

CARATTERISTICHE GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICHE ED EFFETTI DI SITO A SAN GIULIANO DI PUGLIA (CB) E IN ALTRI ABITATI COLPITI DALLA SEQUENZA SISMICA DELL'OTTOBRE-NOVEMBRE 2002

Biagio Giaccio¹, Sabatino Ciarcia², Paolo Messina¹, Alberto Pizzi³, Michele Saroli⁴, Andrea Sposato¹, Augusto Cittadini¹, Valentino Di Donato², Paola Esposito² & Fabrizio Galadini^{1,5}

¹CNR, Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, Sezione di Roma "Tor Vergata",
Via del Fosso del Cavaliere 100, 00133 Roma (giaccio@irtr.rm.cnr.it)

²Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Napoli "Federico II",
Largo S. Marcellino 10, 80134 Napoli (sciarcia@unina.it)

³ Dipartimento di Scienze della Terra Università di Chieti "G. d'Annunzio", Campus Universitario Madonna delle Piane,
Chieti Scalo, 66013 Chieti (pizzi@unich.it)

⁴CNR, Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, Sezione di Roma "La Sapienza",
Piazzale Aldo Moro 5, 00185, Roma (michele.saroli@uniroma1.it)

⁵INGV, Via di Vigne Murate 605, 00143 Roma

RIASSUNTO: Giaccio B. (et al.), *Caratteristiche geologico-geomorfologiche ed effetti di sito a San Giuliano di Puglia (cb) e in altri abitati colpiti dalla sequenza sismica dell'Ottobre-Novembre 2002*. IT ISSN 0394-3356, 2004.

In seguito ai due eventi di M_L 5,4 e 5,3 della sequenza sismica del 31 Ottobre-1 Novembre 2002, sono state osservate significative disomogeneità nella distribuzione del danno. Il caso più eclatante è rappresentato dall'abitato di San Giuliano di Puglia, caratterizzato da un marcato contrasto fra aree con edifici distrutti ed altre solo lievemente danneggiate in contiguità fra loro. Anomalie nella distribuzione del danno sono state riscontrate anche in centri attigui prossimi alle zone epicentrali. La massima intensità MCS di VIII-IX grado è stata attribuita a San Giuliano di Puglia, mentre agli abitati di Bonefro e Colletorto, siti a qualche chilometro da San Giuliano di Puglia, sono stati assegnati rispettivamente i gradi di VII e VI-VII MCS. In nessun caso sono stati assegnati i gradi intermedi di VII-VIII e VIII. Queste "anomalie" hanno suggerito che alcuni potenziali fattori locali, quali le caratteristiche geologiche del sottosuolo, i dissesti franosi o le caratteristiche del costruito, abbiano fortemente condizionato l'entità e la distribuzione dei danni. Al fine di identificare e definire il ruolo di questi potenziali fattori di amplificazione locale, è stata condotta un'indagine geologica multidisciplinare (stratigrafica, biostratigrafica, geologico-strutturale e geomorfologica) che ha interessato il territorio di San Giuliano di Puglia e altri centri fra i più colpiti dalla sequenza sismica (Ripabottoni, Morrone del Sannio, Pietramontecorvino e Castellino del Biferno). L'esame dei dati acquisiti, ha evidenziato nel caso di San Giuliano di Puglia, una relazione diretta tra danneggiamento e caratteristiche geologico-strutturali e litologiche dei terreni di fondazione. Negli altri centri esaminati gli effetti di sito risultano generalmente moderati e condizionati da fenomeni franosi preesistenti.

ABSTRACT: Giaccio B. (et al.), *Geological-geomorphological characteristics and site effects at San Giuliano di Puglia (Molise, Southern Italy) and other localities struck by the seismic sequence of October-November 2002*. IT ISSN 0394-3356, 2004.

On October 31 and November 1 2002, the eastern Molise region (Biferno and Fortore rivers) of the southern Apennines (southern Italy) was struck by two seismic events characterised by magnitude M_L 5.4 and 5.3, respectively. Although the magnitude is definitely lower than that of the largest Apennine seismic events ($M_L > 6$), in some villages the earthquake caused significant damage, particularly at San Giuliano di Puglia. Preliminary surveys at the damaged localities revealed strong differences in the damage distribution. In some villages, indeed, we observed the coexistence of areas characterised by significant damage (with partial or total collapse of edifices) with areas affected by little damage. The highest intensity of 8-9 MCS has been assigned to San Giuliano di Puglia, while intensities of 7 and 6-7 MCS have been attributed to Bonefro and Colletorto (located close to San Giuliano di Puglia), respectively. Intensities of 7-8 and 8 MCS have in no case been attributed. These anomalies suggested that local effects, e.g. related to peculiar geologic and morphologic conditions or landsliding, may have played an important role in determining the damage distribution. This role may have been amplified by the characteristics and age of the edifices, significantly different throughout a single village. In order to assess the site effects at San Giuliano di Puglia, Ripabottoni, Morrone del Sannio, Pietramontecorvino and Castellino del Biferno, a multidisciplinary geological investigation (stratigraphy, biostratigraphy, structural geology and geomorphology) was performed. Such a multidisciplinary approach has allowed an assessment of the contribution that the single local factor(s) eventually had in determining the damage amplification. The detailed geological studies carried out at San Giuliano di Puglia permitted the definition of the main stratigraphic and structural features of this area, conditioned by a complicated structural style, with thrusts and folds affecting the Toppo Capuana and Flysch di Faeto Formations (Tortonian and Langhian-Tortonian, respectively). The comparison of the damage distribution with the structural framework permits the definition of a direct relationship between the maximum damage and the foundation of the buildings in the clayey marls of the Toppo Capuana Formation. In contrast, the edifices founded in the marly limestone of the Flysch di Faeto Formation suffered less severe damage. In the other investigated localities, the site effects seem more moderate. The slight damage amplification is mainly due to the coseismic re-activation of pre-existing landslides.

Parole chiave: Terremoto, effetti di sito, Molise.

Keywords: Earthquake, site effects, Molise, Southern Italy.

1. INTRODUZIONE

A partire dalle prime ore del 31 ottobre 2002 una sequenza sismica ha interessato un settore dell'Appennino molisano compreso fra i segmenti della media valle del Fiume Fortore e del Biferno. I due principali eventi del 31 ottobre e 1 novembre sono stati localizzati rispettivamente nei pressi dei comuni di Bonefro e Ripabottoni (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 2002) (Fig. 1).

Sebbene la magnitudo di questi eventi (MI 5,4 e 5,3) sia stata decisamente più bassa di quella dei grandi terremoti appenninici, nell'abitato di San Giuliano di Puglia si sono avute anche perdite umane, mentre danni significativi sono stati riscontrati in alcuni altri abitati.

I sopralluoghi a San Giuliano di Puglia hanno evidenziato una forte disomogeneità della distribuzione del danno, che è apparso concentrato in specifiche aree degli abitati. Anomalie nella distribuzione del danno sono state riscontrate anche fra centri attigui. La massima intensità MCS di VIII-IX grado è stata attribuita a San Giuliano di Puglia, mentre agli abitati di Bonefro e Colletorto, siti a qualche chilometro da San Giuliano di Puglia, sono stati assegnati rispettivamente valori di VII e VI-VII MCS (Fig. 1; Galli *et al.*, 2003). Questi indizi hanno suggerito che alcuni fattori locali, quali le caratteristiche geologiche dei terreni di fondazione, gli eventuali fenomeni di dissesto franoso e/o le tipologie edilizie, abbiano fortemente condizionato l'entità e la distribuzione dei danni. Lo scopo di questo studio è l'identificazione dei fattori locali che hanno potenzialmente condizionato la risposta sismica in San Giuliano di Puglia e, in via preliminare, anche in altri centri fra i più colpiti dalla sequenza sismica (Ripabottoni, Morrone del Sannio, Pietramontecorvino e Castellino del Biferno).

Gli aspetti legati alle geometrie e ai caratteri litologici dei terreni di fondazione dell'abitato di San Giuliano sono stati valutati attraverso un rilevamento geologico di dettaglio (1:5.000) ed analisi biostratigrafiche che hanno permesso di ricostruire i principali lineamenti della stratigrafia locale nonché la distribuzione e l'assetto strutturale delle formazioni affioranti. Negli altri centri esaminati lo studio si è limitato a rilevamenti geologici speditivi che in ogni caso hanno permesso di delineare con maggior dettaglio gli aspetti della geologia locale desunti dalla Carta Geologica d'Italia 1:100.000 e/o dalla cartografia tecnica regionale a più grande scala. Pertanto, lo studio dei rapporti tra geologia, fenomeni franosi, strutture del costruito e danneggiamento in questi abitati va inteso come preliminare, non comparabile al quadro di dettaglio ricostruito per S. Giuliano.

L'analisi fotogeologica condotta sul Volo Italia 1988-89 (scala nominale 1:70.000) e i controlli di terreno hanno permesso di effettuare uno studio morfologico di dettaglio con particolare attenzione al riconoscimento dei fenomeni franosi in prossimità dei centri abitati. In particolare per i fenomeni franosi è stata consultata la banca dati del Progetto AVI e quella presente sul Sito Internet della Regione Molise. Osservazioni dirette sui principali caratteri del costruito (qualità e tipo di muratura altezza ed età degli edifici, modifiche strutturali, ...) integrate con alcuni dati preliminari derivati dai rilievi del Servizio Sismico Nazionale (2002) hanno infine permesso di suddividere gli abitati esaminati in aree statisticamente caratterizzate da tipologie edilizie omogenee.

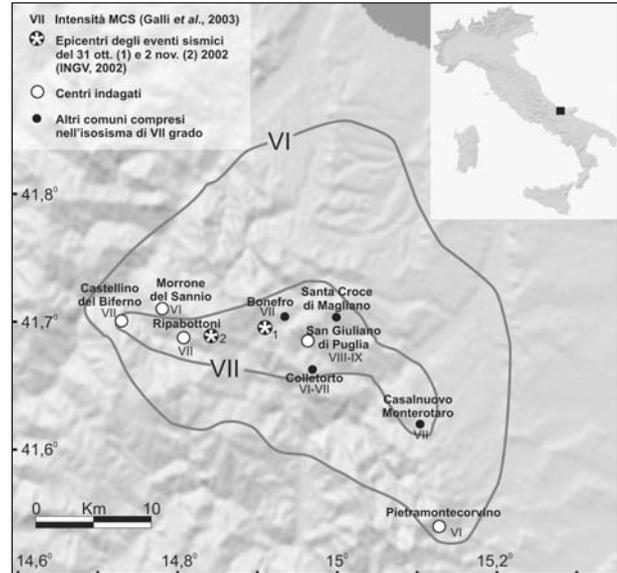


Fig. 1 - Ubicazione degli abitati indagati nel quadro della distribuzione delle intensità MCS.

Location of the investigated localities in the framework of the MCS intensity distribution.

L'esame dei dati acquisiti, in seguito restituiti in elaborati cartografici a grande scala, ha permesso di valutare con buon dettaglio il contributo che ognuno dei summenzionati fattori ha avuto nel determinare l'entità e la distribuzione dei danni in S. Giuliano. Per gli altri centri indagati, viene invece fornito un quadro provvisorio che consente in ogni caso di avanzare alcune ipotesi preliminari.

2. LA SEQUENZA SISMICA

Il principale evento della sequenza sismica del terremoto del Molise (MI 5,4), localizzato a pochi chilometri a sud-ovest di Bonefro, è stato registrato dalle rete sismica nazionale alle 11.32 del 31 ottobre 2002 dopo una serie di lievi scosse (MI 3,5) succedutesi a partire dalle 1.25 dello stesso giorno. Dopo numerose repliche di bassa magnitudo è seguito alle 16.08 del 1 novembre una seconda forte scossa (MI 5,3) con epicentro localizzato a circa 5 Km ad ovest dell'evento principale (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 2002).

I dati sismologici indicano per entrambi gli eventi una profondità di circa 20 Km e meccanismi focali con piani trascorrenti rispettivamente N-S sinistra e E-W destra (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 2002). La distribuzione delle repliche, con una chiara orientazione in direzione E-W, suggerirebbe che le sorgenti sismogeniche responsabili degli eventi principali della sequenza sismica abbiano un orientamento parallelo.

