
2. Eventi sismici

2.1 Introduzione

Di seguito vengono riportati i risultati dei sopralluoghi effettuati da tecnici APAT nelle aree colpite da tre importanti eventi sismici occorsi nella seconda metà del 2002 (Figura 2.1.1).

Queste attività si inseriscono nell'ambito dei compiti istituzionali dell'Agenzia, e in particolare della legge 61/94 (legge costitutiva dell'ANPA, ora APAT) che prevede il supporto tecnico di APAT alle Agenzie Regionali (ARPA) e Provinciali (APPA) in coordinamento con gli Enti Locali (Regioni, Province e Comuni) e della legge 401/01 che prevede che il Dipartimento della Protezione Civile si avvalga della collaborazione di APAT durante le fasi emergenziali successive ad eventi calamitosi.

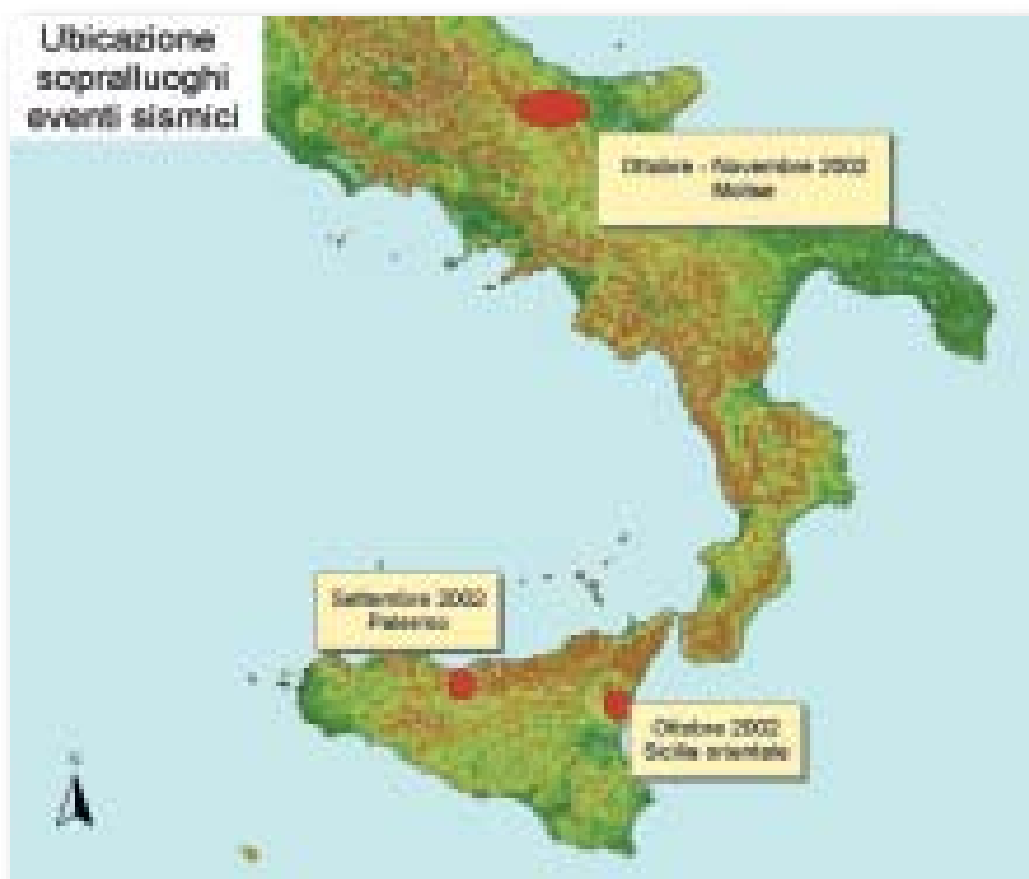


Figura 2.1.1: Ubicazione dei sopralluoghi a seguito degli eventi sismici

A seguito del terremoto del 06.09.2002 ($M_l = 5.6$) con epicentro nel Tirreno meridionale a circa 40 km dalla costa palermitana, è stato svolto un sopralluogo in Sicilia nord-occidentale e in particolare nel territorio del comune di Cerda (PA). In questa zona era infatti stata segnalata una frattura estesa per sei chilometri che è stata attribuita all'attivazione di un fenomeno franoso assai esteso a confronto con la modesta intensità macrosismica risentita.

Sono stati eseguiti sopralluoghi anche in Sicilia orientale, nell'area di S.Venerina-Acireale (zona delle Timpe) colpita dal terremoto etneo del 29.10.2002 ($M_l=4.4$). I sopralluoghi sono stati eseguiti da un gruppo di lavoro congiunto APAT-ARPA Sicilia nell'ambito della collaborazione per il monitoraggio delle acque ad uso potabile nell'area etnea, insieme anche a tecnici del Centro Scientifico per l'Ambiente di Acireale. L'obiettivo dei rilievi tecnici è stato quello di fornire in tempi rapidi una descrizione degli effetti sul terreno, rappresentati principalmente da fatturazione superficiale, e dei danneggiamenti alle strutture antropiche.

Nel periodo immediatamente successivo all'evento sismico del 31.10.2002 che ha colpito il Molise orientale, una squadra costituita da tecnici dell'APAT, della Regione Molise e del CNR, in coordinamento con la Direzione Generale dell'ARPA Molise, si è recata nelle aree colpite al fine di analizzare gli eventuali effetti sul terreno e di fornire supporto, ove necessario, alle strutture operative della Protezione Civile.

2.2 Terremoto di Palermo

M. GUERRA, E. VITTORI

con la collaborazione di:

R. RIGANO (Università di Catania)

2.2.1 Introduzione

L'evento sismico di $ML=5.6$ avvenuto il 6.09.2002, con epicentro nel Tirreno meridionale a circa 40 km dalla costa palermitana (Figura 2.2.1), ha determinato non trascurabili risposte di sito lungo la fascia costiera della provincia di Palermo, raggiungendo nel capoluogo gli effetti massimi, valutati intorno al grado 6 della scala EMS-98.

Tra gli effetti al suolo, particolare rilievo ha avuto su giornali e televisione una "frattura estesa per chilometri" (spaccatura di 6 chilometri, ad esempio secondo la Stampa dell'8 settembre 2002), creatasi nel territorio comunale di Cerda. Questo fenomeno ha suscitato l'interesse dei ricercatori dell'APAT, che studiano da molti anni i fenomeni di fagliazione superficiale e gli effetti prodotti sull'ambiente dagli eventi sismici. Nonostante i primi rilievi di terreno abbiano rivelato subito trattarsi di un movimento franoso, si è ritenuto comunque opportuno effettuare un sopralluogo, viste alcune peculiarità nell'inscenarsi del movimento franoso. In particolare, va chiarito come il modesto livello di scuotimento a Cerda, con classici effetti macrosismici localmente ascrivibili, secondo i rilievi dell'INGV, al V grado (la scossa è stata chiaramente avvertita nei piani bassi delle abitazioni, inducendo la caduta/spostamento di oggetti anche pesanti), abbia potuto attivare una frana di tali dimensioni (estesa per circa 80 ha), tra l'altro in condizioni sostanzialmente asciutte. Il sopralluogo, svolto insieme a un rappresentante dell'ufficio tecnico comunale, ha permesso di definire in via preliminare le caratteristiche superficiali della deformazione in funzione dello scenario geomorfologico e litologico e delle caratteristiche della scossa.



Figura 2.2.1 Localizzazione e meccanismo focale del sisma del 6 settembre 2002

2.2.2 Inquadramento sismogenetico

L'assetto strutturale della Sicilia occidentale è il risultato di una complessa evoluzione geodinamica legata alla convergenza tra la placca africana e quella eurasiatica.

Lungo la costa tirrenica, la Catena Maghrebide è delimitata da strutture distensive a direzione circa E-O, responsabili del sollevamento neogenico dell'orogene (Ghisetti e Vezzani, 1977), ed interessata da un sistema di faglie en-échelon orientate NO-SE conosciuto in letteratura come Sistema Sud-Tirrenico. Tali strutture, che hanno cinematica transtensiva destra, proseguono in mare all'interno del Bacino Tirrenico. Profili sismici offshore mostrano, nella zona di contatto tra Piana Abissale Tirrenica e margine siculo dell'area di Ustica, la presenza di faglie listriche. Secondo alcuni autori, i movimenti più recenti di questo settore sono ascrivibili al Pleistocene sup.-Olocene e sono essenzialmente a carattere distensivo e trascorrente. Contrariamente, i meccanismi focali dell'evento in questione danno soluzioni da inverse pure a transpressive (INGV, 2002).

Nel complesso, il modello sismogenetico proposto dal GNDT (Scandone et al., 1992) individua due zone sismogenetiche in Sicilia occidentale (Figura 2.2.2): la ZS 76, che costituisce una zona di taglio delimitante la Catena Maghrebide siciliana, con meccanismi di rottura attesi a prevalente trascorrenza destra; la ZS 77, che rappresenta una zona di rottura all'interno dell'area di avampaese, associata a meccanismi di tipo distensivo e trascorrente. Gli studi sulla tettonica recente disponibili in letteratura e la sismicità, con la sua distribuzione e le sue caratteristiche, hanno reso possibile l'individuazione di "subzone" a diverso comportamento sismotettonico (Rigano et al., 1999). In particolare nell'ambito della zona sismogenetica ZS 76 è stata distinta la subarea ZS 76a, più attiva sismicamente, cui sono attribuibili i terremoti maggiori dell'area di Palermo. Questi ultimi sembrano localizzati in mare e, secondo una prima ipotesi, sono associabili alle faglie trascorrenti destre, orientate NO-SE, del Sistema Sud-Tirrenico o ai movimenti distensivi, a direzione E-O, responsabili del sollevamento della catena costiera (Rigano et al., 1999). La localizzazione strumentale del recente evento del 6 settembre 2002 e il suo meccanismo focale, inverso con una piccola componente di trascorrenza, tenuto anche conto della distribuzione dei massimi effetti, confrontabile con quella dei terremoti storici che hanno interessato l'area di Palermo, fanno invece supporre la presenza nel Basso Tirreno di sorgenti con movimenti compressivi, quindi opposti a quelli distensivi precedentemente ipotizzati.

Per tutto il settore ad ovest di Palermo fino a Capo S. Vito non vi sono informazioni di eventi sismici. Sempre nell'area tirrenica, i frequenti terremoti della zona di Ustica sono scarsamente definiti in quanto localizzati in mare. L'evento più significativo, avvenuto nel 1897, ha provocato lievi danni nell'isola ($I = VI$) ed è stato avvertito lungo la costa nord-occidentale siciliana (Rigano et al., 1999).

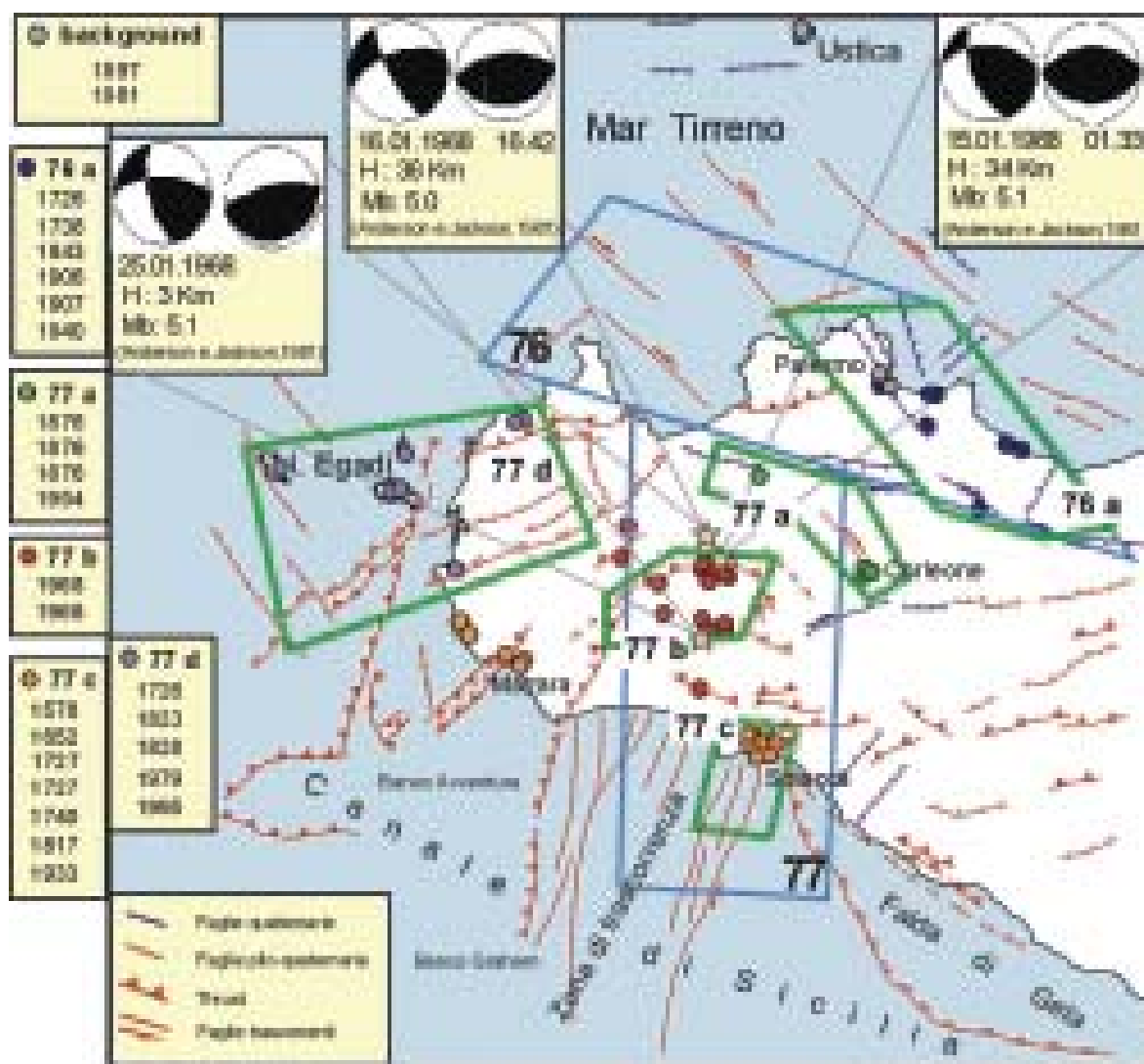


Figura 2.2.2. Zonazione sismogenetica della Sicilia occidentale (da Azzaro et al., 2000).

