle RSN.

Conclusioni

La Re.Mo. in trasmissione UMTS, copertura telefonica permettendo, si presenta come una valida soluzione alternativa per l'attività di monitoraggio in tempo reale facilmente integrabile con la Re.Mo.Tel. [Abruzzese et al., 2011], soprattutto

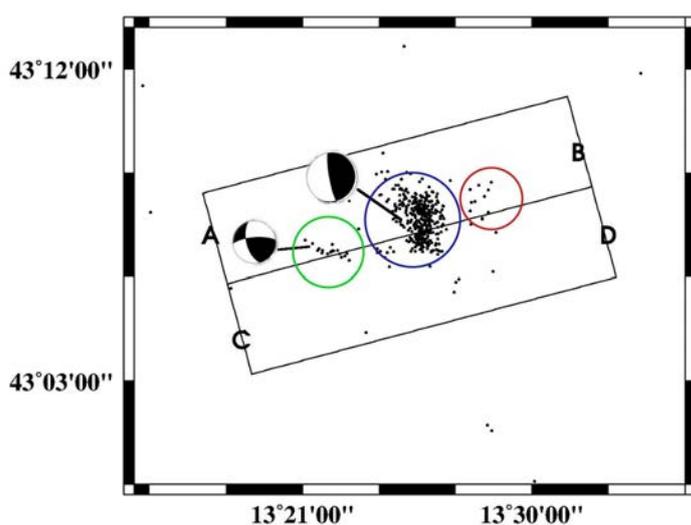
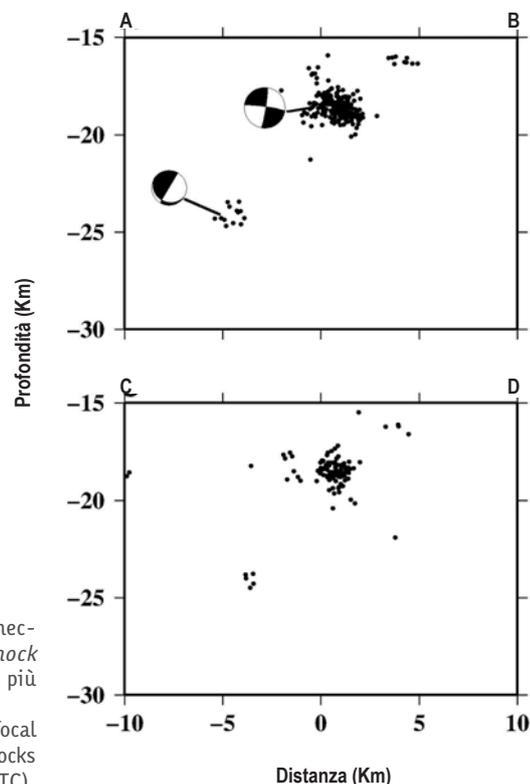


Figura 9 Distribuzione degli eventi della sequenza fermano-maceratense e meccanismi focali calcolati con FPFit a partire dalla polarità di uno dei *mainshock* (12 gennaio alle ore 08:25 UTC) e di una replica localizzata nella struttura più profonda (02 febbraio alle ore 19:42 UTC).

Figure 9 The fermano-maceratense seismic sequence location map and the focal mechanisms computed with FPFit using polarities of one of the *mainshocks* (January 12, 08:25 UTC) and of one of the deeper events (February 2, 19:42 UTC).



¹⁰http://www.eas.slu.edu/eqc/eqc_mt/MECH.IT/

¹¹<http://www.isc.ac.uk/>

¹²<http://eida.rm.ingv.it/>

in considerazione dei maggiori costi (in termini d'installazione e manutenzione) di quest'ultima.

Durante l'emergenza marchigiana la trasmissione UMTS dei dati è stata sicuramente più affidabile rispetto alle precedenti sperimentazioni (Montereale e Frusinate nel 2009) migliorando la *detection* degli eventi e la qualità dei parametri focali dei terremoti calcolati dai turnisti della sala di sorveglianza sismica di Roma. Questo ha permesso di monitorare l'evoluzione dell'attività sismica della zona con maggiore precisione.