3. DISTRIBUZIONE DEL DANNO

Il danno in San Giuliano di Puglia è stato valutato in VIII-IX della scala MCS (Galli *et al.*, 2003); questo valore è superiore all'intensità attribuita agli altri centri abitati con il rilievo macrosismico aggiornato al 30

novembre 2002. Questi dati evidenziano, in effetti, che a Bonefro, Castellino del Biferno, Ripabottoni, Santa Croce di Magliano nella Provincia di Campobasso e Casalnuovo Monterotaro nella Provincia di Foggia è riferibile un livello di danneggiamento compatibile con il grado VII della scala MCS. L'intensità VII rappresenta il livello immediatamente sottostante a quello definito per San Giuliano; in pratica non sono presenti abitati cui sia riferibile un valore di intensità intermedio tra il grado VIII-IX ed il VII.

L'area che inviluppa gli abitati caratterizzati da un danno valutabile con I=VII MCS è mediamente allungata in direzione E-W, tra Castellino del Biferno e Santa Croce di Magliano, per una lunghezza dell'ordine di 20 km (Fig. 1). Tale distribuzione del danno sembra compatibile con l'attivazione delle sorgenti sismogeniche con direzione E-W, derivabili dai dati strumentali (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 2002). Gli effetti nella Provincia di Foggia, in particolare Casalnuovo Monterotaro (VII) e Pietramontecorvino (VI), rappresentano, nel contesto di questa distribuzione del danno, delle anomalie (Galli *et al.*, 2003). Tali forti risentimenti portano ad un significativo ampliamento verso sud dell'area con danni sensibili. Come si vedrà nei capitoli successivi, almeno nel caso di Pietramontecorvino il danneggiamento risente di fattori geologici locali responsabili di fenomeni di instabilità di pendii in litologia argillosa.

4. CARATTERISTICHE GEOLOGICO-STRUTTURALI DELL'AREA COLPITA DAL SISMA

4.1. Inquadramento geologico

Il territorio colpito dal sisma occupa un settore dell'Appennino meridionale al confine esterno dei fronti di accavallamento delle falde dell'Unità Dauna sui terreni autoctoni dell'avanfossa bradanica e dell'avampaese apulo (Patacca *et al.*, 1992). Lo stile deformativo corrisponde a quello dei settori esterni dell'Appennino meridionale, caratterizzato da estese falde alloctone fortemente traslate e plurideformate, al di sotto delle quali l'avampaese apulo sepolto è raccorciato con una geometria di tipo *duplex* (es. Patacca & Scandone, 1989). Nell'area molisana, secondo Di Bucci *et al.* (1999, *cum biblio*), lo scollamento basale delle falde alloctone è in genere condizionato dalla presenza di argille varicolori, alla quale sono imputabili lo sviluppo di sottili *thrust sheet* con estesi *flat* e presenza di retroscorrimenti. La complessità di tale stile deformativo, evidenziato anche in altre località dell'Appennino dauno (cfr. Pescatore *et al.*, 1998), unitamente ad una complessiva scarsa presenza di affioramenti, critica nei terreni argillosi, ha reso particolarmente problematica la ricostruzione in dettaglio dell'assetto stratigrafico-strutturale degli abitati indagati.

4.2. Geologia di San Giuliano di Puglia

4.2.1. Stratigrafia

Il substrato pre-Quaternario nell'area di San Giuliano di Puglia è caratterizzato dalla quasi esclusiva presenza di depositi miocenici calcareo-clastici, marnosi ed argillosi riferibili all'Unità Dauna (Senatore, 1988; Santo & Senatore, 1988; Russo & Senatore, 1989); soltanto in maniera nettamente subordinata, sono rinvenute

te isolate placche di sedimenti sabbioso-pelitici pliocenici della Formazione del Tona (Servizio Geologico d'Italia, 1969).

Unità Dauna

La successione dell'Unità Dauna (Langhiano-Messiniano inf.), affiora con buona continuità nell'area tipo di Monte Sidone, a NW di Castelluccio Valmaggiore (FG) ed è costituita dal basso verso l'alto dalle seguenti formazioni: Calcareniti, argille e marne di Monte Sidone (non affiorante nell'area in esame), Flysch di Faeto e Marne argillose del Toppo Capuana. Nel settore orientale dell'area rilevata è stata studiata una sezione stratigrafica, al passaggio dal membro marnoso-argilloso-calcareo del F. di Faeto alle marne argillose del Toppo Capuana; in altre zone del territorio di S. Giuliano sono stati prelevati campioni per controlli ad altezze stratigrafiche differenti.

Flysch di Faeto

La formazione, istituita da Crostella & Vezzani (1964), e discussa in lavori successivi (Di Nocera & Torre, 1987; Senatore, 1988; Santo & Senatore, 1988; Russo & Senatore, 1989; Patacca *et al.*, 1990; Dazzaro *et al.*, 1992; Patacca *et al.*, 1992; Sgrosso, 1998; Basso *et al.*, 2002), nell'area indagata, è stata distinta su base litologica in due membri, affioranti con trend sedimentario *fining-up*, costituiti da depositi torbiditici calcareo-clastici, da marne ed argille.

Il *Membro calcareo - marnoso*, in posizione stratigrafica più bassa, è organizzato in alternanze di calciruditi, brecciole e calcareniti bioclastiche (litotamni, briozoi, ecc.) bianche, calcilutiti e marne biancastre, con intercalazioni di argille marnose grigio-azzurre; abbondanti sono i foraminiferi planctonici. Buone esposizioni di intervalli di questo membro si hanno lungo il versante meridionale dell'abitato (Figg. 2 e 3b) ed in numerosi affioramenti poco al di fuori dell'area esaminata. Lo spessore complessivo in quest'area è dell'ordine dei 200 m (Fig. 4), con un limite inferiore non riconoscibile a causa della scarsità di affioramenti.

I campioni di tale Membro sono caratterizzati da associazioni a nannoplancton calcareo e foraminiferi planctonici in cattivo stato di conservazione, tale da rendere talvolta difficoltoso il riconoscimento delle specie. Nelle nanoflore si segnala la presenza di *Discoaster calcaris*, mentre nelle associazioni a foraminiferi planctonici si segnala la presenza di individui di *Neogloboquadrina acostaensis* di ridotte dimensioni. Nel complesso le associazioni planctoniche indicano un'età non più antica del Serravalliano superiore (Sottozona a *Neogloboquadrina continuosa* di Foresi *et al.*, 1998; Biozona CN5b di Okada & Bukry, 1980).

Verso l'alto si passa gradualmente al *Membro marnoso - argilloso - calcareo* (Fig. 4) che è costituito da alternanze di calcari marnosi, marne, e subordinate calcilutiti, calcareniti e brecciole bioclastiche e marne argillose biancastre ed argille verdine. Tale Membro affiora diffusamente ai margini di San Giuliano e negli immediati dintorni (Fig. 2), in genere deformato secondo pieghe complesse o a stretto raggio di curvatura (Fig. 3c), con uno spessore complessivo ricostruibile di ca. 150 m (Fig. 4).

I numerosi campioni di questo membro presentano associazioni planctoniche in buono stato di conser-

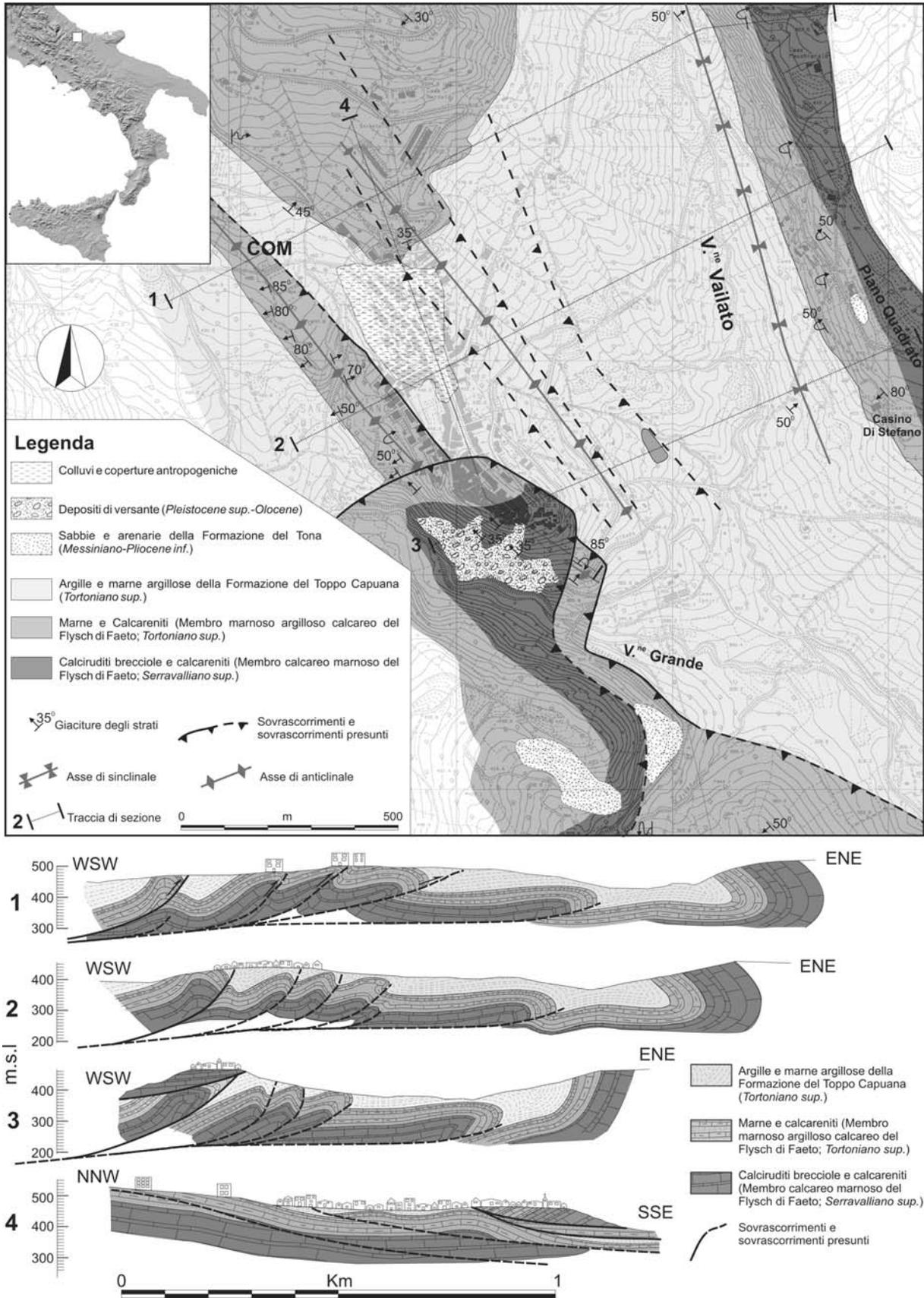


Fig. 2 - Carta geologica e sezioni schematiche dell'area circostante l'abitato di San Giuliano di Puglia. Geological map and schematic sections of the San Giuliano di Puglia village and surrounding areas.

vazione. Le nannoflore presentano associazioni ricche e ben diversificate con *Discoaster surculus*, *Discoaster quinquenarius*, *Calcidiscus leptoporus* e *Calcidiscus macintyreii* tra gli altri. Nelle associazioni a foraminiferi planctonici si segnala la presenza di *Globigerinoides obliquus obliquus*, *Globorotalia ventriosa*, *Orbulina universa*, *Neogloboquadrina acostaensis*. Tali associazioni planctoniche indicano un'età, in particolare per la presenza di *D. surculus* e *D. quinquenarius*, non più antica del Tortoniano superiore (Biozona a *Globigerinoides extremus* di Foresi *et al.*, 1998; Biozona CN9a di Okada e Bukry, 1980).