2.2.3 Caratteristiche della sismicità

Negli ultimi cinque secoli la sismicità della Sicilia occidentale è stata caratterizzata da eventi sismici di magnitudo moderata ($M_s \leq 5.5$) localizzati prevalentemente in aree costiere, ad eccezione della sequenza sismica del 1968 della Valle del Belice. I terremoti del settore tirrenico hanno causato danni gravi principalmente lungo la costa, interessando poche località dell'entroterra, per cui gli epicentri spesso risultano scarsamente vincolati. Gli eventi maggiormente risentiti nella città di Palermo, oltre a quelli del 1693 (Sicilia orientale) e del 1968 (Belice), sono quelli del 1726, del 1823, del 1940 ed infine quello più recente del 6 settembre 2002 (Figura 2.2.3).

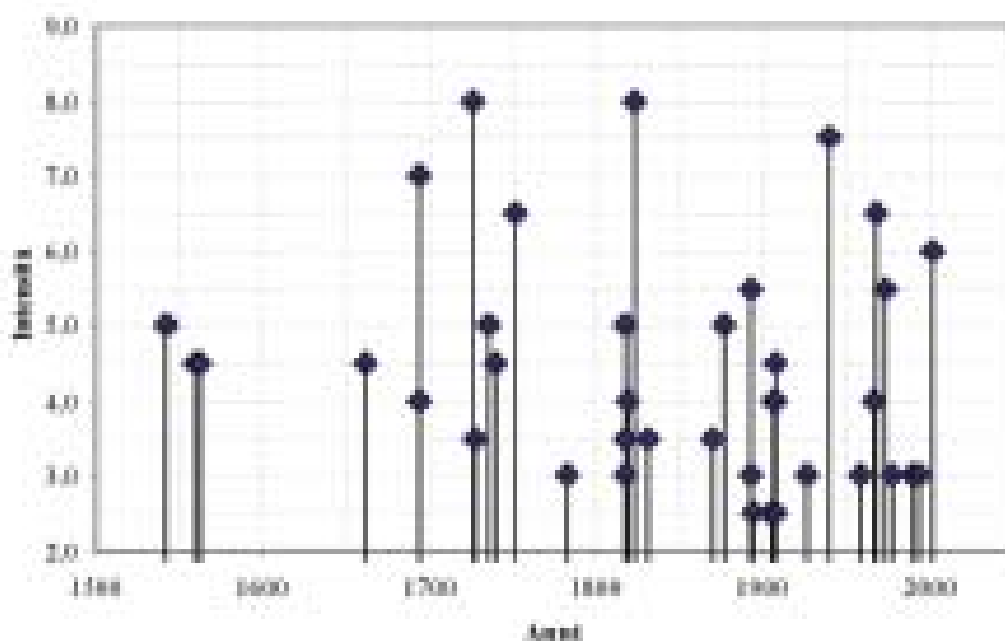


Figura 2.2.3: Storia sismica della città di Palermo.

Gli effetti dinamici dell'evento dell'1 settembre 1726 sugli edifici furono massimi in città e diminuirono sensibilmente nelle località circostanti: nelle campagne a est di Palermo il sisma fu infatti solo avvertito (Figura 2.2.4). Ciò fa supporre un epicentro localizzato nel Tirreno meridionale, ad una certa distanza dalla costa palermitana. Il terremoto provocò circa 250 morti (Mongitore, 1743) e crolli diffusi soprattutto nella parte edificata sui terreni alluvionali bonificati (I_{max} VIII MCS). Dalle descrizioni riportate nelle fonti storiche, certamente le scosse furono più d'una e vennero osservati numerosi fenomeni sismogeologici. Fra gli effetti locali sull'ambiente vi fu l'improvvisa scomparsa dell'acqua nella fonte del Garroffo e nell'abbeveratoio della Conceria (Del Bono, 1745). Altre fonti (Ruffo, 1726; Vitale, 1726; Baratta, 1901) riferiscono di un movimento franoso che interessò il Monte Gallo, distante circa 15 km dalla città, dal quale si staccò una notevole quantità di materiale roccioso. Anche un maremoto interessò tutto il tratto di costa tra Palermo e Capo Gallo (Boschi et al., 1997).

Il terremoto del 5 marzo 1823 ebbe effetti distruttivi sia nell'area di Naso sia in quella ben distante di Palermo, danneggiando anche una quarantina di centri lungo tutta la costa settentrionale della Sicilia e nell'immediato entroterra tirrenico da Palermo a Patti (Figura 2.2.5). A Palermo crollarono molti edifici e molti altri furono gravemente danneggiati ($I=VIII$ MCS). Alcune relazioni redatte da Scinà (1823) riferiscono dei

vari fenomeni sismogeologici legati a questo evento. In particolare vi fu un notevole aumento della portata e della temperatura delle sorgenti termali di Termini Imerese, che divennero anche più fangose; frane e fessurazioni si verificarono nelle campagne intorno ad Ogliastra (l'attuale Bolognetta). A Naso si aprì una grande fenditura trasversale nel suolo attraverso l'abitato, tanto profonda da far temere il distacco di parte del rilievo su cui era edificato il paese. Anche in questo caso si ebbe un maremoto, che interessò la costa tra Capo Calavà e Palermo. Diversi lavori (tra cui Boschi et al., 1997) per questo evento indicano un generico epicentro nella Sicilia settentrionale, piuttosto che a Naso. Considerato che a Naso furono avvertiti fortemente diversi foreshocks e che gli effetti sull'ambiente furono soprattutto evidenti in questa località, anche se certamente significativi anche intorno a Palermo, si può supporre una localizzazione dell'epicentro nel Tirreno meridionale, più prossima a Naso che a Palermo.

Il terremoto del 15 gennaio 1940 di Ms 5,3 (Margottini et al., 1993) colpì Palermo (I=VII-VIII MCS) e i comuni limitrofi di Ficarazzi, Misilmeri e Villabate, dove quasi tutti gli edifici furono più o meno gravemente danneggiati (Figura 2.2.6). Il numero degli infortunati in seguito al terremoto fu esiguo; ci fu infatti soltanto una vittima e circa 50 feriti (Il Giornale di Sicilia, 16/01/1940). Effetti rilevanti sull'ambiente furono le frane che si verificarono nell'isola delle Femmine, a Partinico e a Misilmeri, dove uno smottamento causò l'intorbidimento di una sorgente con conseguente deflusso di acque fangose. Inoltre, furono osservate improvvise ondate nelle acque del golfo di Palermo (L'Ora, 16/01/1940), probabilmente riconducibili al fenomeno "maremoto". Secondo quanto riportato da Il Giornale di Sicilia, il terremoto, registrato all'Osservatorio Geofisico dell'Università di Messina, venne localizzato a circa 150 chilometri da Messina, in direzione ONO, ossia nel Tirreno tra la costa settentrionale della Sicilia e le isole di Ustica e Alicudi. In Figura 2.2.7 è riportata la mappa delle intensità del terremoto del 6 settembre 2002.



Figura 2.2.4: Mappa delle intensità del terremoto del 1 settembre 1726.

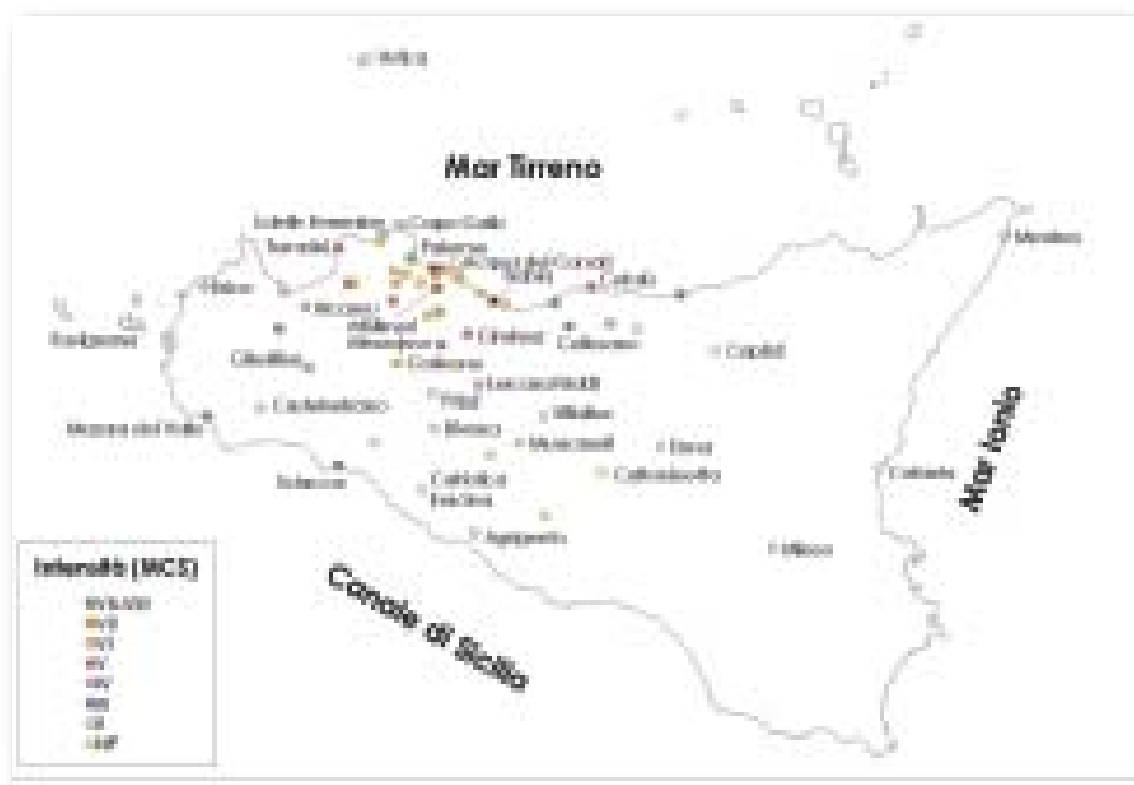


Figura 2.2.5: Mappa delle intensità del terremoto del 5 marzo 1823.