La buona riuscita della sperimentazione ha permesso di evidenziare i vantaggi legati all'economicità della soluzione ed alla semplicità d'uso degli apparati utilizzati. Si è quindi deciso di dotare la Re.Mo. di un'infrastruttura di comunicazione dati basata sui router UMTS. I router UR5 della Conel supportano l'opzione dual SIM e consentono il cambio dinamico da un operatore all'altro in funzione della qualità del segnale e del servizio dati, per

cui è possibile minimizzare le problematiche di copertura del segnale degli operatori telefonici sui siti di installazione. Il lavoro d'ingegnerizzazione dei router per l'impiego *plug&play* in campagna e la realizzazione di un servizio di acquisizione dati dedicato ad alta affidabilità saranno argomento di uno specifico rapporto tecnico che è già in preparazione.

Sono state fatte delle elaborazioni routinarie relative alla distribuzione degli eventi, ma sicuramente occorrerà eseguire indagini più approfondite mediante tecniche non ordinarie che potrebbero portare ad un miglioramento complessivo della qualità delle localizzazioni e delle conoscenze in questa area complessa ma importante per la comprensione dei caratteri tettonici e sismogenetici della regione.

In generale, la zona interessata dalla sequenza oggetto di studio del presente lavoro conferma il sostanziale regime compressivo già visto nelle elaborazioni dei dati registrati in precedenza [De Luca et al. 2009, Chiarabba et al., 2009].

Pur nella dispersione dei risultati e nei limiti delle prime elaborazioni, la distribuzione epi-ipocentrale ed i meccanismi focali calcolati fanno ipotizzare l'attivazione di un *back-thrust* e di una struttura trascorrente profonda, collocabili all'interno della crosta inferiore ma non molto distanti dall'inizio dell'incarcamento della porzione di litosfera adriatica subdotta sotto la catena appenninica.

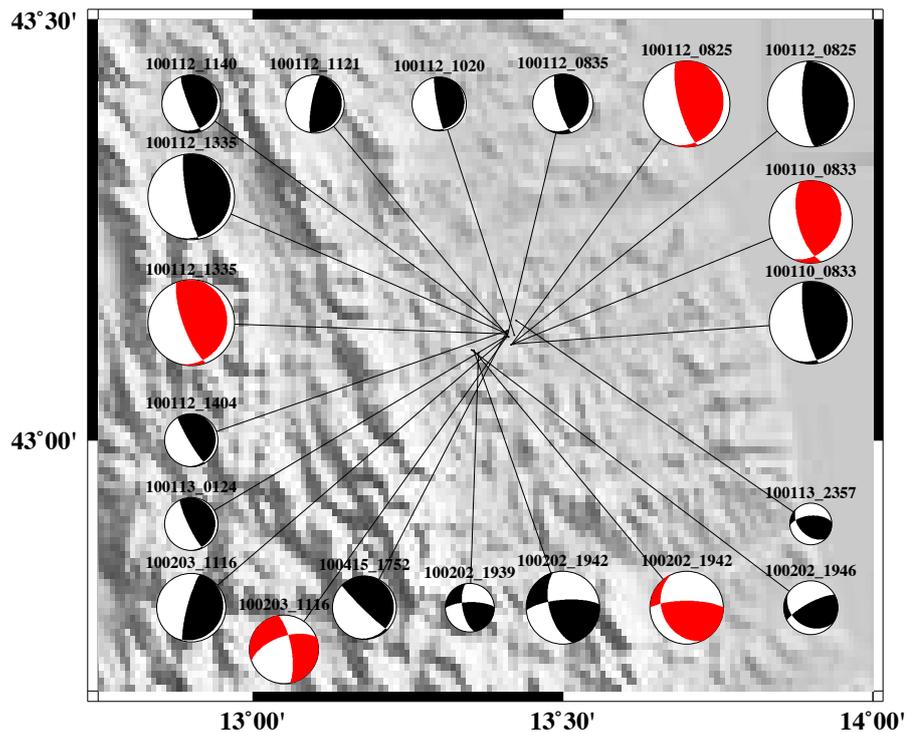


Figura 10 Confronto tra i meccanismi focali calcolati per gli eventi della sequenza fermano-maceratese. In rosso le soluzioni calcolate con QRCMT [Hermann et al., 2011], in nero quelle calcolate con FPFIT (solo per gli eventi con un numero di polarità > 25).

Figure 10 Comparison of the focal mechanisms computed for the fermano-maceratese seismic sequence. The solutions computed with QRCMT [Hermann et al., 2011] are red, while those computed with FPFIT (only events with at least 25 polarities) are black.