Nella parte alta del Membro si rinvencono intercalazioni decimetriche e pluridecimetriche di arenarie tor-

biditiche giallastre, a grana media e dalla caratteristica stratificazione "a cogoli". Queste sono esposte in corrispondenza dell'anticlinale a SW dell'abitato ed in località Casino Di Stefano (Fig. 2). Lungo la SP 40 Adriatica, tra S. Giuliano e Colletorto, in prossimità del ponte sul Vallone Grande, è possibile inoltre osservare un intervallo di circa 10 metri di depositi sia marnoso-calcarei sia arenitici, intimamente associati e con assemblaggio caotico. Questo affioramento rappresenta probabilmente uno dei frequenti fenomeni franosi intraformazionali segnalati in letteratura (Selli, 1962; Senatore, 1988; Dazzaro *et al.*, 1992) a diverse altezze stratigrafiche: nel nostro caso la sua collocazione risulta piuttosto dubbia ma sembra evidente che essa sia da riferire all'ambito

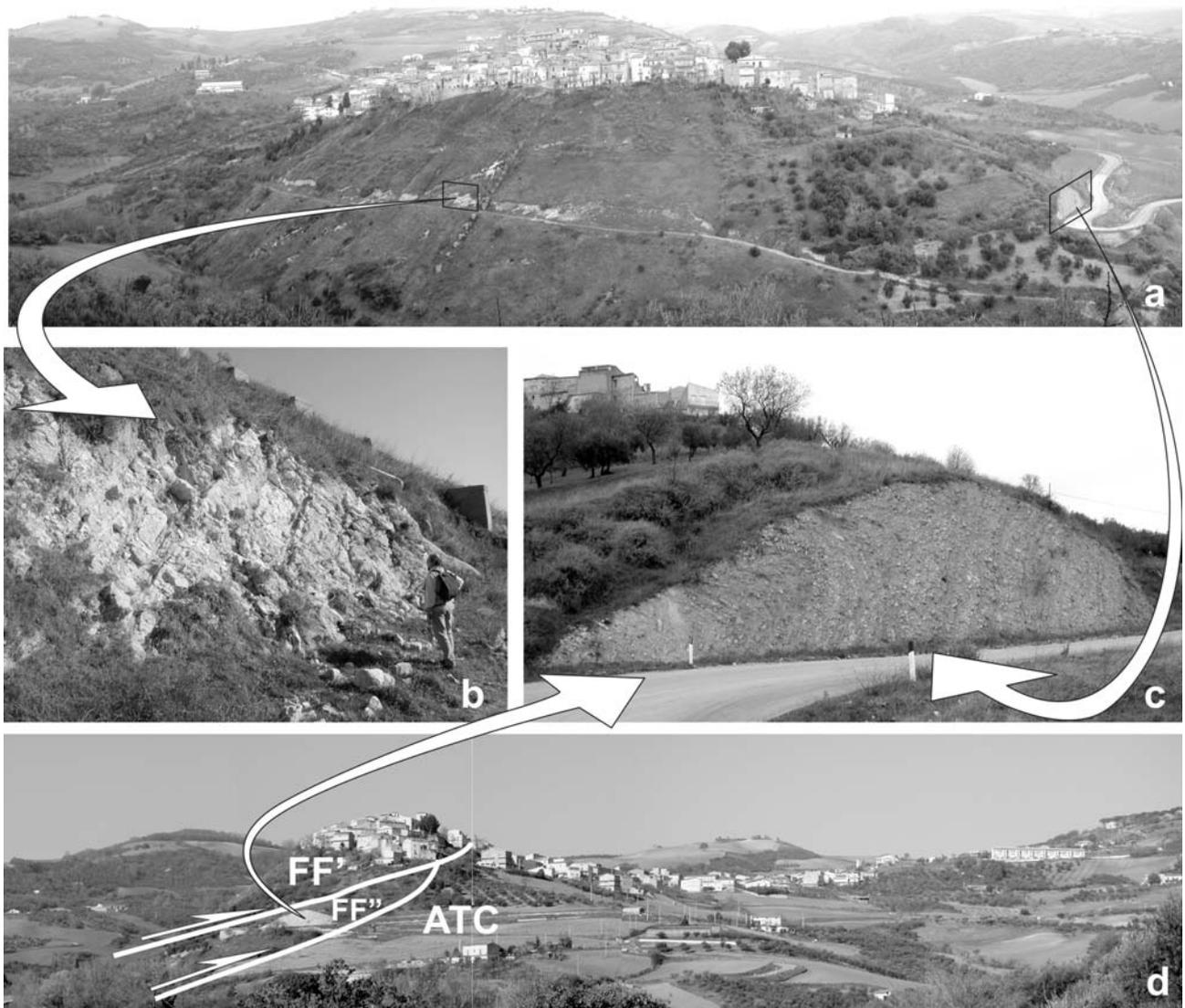


Fig. 3 - (a) Visione panoramica della zona occidentale dell'abitato di San Giuliano di Puglia; (b) dettaglio del Membro calcareo - marnoso del Flysch di Faeto affiorante a ovest dell'abitato; (c) dettaglio del Membro marnoso - argilloso - calcareo del Flysch di Faeto affiorante a sud dell'abitato; (d) Visione panoramica della zona meridionale dell'abitato di San Giuliano di Puglia con indicazione dei rapporti strutturali fra le formazioni del Flysch di Faeto (FF' = Membro calcareo - marnoso; FF'' = Membro marnoso - argilloso - calcareo) e Marne argillose del Toppo Capuana (ATC).

(a) Panoramic view of the western zone of San Giuliano di Puglia; (b) limestone - marly Member of the Flysch di Faeto Formation outcropping in the western sector of the village; (c) marly - clayey - limestone Member of the Flysch di Faeto Formation outcropping in the southern sector of the village; (d) panoramic view of the southern zone of the San Giuliano di Puglia village, the structural relationship between Flysch di Faeto (FF' = limestone - marly Member; FF'' = marly - clayey - limestone Member) and Marne argillose del Toppo Capuana (ATC) Formations is shown.

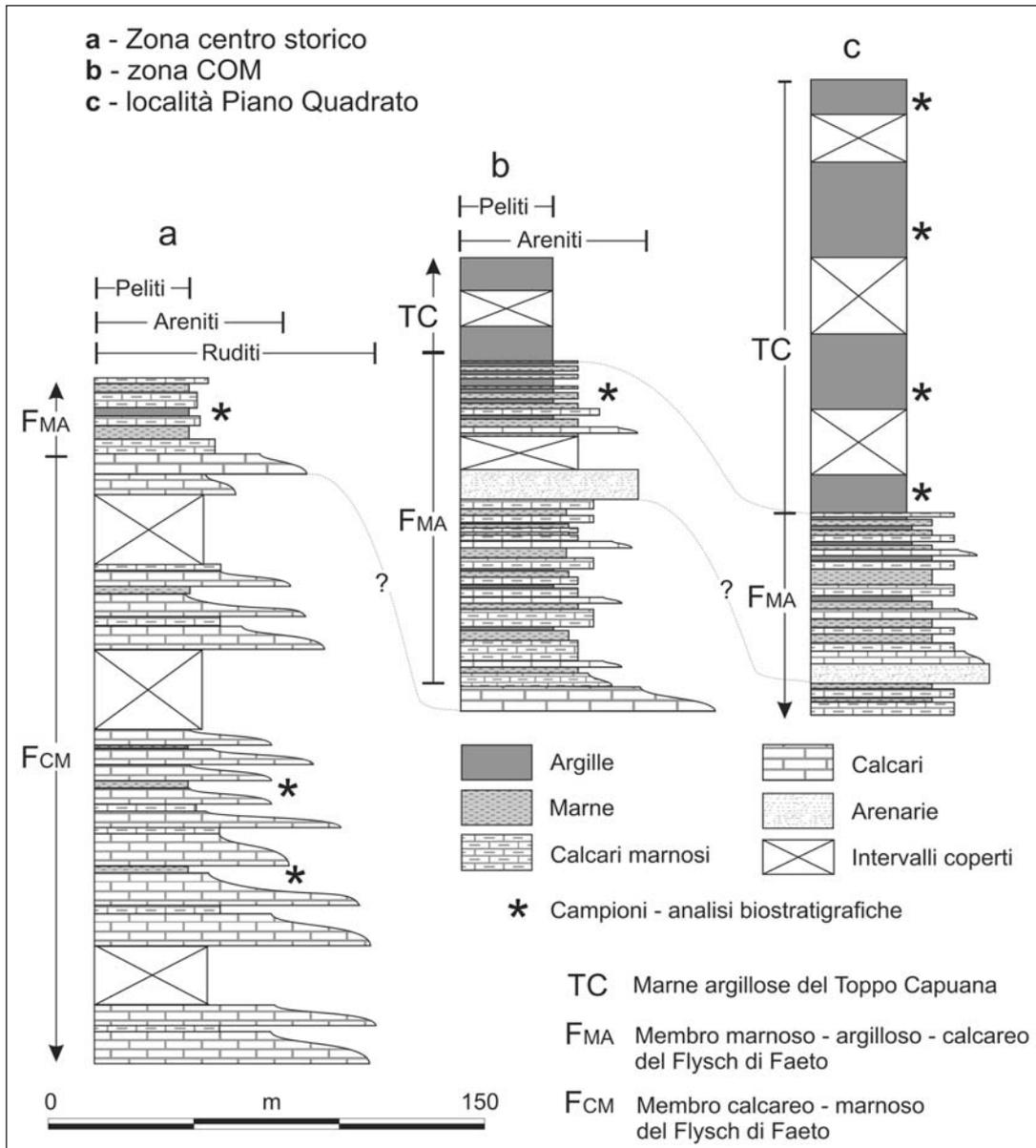


Fig. 4 - Sezioni stratigrafiche schematiche rappresentative dell'area investigata.
 Schematic stratigraphic sections of the investigated areas.

(o ai margini) del *Membro marnoso - argilloso - calcareo* del Flysch di Faeto.

Gli strati calcareo-clastici del Flysch di Faeto hanno spessore variabile, da diversi dm ad alcuni mm, e sono più spessi nel Membro inferiore (*calcareo - marnoso*) dove la granulometria è più grossolana e dove nella maggior parte dei casi è osservabile la sequenza completa di Bouma (1962). Talvolta (soprattutto nel Membro superiore) le torbiditi debuttano con calcareniti prive dell'intervallo basale gradato (sequenza T_{b-e}) e, verso l'alto, passano gradualmente a calcilutiti e marne calcaree ricche in foraminiferi planctonici, spesso interessate da intensa bioturbazione. Il limite tra i due membri, comunque, può essere fissato in corrispondenza della zona di transizione tra i termini basali a dominante calcarea, solitamente in strati spessi (30-50 cm), e quelli sommitali, prevalentemente marnosi ed in strati da sottili a molto sottili (1-10 cm); strati di medio spessore (10-30 cm) sono presenti in entrambi i membri.

Va segnalato che le microfaune a foraminiferi

planctonici del Flysch di Faeto, in precedenza attribuito all'Elveziano-Tortoniano inferiore (Crostella & Vezzani, 1964), indicano, in un'area più a sud, un'età compresa tra il Langhiano inferiore ed il Tortoniano inferiore (Russo & Senatore, 1989). Secondo Patacca *et al.* (1992) depositi della parte più alta della Formazione di Faeto hanno rivelato un'età prossima al limite Tortoniano superiore-Messiniano per la presenza di *A. primus*, *D. blackstockae* e *D. Triradius* associati a *Gb. suterae*.

Marne argillose del Toppo Capuana

Verso l'alto il *Membro marnoso - argilloso - calcareo* del Flysch di Faeto passa gradualmente alle Marne argillose del Toppo Capuana (Crostella & Vezzani, 1964). Tale formazione è caratterizzata da argille verdi e da marne argillose di colore grigio-azzurro con stratificazione orizzontale o indistinta, con rare intercalazioni di sottili strati calcarenitici torbiditici che ne interrompono occasionalmente la continuità.

Tali depositi si rinvenivano, in modo diffuso, in corrispondenza della parte mediana dell'abitato di San Giuliano di Puglia e lungo i versanti occidentale ed orientale: ad ovest la presenza delle argille viene interrotta da una fascia di Flysch di Faeto, in posizione culminante lungo l'asse di un'anticlinale (loc. Palazzetto dello Sport - COM), mentre ad est questi depositi sono mobilizzati da fenomeni gravitativi. Una sezione stratigrafica ben esposta è visibile da C. Cirinalli (presso loc. Piano) al fondovalle del Vallone, dove è possibile osservare il passaggio graduale dai termini più alti del Flysch di Faeto.

I campioni di questo Membro presentano associazioni planctoniche analoghe a quelle del *Membro marnoso - argilloso - calcareo* del Flysch di Faeto, e quindi indicano un'età non più antica del Tortoniano superiore. Lo spessore stimato è di 100-150 m (Fig. 4c).