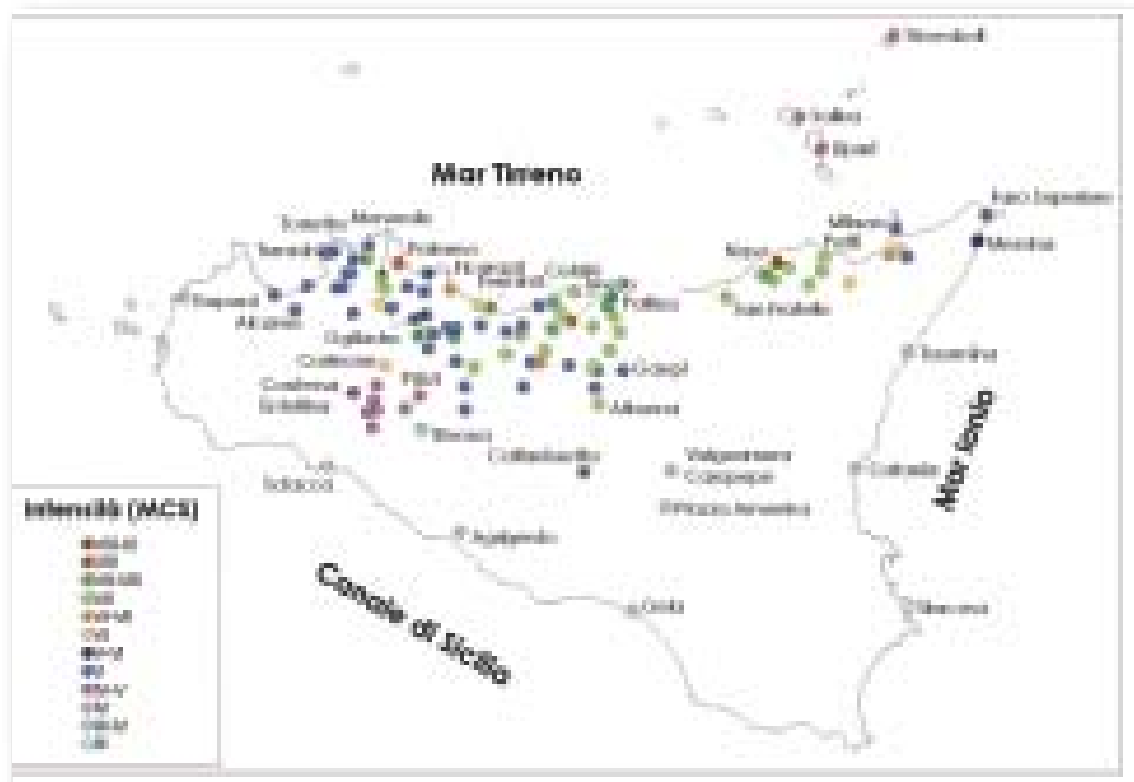


Figura 2.2.6: Mappa delle intensità del terremoto del 15 gennaio 1940.



Figura 2.2.7: Mappa delle intensità del terremoto del 6 settembre 2002 (da Azzaro et al., 2003).

2.2.4 Effetti sul terreno e sulle opere antropiche

La scossa del 6 settembre 2002 ha indotto, nella città di Palermo, danni su edifici monumentali paragonabili a quelli causati dai forti terremoti che interessarono Palermo nel 1726 e nel 1940. Inoltre, gli effetti di danneggiamento, generalmente lievi (appena sopra la soglia del danno) hanno interessato numerose località lungo una fascia estesa per circa 80 km sulla costa e nell'immediato entroterra. In particolare, oltre a Palermo, i comuni che hanno riportato gli effetti più significativi sono Ficarazzi e Misilmeri. Anche in questo caso, così come per i terremoti storici che hanno colpito la costa tirrenica della Sicilia, sono stati osservati alcuni effetti secondari sul terreno, in particolare la frana a Cerda descritta più avanti. Un altro fenomeno sismogeologico segnalato è stato l'innalzamento del livello piezometrico della falda termale del bacino di Termini Imprese, che dista circa 40 km dall'epicentro (Caracausi et al., 2002).

L'evento geologico sismo-indotto di maggior rilievo è stata la frana occorsa nel comune di Cerda, in località Case Burgitabis subito a monte della piana del fiume Imera, sul fianco sud-occidentale della valle. Gli effetti visibili sono riconducibili ad un sistema di fratture, spesso beanti, che individuano un ampio semicerchio che si sviluppa in lunghezza per circa 3500 m ed interseca in più punti strade o altri manufatti (Figura 2.2.8). L'estensione longitudinale della frana ha raggiunto il chilometro con una larghezza massima di circa 500 metri, coprendo un'area di circa 80 ettari. Lo spessore coinvolto non è valutabile con precisione, anche se la geometria del movimento suggerisce una profondità modesta del piano di scorrimento, nell'ordine di alcuni metri. La frana ha coinvolto manufatti quali case e acquedotti, strade asfaltate e bianche, muretti a secco e in cemento, abbeveratoi e altre strutture minori. Lo scivolamento gravitativo, a prevalente componente traslativa, ha interessato terreni appartenenti al complesso alloctono argilloso-marnoso (Argille

Varicolori, Oligocene inf.-Cretaceo sup.). La matrice fine include pezzame lapideo di natura carbonatica di dimensioni anche decimetriche. In corrispondenza del corso del Fiume Imera affiorano depositi alluvionali costituiti da ghiaie e ciottoli di natura prevalentemente carbonatica.

Considerata l'entità del fenomeno franoso, la magnitudo dell'evento e la grande distanza dall'epicentro, il distacco della frana, certamente indotta dall'evento sismico, deve essere stato favorito dalle preesistenti condizioni di instabilità di quel versante.

In base alle testimonianze dei tecnici comunali, il movimento si è attivato nelle ore successive alla prima scossa delle ore 3.21 del 6 settembre. Nei giorni precedenti all'evento non è stato registrato alcun precursore (es. deformazioni della sede stradale, danni alla rete acquedottistica), né si sono verificate condizioni di piovosità tali da saturare il versante.

Nel settore meridionale, lungo la parte più rilevata del declivio, nell'area di "distacco" le fratture sono orientate prevalentemente in senso ortogonale alla pendenza del declivio (i.e. direzione E-O) ed appaiono fortemente beanti (larghezza fino ad un metro), sviluppandosi in profondità fino a 3-4 m. Il lembo di valle ribassato è coerente con un meccanismo di stress da trazione. Lungo la spalla sinistra e soprattutto quella destra (poco più a nord di Vallone Burgitabis) il movimento relativo dei lembi a monte e a valle assume una componente trascorrente con la traccia in superficie spesso frammentata e diramata.

In località Case Burgitabis si evidenziano delle deformazioni compatibili con sollecitazioni di tipo compressivo, con caratteristici rigonfiamenti del terreno e accumuli di suolo sovrapposti (Figura 2.2.9).

Il sopralluogo ha permesso di verificare in via speditiva i seguenti danni prodotti dal movimento sulle abitazioni e sulle infrastrutture lineari (strade e acquedotti) la cui ubicazione è riportata in Figura 2.2.8:



Figura 2.2.8 Ortofoto dell'area interessata dal movimento franoso e ubicazione delle fratture e dei principali danni alle strutture antropiche.



Figura 2.2.9: Localmente la traslazione verso il basso si risolve con compressione dei settori in movimento.

1. gravi lesioni su una casa ubicata sulla strada comunale e sui muri di delimitazione del giardino (Figura 2.2.10);
2. "tagli" in più tratti della suddetta strada comunale;
3. una frattura con apertura di circa 20 cm in corrispondenza dell'abbeveratoio presso il laghetto grande, che prosegue con una fessura nel terreno che si apre verso valle fino a circa 1 m con rigetto verticale di 1.5 m e profondità di circa 2.5 m. In corrispondenza di questa frattura è evidente il tensionamento degli apparati radicali di alcuni pini (Figura 2.2.11);
4. poco più a nord della località Case Burgitabis, in una abitazione colonica il movimento ha prodotto lo scollamento delle murature dalla fondazione ed il danneggiamento della muratura di valle e nello spigolo meridionale;
5. in diversi punti è stata danneggiata la rete acquedottistica. In particolare la condotta primaria posta al piede del versante è stata lesionata in più punti. Un'altra lesione ha colpito la condotta secondaria in corrispondenza della spalla sinistra della frana.



Figura 2.2.10: la frattura in zona di corona (punto 1 in figura 2.2.8) ha coinvolto il giardino ed la recinzione di una casa.



Figura 2.2.11: frattura in prossimità dell'abbeveratoio che evidenzia il tensionamento degli apparati radicali di alcuni pini.

2.2.5 Conclusioni

Dall'analisi della sismicità della Sicilia nord-occidentale è emerso che tutti gli eventi che hanno interessato l'area del palermitano presentano le medesime caratteristiche, soprattutto in riferimento all'estensione dell'area di danneggiamento. In particolare ciò è evidente per i terremoti del 1940 e del 2002, caratterizzati da una distribuzione dei massimi effetti molto simile, limitata alla costa palermitana e all'immediato entroterra. Ciò è compatibile con sorgenti localizzate in mare, nel basso Tirreno, come confermato dalla localizzazione strumentale del recente terremoto del 6 settembre 2002, ubicato a sudest di Ustica a circa 40 km dalla costa palermitana. Stessa considerazione può essere fatta per il terremoto del 1823, nonostante si differenzi dagli altri eventi per l'estesa area di risentimento e per i notevoli danni, che interessarono particolarmente Palermo e Naso, nonostante molto distanti tra loro. In questo caso si potrebbe perciò ipotizzare una maggiore magnitudo dell'evento.

Per tutti gli eventi analizzati sono stati osservati fenomeni franosi verificatisi nei dintorni di Palermo. Accettata l'ipotesi che è il terremoto a scatenare la frana, è indubbio che ciò avviene in concomitanza con altri fattori, quali la geologia locale, il contesto idrogeologico e le peculiari condizioni morfologiche dell'area. Nonostante le cause predisponenti di instabilità siano caratteristiche per ogni sito, si osserva per la costa settentrionale dell'isola che l'intensità sismica alla quale possono innescarsi eventi franosi di dimensioni cospicue (volumi superiori alle migliaia di metri cubi) è pari al VI grado, in accordo con le osservazioni condotte in contesti sismotettonici e geologici s.l. diversi, per esempio l'Appennino centro-meridionale (Wasowski e Del Gaudio, 2000; Porfido et al., 2002). Un'analogia relazione fra intensità modesta (intorno al V-VI) e innesco di fenomeni franosi anche di notevoli dimensioni (frana di Salcito, CB) è stata osservata in occasione del terremoto del Molise del 31 ottobre 2002.

Studi di dettaglio sono in corso sia sulla frana di Salcito che su quella di Cerda da parte dell' APAT e dell'Università "La Sapienza" di Roma.

Bibliografia

Anderson, H., Jackson, J., (1987): Active tectonics of the Adriatic Region. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **91**, 937-983.

Antonelli, M., Franciosi, R., Pezzi, G., Querci, A., Ronco, G. P., Vezzani F., (1988): Paleogeographic evolution and structural setting of the northern side of the Sicily Channel. *Mem. Soc. Geol. It.*, 141-157.

Argnani, A., Corvini, S., Torelli, L., Zitellini N., (1987): Diachronous foredeep-system in the Neogene-Quaternary of the Strait of Sicily. *Mem. Soc. Geol. It.*, **38**, 407-417.

Argnani, A., (1993): Neogene basins in the Strait of Sicily (central Mediterranean): tectonic settings and geodynamic implications. In E. Boschi, E. Mantovani e A. Morelli (Ed.), Recent evolution and seismicity of the Mediterranean Region, *Kluwer Acad. Publ.*, 173-187.

Azzaro, R., Barbano, M.S., Rigano R., Antichi, B., 2000. Contributo alla revisione delle zone sismogenetiche della Sicilia. In F. Galadini, C. Meletti & A. Rebez (a cura di), Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-99), *CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti*, Roma, 31-38.

Azzaro, R., Camassi, R., D'Amico, S., Mostaccio, A. & Scarfi, L. (2003): Il terremoto di Palermo del 6 settembre 2002: effetti macrosismici. *Quad. Geof.*, 13 pp., sottoposto.

Baratta, M., (1901): I terremoti d'Italia. *Torino*.

Ben Avraham, Z.B., Boccaletti, M., Cello, G., Grasso, M., Lentini, F., Torelli, L., Tortrici, L., (1990): Principali domini strutturali originatisi dalla collisione Neogenico-Quaternaria nel Mediterraneo centrale. *Mem. Soc. Geol. It.*, **45**, 453-462.

Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G. and Gasperini, P., (1997): Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990. *ING-SGA*, Ozzano Emilia, 644 pp.

Caracausi, A., Di Liberto, V., Grassa, F. (2002): Effetti del sisma del 6/9/2002 sulle sorgenti termali della Sicilia Nord Occidentale. In "Il terremoto della Sicilia settentrionale del 6 settembre 2002", sito web INGV.

Del Bono, A., (1745): Discorso sull'origine dei tremuoti. *Palermo*.

Finetti, I., Lentini, F., Carbone, S., Catalano, S., Del Ben, A., (1996): Il sistema Appennino meridionale-Arco Calabro-Sicilia nel Mediterraneo centrale: studio geologico-geofisico. *Boll. Soc. Geol. It.*, **115**, 529-559.

Ghisetti, F., Vezzani, L., (1977): Evidenze di linee di dislocazione sul versante meridionale dei monti Nebrodi e Madonie e loro significato neotettonico. *Boll. Geodesia e Sc. Affini*, **36** (4), 441-467.

Grünthal G. (ed.) (1998): European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). *European Seismological Commission, subcommission on Engineering Seismology, working Group Macroseismic Scales. Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, 15, Luxembourg, 99 pp.

Il Giornale di Sicilia, 1940.01.16.

INGV (2002): Mappa dei meccanismi focali del Tirreno Meridionale. In "Il terremoto della Sicilia settentrionale del 6 settembre 2002", sito web INGV.

Lentini, F., Carbone, S., Catalano, S., (1994): Main structural domains of the central mediterranean region and their Neogene tectonic evolution. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, **XXXVI**, 141-144.

L'Orca, 1940.01.16, a. 41, n. 14, p. 2.

Margottini, C., Ambraseys, N. N., Screpanti, A., (1993): La magnitudo dei terremoti italiani del XX secolo, *ENEA*, 57 pp.

Mongitore A., (1743): Istoria cronologica de' terremoti di Sicilia, in *"Della Sicilia ricercata nelle cose più notevoli"*, tomo II, Palermo, 345-445.

Porfido S., Esposito E., Vittori E., Tranfaglia G., Michetti A.M., Blumetti A.M., Ferrelì L., Guerrieri L., Serva L. (2002): Areal distribution of ground effects induced by strong earthquakes in Southern Apennines (Italy). *Surveys in Geophysics*, 23 (6), 529-562.

Rigano, R., Antichi, B., Arena, L., Azzaro, R., Barbano, M.S., (1999): Sismicità e zonazione sismogenetica in Sicilia occidentale. Atti 17° *Convegno GNGTS*, Roma 10-12 novembre 1998. CDROM.

Ruffo, S., (1726): Istoria dell'orrendo Tremuoto accaduto in Palermo la Domenica, primo giorno di Settembre di quest'anno 1726 nella notte, su le ore 4 d'Italia. *Palermo*.

Vitale, P., (1726): Relazione del funestissimo tremuoto, successo in Palermo la notte del primo settembre alle ore 4 d'Italia. *Palermo*.

Scandone, P., Patacca, E., Meletti, C., Bellatalla, M., Perilli, N. e Santini, U., (1992): Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana. GNDT-CNR. Zonazione e riclassificazione sismica. Atti del Convegno di Pisa, 25-27 Giugno 1990, 1, 119-135.

Scinà, D., (1823): Rapporto su' fenomeni osservati nelle campagne nel comune di Ogliastro dopo il tremuoto del 5 marzo. In *"Giornale dell'Intendenza di Palermo"*, n° 67, 30 aprile 1823.

2.3. L'evento sismico etneo del 29 ottobre 2002

L. FERRELI, F. FUMANTI, M. GUERRA, D. LIGATO, I. RISCHIA

con la collaborazione di:

D. BELLA, G. FILETTI (Centro Scientifico per l'Ambiente, Acireale – Catania)

2.3.1. Introduzione

Di seguito viene riportata una breve descrizione delle attività condotte durante il periodo 4 - 8 novembre 2002 da un gruppo di lavoro composto da tecnici dell'APAT, nell'ambito della collaborazione APAT – ARPA Sicilia, per il monitoraggio delle acque ad uso potabile nell'area etnea. In particolare, tale collaborazione era mirata, a breve periodo, alla programmazione di un piano di monitoraggio delle acque destinate al consumo umano e delle relative condutture, nell'area etnea colpita dagli eventi sismici e vulcanici del 2002.

Il giorno 4 novembre sono avvenuti a Palermo e a Catania incontri con il Direttore dell'ARPA Sicilia e con il responsabile del Reparto Chimico del Dipartimento Provinciale di Catania della stessa Agenzia Regionale per fronteggiare l'emergenza etnea dal punto di vista ambientale, in merito agli eventi naturali occorsi e alle azioni da intraprendere per un adeguato monitoraggio. In particolare, durante gli incontri è emersa l'esigenza di un supporto dell'APAT per fornire in tempi rapidi alle unità sanitarie locali (in particolare il Distretto di Acireale Igiene Pubblica) una descrizione degli effetti sul terreno e degli effetti sulla locale rete idrica ad uso potabile, innescati nell'area S.Venerina – Acireale (zona delle Timpe) dall'evento sismico etneo del 29/10/2002.

Durante i giorni 5, 6 e 7 novembre sono stati eseguiti rilievi di campagna nell'area epicentrale colpita dal sisma etneo del 29/10/2002, mirati a definire la distribuzione degli effetti superficiali innescati dall'evento e la loro eventuale correlazione con i danneggiamenti ad infrastrutture e nuclei abitati. La campagna di indagine è stata eseguita anche grazie al supporto tecnico del Centro Scientifico per l'Ambiente (Acireale), che da diversi anni offre un contributo scientifico all'APAT per la definizione dell'attività delle strutture deformative presenti nell'edificio vulcanico etneo. In particolare, sono state individuate e caratterizzate tre fasce di fratturazione del terreno lunghe tra i 2 e i 5 km e larghe fino ad alcune decine di metri, cui sono connessi i principali danneggiamenti delle locali strutture antropiche.

Parallelamente alle indagini di campagna si sono svolti incontri con responsabili dell'Unità Operativa Igiene Pubblica del Distretto di Acireale, preposta ai controlli sanitari sulle acque per uso potabile, e dei gestori della rete idrica per i comuni di S.Venerina e Acireale. I diversi responsabili coinvolti hanno messo a disposizione lo schema della rete di distribuzione idrica locale e con essi sono stati eseguiti sopralluoghi in corrispondenza di settori della rete idrica danneggiata.

2.3.2. Effetti al suolo e danneggiamenti legati all'evento sismico

CENNI GEOLOGICO-STRUTTURALI DELLE TIMPE

Nel versante orientale dell'Etna si sviluppa il sistema tettonico delle Timpe, costituito da una serie di strutture distensive a prevalente direttrice NNO-SSE (Figura 2.3.1).

Questo sistema di faglie rappresenta l'estensione settentrionale in terraferma della Scarpata Ibleo-Maltese, discontinuità crostale regionale che borda il settore sud-orientale della Sicilia (Scandone et al., 1981; Lo Giudice et al., 1982; Monaco et al., 1995). Allo stesso tempo la struttura esprime le dinamiche locali legate a processi vulcano-tettonici relativi a spinte magmatiche e ad effetti di instabilità gravitativa (Lo Giudice & Rasà, 1986, McGuire et al., 1997). L'intensità dei processi tettonici in atto è rivelata da chiare evidenze geomorfologiche che si sviluppano in corrispondenza dei piani di faglia (Monaco et al., 1997), e da una elevata sismicità che ha prodotto effetti sulle strutture anche distruttivi (Imax IX – X MSK) (Azzaro et al., 1989).

EFFETTI AL SUOLO

Il terremoto etneo del giorno 29/10/2002, avvenuto in concomitanza di una importante crisi vulcanica (eruzione iniziata nell'Ottobre 2002), ha raggiunto una Magnitudo pari a 4.4 con una profondità ipocentrale inferiore ai 500 metri (fonte INGV), producendo un'intensità macrosismica nella zona tra S. Venerina e Guardia pari all'VIII grado MSK. La stessa fonte riporta un allineamento degli epicentri in direzione NO-SE e meccanismi focali di alcuni degli eventi principali riferibili a movimenti di tipo trascorrente destro.

Rilievi speditivi effettuati nell'area epicentrale del terremoto hanno consentito di mappare gli effetti al suolo e i danneggiamenti provocati dall'evento.

Gli effetti al suolo sono rappresentati da tre fasce di fratturazione superficiale, orientate NNO-SSE, ampie da pochi metri a una trentina di metri e lunghe fino a 5 km circa (a, b e c in Figura 2.3.2). La fascia più estesa si sviluppa dal centro abitato di S. Venerina fino alla porzione meridionale di Guardia (Figure 2.3.5, 2.3.6 e 2.3.7). Le altre due fasce sono state osservate nel territorio tra Guardia e S. Tecla (Figure 2.3.8). Le fratture del terreno, maggiormente evidenti in corrispondenza dei settori asfaltati, erano orientate prevalentemente con direzione N-S e raggiungevano un'apertura da millimetrica a centimetrica.

La fascia di fratturazione più lunga si è sviluppata in corrispondenza del lineamento tettonico denominato S. Venerina – S. Giovanni Bosco (Lo Giudice et al., 1982; Lo Giudice & Novelli, 1991; Bella et al., 1996; Gresta et al. 1997). Lungo tale fascia i rilievi di campagna hanno evidenziato un prevalente movimento centimetrico del terreno di tipo trascorrente destro, con modesto abbassamento del settore meridionale. L'attività tettonica del lineamento in epoca storica è testimoniata da una discreta sismicità che ha prodotto rotture cosismiche superficiali ed effetti sulle strutture anche distruttivi, come avvenuto in occasione del sisma del 17 giugno 1879 (Io = IX MCS; Boschi et al., 1995). Lungo il lineamento non sono ad oggi osservabili evidenze morfologiche che riconducano ad una chiara scarpata di faglia.



Figura 2.3.2: Carta geologica semplificata del settore interessato dall'evento sismico del 29/10/2002 (da Monaco et al. 1977, modificata) e zone di fratturazione cosismica.

Le altre due rotture sono invece ubicate sul prolungamento meridionale delle faglia attiva di Moscarello, una delle più importanti dell'area etnea, per la quale l'APAT ha svolto nel passato indagini paleosismologiche che ne hanno permesso una precisa caratterizzazione (movimento distensivo, con meccanismo di rottura cosismico e tasso di deformazione verticale compreso tra 1,4 e 2,7 mm/anno) per il periodo olocenico (Ferrel et al., 2000; Azzaro et al., 2000; Ferrel et al., 2002).

PRINCIPALI DANNEGGIAMENTI ALLA RETE IDRICA LOCALE

Nel corso degli incontri avuti con la direzione dell'Unità Operativa Igiene Pubblica del Distretto di Acireale, è emersa la necessità di eseguire degli specifici sopralluoghi nei comuni di Santa Venerina e di Acireale al fine di rilevare i settori della rete di distribuzione idrica locale danneggiati dalle fratturazioni e, più in generale, dagli effetti di superficie indotti dall'evento sismico del 29/10/2002. Tali sopralluoghi sono stati di supporto ai sistematici controlli sanitari, eseguiti dall'Unità Operativa di Igiene Pubblica sulle acque per uso potabile in corrispondenza dei pozzi e dei punti di recapito delle stesse (fontanelle pubbliche), con lo scopo di individuare eventuali contaminazioni in corrispondenza delle tubazioni soggette a rottura.

Rappresentanti dell'Unità Operativa Igiene Pubblica del Distretto di Acireale e della rete idrica per i comuni di S.Venerina e Acireale hanno messo a disposizione dell'Agenzia lo schema della rete di distribuzione idrica locale e hanno consentito, insieme ad addetti comunali e ispettori dell'Unità Igiene del Distretto di Acireale, l'accesso ai pozzi e ai punti di recapito per ispezioni relative al loro eventuale stato di danneggiamento.

I rilevamenti effettuati sul terreno hanno consentito di verificare una corrispondenza tra l'ubicazione dei danneggiamenti della rete idrica locale e le fratturazioni superficiali rilevate connesse al sisma, allineate secondo le tre fasce aventi direzione NNO-SSE, descritte nel paragrafo precedente (Figura 2.3.3, 2.3.9 e 2.3.10).

In particolare, alla prima delle tre fasce di fratturazione individuate sono connesse le fratture in corrispondenza della strada passante a NNO dell'abitato di S. Venerina, mentre il sopralluogo in corrispondenza del punto di consegna e del serbatoio dell'Acquedotto Pavone non ha evidenziato alcuna rottura. Sempre a questa fascia di fratturazione sono collegati i danneggiamenti alle tubazioni della locale rete idrica poste presso la scuola media dell'abitato di S. Venerina, in corrispondenza del settore meridionale del centro, già riparate al momento del sopralluogo, e in località Ardichetto. Ulteriori rotture delle tubazioni sono state individuate tra gli abitati di Linera e Guardia, sempre in relazione alla fascia di fratturazione sopra descritta.

Alla seconda fascia di fratturazione, invece, sono connessi i danneggiamenti delle tubazioni della rete idrica osservati in località Scillichenti e in corrispondenza del vicino Pozzo Guzzi.

In Figura 2.3.4 viene riportata per l'area epicentrale la distribuzione delle faglie attive e le intersezioni con la locale rete idropotabile, che evidenzia i punti di maggiore vulnerabilità della stessa.

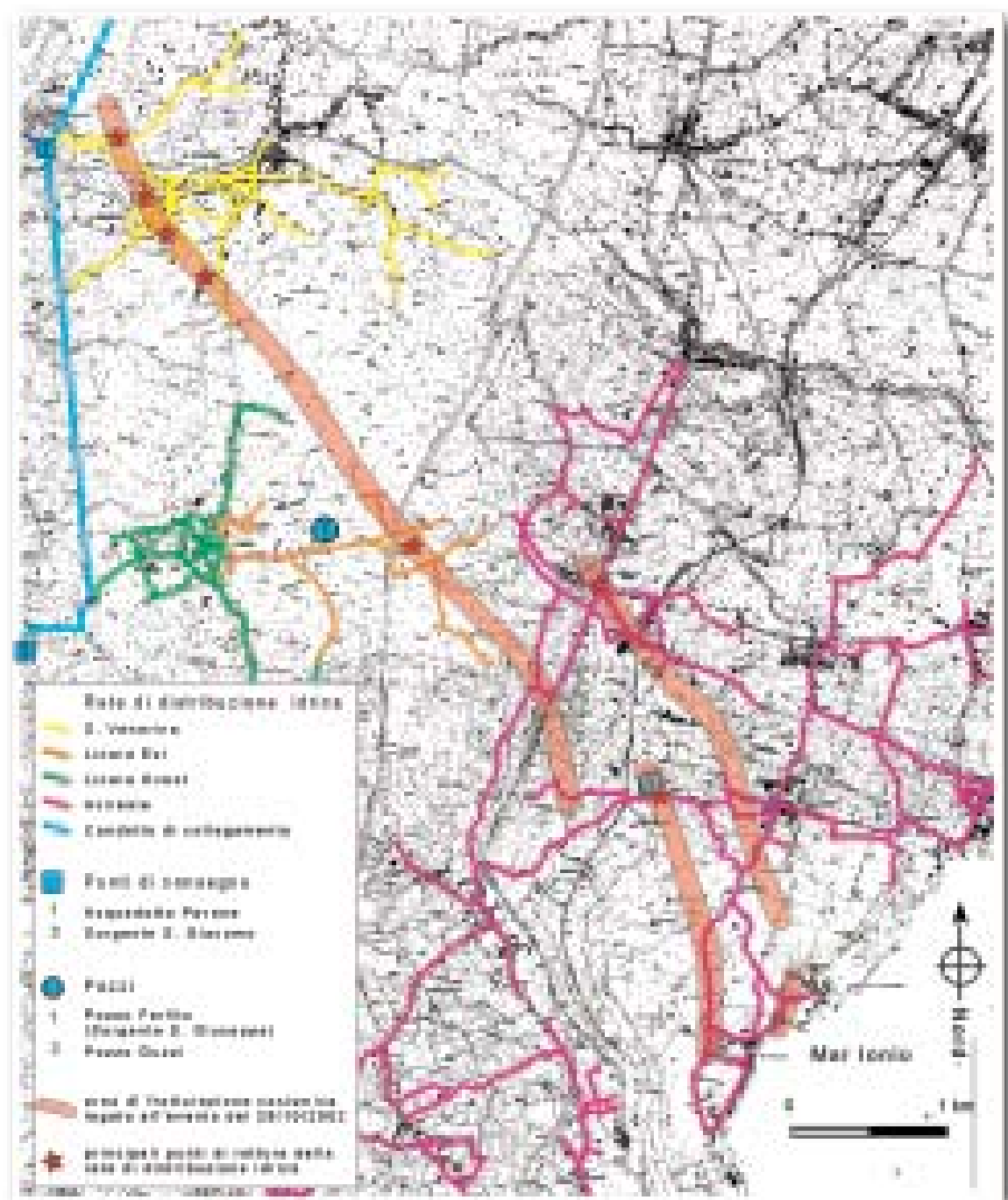


Figura 2.3.3: Schema della rete di distribuzione idrica e relativi danneggiamenti.

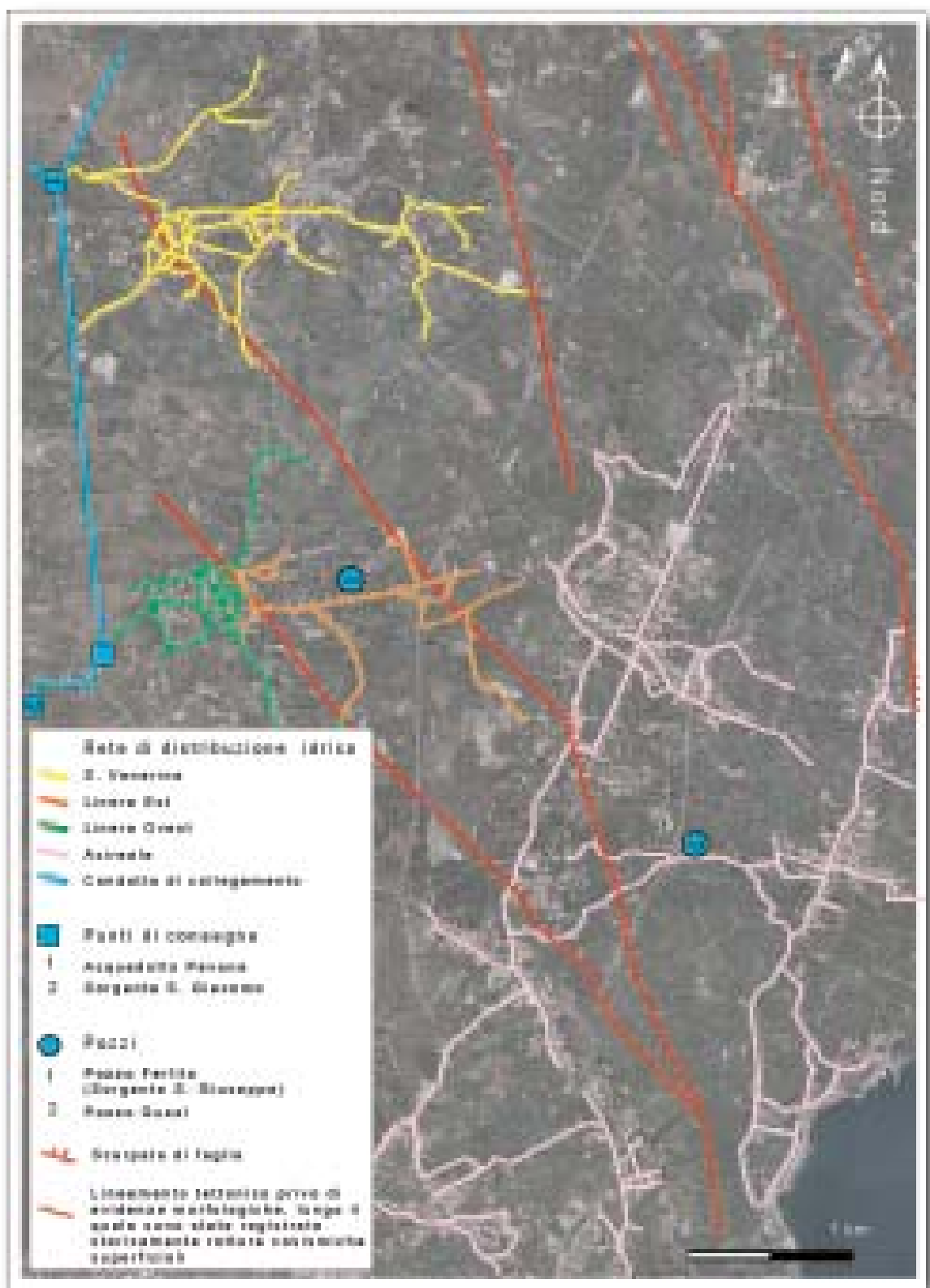


Figura 2.3.4: Schema della rete di distribuzione idrica e fagliazione superficiale.

PRINCIPALI DANNEGGIAMENTI DEGLI EDIFICI

Durante la campagna di indagine, mirata a definire gli effetti sul terreno conseguenti all'evento sismico, è stata analizzata all'interno dell'area epicentrale, e in particolare nei territori comunali di S. Venerina e S. Giovanni Bosco, anche la tipologia dei danneggiamenti agli edifici.

Per quello che riguarda gli edifici in muratura si riscontrano danneggiamenti diffusi consistenti in lesioni nelle murature portanti, generalmente in pietra lavica sbazzata a tessitura irregolare (Figura 2.3.11 e 2.3.12), e in alcuni casi costruiti con un solo corso di mattoni pieni (Figura 2.3.13), tanto più gravi nei casi in cui queste sono dotate di ampie aperture costituite da vani di accesso e finestrate. Tali fratturazioni hanno prodotto in alcuni casi, tra cui edifici storici, il crollo parziale o totale della struttura.

Danni rilevanti agli edifici in muratura sono stati provocati anche dalla mancanza del cordolo di contenimento (Figura 2.3.14), o, in presenza di questo, dal cattivo collegamento fra tetto e cordolo.

Fortemente negativo, in diversi casi, è stato l'accostamento di edifici dotati di diversa rigidità, per esempio edifici in muratura e in cemento armato, senza l'interposizione di un adeguato giunto. Tale mancanza ha ostacolato le relative oscillazioni dei fabbricati, producendo il martellamento di un corpo rispetto al contiguo e talvolta il collasso di questi.

Negli edifici in cemento armato a struttura intelaiata si sono riscontrati danneggiamenti diffusi sia alle strutture portanti (Figura 2.3.15, 2.3.17 e 2.3.18) sia alle tamponature esterne e ai tramezzi interni in laterizio forato. In molti di questi lo stato di fratturazione e i numerosi crolli delle tamponature e dei tramezzi, anche in assenza di lesioni alle strutture portanti, hanno reso necessario, da parte dei tecnici preposti, la dichiarazione di inagibilità dell'edificio.

Gravi fenomeni di spostamento relativo dei solai sui pilastri si sono verificati in diversi fabbricati anche di recente costruzione (Figura 2.3.16). Questa tipologia di danno è dovuta alla pratica costruttiva della ripresa del getto del calcestruzzo sul pilastro al livello dell'intradosso della trave portante del solaio superiore. Questo sistema non consente un buon livellamento del calcestruzzo per il getto successivo e, soprattutto, non consente l'inserimento di adeguate armature antisismiche per il rinforzo del nodo trave-pilastro.

Infine ulteriori gravi danni si sono verificati in corrispondenza di edifici con fondazioni posati su piani a differente quota e privi di un adeguato collegamento.

I rilievi effettuati hanno evidenziato, inoltre, quanto abbia giocato un ruolo di primo piano l'attenzione posta dai progettisti alla locale distribuzione delle faglie attive sismogenetiche. A tal proposito devono essere citati i casi di alcune palazzine costruite recentemente in corrispondenza della fascia di fratturazione al suolo, descritta nel precedente paragrafo, caratterizzate da un frazionamento in diversi corpi strutturali indipendenti mediante l'interposizione di ampi giunti e l'esecuzione di fondazioni molto rigide anch'esse dotate di giunto. La tipologia costruttiva adottata ha permesso ai fabbricati di traslare l'uno rispetto all'altro in modo differenziato durante il sisma, assecondando la fratturazione del suolo e il movimento del terreno (Figura 2.3.19 e 2.3.20). Questi accorgimenti applicabili in zone soggette a rottura del terreno devono ovviamente essere integrate con le normali tecniche adottate per le zone sismiche dettate dalla normativa e dal buon senso. Una volta di più possiamo verificare che quando i nuovi edifici vengono progettati e costruiti secondo criteri che tengono in giusta considerazione la pericolosità sismica di un'area gli effetti distruttivi dell'evento sismico vengono notevolmente ridotti.

2.3.3 Considerazioni conclusive e sviluppi futuri

I sopralluoghi effettuati sono stati mirati al riconoscimento degli effetti superficiali indotti dal sisma sul terreno e sulle eventuali relazioni intercorrenti tra fratturazione al suolo e danneggiamenti alle infrastrutture, con

particolar riguardo alla rete idrica. In tale contesto è stato necessario, per valutare gli effetti del sisma, verificare anche lo stato di danneggiamento degli edifici pubblici e privati, nel rispetto delle competenze degli enti preposti alla valutazione dell'agibilità degli edifici.

In particolare, i dati raccolti hanno permesso di definire per l'area epicentrale a) la distribuzione delle diverse reti idriche locali (comprendenti di pozzi, serbatoi e punti consegna), b) la distribuzione della fratturazione al suolo e dei punti di rottura registrati lungo le reti idriche legata a tale evento, c) la distribuzione delle faglie capaci di produrre in un prossimo futuro deformazione del suolo e conseguenze sulle infrastrutture locali.

Sulla base di quanto osservato durante la campagna, si ritiene utile sottolineare che l'evento sismico ha generato tre fasce di fratturazione al suolo, all'interno delle quali sono state registrate quasi tutte le rotture della rete idrica, principale e/o capillare e i più severi danneggiamenti agli edifici. Inoltre, gli edifici costruiti con corretta cognizione della pericolosità sismica dell'area sono risultati indenni da danni rilevanti, anche quando edificati in corrispondenza delle fratture al suolo.

In riferimento all'ultimo incontro avvenuto a Catania con il responsabile del Reparto Chimico del Dipartimento Provinciale di Catania dell'ARPA Sicilia, durante il quale è stato fatto il punto sull'attività svolta dai tecnici dell'APAT, è emersa l'esigenza, al di là della specifica fase emergenziale, di predisporre un programma di indagini più articolato in merito al monitoraggio degli effetti di superficie indotti da eventi sismici nell'area etnea, con particolare riferimento ai danni che potenzialmente potrebbero prodursi sulla locale rete di distribuzione idrica, all'interno di tutto il territorio provinciale di Catania (banca dati con relativa mappatura e georeferenziazione). Tale studio, che potrebbe essere fruito direttamente dalle competenti Autorità locali per la gestione di eventuali future fasi emergenziali, potrebbe essere svolto in collaborazione tra i tecnici dell'APAT e dell'ARPA Sicilia, nell'ambito della collaborazione già precedentemente avviata.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 2.3.5: Fratturazione del manto stradale nel centro abitato di S. Venerina (a destra) e in località Dagala Canne (a sinistra).



Figura 2.3.6: Fratturazione del manto stradale e nel terreno in località Scura.



Figura 2.3.7: Fratturazione del terreno in località Scura.



Figura 2.3.8: Fratturazione del terreno agrario in località Scillichenti.



Figura 2.3.9: Particolari del settore della rete idrica danneggiato presso la scuola di S. Venerina.



Figura 2.3.10: Rottura delle condutture idriche in corrispondenza del cavalcavia dell'autostrada posta tra Linera e Guardia.



Figura 2.3.11: Lesioni incrociate da sollecitazione sismica in edificio in muratura di pietrame con ricorsi di mattoni (S. G. Bosco).



Figura 2.3.12: Effetti del sisma all'interno di una abitazione (S. G. Bosco).



Figura 2.3.13: Struttura portante verticale realizzata con un unico corso di mattoni (S. Venerina).



Figura 2.3.14: Crollo del tetto in un vecchio edificio in muratura di pietrame (S. G. Bosco); può essere osservata la mancanza del cordolo e la sostanziale tenuta delle catene.



Figura 2.3.15: Plasticizzazione del nodo trave-pilastro (S. G. Bosco).



Figura 2.3.16: Edificio abitativo di recente costruzione a S. Venerina. E' stato rilevato uno spostamento del primo solaio al nodo trave -pilastro. Il piano di slittamento corrisponde alla ripresa del getto di calcestruzzo.



Figura 2.3.17: Opere in ferro per la messa in sicurezza di un pilastro crollato (S. G. Bosco).



Figura 2.3.18: Pilastro lesionato da sollecitazione di taglio (S. G. Bosco).



Figura 2.3.19: Dislocazione del suolo e conseguente traslazione di una intera porzione di un fabbricato a S. G. Bosco.



Figura 2.3.20: Dettaglio della foto precedente che evidenzia lo spostamento di un fabbricato abitativo nella zona del giunto, realizzato per adeguare le deformazioni dell'edificio a quelle del terreno.

2.4 I terremoti del 31 ottobre e 1 novembre 2002 nel Molise orientale

E. VITTORI, V. COMERCI, E. GUARNERI, L. GUERRIERI, D. LIGATO

con la collaborazione di:

C. CARLOMAGNO (ARPA Molise, Dipartimento di Termoli),

E. ESPOSITO, S. PORFIDO (CNR – Istituto Ambiente Marino Costiero - GEOMARE SUD, Napoli).

2.4.1 Introduzione

Preceduto da una scossa avvertita dalla popolazione di magnitudo (M_l) = 3,5 avvenuta alle ore 3:27 locali, un evento sismico di M_l = 5,4 ha colpito il Molise orientale alle ore 11:32 del 31 ottobre 2002, seguito il 1 novembre alle ore 16:08 da un altro di energia comparabile (M_l = 5,3). L'INGV ha inizialmente localizzato (2 Novembre) l'epicentro del primo evento in prossimità di Montorio dei Frentani e quello del secondo poco ad est di Ripabottoni (Figura 2.4.1).

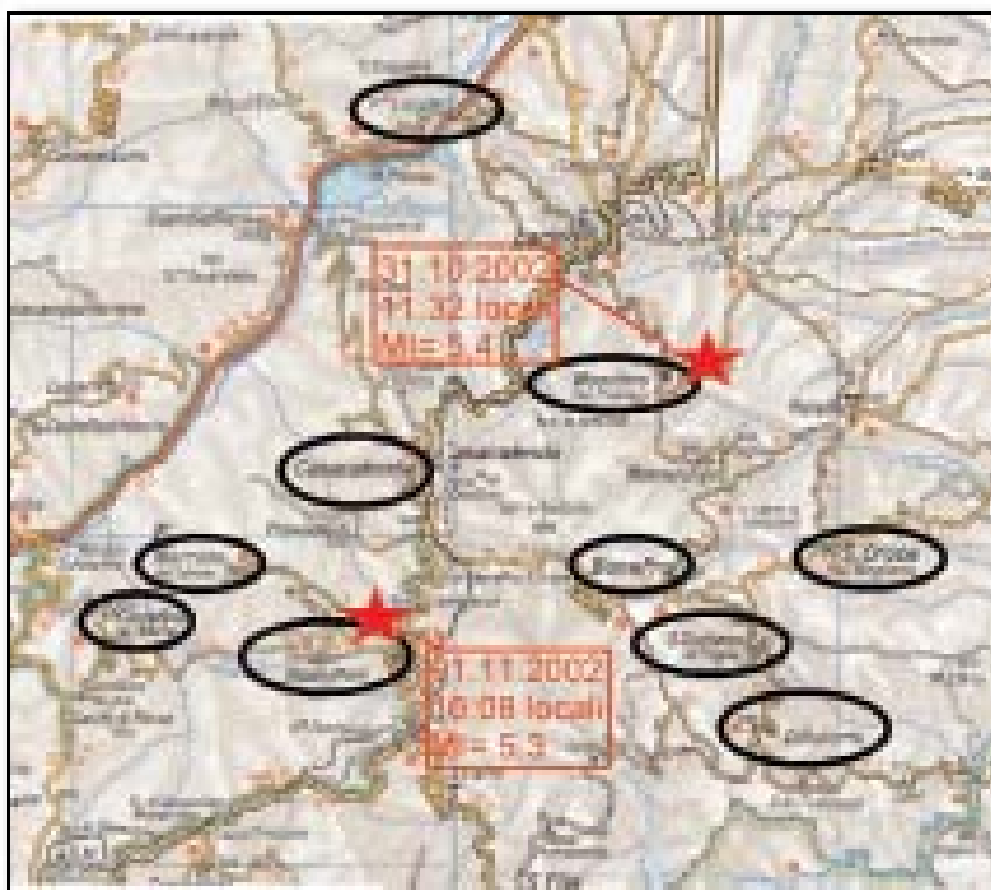


Figura 2.4.1: Ubicazione degli epicentri strumentali delle due scosse maggiori (fonte INGV).
I comuni oggetto dei sopralluoghi sono cerchiati in nero.

Dal punto di vista macrosismico, l'intensità massima della prima scossa (VIII-IX MCS) è stata osservata diversi chilometri più a sud, in corrispondenza di San Giuliano di Puglia (CB), l'unica località dove si sono avute vittime (29); in particolare, il crollo della scuola elementare ha causato la tragica morte di 26 bambini e di un'insegnante.



Figura 2.4.2: - Panoramica sul centro abitato di San Giuliano di Puglia

Le intensità registrate nei comuni più vicini all'epicentro strumentale (Montorio, Montelongo, Casacalenda) non hanno invece superato il VI-VII grado MCS. La seconda scossa ha avuto intensità massima di VII grado MCS a Ripabottoni (fonte sito web INGV). Successivamente (metà novembre), l'INGV ha rilocalizzato l'evento del 31 ottobre più a sud, alcuni km ad ovest di San Giuliano. Sulla base dei telesismi, l'USGS (NEIC) ha stimato per i due eventi maggiori magnitudo momento (M_w) di 5,9 e 5,8 rispettivamente, mentre il Seismology Group di Harvard ha stimato M_w di 5,7 e 5,6 ($M_s = 5.8$ per entrambi gli eventi). I meccanismi focali risultano di tipo trascorrente quasi puro, con movimento sinistro lungo i piani orientati da N-S a NNO-SSE e destro lungo quelli orientati da E-W a ENE-WSW. Solo dopo una decina di giorni, l'elaborazione dei dati accelerometrici e della rete sismica temporanea installata in loco ha permesso di identificare come rottura più verosimile quella lungo la direzione est-ovest. Secondo questa interpretazione la sorgente sismogenetica, estesa per 20-25 km, avrebbe il suo limite orientale in corrispondenza di San Giuliano (sito web INGV).

2.4.2 Cenni sulla geologia dell'area

L'area colpita appartiene essenzialmente al Molise orientale (provincia di Campobasso) e per una piccola parte alla Puglia (provincia di Foggia). Gli epicentri ricadono nel settore dei Monti della Daunia delimitato a NO dal Fiume Biferno ed a SE dal Fiume Fortore. Le formazioni geologiche affioranti appartengono prevalentemente all'Unità Dauna: sedimenti carbonatici, cui si intercalano marne verdi di età langhiana, seguiti da calcareniti e calcilutiti ad orbolina, sempre più marnose verso l'alto, di età serravalliano-tortoniana (il cosiddetto Flysch di Faeto). Superiormente si rinvencono peliti prevalenti, già note in letteratura come

“Marne di Toppo Capuana”. Secondo alcuni autori queste ultime costituirebbero in realtà la parte superiore di una successione discordante messiniana depostasi in un bacino di piggy-back.

Dal punto di vista strutturale, l'area è posta sul margine esterno della catena appenninica, a pochi chilometri dal fronte di sovrascorrimento vergente verso ENE (vedi ad esempio le sezioni sismiche interpretate in MOSTARDINI & MERLINI, 1988). Oltre alle strutture compressive sia profonde che superficiali, sono presenti faglie distensive a direzione circa appenninica (fino a NNO-SSE) ed antiappenninica, non radicate in profondità secondo MOSTARDINI & MERLINI (1988). Nello Schema Neotettonico d'Italia (AMBROSETTI et al., 1983), alcune di tali faglie sono considerate attive nel Pleistocene fino nel IV-V intervallo (Pleistocene superiore-Olocene). In particolare, una faglia attiva nel IV-V intervallo a direzione NNO-SSE è riportata in corrispondenza di Colletorto. Questa linea potrebbe appartenere al sistema di faglie riportato nel Foglio 155 (San Severo) della Carta Geologica d'Italia, che mette in contatto la Formazione della Daunia con le Marne di Toppo Capuana.

2.4.3. Intervento coordinato APAT-ARPA Molise

Immediatamente dopo la scossa delle ore 11:32, l'APAT, nell'ambito della propria partecipazione all'Unità di Crisi della Protezione Civile, ed in coordinamento con la Direzione Generale dell'ARPA Molise, ha inviato nell'area colpita una squadra di specialisti, al fine di analizzare gli eventuali effetti sul terreno e di fornire supporto, ove necessario, alle strutture operative della Protezione Civile. Ai rilievi hanno partecipato due ricercatori del CNR di Napoli. La presenza sul territorio già nelle ore successive alla prima forte scossa ha permesso in alcuni casi di discriminare gli effetti della seconda scossa rispetto alla prima.

Alcuni sopralluoghi condotti il primo Novembre, in collaborazione con i tecnici dell'ARPA Molise e dell'ERIM (Ente Risorse Idriche Molise), hanno escluso rilevanti anomalie chimiche o di portata nelle sorgenti monitorate e negli acquedotti.



Figura 2.4.3: Sorgenti del Biferno (Boiano): campionamento delle acque dell'acquedotto ERIM

A partire dal primo di novembre 2002 e per l'intera settimana successiva, ARPA Molise ha condotto un programma di controlli sulle acque e gli impianti industriali a rischio; in particolare sono state effettuate:

- Verifiche sulle reti acquedottistiche di tutti i comuni interessati dal sisma e di quelli restanti della Provincia di Campobasso, con valutazione delle caratteristiche di idoneità al consumo umano delle acque distribuite. Non sono emerse situazioni anomale, ovvero di non conformità.
- Verifica delle distribuzioni idriche di emergenza attivate, soprattutto in campi di accoglienza delle popolazioni sfollate.
- Verifica della funzionalità degli impianti di potabilizzazione delle acque invase sul lago di Guardafiera (Lago del Liscione).
- Accertamenti di eventuali conseguenze sugli impianti di produzione delle aziende del comparto chimico, ricadenti nell'area industriale di Termoli e classificate a rischio di incidenti rilevante commessi con determinate sostanze pericolose, così come previsto dal Decreto Legislativo 17 Agosto 1999 n° 334. Anche per queste situazioni non sono state riferite né rilevate conseguenze particolari.

Contemporaneamente, altri sopralluoghi dei geologi dell'APAT, condotti in parte insieme ai tecnici della Regione Molise, hanno permesso di verificare l'assenza di significative riattivazioni di fenomeni franosi all'interno dell'area epicentrale. Una frana già nota si è però riattivata nei pressi di Salcito, nel bacino del fiume Trigno, in un'area piuttosto distante da quella epicentrale, dove le intensità macrosismiche sono state inferiori al V grado MCS. Inoltre, la seconda scossa ha riattivato un importante movimento franoso che già minacciava il sovrastante settore orientale dell'abitato di Castellino sul Biferno.

Al di là di questo, gli unici effetti rilevanti sul terreno sono stati osservati nel territorio comunale di San Giuliano di Puglia.



Figura 2.4.4: Fratture sul manto stradale al km 45 della SS 647 Bifernina, legate alla mobilizzazione di un corpo di frana preesistente.

ID	Località	Descrizione del sopralluogo	Intensità MCS (da INGV)
1	Bojano (Sorgenti del Biferno)	Una ricognizione dell'opera di captazione delle sorgenti del Biferno non ha riscontrato lesioni all'impianto, torbidità, variazioni significative di portata o chimico-fisiche. Non sono stati osservati effetti sul terreno. Foto 2	< 5
2	Bonefro	Sono state ispezionate alcune opere di ingegneria idraulica volte a mitigare eventi alluvionali che interessavano le porzioni di paese adiacenti al campo sportivo. Le opere non presentavano lesioni significative. Occorre invece segnalare che a seguito della prima scossa un tratto di condotta dell'acquedotto ERIM è risultato danneggiato. Tuttavia, in corrispondenza di tale lesione non sono stati riscontrati effetti sul terreno.	7
3	Casacalenda	E' stato eseguito un sopralluogo sulla frana che interessa il vecchio impluvio del Fosso del Dottore, su cui è oggi presente il centro abitato, già oggetto di interventi di stabilizzazione (pozzi drenanti). Sono state riscontrate evidenze di riattivazione della frana (lesioni su case, strade, scalinate), ma preesistenti alla scossa del terremoto. Il sisma non sembra invece aver riattivato alcuna frana. Non sono state osservate fratture sulle strade.	6
4	Castellino sul Biferno	A seguito della scossa del 1 novembre, sono state riscontrate evidenze di riattivazione della frana che si sviluppa lungo il settore orientale del centro storico. I dreni realizzati per stabilizzare il versante occidentale del paese si sono prosciugati. Lungo la strada che collega Castellino con Ripabottoni, entrambi i giunti di collegamento del viadotto sul torrente Riomaio con le spalle sono leggermente lesionati per sbattimento.	6 - 7
5	Colletorto	Non sono state riscontrate evidenze di riattivazione della frana che interessa il settore meridionale del paese. Sono state riscontrate invece evidenti riattivazioni della frana che interessa la strada per San Giuliano di Puglia.	6 - 7
6	Guardalfiera (Diga del Liscione)	E' stata eseguita una ricognizione dell'opera di sbarramento e dei fianchi della diga. Non sono state riscontrate fratture sul corpo diga o sui versanti.	Non fornita
7	Montorio dei Frentani	Sono state riscontrate lievi rimobilizzazioni all'interno del corpo di frana che interessa il settore settentrionale del paese, visibili sul terreno e sulle strade	6
8	Morrone del Sannio	Non sono stati riscontrati effetti sismoindotti sul terreno, in particolare lungo il settore instabile che si affaccia sul versante meridionale del paese.	6
9	Ripabottoni	Non sono state riscontrate evidenze di riattivazione della frana che interessa il paese.	7
10	Santa Croce di Magliano	Non sono state riscontrate evidenze di riattivazione della frana che interessa il settore meridionale del paese	
11	San Giuliano di Puglia	Sono state rilevate numerose fratture e modesti cedimenti lungo le strade, i muretti di protezione e sul terreno. (vedi capitolo specifico e Tab. II).	8 - 9
12	S.S. 647 Bifernina	Al km 45 sono state osservate numerose fratture sul manto stradale, una delle quali ha deformato anche la spalletta in cemento, causate dalla riattivazione di un fenomeno franoso a seguito del sisma del 1/11/02. Foto 3	Non fornita

Tabella I

La Tabella I riassume tutte le osservazioni condotte durante i sopralluoghi. Gli effetti sul terreno a San Giuliano sono oggetto di una descrizione di dettaglio nella Tabella II.

2.4.4. Tipologie edilizie e danneggiamenti

Seppure finalizzati essenzialmente all'individuazione degli effetti sul terreno, i sopralluoghi hanno permesso anche una verifica speditiva delle tipologie e dei livelli di danneggiamento delle abitazioni e delle infrastrutture viarie, in funzione della modalità costruttiva e del substrato di fondazione.

Nell'area colpita dal sisma sono riscontrabili essenzialmente tre tipologie edilizie: muratura di pietrame, struttura in cemento armato, struttura mista.

In generale, i crolli ed i danni più importanti hanno riguardato il primo ed il terzo tipo costruttivo. La pratica costruttiva locale, vincolata da specifiche prescrizioni antisismiche solo in parte dei comuni nell'area interessata dal sisma (San Giuliano di Puglia ne è ad esempio escluso), ha certamente favorito il danneggiamento di numerosi edifici anche di recente costruzione o ristrutturazione. Al danno ha anche contribuito il frequente accostamento di fabbricati con caratteristiche di rigidità differente e di conseguenza con modi di oscillare diversi.

EDIFICI IN MURATURA DI PIETrame

Sono stati riscontrati:

- danni nella parte sommitale delle strutture a causa sia dei tetti spingenti, sia per la mancanza di cordolo di contenimento (Figura 2.4.12);
- crolli disastrosi dei muri perimetrali, generalmente non incatenati, e abitualmente caratterizzati da larghe aperture (porte e finestre) praticate al piano terreno, spesso in corrispondenza degli incroci nelle murature portanti (Figura 2.4.11);
- scarsa qualità delle malte.

EDIFICI IN CEMENTO ARMATO

In generale hanno sopportato l'intensità del sisma senza importanti lesioni alle strutture portanti (Figura 2.4.14), solo in alcuni casi sono stati rilevati danni ai nodi travi-pilastri anche in edifici di recente costruzione. Le tamponature esterne e le tramezzature interne sono state spesso gravemente lesionate. Tipologie costruttive comuni nell'area, quali la mansarda con tetto in c.a. vicino al solaio di calpestio, creando una zona molto rigida e pesante nella parte più alta degli edifici, ha provocato grandi amplificazioni dell'energia sismica alla base degli stessi edifici.

EDIFICI A STRUTTURA MISTA

E' stata riscontrata la diffusione di una tipologia costruttiva che utilizza mattoni in laterizio forato di tipo portante per le strutture verticali e cemento armato per i solai. Tale soluzione costruttiva è del tutto inadeguata nelle zone sismiche, in quanto le strutture verticali deputate ad assorbire le sollecitazioni prodotte dal sisma risultano per loro natura "fragili", ovvero non dotate di risposta di tipo elastico, e quindi estremamente pericolose per la stabilità dell'intero edificio. Questo tipo strutturale diventa ancor più pericoloso quando all'interno del fabbricato si inseriscono dei pilastri isolati che amplificano le oscillazioni innescando un "effetto pendolo" sull'intera struttura (Figura 2.4.13).

2.4.5 San Giuliano di Puglia

Nonostante quasi tutti i centri abitati in prossimità dell'epicentro presentino settori urbanizzati poggiati su un substrato con scadenti proprietà geotecniche o addirittura instabile, le lesioni agli edifici sono state in generale modeste, ad eccezione di un particolare settore dell'abitato di San Giuliano di Puglia. Pertanto, data la corrispondenza tra le tipologie edilizie nei vari comuni interessati dalla sequenza sismica, il livello di danneggiamento significativamente più elevato a San Giuliano di Puglia rispetto a tutta l'area circostante può trovare giustificazione solo in specifiche condizioni geologiche, unite presumibilmente ad una posizione peculiare rispetto alla sorgente sismogenetica.

Gran parte delle lesioni (in particolare fratture "a croce di Sant'Andrea" nei muri) e degli spostamenti (montanti in pietra di porte e finestre, intere coperture di edifici – vedi Figura 2.4.15, 16 e 17) appaiono riconducibili a oscillazioni prevalenti sul piano orientato circa NNO-SSE, quindi parallelamente alle due strade principali su cui affacciano gli edifici più lesionati (corso Vittorio Emanuele e via Giovanni XXIII) mentre i muri ortogonali a tale allineamento risultano molto meno danneggiati.

L'area più colpita costituisce un settore localmente depresso all'interno di una dorsale orientata in senso circa appenninico (da NO-SE a NNO-SSE), delimitata da vallon con analoga orientazione. Secondo quanto riportato nel Foglio Geologico 155 "San Severo", questa dorsale è costituita da calcari e marne appartenenti alle unità Daune (Flysch di Faeto), ed è bordata da faglie dirette orientate in senso circa appenninico ed antiappenninico (riquadro in Figura 2.4.7). Tali faglie, difficili da individuare con precisione sul terreno, metterebbero a contatto i membri calcarei dell'Unità Dauna con le argille della Formazione di Toppo Capuana (Miocene medio), e potrebbero essere state attive in tempi recenti (vedi Paragrafo 2.4.2).

Il centro storico di San Giuliano è costruito su roccia prevalentemente calcarea (calcari e calcareniti della parte alta della Formazione della Daunia), localmente molto fratturata, mentre nel settore più danneggiato e a valle di questo prevalgono i litotipi argillosi della "Formazione di Toppo Capuana". Lungo il lato orientale della dorsale su cui sorge l'abitato, poco a valle delle case, i suoli argillosi sono interessati da fenomeni franosi classificati come attivi nella cartografia tecnica regionale (Figura 2.4.7). La stessa cartografia non evidenzia alcun dissesto in atto nell'area urbanizzata del comune.

Gli effetti sul terreno della scossa del 31 ottobre sono sintetizzati nella Tabella II. La seconda scossa non sembra aver prodotto significativi effetti aggiuntivi.

Essi sono riconducibili a due tipologie: dissesti gravitativi generalmente superficiali, per lo più concentrati all'interno di, o prossimi a, zone in frana già note (Figure 2.4.5, 6, 8), e fratture, per lo più osservabili sulle sedi stradali (Figura 2.4.7, 10).



Figura 2.4.5: - Dislocazione visibile su una frattura ricollegabile ad un movimento franoso a sud dell'abitato di San Giuliano di Puglia.



Figura 2.4.6: Frattura sulla strada Colletorto-San Giuliano, che interessa sia il manto stradale che il muro di contenimento in c.a.

Una parte di tali fratture, variamente orientate, con andamento curvilineo, sono certamente associate a movimenti gravitativi, soprattutto quelle sul versante ad est e sudest del centro abitato.

Esternamente alle zone instabili note, è riconoscibile un sistema di fratture ad orientazione prevalente NNO-SSE, prive di rigetto, sia orizzontale che verticale.

Esse sono distribuite in una stretta fascia che si segue per circa 600 metri nel settore settentrionale del paese tagliando sistematicamente, con una direzione compresa tra N170° e N140°, la serie di tornanti che porta al centro abitato. Tali fratture, che solo in alcuni casi riprendono fratture preesistenti, sono caratterizzate da un andamento quasi rettilineo e presentano generalmente un'apertura di circa 0,5 cm, raggiungendo in alcuni tratti il cm.

Tale allineamento conduce esattamente all'inizio della strada che attraversa longitudinalmente il paese, nell'area in cui si sono verificati i danni maggiori alle abitazioni, compresi i crolli più gravi. Analoghe fratture sono state rilevate anche all'interno di tale area, ma con maggiore discontinuità, forse anche a causa della difficoltà di accesso.

Alcune di queste fratture, particolarmente quelle allineate lungo la cresta del rilievo, potrebbero essere associate ad un'eventuale rimobilizzazione, per arretramento verso monte, della corona di frana che interessa il versante orientale dell'abitato. Tuttavia, l'assenza di qualunque rigetto lungo tutte le fratture rilevate non conforta questa ipotesi. Per lo stesso motivo è difficile associare le fratture a fenomeni di compattazione differenziale o fagliazione superficiale. Nel corso di successivi sopralluoghi (15 Novembre) si è osservato che tali fratture non hanno subito variazioni, mentre quelle ubicate in corrispondenza delle aree in frana si sono ulteriormente aperte ed allungate (Figura 2.4.9).

Le fratture a nord del paese potrebbero essere controllate dal limite tettonico per faglia diretta tra i litotipi calcarei e quelli marnosi, che presenta in tale area analoga orientazione. La distribuzione delle repliche dei due terremoti mostra un allineamento in direzione circa est-ovest, verosimilmente corrispondente al piano di rottura della struttura sismogenetica. Ciò rende improbabile una riattivazione cosismica di questa faglia, orientata invece NNO-SSE.

Le fratture osservate potrebbero quindi essere legate all'effetto combinato dei seguenti fattori: a) caratteristiche di propagazione dell'impulso sismico, b) caratteristiche geometriche della faglia sopra citata, c) contatto tra litologie con proprietà meccaniche differenti.

Solo il confronto tra le caratteristiche della rottura sismogenetica profonda, che ora iniziano ad emergere dall'interpretazione dei dati sismologici, con rilievi dettagliati dell'assetto tettonico e stratigrafico locale, potrà chiarire l'eventuale rapporto tra questo limite tettonico e la faglia sismogenetica, e quindi la sua possibile influenza sul livello di danneggiamento a San Giuliano di Puglia.

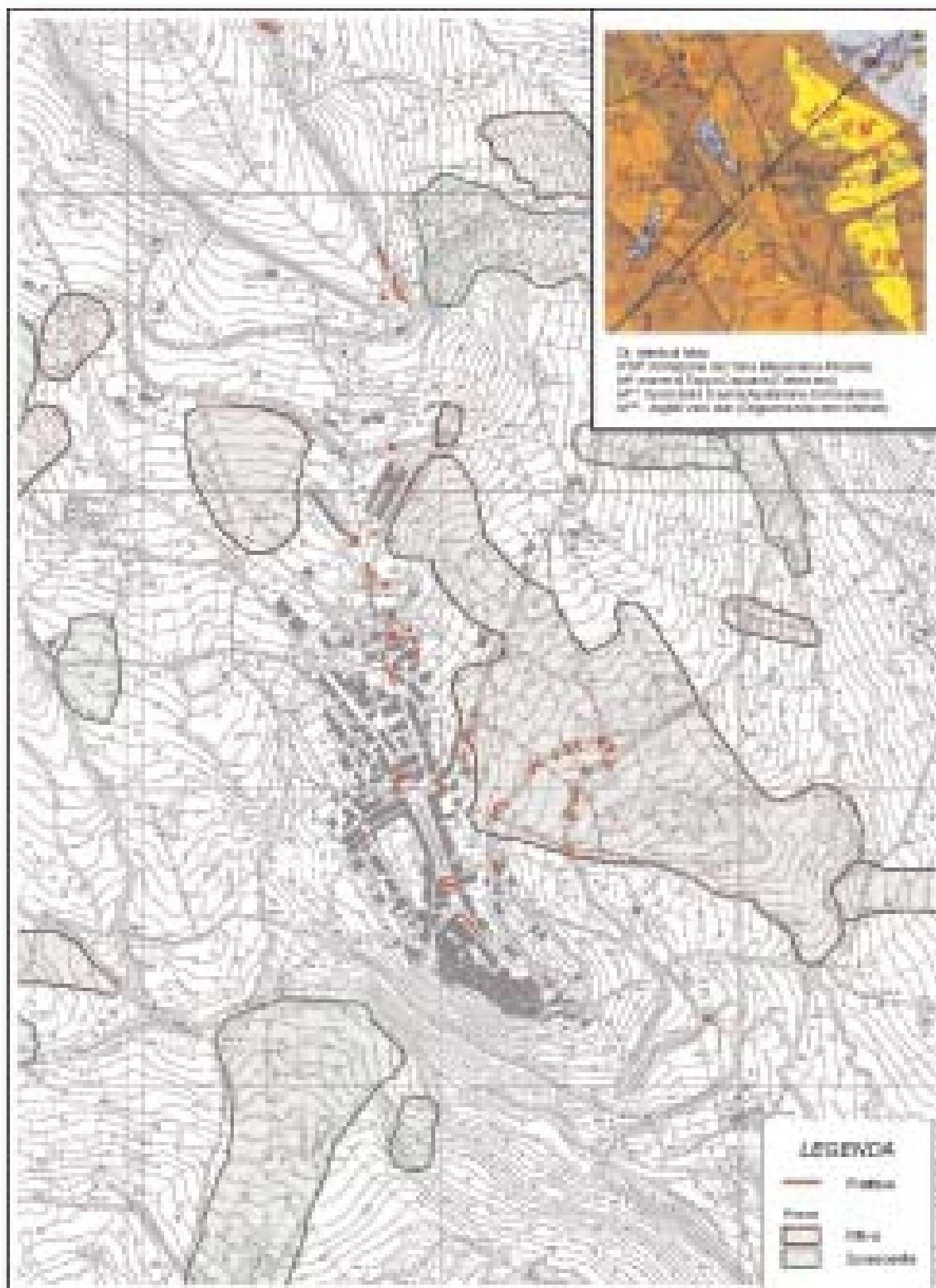


Figura 2.4.7: Distribuzione delle fratture rilevate nell'area di San Giuliano di Puglia a seguito della sequenza sismica iniziata il 31.10.2002. Il numero in verde indica l'ID progressivo di ciascuna frattura (cfr. Tabella II). Le aree in frana sono quelle perimetrate nella Cartografia Tecnica della Regione Molise (in base al D.L. 180/98). Nel riquadro è riportato uno stralcio del Foglio Geologico 155 "San Severo" relativo al territorio comunale di San Giuliano.

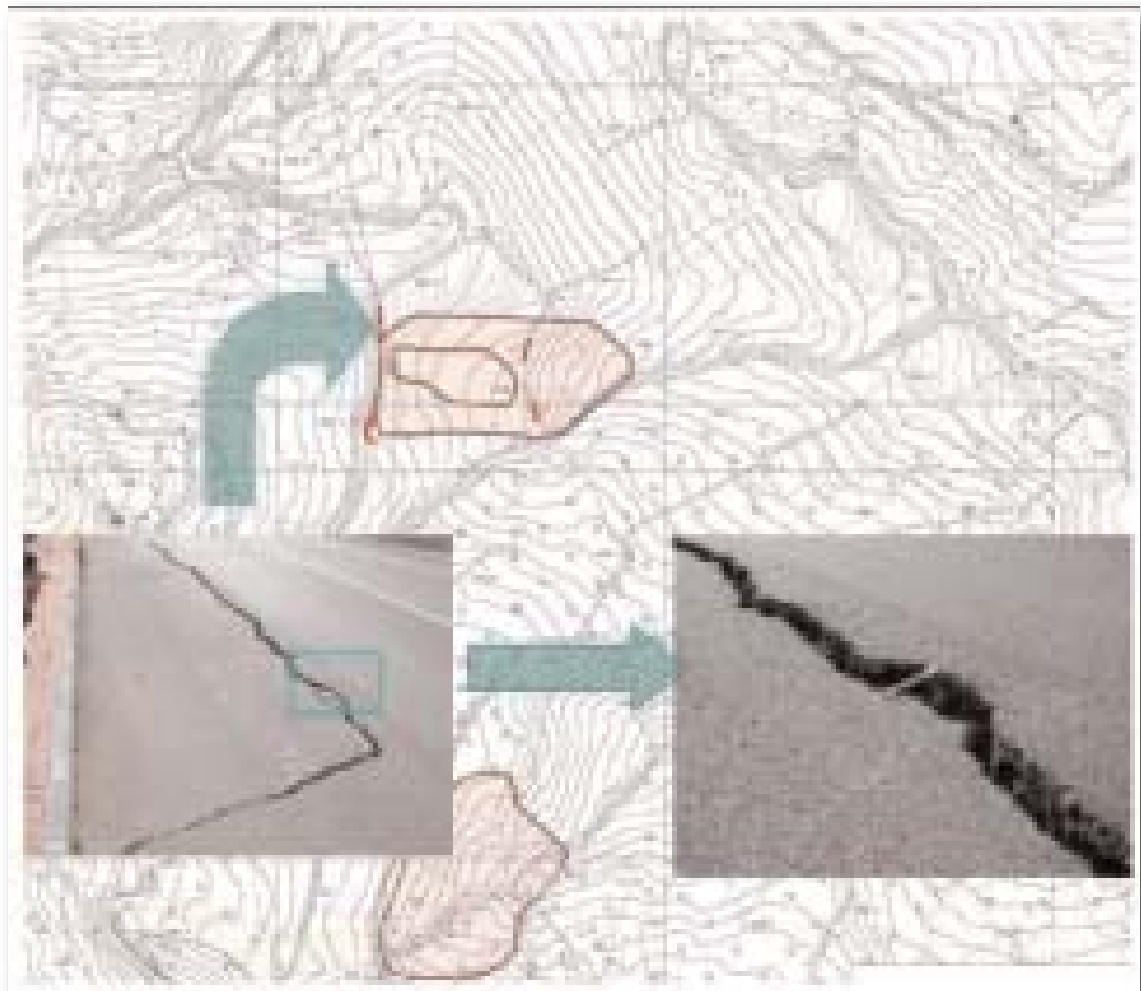


Figura 2.4.8: Strada di collegamento Colletorto-San Giuliano di Puglia: un esempio di fenomeno franoso riattivato in occasione della sequenza sismica iniziata il 31.10.2002.



Figura 2.4.9: Corona di frana che interessa la sede stradale a sudest dell'abitato di San Giuliano di Puglia. Il movimento è risultato ancora in atto due settimane dopo il sisma.



Figura 2.4.10: Due fratture cosismiche che hanno interessato la sede stradale a nord dell'abitato di San Giuliano di Puglia. A) frattura 12 in Tab. II, B) frattura 8 in Tab. II.



Tabella II

ID	Direzione	Apertura (mm)	Lunghezza (m)	Rigetto (cm)	Note
1	N 114°	1	6	\	
2	N 155°	5	6	\	Continua, taglia tutta la sezione stradale
3	N 20°	1	4	\	Continua
4	N 158°	1	6	\	Anche il muretto di protezione della strada risulta lesionato
5	N 120°	1	5	\	Continua taglia tutta la sezione stradale - la frattura si reimpostava su una apertura preesistente nella mezzzeria di destra
6	N 110°	1	4	\	Continua
7	N - S	8	6	\	Si congiunge con spaccature sul marciapiede
8	N 170°	5	12	\	Si reimposta su una apertura preesistente
	N 170°	5	4	\	Continua
9	N 170°	4	6	\	Continua
10	N 170°	4	26	\	Non continua
11	N 170°	3	1,5	\	Non continua
	N 170°	1	1	\	Non continua
	N 170°	1	6	\	Continua
12	N 120°	7	6	\	Continua
13	N 140°	5	6	\	Forse già aperta - continua
	N 140°	\	6	\	Continua
14	N - S	1	6	\	Impostata su una precedente frattura, nuova a bordo strada dx
15	N 160°	\	6	\	Impostata su una precedente, nuova per 60 cm
16	N 160°	da 3 a 5	6	\	Non continua
17	N 160°	3	5	\	Continua
18	\	\	6	\	Si reimposta su una apertura preesistente
19	N 150°	2	6	\	Taglia il muro di contenimento, segmentata
20	\	\	\	\	Frattura per frana verso S - E
21	N 155°	\	\	\	Sul marciapiede, mattonelle rotte , altre piccole fratture al centro ed al bordo destro
22	N 120°	\	\	\	3 parallele
23	N 140°	\	14	\	Non continua, impostata su una preesistente parallela all'asse stradale
24	N 60°	3	6	\	Rompe la spalletta del muro
	N 40°	5	6	\	
25	\	10	\	\	Nicchia di frana, serie di fratture perpendicolari all'asse stradale
26	\	15	\	\	Nicchia di frana, forse riaperta dopo sarcitura
27	\	20	\	\	Nicchia di frana in movimento
28	N 155°	2	6	\	Discontinua
29	N 140°	4	6	\	
30	N - S	10	\	0.5	Frana

31	N - S	6	6	\	Continua
32	N 10°	3	6	\	Continua
33	N 70°	3	6	\	Continua
34	N 150°	7	6	\	Continua
35	N 150°	9	6	3	
36	N 80°	10	\	3	Probabile riattivazione di frana - muretto spaccato fino a 2 cm
37	E - W	10	6	\	Andamento irregolare
38	\	\	\	\	Frattura ad arco con slittamento e rigetto di alcuni cm, ancora in movimento il 5 novembre
39	N 30°	5	6	\	Continua
40	N 140°	1	6	\	Continua
41	N10°	30-50	20	5	Frana
42	N105°	10	8	\	Nicchie di frana e fratture associate
43	N160°	2	7	\	
44	N70°	3	6	\	
45	N150°	3	7	\	
46	N160°	\	8	\	Sul margine destro della strada
47	N60°	\	4	\	



Figura 2.4.11: Casacalenda. Serie di aperture troppo ravvicinate a piano terra che hanno indebolito la struttura in pietra.



Figura 2.4.12: Bonefro. Crollo provocato dalla spinta del tetto e dalla mancanza del cordolo di coronamento.



Figura 2.4.13: Bonefro. Esempio di struttura mista danneggiata nell'angolo. La struttura è a rischio di collasso totale



Figura 2.4.14: Larino. Liceo Classico comunale D'Ovidio. Danni provocati dal sisma.



Figura 2.4.15: S. Giuliano di Puglia. Collasso di un muro esterno. Si nota l'apertura di un vano per l'accesso alla cantina in prossimità dello spigolo del fabbricato, che ha creato una zona di debolezza strutturale.



Figura 2.4.16: S. Giuliano di Puglia. Fessurazioni incrociate lungo Corso V. Emanuele.



Figura 2.4.17: S.Giuliano di Puglia. Slittamento del solaio superiore dal fabbricato.



Figura 2.4.18: S.Giuliano di Puglia. La porta di ingresso adiacente allo spigolo del fabbricato ha creato una zona di debolezza strutturale.



Figura 2.4.19: S. Giuliano di Puglia. Vecchio edificio in muratura di pietra ristrutturato con inserimento di solai in c.a. rigidi.