Come ricordato il *dataset* acquisito sarà oggetto di uno studio più approfondito finalizzato alla verifica della solidità delle ipotesi finora emerse. Si sta procedendo alla rilocalizzazione della sequenza mediante tecniche più raffinate (*double difference*) e qualora i nuovi risultati delle analisi dovessero confermare le valutazioni preliminari brevemente indicate in questo studio, si renderà necessario chiarire le diverse tipologie strutturali e la loro eventuale interconnessione per comprendere se e in che modo queste abbiano influenzato la modalità di propagazione della sequenza.

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare:

- il **Comune di Montottone** e la **Fondazione Giustiniani Bandini** per la cortese disponibilità offerta nella ricerca dei siti, e per aver ospitato gli apparati della Re.Mo. in aree di loro proprietà.
- Claudio **Chiarabba** per alcuni suggerimenti;
- Simone **Marzorati** il quale, lavorando sui *doublets* della sequenza, con i suoi dubbi, ci ha costretto a ripiegare su vie diverse da quelle già percorse;
- l'UF **ADS** per la proficua collaborazione che ha per-

messo l'acquisizione in *real-time* dei dati della Re.Mo. Un ringraziamento anche a Gaetano **De Luca** per i preziosi suggerimenti.

I dati preliminari sulla sismicità strumentale sono stati estratti dal *dataset* della RSI, giornalmente elaborato con procedure ordinarie da tutti gli operatori della sede dell'INGV di Ancona.

Le figure sono state realizzate con GMT e ArcGIS.

Bibliografia

- Abruzzese, L., De Luca, G., Cattaneo, M., Cecere, G., Cardinale, V., Castagnozzi, A., D'Ambrosio, C., Delladio, A., Demartin, M., Falco, L., Franceschi, D., Govoni, A., Memmolo, A., Migliari, F., Minichiello, F., Moretti, M., Moschillo R., Pignone, M., Selvaggi G. e L. Zarrilli (2011). *La Rete Sismica Mobile in telemetria satellitare (Re.Mo.Tel.)*. Rapporti Tecnici INGV, N° 177.
- Amato A, Cattaneo M., Chiaraluce L., Cocco M., D'Alema E., Frapiccini M., Govoni A., Latorre D., Marzorati S., Monachesi G. e G. Selvaggi (2010). *Il controllo dell'attività sismica in Italia Centrale tra migrazioni e regimi tettonici. Alcuni casi recenti in Alta Val Tiberina e nell'area marchigiana tra Fermo e Macerata*. 29° Convegno Nazionale GNGTS – Prato 26-28/10/2010.
- Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C. e A. Amato (2006). *CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002, versione 1.1*. INGV-CNT, Roma. <http://csi.rm.ingv.it/>
- Cattaneo M., D'Alema E., Frapiccini M., Marzorati S e G. Monachesi (2011). *Acquisizione presso la sede di Ancona*. In Cattaneo M e Moretti M, eds. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico "Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell'arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico" Roma 20 | 21 dicembre 2010. Miscellanea INGV; 2011; 10 ;124-127. ISSN 2039-6651.
- Chiarabba C., De Gori P. e F. Speranza (2009). *Deep geometry and rheology of an orogenic wedge developing above anorthern-central Apennines (Italy)*. *Lithosphere* 2009; 1; 95-104. doi:10.1130/L34.1
- CPTI Gruppo di Lavoro (2004). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*. INGV, Bologna. Internet website <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/>.
- D'Alema E, Cattaneo M., Frapiccini M., Marzorati S., Monachesi G. e M. Ferretti (2011). *Rete Sismometrica Marchigiana e sua integrazione con la RSN e Rete AVT*. In Cattaneo M e Moretti M, eds. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico "Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell'arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico" Roma 20 | 21 dicembre 2010. Miscellanea INGV, N° 10, pp. 19-21. ISSN 2039-6651.
- Delladio A. (2011). *Monitoraggio sismico del territorio nazionale*. In "Riassunti del I° Workshop Tecnico del TTC1.1 | 20-21 dicembre 2010". In Cattaneo M e Moretti M, eds. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico "Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell'arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico" Roma 20 | 21 dicembre 2010. Miscellanea INGV, N° 10, pp. 11-16. ISSN 2039-6651.
- De Luca G., Cattaneo M., Monachesi G and A. Amato (2009). *Seismicity in Central and Northern Apennines integrating the Italian national and regional networks*. *Tectonophysics*; 476, Issues 1-2; 121-135. doi:10.1016/j.tecto.2008.11.032.
- Di Stefano, R., E. Kissling, C. Chiarabba, A. Amato, and D. Giardini (2009). *Shallow subduction beneath Italy: Three-dimensional images of the Adriatic-European-Tyrrhenian lithosphere system based on high-quality P wave arrival times*. *J. Geophys. Res.*, 114, B05305, doi:10.1029/2008JB005641.
- Falco L. (2008). *Implementazione e gestione di una rete di monitoraggio GPS e sismica mediante tecnologie GPRS/EDGE/UMTS/HSDPA*. Rapporti Tecnici INGV, N° 69.
- Herrmann R.B., L. Malagnini and I. Munafò (2011). *Regional moment tensors of the 2009 L'Aquila earthquake sequence*. *Bull. Seism. Soc. Am.* 101, 975-993. doi: 10.1785/0120100184.
- INGVAN (2011). *Il data set della Rete Sismometrica Integrata dell'Italia centro orientale dal 2002 al 2011*. Open File, non pubblicato.
- Lahr, J. C., (1989). *HYPHELLIPSE/Version 2.0: a computer program for determining local earthquake hypocentral parameters, magnitude, and first motion pattern*. U. S. Geol. Surv. Open File Rep., 95, 89-116.
- Margheriti M., Anselmi M., Antonioli A., Azzaro, R., Baccheschi, P., Bono, A., Castello, B., Chiarabba, C., Chiaraluce, L., Ciaccio, M.G., Cimini, G.B., Colasanti, G., Colasanti, M., Criscuoli, F., D'Amico, S., De Gori, P., Delladio, A., Di Bona, M., Di Stefano, R., Frepoli, A., Giandomenico, E., Giovani, L., Govoni, A., Improta, L., Lauciani, V., Mandiello, A.G., Marcocci, C., Mazza, S., Moretti, M., Pagliuca, N.M., Piana Agostinetti, N., Piccinini, D., Seccia, D., Lucente, F.P., Pintore, S., Pizzino, L., Platania, P.R., Quintilliani, M., Rapisarda, S., Selvaggi, G., Serratore, A., Silvestri, M., Silvestri, S., Soldati, G., Valoroso, L. e L. Zuccarello (2010). *Emergenza "Aquila2009": La campagna di acquisizione dati della Rete Sismica Mobile stand-alone del Centro Nazionale Terremoti*. Rapporti Tecnici INGV, N° 151.
- Mazza, S., Bono, A., Lauciani, V., Marcocci, C., Mandiello, A., Margheriti, L., Mele, F., Moretti, M., Pintore, S., Quintiliani, M., Scognamiglio, L. e Selvaggi, G., (2011). *L'archiviazione e la distribuzione dei dati sismologici del CNT e l'integrazione dei dati della RSM*. In:

- “Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell’arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico”, a cura di M. Cattaneo e M. Moretti, Miscellanea INGV, N°10, 131-134.
- Mele F., Basili A., Bono A., Lauciani V., Mandiello A., Marcocci C., Mazza S., Pintore S., Quintiliani M., Scognamiglio L. e G. Selvaggi (2011). *La base di dati ISIDE: stato attuale e possibili sviluppi*. In Cattaneo M. e Moretti M., eds. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico “Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell’arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico” Roma 20 | 21 dicembre 2010. Miscellanea INGV, N°10; 128-130. ISSN 2039-6651.
- Meletti C. and Valensise G. (2004). *Zonazione sismogenetica ZS9 – Appendice 2 al Rapporto Conclusivo*. In: Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 allegati. website <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>.
- Monachesi G., Frapiccini M., Cattaneo M., Marzorati S., Carannante S., D’Alema E., Ferretti M. e De Luca G., (2012). *CICO1d, un catalogo parametrico dell’Italia centro orientale dal 2002 al 2008*. Regione Marche Dipartimento per le Politiche Integrate di Sicurezza e per la Protezione Civile, Centro Funzionale per la Meteorologia, l’Idrologia e la Sismologia - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Ancona-Roma. Web site: <http://ingvan.protezionecivile.regione.it/cico1d/home.html>
- Moretti M., Chiarabba C., Cianchini G., Colasanti G., Criscuoli F., De Gori P., Frepoli A., Govoni A., Marchetti A. e A. Serratore (2011). *L’emergenza sismica nel Frusinate (Ottobre 2009 – Gennaio 2010): l’intervento della Rete Sismica Mobile stand-alone e l’analisi dati*. Rapporti Tecnici INGV, N° 200.
- Moretti M. e A Govoni (2011). *La Rete Sismica Mobile del CNT e la Co.Re.Mo*. In: Cattaneo M. e Moretti M., eds. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico “Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell’arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico” Roma 20 | 21 dicembre 2010. Miscellanea INGV, N° 10; 51-54. ISSN 2039-6651.
- Moretti M., Govoni A., Colasanti G., Silvestri M., Giandomenico E., Silvestri S., Criscuoli F., Giovani L., Basili A., Chiarabba C. e Delladio A. (2010). *La Rete Sismica Mobile del Centro Nazionale Terremoti*. Rapporti Tecnici INGV, N°137.
- Reasenber P. and D. Oppenheimer (1985). *FPPFIT, FPPLLOT and FPPAGE: FORTRAN computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions*. U.S. Geol. Surv. Open-File Rep. 85-739.
- Spallarossa D., Ferretti G., Scafini D. and M. Pasta (2011). *Picking automatico nella rete sismica dell’Italia Nord-Occidentale (RSNI)*. In: Cattaneo M. e Moretti M., eds. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico “Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell’arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico” Roma 20 | 21 dicembre 2010. Miscellanea INGV, N°; 10, pp 141-146. ISSN 2039-6651.
- Stucchi M., Camassi R., Rovida A., Locati M., Ercolani E., Meletti C., Migliavacca P., Bernardini F. e R. Azzaro con la collaborazione di Albini P., Castelli V., D’Amico S., Gasparini C., Gulia L., Leschiutta I., Meroni F., Mirto C., Moroni A. e T. Tuvé (2007). *DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04*. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>. Quaderni di Geofisica, Vol. 49, pp. 38.
- Tertulliani A., Castelli V., Rossi A., Vecchi M. e F. Gottardi (2010). *Revisione del terremoto del 3 ottobre del 1943*. 29° Convegno Nazionale GNGTS - Prato, 26 - 28 ottobre 2010.