Nel settore dauno, poco più a sud, alle marne viene attribuita un'età compresa tra il Tortoniano inferiore e il Tortoniano medio-superiore (Russo & Senatore, 1989). Nelle aree ubicate a nord di Monte Sidone, al confine molisano abruzzese, la Formazione delle Marne argillose del Toppo Capuana ha un'età che raggiunge il Messiniano (Ciaranfi *et al.*, 1981). Secondo Patacca *et al.* (1990; 1992) le marne di Toppo Capuana nella località tipo costituiscono in realtà la parte altissima di una successione messiniana di bacino *piggy-back* discordante sulle falde sannitiche e con queste tettonicamente trasportata sulle falde molisane.

Formazione del Tona

Tale formazione di età messiniano-infrapliocenica, istituita dai rilevatori del foglio S. Severo (Boni *et al.*, 1969; Servizio Geologico d'Italia, 1969), viene qui trattata prevalentemente per la sua parte pliocenica, che costituisce la quasi totalità degli affioramenti osservati. Si tratta di molasse gialle e giallo-brunastre, in grossi banchi, con livelli fortemente cementati, diffusa malacofauna (*Panopaea*, *Pecten*, *Solen*, ecc.) e rare intercalazioni di argille verdastre. Tale formazione giace, trasgressivamente e con discordanza angolare talora notevole, sui terreni dell'Unità Dauna. La trasgressione è ben esposta in più punti e particolarmente nei dintorni di San Giuliano di Puglia e di Colletorto (Servizio Geologico d'Italia, 1969). Gli affioramenti migliori sono esposti nei pressi di loc. Piano, nella parte alta del versante sul Vallone Grande (in prossimità del campo sportivo) (Fig. 2) e sul pendio meridionale del rilievo posto a sud di San Giuliano. Anche presso Mass. Vallone (Piano Quadrato), si osservano le sabbie di trasgressione al di sopra delle formazioni dell'Unità Dauna, fortemente inclinate a SW (Boni *et al.*, 1969).

La facies argillosa pliocenica della Formazione del Tona (argille siltose grigio-azzurro) è mancante nell'area esaminata. Essa è, però, molto simile alle Marne di Toppo Capuana; perciò quando i due termini sono a diretto contatto, risulta difficoltoso tracciare un limite tra loro con il solo criterio litologico. Gli spessori rinvenuti in affioramento non superano la decina di metri.

Depositi quaternari

Prescindendo dai sedimenti direttamente connessi ai fenomeni franosi di cui si riferisce oltre, le coperture quaternarie si riducono a lembi di alcuni metri di spessore di depositi di versante localizzati soprattutto lungo il

fianco occidentale della dorsale di San Giuliano. Si tratta di ghiaie eterometriche a luoghi ben stratificate ad elementi subangolosi derivanti dallo smantellamento del substrato calcareo marnoso del Flysch di Faeto. Su queste ghiaie poggiano sedimenti colluviali a matrice bruno-grigiastra contenenti abbondanti frammenti ceramici di età medioevale-rinascimentale. Depositi colluviali simili e coperture antropogeniche recenti di spessore metrico sono state osservate fino al limite del centro storico e segnalate in sondaggi nel sottosuolo dell'intero abitato (Naso *et al.*, 2002)

4.2.2. Assetto strutturale

Nel settore interessato dal rilevamento geologico e nelle aree limitrofe, l'Unità Dauna, rappresentata in larga misura dal Flysch di Faeto, risulta in genere deformata secondo pieghe ad andamento assiale NNW-SSE, vergenti verso l'avampese apulo ed aventi fianchi orientali da verticali a rovesciati. Tali geometrie, unitamente alla limitata lunghezza d'onda delle pieghe suggeriscono la presenza di un livello di scollamento superficiale, probabilmente costituito da argille varicolori, litologie ampiamente rappresentate in questo settore della catena.

Le aree che offrono le migliori esposizioni e che hanno consentito di definire con buona approssimazione i principali lineamenti strutturali, corrispondono al versante occidentale del rilievo su cui sorge l'abitato di San Giuliano e il fianco occidentale della dorsale allungata in senso appenninico immediatamente ad est di San Giuliano (Figg. 2 e 3a). L'ampio settore vallivo che separa i due rilievi, inciso nei sedimenti argillosi della Fm. di Toppo Capuana e interessato da diffusi fenomeni franosi, ha restituito scarsissimi affioramenti.

Lungo il versante occidentale dell'abitato una serie di limitati ma pressoché continui affioramenti del *Membro marnoso - argilloso - calcareo* del Flysch di Faeto, hanno permesso di riconoscere una struttura anticlinale con asse orientato in senso appenninico (Fig. 2). Questa struttura è ben visibile in affioramento in corrispondenza di un taglio stradale a sud dell'abitato dove presenta il suo fianco orientale, da verticale a rovesciato, accavallato verso est sulle argille del Toppo Capuana (Figg. 3c e 3d). Sempre lungo il fianco occidentale del rilievo San Giuliano, all'altezza del limite del nucleo storico, si distingue un settore caratterizzato da un'improvvisa modificazione che interessa sia la giacitura che la porzione stratigrafica del Flysch di Faeto affiorante che passa bruscamente dal *Membro marnoso - argilloso - calcareo* al *Membro calcareo - marnoso*. Tali elementi sono riconducibili ad una scaglia tettonica superiore verosimilmente accavallata sull'anticlinale (Figg. 2 e 3d). In particolare, le relazioni geometriche tra queste due unità suggeriscono una messa in posto in fuori sequenza della scaglia tettonica superiore in quanto dislocava l'anticlinale già presente nel suo *footwall* (Fig. 2), inoltre, la generale immersione degli strati verso NW dell'unità superiore potrebbe indicarne una strutturazione non coassiale con le pieghe ad andamento NNW-SSE presenti nel blocco di letto.

Lungo la dorsale opposta che fiancheggia ad est il Vallone Vailato, affiorano diffusamente i terreni del *Membro marnoso - argilloso - calcareo* del Flysch di Faeto con giaciture costantemente a reggipoggio o prossime alla verticale (Fig. 2). Un simile assetto delle

giaciture è stato osservato anche nelle rare esposizioni delle argille del Toppo Capuana che in questo settore affiorano al disotto del Flysch di Faeto. Negli intervalli più grossolani di questa porzione del Flysch di Faeto sono state inoltre osservate sequenze di Bouma a polarità invertita. Questi elementi indicano che la successione dell'Unità Dauna risulta rovesciata e che l'intero settore costituisca un fianco di una sinclinale a vergenza occidentale con asse orientato NNW-SSE (Fig. 2), verosimilmente collegabile ad un motivo di retroscorrimento posto più ad oriente.

L'analisi mesostrutturale ha inoltre evidenziato la presenza di minori motivi di taglio con cinematica normale orientati mediamente NNW-SSE caratterizzati da rigetti generalmente inferiori al metro.

In conclusione, l'assetto strutturale è caratterizzato da una serie di pieghe da verticali a rovesciate associate probabilmente agli scollamenti ubicati nelle litologie meno competenti delle falde alloctone, da cui si diramano rampe di sovrascorrimento che si propagano nei livelli calcareo-marnosi più competenti del Flysch di Faeto. Le geometrie di tali strutture, nel complesso, definiscono un trend deformativo a principale vergenza nord-orientale compatibile con l'assetto tettonico-strutturale tipico dei settori esterni della catena dell'Appennino meridionale, complicato tuttavia da motivi di fuori sequenza, retroscorrimenti e deformazioni non-coassiali nei diversi *thrust-sheet*.

Per quanto riguarda l'aspetto sismotettonico dell'area, è possibile escludere un ruolo sismogenico connesso all'attività di tali sovrascorrimenti che, dai dati di letteratura esistenti, risultano chiaramente sigillati più ad est dai depositi silicoclastici discordanti del Pliocene superiore-Pleistocene inferiore (es. Patacca *et al.*, 1992). È probabile, invece, che motivi trascorrenti o transtensivi siano all'origine della sismicità dell'area come risulta anche dalla soluzione dei meccanismi focali (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 2002) che evidenziano piani nodali E-W destro e N-S sinistro. In particolare, la zona epicentrale ricadrebbe sul prolungamento occidentale della faglia di Mattinata, la cui attività recente trascorrente destra è stata descritta da vari autori (es., Finetti, 1982; Guerricchio & Wasowski, 1988; Piccardi, 1998; Chilovi *et al.*, 2000). In questa ipotesi, la struttura sismogenica responsabile del terremoto potrebbe essere confinata nel basamento o nella sovrastante piattaforma apula e non ancora propagatasi in superficie sia a causa della presenza del livello di scollamento "duttile", sia soprattutto per la bassa magnitudo che non raggiungerebbe la soglia di $M > 6.5$ necessaria per sviluppare fagliazione fino alla superficie (Wells & Coppersmith, 1994).

4.3. Altri centri indagati

Indagini geolitologiche preliminari sono state effettuate in altri centri danneggiati dal sisma; in particolare sono state analizzate le aree degli abitati di Morrone del Sannio, Ripabottoni, Castellino del Biferno e Pietramontecorvino. La geolitologia di questi abitati è schematicamente rappresentata in Fig. 5. Tali schemi sono stati ricostruiti sulla base di rilievi di campagna speditivi integrati dall'analisi fotogeologica e dallo studio delle stratigrafie dei sondaggi e delle cartografie geologiche comunali esistenti e messe a disposizione dei singoli comuni interessati.

Sono stati distinti e raggruppati i seguenti terreni con caratteristiche litologiche paragonabili.

Argille ed argilliti varicolori

Anche se coinvolge direttamente solo gli abitati di Castellino del Biferno e Ripabottoni (Fig. 5), questa è fra le litologie più frequenti delle aree indagate. Si tratta di argille ed argilliti con subordinati livelli di marne argillose variamente colorate con struttura scagliosa e con giacitura caotica, che presentano caratteristiche meccaniche generalmente da scadenti a molto scadenti. Queste costituiscono il substrato principale dell'area e caratterizzano vistosamente il paesaggio con evidenti forme di forte erosione e con frequenti fenomeni gravitativi trattati in dettaglio nel capitolo successivo.

Sabbie e sabbie limose

Si tratta di termini prevalentemente sabbiosi e sabbioso-limosi con intercalazioni marnose che presentano caratteristiche meccaniche variabili tra discrete e scadenti; tali terreni sono generalmente attribuiti alla parte basale del Flysch di San Bartolomeo o localmente alle formazioni sabbioso-pelitiche plioceniche.

Calcari, marne e arenarie

Rappresentano i termini litologici più coesivi costituiti da corpi di calcare, calcare marnoso, arenarie e localmente da arenarie quarzose. Lembi di tali litotipi costituiscono frequentemente l'ossatura delle strutture morfologiche principali su cui sono ubicati i centri più antichi degli insediamenti in esame (Fig. 5).

Sedimenti clastici incoerenti

Comprendono i sedimenti di natura clastica che costituiscono le alluvioni di fondovalle, le coperture detritiche di versante e i colluviali. In Figura 5 non sono stati distinti le coperture antropogeniche localmente segnalate nei sondaggi ma generalmente non affioranti e non cartografabili.

5. ASSETTO GEOMORFOLOGICO E FENOMENI FRANOSI

Le aree analizzate risultano caratterizzate da settori più rilevati, costituiti da litotipi calcareo e calcareo-marnosi competenti, alternati a rilievi con sommità arrotondate e/o subpianeggianti, interrotte da depressioni vallive che evidenziano la presenza di litotipi prevalentemente argillosi. Un esempio di tale assetto geomorfologico è rappresentato dalla dorsale di San Giuliano delimitata da ampi valloni. Le aree di raccordo morfologico sono il più delle volte costituite da coltri eluviali e colluviali miste a materiale rimaneggiato proveniente da aree in frana. La morfologia delle aree analizzate è, in effetti, fortemente condizionata dallo sviluppo di estesi fenomeni franosi che rappresentano il principale fattore di modellamento del rilievo. Augelli *et al.* (2001) per aree limitrofe (bacino del Trigno, Molise) segnalano come la morfodinamica recente ed attiva appaia nettamente dominata da fenomeni di instabilità gravitativa, sia superficiali che profondi. L'analisi fotogeologica è stata pertanto finalizzata soprattutto all'individuazione e alla classificazione delle frane.