allegato schede stazioni

SCHEDA STAZIONE

T0401

MONTOTTONE (FM)

CARTA D'IDENTITÀ

IN	13/01/2010
OUT	11/03/2010
LAT	N 43.06210
Lon	E 13.59570
ALT	343 M

STRUMENTAZIONE

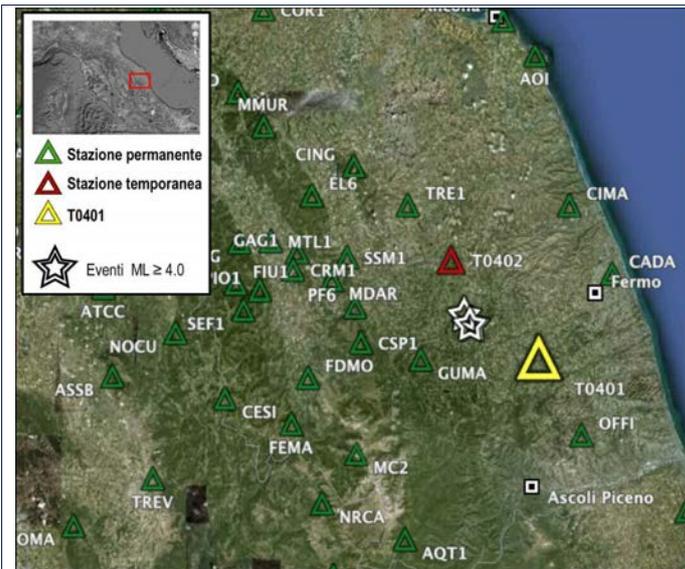
ACQUISITORE	REF TEK 130
SENSORE	LE-3DLITE
SENSORE	EPISENSOR FBA ES-T
GPS	REF TEK
ALIMENTAZIONE	PANNELLI SOLARI
BATTERIA	40AH (TAMPONE)

CONFIGURAZIONE

PASSO DI CAMPIONAMENTO	125
GAIN	1

STATION CODE

VELOCIMETRO	IV.T0401..EH?
ACCELEROMETRO	IV.T0401..HN?



La stazione, in acquisizione dalle 10.30 UTC circa del 13 gennaio 2010, è stata installata in un locale di servizio del cimitero del comune di Montottone (in provincia di Fermo) (vedi mappa e foto).