Per la redazione della legenda (Fig. 6) si è fatto

riferimento a Bosi *et al.* (1985), Carrara *et al.* (1987a; 1987b) e alla "Legenda della Carta Geomorfologia d'Italia" (1994) a cui sono state apportate alcune modifiche in relazione alla finalità del lavoro. La legenda è stata quindi sviluppata tenendo conto del tipo di fenomeno e del suo stato di attività, intendendo attivi quei fenomeni conseguenti alle condizioni morfologiche e climatiche al momento presenti nell'area esaminata (Varnes, 1978).

Caratteristica comune a tutti gli abitati indagati, è la presenza di un settore più rilevato, costituito da materiali più competenti, ai cui margini si sviluppano estesi movimenti gravitativi su litologie prevalentemente argillose (Fig. 6). Tra questi fa eccezione l'abitato di Pietramontecorvino dove si osserva la presenza di blande morfologie e la mancanza di netti stacchi morfologici al passaggio tra litotipi più competenti calcareo-marnosi e litotipi argillosi.

Per tutte le aree analizzate, lo sviluppo dei settori in frana assume una caratteristica forma radiale-centrifuga, con tipologie di dissesti, morfologie ed evoluzioni che si ripetono in modo quasi costante. Partendo dai limiti delle aree urbanizzate, caratterizzate da litotipi più competenti, è possibile riconoscere fenomeni di crollo con nette rotture di pendio. Sono essenzialmente i materiali lapidei, incoerenti o semicoerenti, che possono distaccarsi improvvisamente dai versanti e frantumarsi durante il movimento. Questi fenomeni si verificano in prossimità dei margini delle aree urbanizzate interessati

da preesistenti discontinuità strutturali lungo le quali avvengono i distacchi, come nel settore sud-occidentale di San Giuliano, Morrone del Sannio e a NW di Ripabottoni (Fig. 6).

Proprio in prossimità dei margini delle aree urbanizzate, al passaggio da litotipi più competenti a litotipi meno competenti, si sviluppano estesi fenomeni di frana di tipo complesso, caratterizzati al loro interno da frane minori di tipo traslativo e/o rotazionale che evolvono nella parte distale in colate. Tale tipo di evoluzione è osservabile in particolare ad est di San Giuliano, a est e sud di Castellino del Biferno, a SW e NW di Morrone del Sannio a SE di Ripabottoni (Fig. 6). Nell'area in studio questi fenomeni interessano superfici molto estese, anche interi versanti, che presentano ondulazioni, rigonfiamenti, depressioni a conca e piccole scarpate.

Nei casi di fenomeni più complessi, in cui siano state riconosciute forme riconducibili a deformazioni gravitative profonde (*sensu* Chighira, 1992; Sorriso Valvo, 1995; Onida, 2002), l'area coinvolta è stata circoscritta con opportuna simbologia lasciando aperta la parte inferiore come nel settore nord di Castellino del Biferno e nel settore NW di Morrone del Sannio (Fig. 6).

Numerose infine sono le aree in cui sono stati riconosciuti fenomeni di dissesto superficiali. Si tratta di movimenti lenti e discontinui che interessano versanti caratterizzati da pendenze anche inferiori a 5°. Essi sono stati riconosciuti, nella maggior parte dei casi, per il formarsi di colate, lobi, terrazzette e increspature del

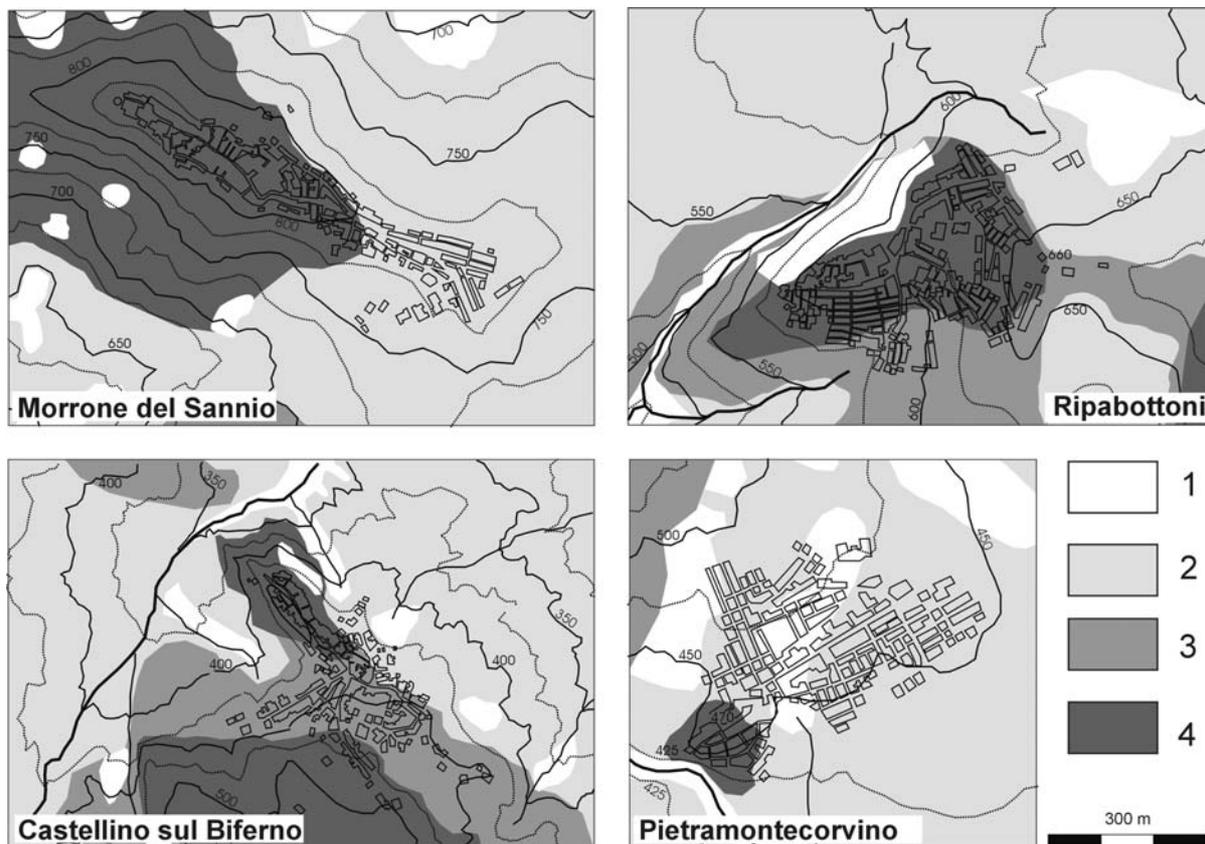


Fig. 5 - Carte geolitologiche schematiche delle altre località investigate. Legenda: 1) sedimenti clastici incoerenti; 2) argille ed argilliti varicolori; 3) sabbie e sabbie-limose; 4) calcari, marne e arenarie.

Schematic geo-lithological maps of the other investigated localities. Legend: 1) clastic loose sediments; 2) clay and shale; 3) sand and silty sand; 4) limestone, marl and sandstone.

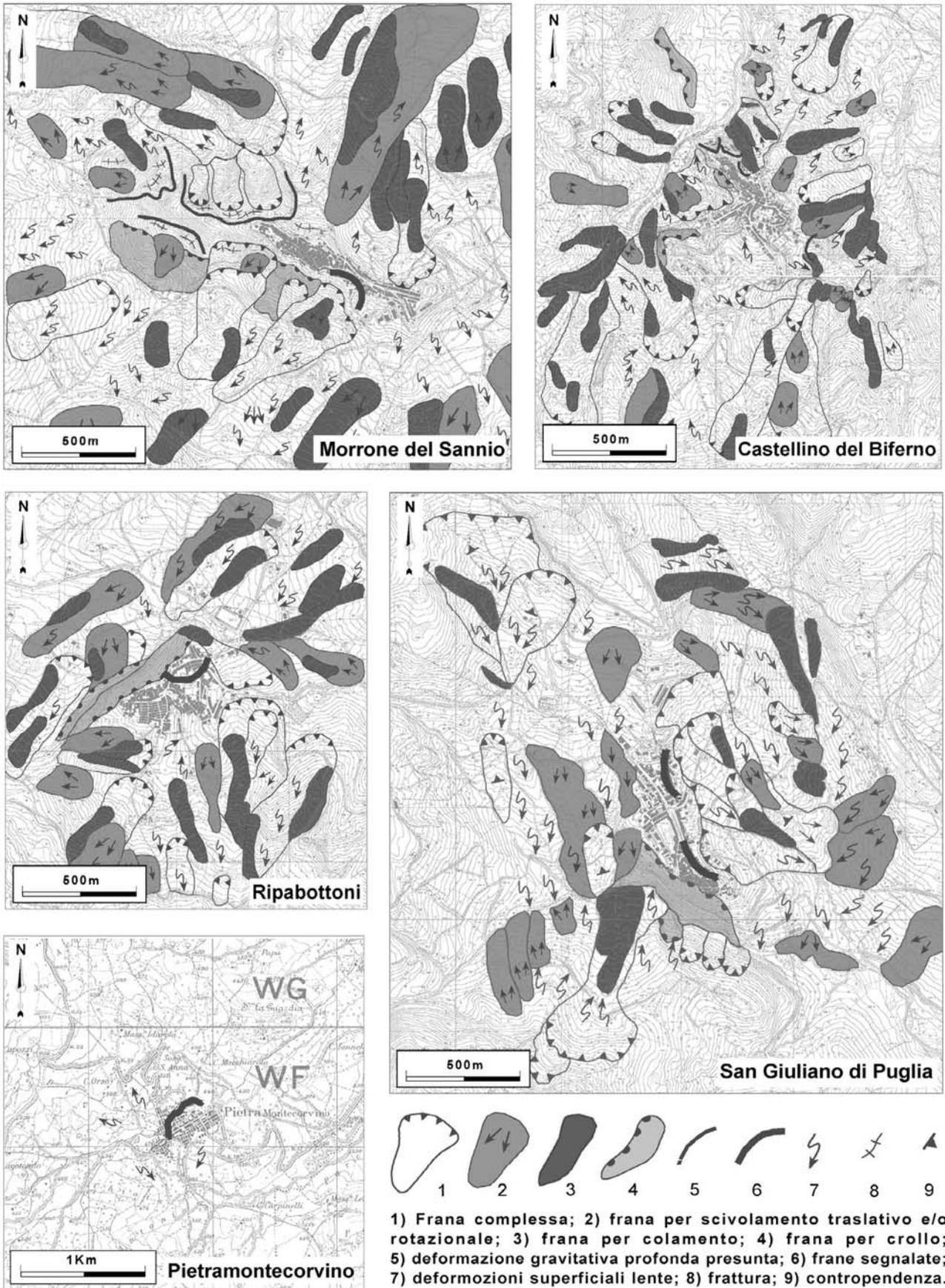


Fig. 6 - Dissesti dei centri abitati interessati dal terremoto del 31-10-2002 e 01-11-2002.
Slope instability in the localities struck by the earthquake occurred on Oct. 31, 2002, Nov. 1, 2002.

terreno; insieme al materiale fine si spostano gli elementi grossolani presenti nel mantello detritico superficiale. I materiali coinvolti sono per lo più di natura argillosa, sui quali le piogge e l'acqua di imbibizione hanno un ruolo determinante per l'innescare del processo. In particolare, le aree circostanti il centro abitato di Pietramontecorvino sono caratterizzate esclusivamente da fenomeni superficiali di non rilevante importanza, riconducibili prevalentemente a deformazioni lente superficiali. In tali settori infatti non sono state riconosciute altre tipologie di frane (Fig. 6).

I fenomeni di dissesto che interessano i settori interni del costruito negli agglomerati urbani non sono stati individuati da foto aeree ma mediante indagini conoscitive e raccolte di materiale presso i comuni.

6. SITUAZIONE URBANISTICA E TIPOLOGIE COSTRUTTIVE

Nei giorni successivi agli eventi sismici, negli abitati di San Giuliano di Puglia, Ripabottoni, Morrone del Sannio, Pietramontecorvino e Castellino del Biferno, oltre ad osservazioni sull'assetto urbanistico, sono stati eseguiti rilievi sugli edifici al fine di comprenderne le caratteristiche costruttive (tipo delle murature, altezza degli edifici, presenza di sopraelevazioni successive alla edificazione, ecc.) e di definire l'entità dei danni da essi subiti. A causa delle difficoltà incontrate durante queste operazioni (ad esempio l'impossibilità di accedere all'interno di molte costruzioni e in alcune parti dei centri storici danneggiati), i dati acquisiti sono stati confrontati ed integrati con quelli delle amministrazioni locali (che hanno provveduto a fornire anche le informazioni relative all'età dei fabbricati) al fine di avere un quadro il più possibile omogeneo e confrontabile della distribuzione dei danni nei vari comuni. In base a queste informazioni gli abitati sono stati suddivisi in tre zone a tipologie edilizie mediamente uniformi, caratterizzate dalla presenza di edifici risalenti al medesimo periodo di costruzione.

Zona A. Classe di vulnerabilità A, raramente B (MSK-76; Braga *et al.*, 1985).

In questa zona sono stati inseriti gli antichi centri storici e gli insediamenti costruiti sino al XIX secolo. Le abitazioni raramente superano i due piani di altezza e sono addossate le une alle altre o sono separate da strade strette e/o tortuose. Le murature, generalmente realizzate con struttura a sacco, utilizzano pietrame legato da malte di qualità scadente. Il pietrame solo in qualche caso presenta elementi squadrate, concentrati in prossimità degli spigoli e sulla parte esterna dalle murature. Non di rado il primo piano è caratterizzato da volte a botte, a crociera o miste ed i solai e le coperture sono spesso in legno. Alcune case oggetto di ristrutturazione presentano opere di rinforzo come contrafforti in pietrame, tiranti metallici e putrelle nei solai.

Zona B. Classe di vulnerabilità B, a volte A e raramente C (MSK-76; Braga *et al.*, 1985).

In questa zona sono stati inseriti gli insediamenti relativamente recenti (dal 1900 sino al 1950 circa), caratterizzati da una notevole disomogeneità edilizia sia per quanto riguarda le tecniche costruttive che per i materiali utilizzati.

Gli edifici sono costituiti al massimo da due o tre piani e sono realizzati in muratura con pietrame, costi-

tuito da elementi non squadrate e di dimensioni diverse tra loro, legato da malte di solito molto scadenti. Raramente sono state realizzate murature di tufo con elementi squadrate o di mattoni pieni mentre, a volte, pietre lavorate e squadrate sono state utilizzate per i rivestimenti esterni delle facciate.

Molto spesso i piani superiori degli edifici sono stati realizzati in più fasi costruttive e con tecniche artigianali. E' stato osservato di frequente come i piani superiori siano stati costruiti con mattoni forati mentre i solai sono realizzati con materiali laterocementizi o in legno o con putrelle di acciaio. Solo raramente sono state osservate opere di rinforzo o contenimento o la presenza di tiranti metallici.

Zona C. Classe di vulnerabilità C (MSK-76; Braga *et al.*, 1985).

In questa zona sono state comprese le nuove aree residenziali costruite posteriormente al 1950. Essa si estende generalmente all'esterno delle due zone precedentemente descritte ed è caratterizzata da edifici costruiti con tecniche moderne, quasi sempre con telaio in cemento armato e pianta di forma regolare. L'altezza delle costruzioni è molto variabile e va da un piano o due, tipica delle villette residenziali, fino a tre o quattro piani per gli edifici più alti. Le tamponature e le tramezzature sono generalmente realizzate con mattoni forati.

7. DISTRIBUZIONE DEI DANNI E LORO RELAZIONE CON I CARATTERI GEOLITOLGICI DEI TERRENI DI FONDAZIONE, LE TIPOLOGIE COSTRUTTIVE E I FENOMENI FRANOSI

I rilievi dei danni subiti dagli edifici durante la crisi sismica dell'autunno 2002 nonché le informazioni reperite presso le amministrazioni locali hanno permesso di suddividere i centri abitati in zone a diverso danneggiamento. Il criterio seguito per individuare queste zone è stato quello di incrociare i dati sull'agibilità degli edifici, forniti dai comuni, con quelli derivanti dai rilievi da noi eseguiti (es. Messina e Sposato, 1985). Per la quantificazione del danno sono stati utilizzati i sei livelli di danno (Tab. 1) della scala MSK-76 (Medvedev, 1977).

Tab. 1 - Definizione dei livelli di danno secondo la scala MSK-76 (Medvedev, 1977).

Livello del danno	Descrizione
0	Nessun danno
1	Danno lieve: fessure sottili e caduta di piccole parti dell'intonaco
2	Danno medio: piccole fessure nelle pareti, caduta di porzioni consistenti di intonaco, fessure nei camini parte dei quali cadono
3	Danno forte: formazione di ampie fessure nei muri, caduta dei camini
4	Distruzione: distacchi tra le pareti, possibile collasso di porzioni di edifici, parti di edificio separate si sconnettono, collasso di pareti interne
5	Danno totale: collasso totale dell'edificio

Zona 1 (danno elevato) -
 0-30 % di edifici con livello di danno compreso tra 0 e 1
 40-60 % di edifici con livello di danno compreso tra 2 e 3
 20-40 % di edifici con livello di danno compreso tra 4 e 5

Zona 2 (danno moderato) -
 30-60 % di edifici con livello di danno compreso tra 0 e 1
 40-60 % di edifici con livello di danno compreso tra 2 e 3
 1-20 % di edifici con livello di danno compreso tra 4 e 5

Zona 3 (danno lieve) -
 >60 % di edifici con livello di danno compreso tra 0 e 1
 <40 % di edifici con livello di danno compreso tra 2 e 3
 0 % di edifici con livello di danno compreso tra 4 e 5

7.1. San Giuliano di Puglia

L'abitato di San Giuliano di Puglia è caratterizzato dalla presenza di tutte le tipologie costruttive descritte al punto 6. La distribuzione dei danni e le aree con diversa tipologia edilizia sono schematizzate in Figura 7.

Nella zona A è compreso il centro storico più antico, che risale circa all'XI secolo, e la zona relativa alle espansioni del XIV, XVII e XIX secolo. Questo insieme occupa la parte più meridionale del paese e corrisponde

al nucleo abitativo che comprende la vecchia chiesa in una area leggermente rilevata rispetto al resto del paese. Sono presenti scarsi fenomeni franosi, classificati come crollo, che non sembrano creare allo stato attuale particolari problemi di stabilità, innescati dall'azione di richiamo delle incisioni sottostanti e da fenomeni di erosione differenziale sul versante meridionale.

Nel settore più meridionale della zona A, compreso nelle mura della parte più antica del centro storico, nonostante molte abitazioni non fossero normalmente utilizzate e presentassero importanti carenze di manutenzione, sono stati osservati solo danni modesti.

Nella parte settentrionale, in prossimità della zona B, i danni agli edifici sono più significativi con fenomeni di distruzione parziale o totale. Al margine orientale di questa zona sono presenti estesi movimenti franosi complessi che evolvono in scivolamenti e in localizzati fenomeni di colamento.

A questa situazione fa eccezione il settore occidentale dove sono stati riscontrati danni abbastanza lievi e più del 70% delle case sono risultate agibili, sebbene il versante risulti caratterizzato dalla presenza di una frana per scivolamento.

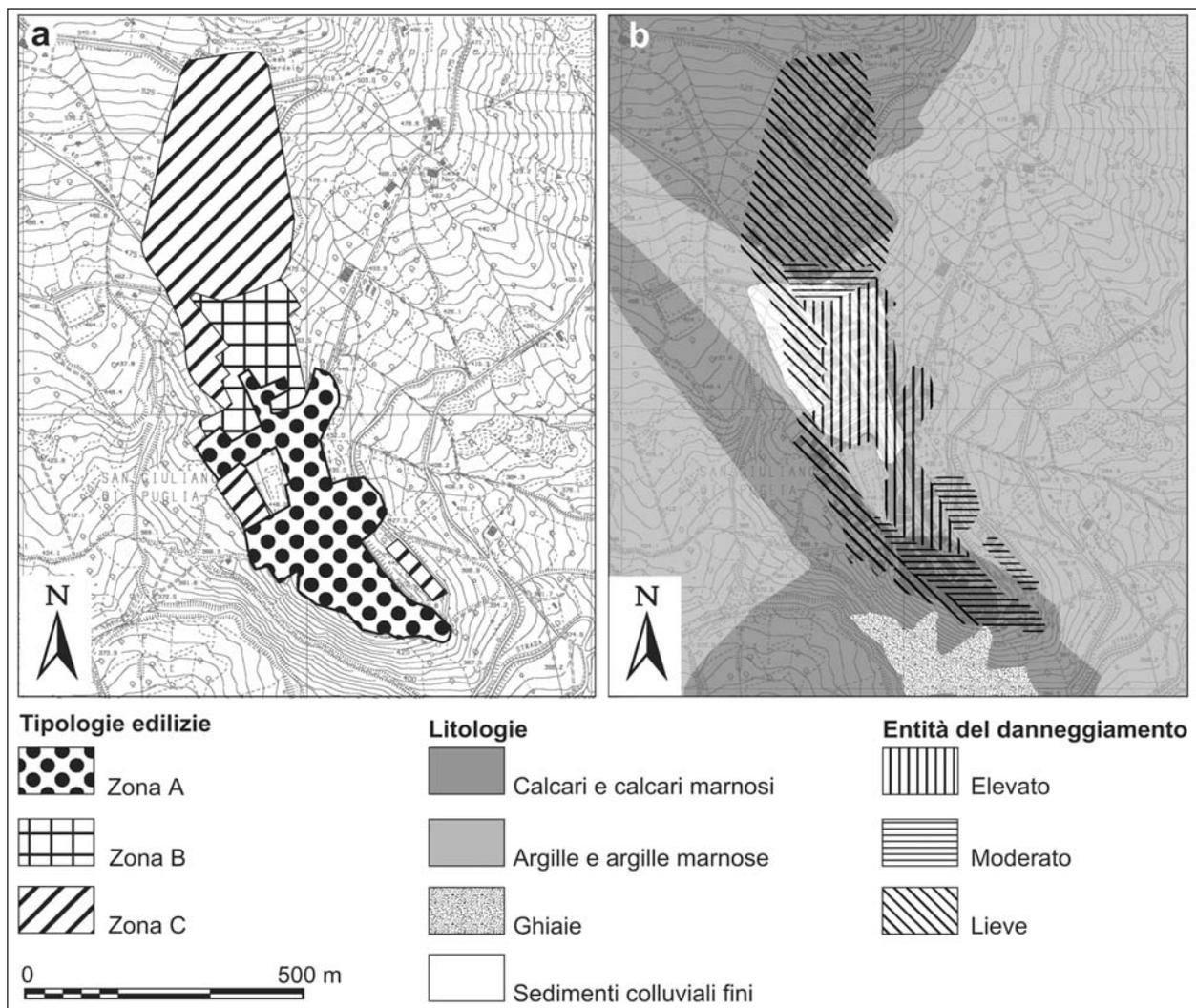


Fig. 7 - Quadro urbanistico (a) e distribuzione del danno in relazione alla litologia (b) a San Giuliano di Puglia (si veda testo per dettagli).
 Urbanistic framework (a) and damage distribution related to the lithology (b) at San Giuliano di Puglia (see text for details).

La zona B si estende, con direzione allungata circa NS, tra il centro storico e la località dove è situato il serbatoio dell'acquedotto. Al suo interno sono presenti alcune costruzioni realizzate o ristrutturate di recente con struttura in cemento armato.

E' la zona che, insieme al settore settentrionale della zona A, ha subito i danni più gravi con diffusi crolli sia totali che parziali (livello di danno da 3 e 5) e con la quasi totalità delle abitazioni dichiarate inagibili. Sono state notati danni importanti anche ad un edificio in cemento armato. Questo settore corrisponde all'area di separazione tra i fenomeni franosi a sviluppo ed estensione NNW-SSE e NNE-SSW che caratterizzano entrambi i fianchi vallivi che delimitano l'abitato di San Giuliano.

La zona C si estende nella zona settentrionale esternamente al nucleo del paese ed è rappresentata da edifici sparsi sul territorio. Non ha subito danni significativi e quasi tutti gli edifici sono stati dichiarati agibili.

Dall'analisi dei dati relativi alla distribuzione dei danni si può notare come il settore centrale del paese abbia subito i danni maggiori a parità di tipologie edilizie e nonostante sia la zona con le costruzioni relativamente più recenti. In questa area hanno subito danni anche edifici in cemento armato. Le costruzioni della parte più antica del centro storico, edificate nella zona più rilevata del paese, hanno invece subito danni relativamente minori mentre le abitazioni della zona C non hanno riportato danni significativi (Galli *et al.*, 2003).

Se si confrontano queste informazioni con la carta geologica di Figura 2 e le aree interessate da frane di Fig. 6 si può notare come esista una stretta relazione tra la distribuzione dei danni e le litologie affioranti (Fig. 7b).

Le abitazioni della zona A poggianti sul Flysch di Faeto hanno riportato danni inferiori rispetto alle costruzioni con le stesse caratteristiche poggianti sulla formazione del Toppo Capuana e sui colluvi e terreni di riporto.

Lo stesso fenomeno è osservabile sulle abitazioni della zona B (Fig. 7) che, sebbene mediamente presentano qualità costruttive migliori, hanno subito danni molto più gravi di quelli subiti dalle abitazioni della zona A.

Le costruzioni più recenti della zona C non hanno subito particolari danni indipendentemente dai terreni su cui sono state edificate.

7.2. Ripabottoni

L'abitato di Ripabottoni, ad esclusione di pochissime costruzioni realizzate di recente e con struttura in cemento armato, è caratterizzato dalla uniformità delle tipologie edilizie, tutte riferibili alla zona A descritta al punto 6. La distribuzione dei danni e le aree con diversa tipologia edilizia sono schematizzate in Figura 8.

Tutto l'abitato risale al XVIII-XIX secolo tranne una piccola zona più antica (XVII-XVIII secolo), ubicata nel settore nordoccidentale. Nella parte più antica molte abitazioni non erano normalmente utilizzate e presentano importanti carenze di manutenzione. Questa situazione riveste una particolare importanza poiché proprio in quest'area si sono verificati i danni più significativi. Un'altra zona dove si sono verificati danni importanti è quella nordorientale dove però è da tempo presente un fenomeno franoso (Ufficio tecnico del comune di Ripabottoni, com. pers.) che durante la scossa sismica ha avuto una piccola ripresa. Dall'esame della situazione geologica illustrata in Figura 5 non sembra ipotizza-

bile alcuna relazione tra le litologie affioranti e i danneggiamenti. Sembra invece che la pre-esistenza di fenomeni franosi a contorno possa in questo caso aver influito sulla distribuzione del danno anche con la riattivazione della frana che interessa il costruito all'interno dell'agglomerato urbano nel settore nord.

7.3. Castellino del Biferno

L'abitato di Castellino del Biferno è caratterizzato dalla presenza di due tipologie edilizie riferibili alla zona A e alla zona B descritte al punto 6. La distribuzione dei danni e le aree con costruzioni di diversa età e con diversa tipologia edilizia sono schematizzate in Fig. 8.

All'interno della zona A è presente una parte più antica (XI-XVIII secolo), ubicata nel settore nordoccidentale, e una parte risalente quasi esclusivamente al XIX secolo. Nella parte più antica molte abitazioni non erano normalmente utilizzate e presentano importanti carenze di manutenzione. Questa situazione, unitamente alla presenza di importanti fenomeni franosi già conosciuti e studiati da tempo (Ufficio tecnico del comune di Castellino del Biferno, com. pers.), ha fatto sì che i danni più rilevanti si siano verificati proprio sulle abitazioni della zona A. Inoltre dall'analisi fotogeologica emerge la presenza di alcune limitate deformazioni gravitative profonde nell'estremo settore nord del centro abitato. Tale area è inoltre interessata a NE e a SW da estesi fenomeni franosi complessi di scivolamento e colate. Dall'esame della situazione geologica illustrata in Figura 5 non sembra ipotizzabile alcuna relazione tra le litologie affioranti e i danneggiamenti, sembra invece probabile un forte condizionamento dovuto allo sviluppo dei fenomeni franosi sopra descritti.

7.4. Morrone del Sannio

L'abitato di Morrone del Sannio è caratterizzato dalla presenza di tutte le tipologie costruttive descritte al punto 6. La distribuzione dei danni e le aree con diversa tipologia edilizia sono schematizzate in Fig. 8.

Nella zona A, molte abitazioni erano in disuso e quindi presentano importanti carenze di manutenzione. Questa situazione, unitamente alla presenza di importanti fenomeni franosi già conosciuti e studiati da tempo (Ufficio tecnico del comune di Morrone del Sannio, com. pers.), ha fatto sì che i danni più rilevanti si siano verificati proprio sulle abitazioni della zona A. Il settore a SW della zona A risulta infatti caratterizzato da fenomeni franosi coalescenti, complessi, di crollo e locali scivolamenti e colate. In particolare le frane complesse prendono origine proprio in corrispondenza del passaggio litologico arenarie-argille. Anche i danni evidenziati nella zona B possono essere in gran parte addebitati alla riattivazione di un fenomeno franoso all'interno del centro abitato, peraltro già conosciuto, la cui origine va probabilmente imputata all'attività di sottostanti aree in frana. Dall'esame della situazione geologica illustrata in Figura 5 non sembra ipotizzabile alcuna relazione tra le litologie affioranti e i danneggiamenti, che invece appaiono fortemente condizionati da fenomeni franosi attivi sul versante SW che delimita l'abitato di Morrone del Sannio.

7.5. Pietramontecorvino

L'abitato di Pietramontecorvino è caratterizzato dalla presenza di tutte le tipologie costruttive descritte al

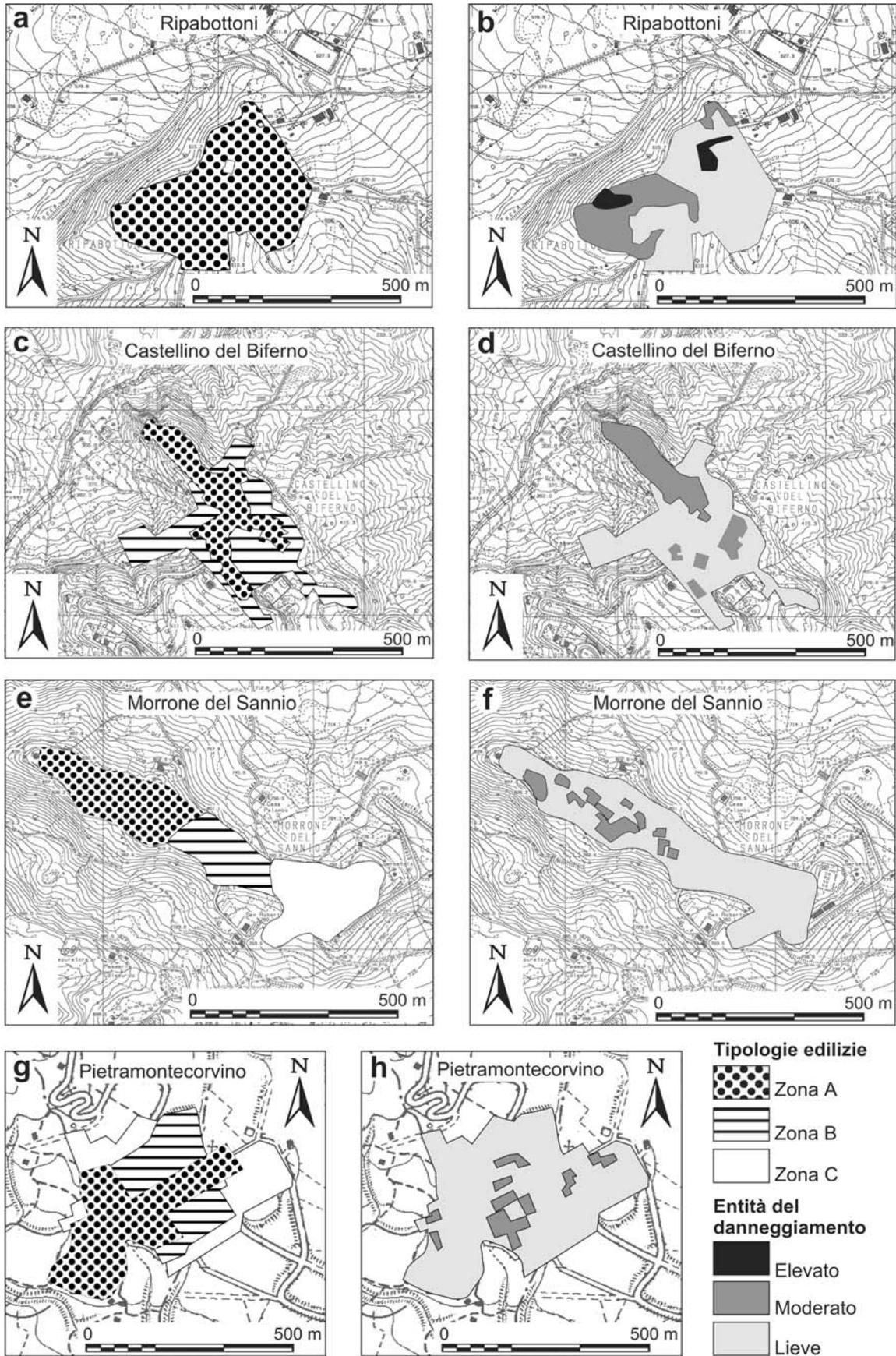


Fig. 8 - Quadro urbanistico (a, c, e, g) e distribuzione del danno (b, d, f, h) negli altri centri indagati (si veda testo per dettagli).
Urbanistic framework (a, c, e, g) and damage distribution (b, d, f, h) at other investigated localities (see text for details).

punto 6. La distribuzione dei danni e le aree con costruzioni di diversa età e con diversa tipologia edilizia sono schematizzate in Figura 8.

La maggior parte dei danni è concentrata nel settore centrale della zona A. Ciò è molto probabilmente legato sia alle caratteristiche costruttive scadenti che alla presenza di un fenomeno franoso, già da tempo noto e studiato (Ufficio tecnico del comune di Pietramontecorvino, com. pers.), la cui evoluzione è legata a deformazioni lente superficiali che caratterizzano il sottostante vallone. I danni evidenziati nelle zone B e C sono in gran parte riferibili alla scarsa manutenzione degli edifici. Dall'esame della situazione geologica illustrata in Figura 5 non sembra ipotizzabile alcuna relazione tra le litologie affioranti e i danneggiamenti. L'influenza diretta del sisma sull'evento di frana ai fini del danneggiamento della zona A sembrerebbe invece la causa più probabile.

8. CONCLUSIONI

Lo studio geologico-geomorfologico e l'analisi delle tipologie costruttive hanno fornito dati per una valutazione degli effetti di sito in San Giuliano e in via preliminare in altri fra i centri abitati più colpiti dal terremoto del Molise. L'approccio multidisciplinare e la comparazione di questi dati con la distribuzione del danno, hanno inoltre permesso di valutare l'effettivo contributo che ognuno dei fattori geologici, geomorfologici e di qualità del costruito ha avuto nel determinare un eventuale amplificazione locale.

I risultati evidenziano, nel caso di San Giuliano di Puglia, una relazione diretta tra danneggiamento e condizioni geologico-strutturali e litologiche dei terreni di fondazione. Infatti, a parità di altre condizioni, nell'area che ha subito i danni più gravi, affiorano i sedimenti argilloso-marnosi della parte alta del *Membro marnoso - argilloso - calcareo* del Flysch di Faeto e/o della formazione del Toppo Capuana, mentre gli edifici solo leggermente danneggiati sono fondati sui sedimenti prevalentemente calcarei delle porzioni più basse Flysch di Faeto. La distribuzione di queste litologie risulta condizionata da un assetto strutturale caratterizzato da pieghe e sovrascorrimenti a vergenza appenninica, complicato da scaglie tettoniche fuori sequenza. Va tuttavia sottolineato che la relazione tra danni e geologia è particolarmente evidente solo per le tipologie edilizie della zona A (Fig. 7). Questa presenta, infatti, il massimo danneggiamento in corrispondenza dei depositi argillosi o colluviali ed un livello di danneggiamento moderato o lieve per gli edifici fondati sui depositi calcarenitici del Flysch di Faeto. Al contrario le tipologie edilizie della zona C, in larga misura costituite da edifici con struttura in cemento armato, hanno subito danni uniformi e nel complesso decisamente lievi, indipendentemente dalle litologie dei terreni di fondazione (Fig. 7b). In altri termini, si registra una risposta differenziata agli effetti di sito legati alla litologia, con massimi risentimenti per le tipologie edilizie più vulnerabili (classe A) ed effetti minimi su edifici realizzati con tecniche moderne.

Negli altri centri esaminati (Castellino del Biferno, Morrone del Sannio, Pietramontecorvino e Ripabottoni,) nel complesso gli effetti di sito appaiono invece più legati a fenomeni gravitativi e di dissesto franoso preesisten-

ti, ma riattivati dallo scuotimento sismico. Simili osservazioni trovano un sostanziale accordo anche con le conclusioni di Galli *et al.* (2003). Ciò nonostante, visto il carattere preliminare degli studi condotti in questi centri, le conclusioni qui proposte vanno comunque intese come indicazioni provvisorie che necessitano di ulteriori dati attualmente in corso di acquisizione.

Decisamente più esaustivo appare invece l'insieme di dati raccolti per S. Giuliano. Nel quadro delineato, appare infatti plausibile che il forte danneggiamento registrato in alcuni settori dell'abitato, anomalo nell'ambito del rilievo macrosismico complessivo, sia da attribuirsi ad un significativo effetto di sito controllato dalle litologie e dalla struttura dei terreni di fondazione, con forti risentimenti su edifici con scadenti qualità costruttive. Lo studio evidenzia quindi l'importanza delle indagini geologiche tradizionali (rilevamento, analisi strutturali e biostratigrafiche) come strumento propedeutico e integrativo per la microzonazione sismica in aree caratterizzate da una sismicità medio-bassa, ma da una edilizia vulnerabile e dalla presenza di corpi litologici argillosi deformati secondo un complesso stile tettonico a pieghe e sovrascorrimenti.

RINGRAZIAMENTI

Alcuni autori (B.G. e S.C.) dedicano questo lavoro al fratello amico Francesco Allocca (1967-2003), per molti anni nostro compagno e complice nel rifiutare ostinatamente la separazione tra i vincoli dell'amicizia e quelli della serietà e correttezza nel lavoro e nella ricerca scientifica.

* * *

Si ringraziano i Sindaci ed il personale degli Uffici tecnici dei comuni di San Giuliano di Puglia, Castellino del Biferno, Morrone del Sannio, Pietramontecorvino, Ripabottoni, ed il COM di San Giuliano di Puglia, per le preziose informazioni e i materiali cartografici forniti; in particolare l'ing. G. Angeli, A. Fratangelo, E. Fratangelo, M. Frenza, A. Iorio, dott. S. Lamarucciola, A. Malice, arch. F. Mucelli e M. Oto. Ringraziamo P. Lembo e G. Naso del Dipartimento della Protezione Civile per le discussioni sul campo. Desideriamo infine ringraziare S. Di Nocera e P. Galli per gli utili consigli e le critiche che hanno notevolmente migliorato la prima versione del manoscritto, ed inoltre I. Sgrosso e M. Torre per le proficue discussioni e i suggerimenti forniti nel corso della ricerca.

BIBLIOGRAFIA

- Augelli P.C., Cinque A. & Roskopf C. (2001) - *Geomorphological map of the Trigno Basin (Italy): Explanatory notes*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, **24**, 3-12.
- Basso C., Ciampo G., Ciarcia S., Di Nocera S., Matano F. & Torre M. (2002) - *Geologia del settore irpino-dauno dell'Appennino meridionale: unità mesozoiche e vincoli stratigrafici nell'evoluzione tettonica mio-pliocenica*. Studi Geol. Cam., Nuova Serie **2**.
- Boni A., Casnedi R., Centamore E., Colantoni P.,

- Cremonini G., Elmi C., Monesi A., Selli R. & Valletta M. (1969) - *Note illustrative del Foglio 155 - San Severo*. Servizio Geologico d'Italia, 46 pp.
- Bosi C., Dramis F. & Gentili B. (1985) - *Carte geomorfologiche di dettaglio a indirizzo applicativo e carte di stabilità su base geomorfologia*. Geologia Applicata e Idrogeologia, **20**, 53-62.
- Bouma A. H. (1962) - *Sedimentology of some flysch deposits, a graphic approach to facies interpretation*. Elsevier Co., 168 pp.
- Braga F., Dolce M. & Liberatore D. (1982) - *A statistical study on damaged buildings an ensuing review of MSK/76 scale*. Proc. 7th European Conference on Earthquake Engineering, vol. **7**, 431-450, Athens, 1982.
- Carrara A., Caton A., Dramis F., Panizza M. & Prestininzi A. (1987a) - *Cartografia della pericolosità connessa con i fenomeni di instabilità dei versanti*. Boll. Soc. Geol. It., **106**, 199-221.
- Carrara A., D'elia B. & Semenza E. (1987b) - *Classificazione e nomenclatura dei fenomeni franosi*. Geologia Applicata e Idrogeologia, **20**, 223-243.
- Chighira M. (1992) - *Long-term gravitational deformation of rock by massrock creep*. Eng. Geology, **32** (3), 157-184.
- Chilovi C., De Feyter A. J. & Pompucci A. (2000) - *Wrench zone reactivation in the Adriatic Block: the example of the Mattinata Fault system (SE Italy)*. Boll. Soc. Geol. It., **119**, 3-8.
- Ciaranfi N., Dazzaro L., Pieri P. & Rapisardi L. (1981) - *I depositi del Miocene superiore al confine molisano-abruzzese*. Boll. Soc. Geol. It., **99**, 103-118.
- Crostella A. & Vezzani L. (1964) - *La geologia dell'Appennino foggiano*. Boll. Soc. Geol. It., **83**, 121-142.
- Dazzaro L., Di Nocera S., Pescatore T., Rapisardi L., Romeo M., Russo B., Senatore M., Torre M. (1992) - *Geologia del margine della catena appenninica tra il F. Fortore ed il T. Calaggio (Monti della Daunia - App. Merid.)*. Mem. Soc. Geol. It., **41**, 411-422.
- Di Bucci D., Corrado S., Naso G., Parotto M. & Praturlon A., (1998) - *Evoluzione tettonica neogenico-quadernaria dell'area molisana*. Boll. Soc. Geol. It., **118**, 13-30.
- Di Nocera S. & Torre M. (1987) - *Geologia dell'area compresa tra Deliceto e Scampitella (App. foggiano)*. Boll. Soc. Geol. It., **106**, 351-364.
- Finetti I. (1982) - *Structure, stratigraphy and evolution of Central Mediterranean*. Boll. Geof. Teor. Appl., **24** (96), 247-312.
- Foresi L.M., Iaccarino S., Mazzei R. & Salvadorini G. (1998) - *New data on the calcareous plankton stratigraphy of the Middle to Late Miocene (Serravallian/Tortonian) of the Mediterranean area*. Riv. It. Paleont. Strat., **104** (1), 95-114.
- Galli P., Molin D., Giuliani R., Bosi V., Mattone M., Gruppo QUEST (2003) - *Il terremoto del 31/10/2002: sismicità storica di San Giuliano, rilievo macrosismico e deformazione superficiale cosmica*. Ingegneria Sismica, **3**, 8-18.
- Gruppo di Lavoro per la Cartografia Geomorfologica (1994) - *Legenda della Carta Geomorfologica d'Italia*. Servizio Geologico Nazionale, Quaderni Serie III, Vol. IV, Roma.
- Guerricchio A. & Wasowski J. (1988) - *Some remarks on the tectonic significance of the paleomagnetic data from Gargano*. Mem. Soc. Geol. It., **41**, 1263-1269.
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2002) - *L'epicentro della scossa del 31 ottobre 2002 ore 11:32 e del 1 novembre 2002 ore 16:08*. <http://www.ingv.it/~roma/reti/rms/terremoti/italia/molise/molise.html>
- Medvedev S.V. (1977) - *Seismic Intensity Scale M.S.K.-76*. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. A-6 (117), Varsavia.
- Messina P. & Sposato A. (1985) - *Osservazioni geologiche tecniche sugli abitati più colpiti dal terremoto abruzzese del Maggio 1984*. Geol. Appl. e Idrogeol., XX (I), 39-61.
- Naso G., Tropenscovino S. & Sanò T. (2002) - *Assetto geologico ed effetti di amplificazione sismica a S. Giuliano di Puglia (Molise)*. Servizio Sismico Nazionale, <http://www.serviziosismico.it/RT/RRP/021031/amplif/amplif.htm>.
- Okada H. & Bukry D. (1980) - *Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975)*. Marine Microplaeontology, **51**, 321-325.
- Onida M., (2001) - *Deformazioni gravitative profonde di versante: stato della conoscenza e progresso della ricerca in Italia*. In: G. Pasquarè (Ed), Tettonica recente e instabilità di versante nelle Alpi Centrali. Fondazione Cariplo e CNR - Istituto per la Dinamica dei processi ambientali, Milano, Italy, pp. 35-74.
- Parise M. (1994) - *Il rilevamento geomorfologico a grande scala nell'interpretazione della cinematica dei movimenti gravitativi*. Geologica Romana, **30**, 273-282.
- Patacca E., Sartori R. & Scandone P. (1990) - *Tyrrhenian basin and Apenninic arcs: Kinematic relations since late Tortonian times*. Mem. Soc. Geol. It., **45**, 425-451.
- Patacca E. & Scandone P. (1989) - *Post-Tortonian mountain building in the Apennines. The role of the passive sinking of a relic lithospheric slab*. In: Boriani et al. (Eds), The Lithosphere In Italy). Atti dei Convegni Lincei, **80**, 157-186.
- Patacca E., Scandone P., Bellatalla M., Perilli N. & Santini U. (1992) - *La zona di giunzione tra l'Arco appenninico settentrionale e l'arco appenninico meridionale nell'Abruzzo e nel Molise*. Studi Geologici Camerti, vol. spec. CROP 11 (1991/92), 417-441.
- Pescatore T., Russo B., Senatore M.R., Ciampo G., Esposito P., Pinto F., Staiti D. (1996) - *La successione messiniana della valle del T. Cervaro (Appennino dauno, Italia meridionale)*. Boll. Soc. Geol. It. **115**, 369-378.
- Piccardi L. (1998) - *Cinematica attuale, comportamento sismico e sismologia storica della faglia di Monte Sant'Angelo (Gargano, Italia): la possibile rottura superficiale del "leggendario" terremoto del 493 d.C.* Geogr. Fis. Dinam. Quat., **21**, 155-166.
- Russo B. & Senatore M.R. (1989) - *Ricerche sull'Unità Dauna: biostratigrafia e sedimentologia della suc-*

- cessione di Monte Sidone nell'Appennino Dauno (Italia Meridionale)*. Atti Acc. Peloritana dei Pericolanti, classe I di Sc. Fis., Mat. e Nat., vol. **67**, suppl. 1, 79-87, Messina
- Santo A. & Senatore M.R. (1988) - *La successione stratigrafica dell'unità dauna a Monte Sidone (Castelluccio Valmaggiore, Foggia)*. Mem. Soc. Geol. It., **41**, 431-438.
- Selli R. (1962) - *Il Paleogene nel quadro della geologia dell'Italia meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., **3**, 738-789.
- Senatore M.R. (1988) - *Comparazione tra i depositi plio-pleistocenici del Bacino di Gallipoli (Golfo di Taranto) e la successione miocenica del Flysch di Faeto (Unità Irpine, Monti della Daunia): confronto tra l'avanfossa attuale e quella miocenica dell'Appennino meridionale (Italia)*. Tesi di dottorato, Università di Napoli, 317 pp.
- Servizio Geologico d'Italia (1969) - Foglio 155 "San Severo". Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000.
- Servizio Sismico Nazionale (2002) - *Sintesi del danno agli edifici e delle tipologie edilizie prevalenti*. Servizio Sismico Nazionale. <http://www.serviziosismico.it/RT/RRP/021031/danni/danni.pdf>.
- Sgrosso I. (1998) - *Possibile evoluzione cinematica miocenica nell'orogene centro-sud appenninico*. Boll. Soc. Geol. It., **117**, 679-724.
- Sorriso Valvo M. (1995) - *Considerazioni sul limite tra deformazione gravitativa profonda di versante e frana*. Mem. Soc. Geol. It., 50, 179-185.
- Varnes D.J. (1978) - *Slope movement types and processes*. In R.L. Schuster & R.J. Krizek (Eds.), Landslides, analysis and control. Transportation Research Board Sp. Rep. n. 176, Nat. Acad. of Sciences, Washington.
- Wells D. & Coppersmith K. (1994) - *New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement*. Bull. Seismol. Soc. Am., **84**, 974-1002.

Ms. ricevuto il 15 luglio 2003
Testo definitivo ricevuto il 16 marzo 2004

Ms. received: July 15, 2003
Final text received: March 16, 2004