Il sito scelto ha garantito un riparo sicuro per la strumentazione e la disponibilità del segnale UMTS per la trasmissione *real-time* del dato (vedi Capitolo 3 per i dettagli). La percentuale di dati persi per la



T0401 è 0.9390% (per un totale di 169 gap) che sono stati comunque recuperati grazie alla simultanea acquisizione in locale. Alla fine la perdita di dati è di modesta entità, pari al 0.0211% (8 gap in totale) (vedi Tabella 4 e Figura 7).

I dati acquisiti dalla stazione temporanea sono reperibili presso il portale EIDA¹ (vedi Capitolo 3).

La stazione T0401 è stata regolarmente registrata presso l'ISC².

¹ <http://eida.rm.ingv.it>

² <http://www.isc.ac.uk/>

SCHEDA STAZIONE

T0402

ABBADIA DI FIASTRA (TOLENTINO - MC)

CARTA D'IDENTITÀ

IN	13/01/2010
OUT	06/03/2010
LAT	N 43.22130
LON	E 13.40630
ALT	212 M

STRUMENTAZIONE

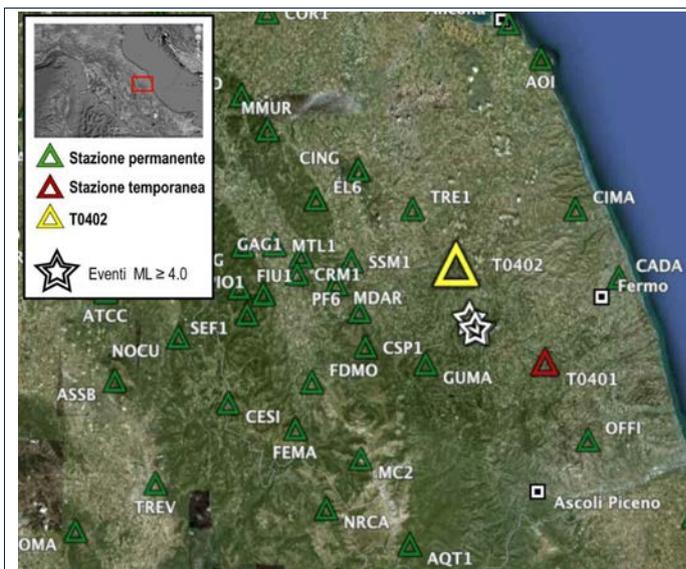
ACQUISITORE	REF TEK 130
SENSORE	LE-3DLITE
SENSORE	EPISENSOR FBA EST
GPS	REF TEK
ALIMENTAZIONE	A CORRENTE
BATTERIA	40AH (TAMPONE)

CONFIGURAZIONE

PASSO DI CAMPIONAMENTO	125
GAIN	1

STATION CODE

VELOCIMETRO	IV.T0402..EH?
ACCELEROMETRO	IV.T0402..HN?



La stazione, in acquisizione dalle 14.30 UTC circa del 13 gennaio 2010, è stata installata nel giardino dell'Abbazia Cistercense di S.Maria di Chiaravalle di Fiastra (nel comune di Tolentino, in provincia di Macerata) (vedi mappa e foto).

Il sito scelto garantiva la sicurezza per la strumentazione e la disponibilità del segnale UMTS per la trasmissione *real-time* del dato (vedi *Capitolo 3* per i dettagli). Purtroppo, il segnale dell'operatore telefonico a nostra disposizione è stato altalenante con la conseguente difficoltà di trasmettere il dato direttamente alla sala di sorveglianza sismica. Tuttavia i dati sono stati in gran parte recuperati grazie alla contemporanea acquisizione in locale. Alla fine la perdita di dati è di modesta entità, pari al 0.5013% (10 gap in totale) (vedi *Tabella 4* e *Figura 7*).

I dati acquisiti dalla stazione temporanea sono reperibili presso il portale EIDA¹.

La stazione T0402 è stata regolarmente registrata presso l'ISC².



¹ <http://eida.rm.ingv.it>

² <http://www.isc.ac.uk/>

Indice

Introduzione	4
1. La sequenza sismica del 2010 nell'area fermano-maceratese ed il contesto sismotettonico	6
2. Il monitoraggio sismico della regione umbro-marchigiana	8
2.1 La rete sismica temporanea Re.Mo.: motivazioni e tempistica dell'intervento	10
2.1.1 Strumentazione	12
3. La trasmissione dei dati tramite UMTS	12
3.1 Prime valutazioni	14
4. Analisi dati, uno sguardo preliminare alla sequenza	15
Conclusioni	16
Ringraziamenti	17
Bibliografia	18
Allegato: schede stazioni	21

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2012 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia