

## ANALISI ARCHEOSISMOLOGICHE NEL SANTUARIO DI ERCOLE DI CAMPOCHIARO (MATESE). EVIDENZE DI UN TERREMOTO DISTRUTTIVO SCONOSCIUTO ED IMPLICAZIONI SISMOTETTONICHE

Paolo Galli<sup>1</sup>, Fabrizio Galadini<sup>2</sup>, Stefania Capini<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento della Protezione Civile - Servizio Sismico Nazionale,  
Via Curtatone 3, 00185 Roma - paolo.galli@serviziosismico.it

<sup>2</sup>CNR, Istituto di Geologia Ambientale e Geingegneria, Sez. Roma "Tor Vergata",  
Via del Fosso del Cavaliere, 00133, Roma - f.galadini@igag.cnr.it

<sup>3</sup>Soprintendenza Archeologica e per i B.A.A.A.S. di Campobasso

### RIASSUNTO

Analisi archeosismologiche condotte negli scavi del santuario di Ercole di Campochiaro hanno consentito l'individuazione di più eventi deformativi a carico delle strutture di pertinenza del tempio sannita (IV sec. a.C-V d.C.). Lo scavo di una trincea paleosismologica a ridosso delle strutture deformate ha evidenziato, inoltre, la presenza di una zona di taglio nel substrato ghiaioso, responsabile della dislocazione delle murature, dei pavimenti e della cinta in opera poligonale del santuario. I caratteri della deformazione e l'età delle strutture edilizie interessate testimoniano l'occorrenza di un primo evento di fagliazione nel III sec. a.C. (relativo ad un terremoto sconosciuto ai cataloghi), cui sono seguiti altri eventi, probabilmente riferibili ai terremoti del 1456 e 1805. Il sito è ubicato a ridosso della struttura bordiera settentrionale del massiccio del Matese (faglie del M.te Patalecchia-Bojano-Campochiaro), alla quale vengono quindi ascritte le dislocazioni rilevate nel santuario. L'attività di questo sistema di faglie, già noto in parte alla letteratura, è caratterizzato da un elevato slip-rate (0.9 mm/yr) e da tempi di ritorno che non sembrano seguire la periodicità supposta per altre strutture appenniniche.

### ABSTRACT

Archaeoseismological analyses in the Hercules's sanctuary of Campochiaro (Matese, central-southern Apennine, Italy). Evidence of an unknown disruptive earthquake and seismotectonic implication. Starting from the 6th cent. BC, a vast region of central-southern Italy (Samnium) was inhabited and dominated by the daring nation of Samnites. Between the 4th and 3rd cent. BC Samnites and Romans disputed for the hegemony of central Italy, but in 290 BC the former was finally subdued by the latter. Samnites raised many important sanctuaries in their land, also after the Roman conquest, which remained in use until the decadence of the Empire. The sanctuary of Hercules near Campochiaro is one of these; it was built in the 4th cent. BC, being frequented until the 4th-5th cent. AD (Fig. 10). It is located close to the Campochiaro fault, a roughly E-W strand of the N-Matese massif structure, which borders and controls the former-lacustrine Bojano basin (Fig. 1, 7-8). Archaeoseismological analyses performed within the sanctuary area, supported by paleoseismological trenching (Fig. 11-12), geomorphological and geological surveys, allowed the identification of surface faulting of the archeological relics. Buildings of the primitive phase have been displaced by a first event in the middle of the 3rd cent. BC (Fig. 9, 13-15), whereas the following structures (built up over the faulted ruins of the former) show a subsequent offset, which we relate to the cumulated motion of the M=6.5-7 earthquakes of 1456 and 1805 (although we do not exclude other unknown High Middle Age events or the 346 AD earthquake). While the 3rd cent. BC earthquake is unknown to the Italian historical catalogues, the 1456 and 1805 events are well characterized in terms of intensity datapoint distribution (Fig. 5-6), and could both be related to the N-Matese massif seismogenetic structure (faults of Mt. Patalecchia-Bojano-Campochiaro; Fig. 1). According to our interpretation, the seismogenetic behaviour of the N-Matese massif structure is rather complex, and does not follow the recurrence interval showed by other Apenninic faults (2000±500 yr; see Galadini and Galli, 2000); on the other hand, its slip-rate (0.9 mm/yr) would be one of the highest in Italy. These results suggest that the use of a Poisson approach (which requires stationarity in earthquake occurrence) in seismic hazard evaluation studies could be misleading in this sector of the Apenninic chain.

Parole chiave: archeosismologia, paleosismologia, terremoto, sismotettonica, Appennino meridionale

Keywords: archaeoseismology, paleoseismology, earthquake, seismotectonics, Southern Apennine

### INTRODUZIONE

La piana di Bojano, da millenni crocevia di popoli e di culture, è una delle aree a più elevata sismicità della penisola italiana. Tutte le civiltà che hanno eretto i propri insediamenti nella piana, prima o poi, hanno dovuto confrontarsi con la potenza distruttrice dei terremoti che si originano alle falde settentrionali del Matese e con i forti risentimenti degli eventi provenienti dalle aree contigue.

La sismicità della regione è in parte nota ai repertori sismologici nazionali (Postpischl, 1985; Camassi e Stucchi, 1997; Boschi et al., 1995; Gruppo di Lavoro CPTI, 1999). Questi cataloghi, raccogliendo criticamente l'imponente messe di dati, notizie e relazioni sui terre-

moti storici italiani (retaggio di una tradizione pluricentennale precipuamente italiana nel campo della sismologia storica), mentre offrono una visione completa della storia sismica di ciascuna regione per quanto attiene agli ultimi secoli (almeno per i terremoti più forti), sono lacunosi ed incerti mano a mano che si proceda a ritroso nel tempo e/o si considerino gli eventi di più bassa energia (si veda Stucchi e Albini, 2000).

Ecco dunque che lo studio attraverso una finestra aperta su un passato non coperto interamente dalle fonti letterarie, quale un sito archeologico "in scavo" come quello del santuario di Ercole a Campochiaro, supplisce ed in parte colma gli *hiatus* conoscitivi della sismicità storica "convenzionale". Il riconoscimento degli effetti cosismici su vestigia archeologiche consente,

infatti, l'individuazione ed una possibile parametrizzazione del terremoto responsabile (p.e., in termini di intensità, data e localizzazione epicentrale), permettendo quindi di arricchire e correggere il catalogo sismico, estendendolo indietro nel tempo. Questo è tanto vero quanto detti effetti non siano relativi al solo scuotimento, il cui risultato, se non contestualizzato arealmente e storicamente (Galadini and Galli, 1999a; Galadini et al., 2001; Galadini e Galli, 2001), non è talvolta dissimile dai dissesti indotti da altre cause (quali vetustà, eventi bellici, frane, alluvioni), ma quanto legati geometricamente alla dislocazione superficiale della faglia mobilizzata col terremoto (Galli, 1999; Galli and Galadini, 2001).

Nel seguito, a valle di una sintesi del quadro sismotettonico della Piana di Bojano, verranno riportati i risultati preliminari delle analisi condotte nel santuario di Ercole e, in particolare, quelli riguardanti la fagliazione superficiale che ha coinvolto le murature nel sito. I dati raccolti comportano una riflessione sul comportamento della struttura sismogenetica di Bojano e sui limiti degli approcci convenzionali negli studi di pericolosità sismica.

## QUADRO GEOLOGICO E SISMOTETTONICO DELL'AREA

La piana di Bojano (circa 500 m s.l.m) è ubicata all'interno della catena appenninica centro-meridionale, alle falde settentrionali del massiccio carbonatico dei monti del Matese (2050 m, M.te Miletto) ed a sud dei rilievi argilloso-arenacei del Sannio. Essa è parte di una conca intermontana allungata per 20 km in senso NW-SE, larga non più di 4 km e drenata dal fiume Biferno. Quest'ultimo ha però solo in parte eroso la successione alluvionale e lacustre pleistocenica che riempie il fondo della depressione; dati di affioramento e di sottosuolo indicano infatti una potenza di circa 150-200 m per la porzione del Pleistocene medio-superiore (GE.MI.NA., 1963), suddivisi tra depositi di conoide e sabbie e limi lacustri alla base. In particolare, l'area di Campochiaro è caratterizzata dalla presenza di una potente conoide inattiva (oltre 90 m in sondaggio; fonte ERIM), reincipa dal Torrente la Valle, e datata, nel suo ordine più recente, tra l'ultimo massimo glaciale ed il passaggio all'Olocene (rispettivamente 18 ka e 10 ka; Guerrieri et al., 1999).

L'elemento più importante dell'area ai fini sismotettonici è il sistema di faglie bordiere settentrionali del massiccio del Matese (N-Matese, Fig. 1). Tale sistema, infatti, oltre aver guidato l'evoluzione neotettonica del bacino, è probabilmente responsabile dei

principali terremoti che hanno origine nella piana. Esso è composto, da NW verso SE, almeno da tre faglie principali ad andamento NW-SE (faglia del M.te Patalecchia), WNW-ESE (faglia di Bojano) e WSW-ENE/E-W (faglia di Campochiaro). Tali faglie affiorano chiaramente lungo tutto il versante settentrionale del Matese, formando a tratti una scarpata che interrompe bruscamente il profilo dei versanti e sfalsando la successione di paleosuperfici, scolpite originariamente alle stesse quote, a monte ed a valle delle faglie stesse sui versanti sudoccidentali e nordorientali del bacino di Bojano (Fig. 2; Bosi et al., 1997). Esse dislocano, inoltre, depositi lacustri datati almeno a 0.6 Ma (datazione  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ ; Corrado et al., 2000) ed attualmente sollevati più di 300 m sopra i corrispondenti depositi nell'attuale piana, oltre a brecce di pendio del Pleistocene (faglia di Bojano; Fig. 3), depositi di ricaduta vulcanica (Il ciclo di Roccamonfina, circa 0.3 Ma, De Rita and Giordano, 1996: V. Bosi, comunicazione personale; faglia del M.te Patalecchia) e depositi alluvionali del Pleistocene superiore (faglia di Campochiaro; Guerrieri et al., 1999). Inoltre, in occasione del terremoto del 1805, diverse fonti storiche contemporanee descrissero l'apertura di fenditure lungo i versanti di Bojano (faglia di Bojano) e Guardaregia (faglia di Campochiaro); queste notizie, seppur con le dovute cautele, potrebbero testimoniare l'occorrenza di fenomeni di fagliazione superficiale e quindi l'attivazione delle suddette faglie.

Infine, dati provenienti dall'elaborazione di *breakout* di pozzi profondi (Montone et al., 1999), indicherebbero per quest'area un'estensione in atto in direzione NE-SW, compatibile con la direzione e cinematica delle faglie bordiere del N-Matese.

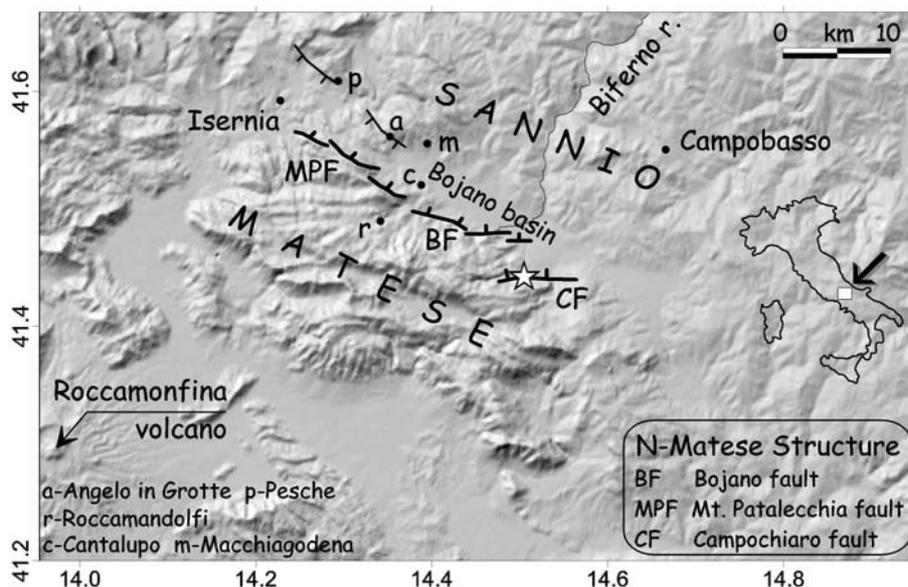


Fig. 1 - Modello digitale del terreno nell'area del confine molisano-campano. E' evidenziata la struttura bordiera settentrionale dei monti del Matese, composta principalmente dalle faglie del M.te Patalecchia, di Bojano e di Campochiaro. Ogni faglia in affioramento si compone di diversi segmenti, non rappresentati alla scala del disegno. A questa struttura sono attribuibili i più forti terremoti con origine nella piana. A tratto sottile sono evidenziate le faglie tra Pesche e Angelo in Grotte. La stella indica il santuario di Ercole.

Digital elevation model of the region between Molise and Campania. Bold lines show the northern Matese massif structure, composed by the Mt. Patalecchia-Bojano-Campochiaro fault system. This system is responsible for the strong local seismicity. Thin lines show the possibly antithetic faults of Pesche and Angelo in Grotte. White star is the Hercules's sanctuary site.

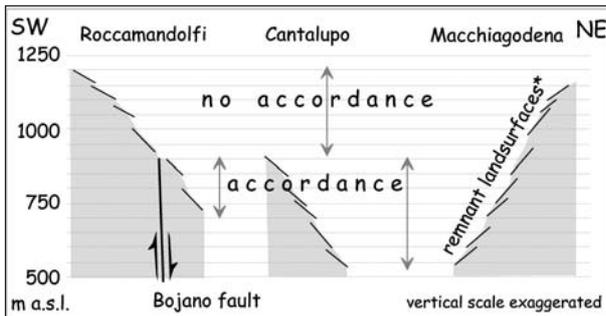


Fig. 2 – Schema dei rapporti altimetrici tra le paleosuperfici scolpite nei versanti di Roccamandolfi, Cantalupo e Macchiagodena (Fig. 1), lungo un ipotetico profilo SW-NE. E' evidente una buona correlazione tra la quota delle diverse superfici nell'hangar della faglia del N-Matese (faglia di Bojano), ma non con quelle individuate nel footwall. \*I tratti inclinati sono rappresentativi dell'escursione altimetrica di ciascun complesso di superfici che compongono ogni "paleosuperficie" e non ne denotano quindi né una continuità né la pendenza.

*Sketch of the elevation relationships among Pleistocene remnant surfaces carved in the hillslopes of Roccamandolfi, Cantalupo and Macchiagodena (see Fig. 1 for location), along a imaginary SW-NE trending section. The good accordance between the Cantalupo and Macchiagodena successions (and partly of Roccamandolfi, in the Bojano fault hangingwall) is not observed by the Roccamandolfi's one (Bojano fault footwall). Note that the sloping lines represent the altimetric range of each complex of surfaces that compose every remnant surface; therefore, the lines do not imply any continuity or gradient of the latter.*



Fig. 3 – Veduta delle breccie pleistoceniche raddrizzate e tettozzate lungo il versante di Bojano, in prossimità della zona di faglia.

*View of the warped Pleistocene breccia (note the quasi-vertical dip) in the Bojano fault zone.*

## SISMICITÀ STORICA

Come prima anticipato, l'area della Piana di Bojano è stata in passato zona epicentrale di terremoti catastrofici, l'ultimo dei quali è il ben documentato evento del 26 luglio 1805 ( $M_a=6.6$ ,  $I_0=X$  MCS: Gruppo di Lavoro CPTI, 1999; circa 5500 vittime). Non considerando i numerosi eventi di medio-bassa magnitudo, non capaci di produrre fagliazione superficiale, altri due terremoti distruttivi sono noti dalle fonti per aver colpito la zona in questione: quello del 346 d.C. (ben noto alla letteratura archeologica) e quello del 5 dicembre 1456. A questi vanno aggiunti gli eventi del 4 settembre 1293 e del 9 settembre 1349. Il primo è noto attraverso diverse fonti primarie che attestano un elevato grado di danneggiamento a Bojano, Tocco Caudio, Isernia e Sessa Aurunca (Boschi et al., 1995), mentre il secondo, uno dei più importanti ed estesi terremoti medievali, ebbe effetti rovinosi ad Isernia ma non riporta fonti dirette per Bojano o per altri paesi della piana.

**Il terremoto del 346 d.C.** Questo evento è identificato in genere con quello di cui fornisce notizia Girolamo (ca. 340-420) nella sua rielaborazione del *Chronicon* di Eusebio di Cesarea: "*Dyrrachium terrae motu corruit et tribus diebus ac noctibus Roma nutavit plurimaeque Campaniae urbes vexatae*" (Durazzo rovinò per un terremoto, Roma traballò per tre giorni e tre notti e molte città della Campania furono scosse). La datazione del terremoto, non tramandata da Girolamo, si basa sull'anno di composizione del *De errore profanarum religionum* di Giulio Firmico Materno (vissuto verso la metà del IV sec. d.C.), ovvero il 346, trattato in cui lo scrittore siracusano fa riferimento ai frequenti tremori che a quel tempo scuotevano la terra: "*Terram omnem circumfluunt maria, et rursus inclusa Oceani ambientis circolo stringitur, caeli etiam rotunda sublimitate operitur, perflatur ventis, aspergitur pluviis, et timorem suum assidui motus tremoribus confitetur*" (La terra è ovunque circondata dal mare e d'altra parte è limitata dall'abbraccio degli oceani, il cielo la ricopre con la sua sfera grandiosa, i venti la percorrono, è bagnata dalle piogge, e manifesta il suo timore con incessanti terremoti). E' lecito ritenere che Firmico Materno avesse accennato, nel comporre il testo, ad un fenomeno recente che destava il suo interesse. La localizzazione nel Sannio di tale evento deriva invece dal rinvenimento in questo territorio di iscrizioni lapidee datate alla metà del IV secolo, le quali testimoniano che la regione fu colpita da terremoti, che numerose costruzioni furono intraprese dallo Stato e che le mura delle città furono restaurate. Si può addirittura ipotizzare che l'avvenuta separazione del *Samnium* dalla Campania e la creazione, quindi, di una provincia *Samnitium* potrebbe essere stata voluta per concentrare l'intervento amministrativo imperiale sulle zone disastrose dal terremoto del 346 (Camodeca, 1972), la qual cosa, se vera, rafforzerebbe ulteriormente l'impressione sulla severità del terremoto.

Nel gruppo delle epigrafi riguardanti gli interventi di restauro nel Sannio per opera di *Fabius Maximus* (primo governatore della provincia, circa 352/7) e di *Autonius Iustinianus* (probabilmente quarto governatore dopo il 375) si osserva però che il termine *terrae motus* è presente solo in quattro casi, ma esplicitamente leggibile solo in due (CIL IX 2338, edita da Camodeca, 1972,

collegata a *Fabius Maximus* e CIL IX 2638, edita da Buonocore, 1992, collegata ad *Autonius Iustinianus*, pur senza alcun indizio cronologico; tuttavia, giacché molte altre epigrafi (18) attestano gli interventi nel Sannio di questi due governatori (Gambardella, 2001), si può ragionevolmente desumere che gran parte di esse possano riferirsi allo stesso evento sismico del 346.

Ben più complessa è invece la localizzazione epicentrale di questo evento (ubicata nel Matese sudorientale secondo Gruppo di Lavoro CPTI, 1999) e della relativa struttura sismogenetica. L'area interessata dalle lapidi è infatti molto vasta (Fig. 4) e le lapidi con l'esplicita menzione del terremoto come causa della rovina sono ubicate solo ad Isernia ed Alife e dubitativamente a Telesia. Considerando anche i dati preliminarmente acquisiti nei teatri di Sessa, Calvi, Teano, Venafro (crolli estesi e simultanei di gran parte delle strutture e delle decorazioni, compatibili con la metà del IV secolo d.C.; dati inediti degli scriventi in collaborazione con la Soprintendenza di Napoli e Caserta) e da indizi ad Atripalda-Abellinum (Colucci Pescatori, 1986), l'ubicazione epicentrale (o di uno degli epicentri, nel caso si trattasse di un evento multiplo) del terremoto del 346 nel bacino di Bojano appare non sufficientemente supportata dalle attuali conoscenze, fatto salvo che un notevole danneggiamento sia comunque derivato nella piana a seguito di questo evento.

#### Il terremoto del 1456.

Questo evento è, insieme a quello del 1349, l'evento medievale più forte, esteso e complesso d'Italia. Si tratta, come per il 1349, di un evento multiplo, con più aree epicentrali sgranate lungo la catena appenninica (e quindi legate a più strutture sismogenetiche), verosimilmente almeno tre: la più meridionale nel beneventano ( $Io=XI$  MCS), una intermedia nella piana di Bojano ( $Io=X-XI$ ) ed una più settentrionale nell'area dei monti della Meta e Mainarde ( $Io=X-XI$ ; Fig. 5). In particolare, lo scenario di danneggiamento dell'area di Bojano risulta addirittura più grave di quello che si ripresenterà per il terremoto del 1805. Furono quasi completamente distrutti Bojano, Frosolone, Vinchiaturò, Macchiagodena, mentre subirono danni gravissimi Baranello, Ripamolisi, Sepino, Carpinone, Cercepicc-

la, Spinete, Colle d'Anchise, Campochiaro, San Massimo e molti altri. La distribuzione del danneggiamento permette inoltre di ipotizzare che la struttura responsabile dell'evento sia localizzata nella piana stessa, anche se notizie di effetti cosismici riconducibili, per esempio, a fagliazione superficiale, sono scarse e frammentarie. A questo proposito si ricorda che le notizie contenenti descrizioni semi-analitiche degli effetti di superficie compaiono nelle relazioni sui terremoti solo a partire dal 17° secolo (p.e. con i terremoti del 1627 nel Gargano e del 1638 nella Sila; Galli and Bosi, 2003).

**Il terremoto del 1805.** L'evento del 26 luglio del 1805 è l'ultimo terremoto distruttivo che ha colpito i paesi della piana di Bojano. Furono quasi completamen-

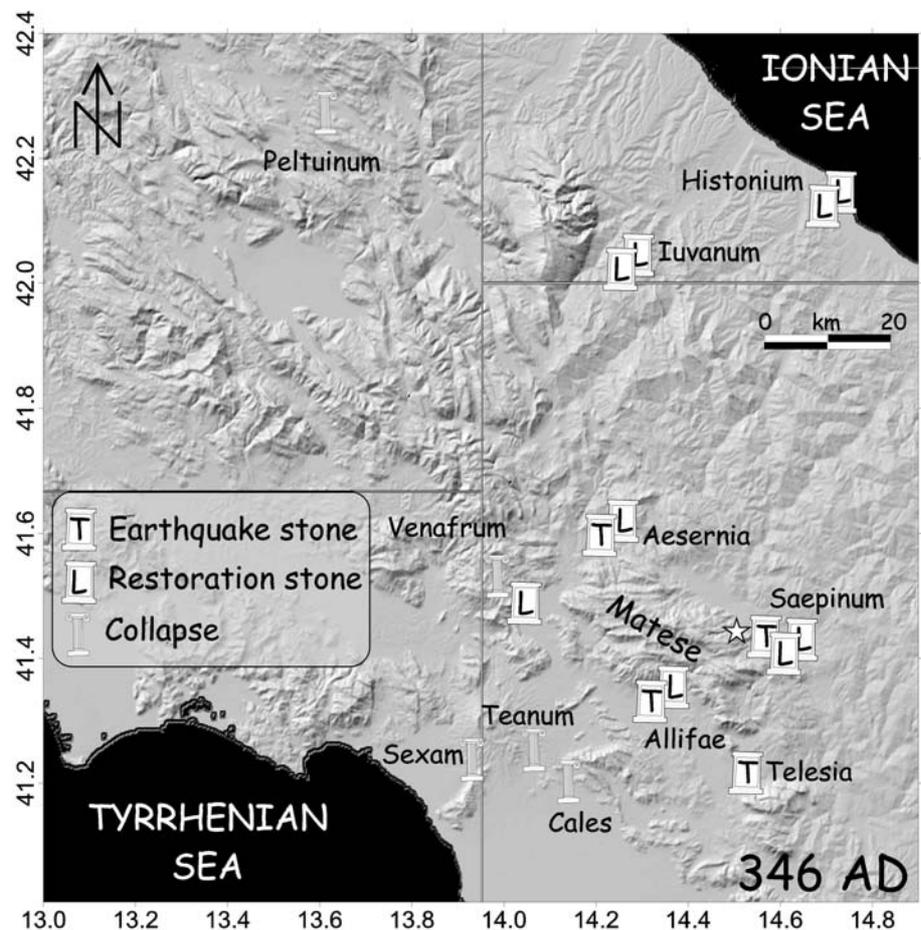


Fig. 4 - Distribuzione parziale dei possibili effetti del terremoto convenzionalmente riferito al 346 d.C. Il simbolo dei crolli si riferisce a crolli estesi e simultanei rinvenuti prevalentemente nei teatri dei siti a cui sono riferiti, cronologicamente compatibili con la data del 346 (dati preliminari acquisiti in collaborazione con la Soprintendenza di Napoli e Caserta, ad eccezione di Peluvinum: Sommella, 1989). Le lapidi sono tutte riferite a restauri operati dai governatori del Sannio; la T indica l'esplicita menzione del terremoto quale causa della rovina (ipotizzata a Saepinum). E' inteso che più terremoti potrebbero avere concorso a questo quadro di danneggiamento. Il santuario di Campochiaro è indicato dalla stella.

*Incomplete distribution of earthquake-induced effects related to the 346 AD event. Collapse symbol refers to extensive and simultaneous collapses surveyed mainly in the theatres of the named towns, that are chronologically consistent to the 346 AD date (unpublished data of the authors, gathered with the collaboration of Naples and Caserta Superintendence, with the exception of Peluvinum - Abruttii region - cited by Sommella, 1989). Memorial stones are all referred to restoration/rebuilding promoted by Sannium governors; T indicates the explicit mention of earthquake-induced damage (only hypothesized in Saepinum). It is worth noting that showed damages could have been induced by more than one earthquake. The star is the Campochiaro Hercules's sanctuary*

te distrutti i paesi di Baranello, Frosolone, Carpinone, Guardiaregia, Cantalupo, San Polomatese e San Massimo, mentre moltissimi altri nel bacino e nelle zone limitrofe subirono danni gravissimi. La distribuzione delle massime intensità (Fig. 6), così come per il 1456, delinea un'area epicentrale centrata sulla piana e legata, molto probabilmente, all'attivazione della struttura bordiera del Matese (faglie del M.te Patalecchia-Bojano-Campochiaro; Fig. 1) e, possibilmente, delle sue antitetiche lungo il versante sudoccidentale dei monti del Sannio (es., faglie di Pesche-Angelo in Grotte; Fig. 1). Come prima accennato, esistono a riguardo indicazioni provenienti da fonti primarie che evidenziano l'occorrenza di fratture e fenditure avvenute lungo i versanti settentrionali del Matese, ed in particolare lungo quello di Guardiaregia (faglia di Campochiaro; D'Onofrio, 1805; Poli, 1806), e tra Pesche e Angelo in Grotte (versante NW della piana, Fortini, 1984).

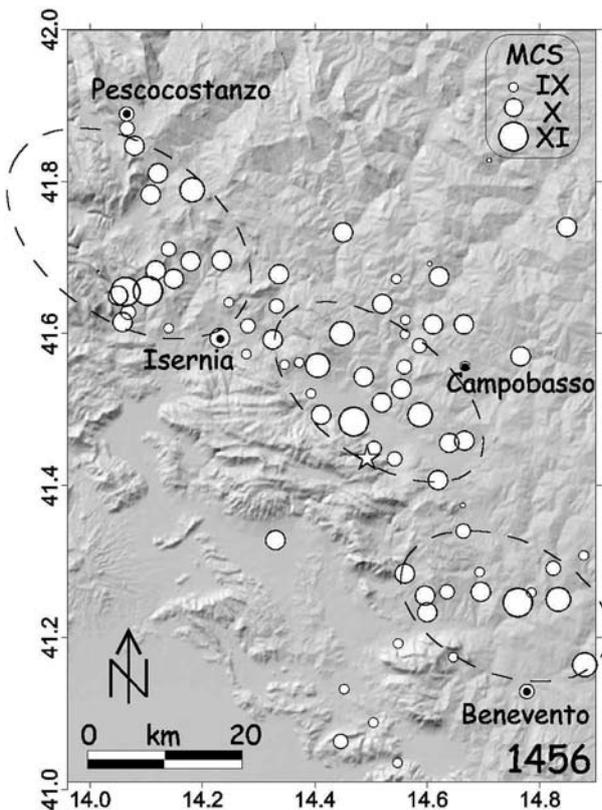


Fig. 5 – Distribuzione parziale delle massime intensità valutate per il terremoto del 1456 (I>VIII MCS). Le ellissi a tratteggio indicano le tre possibili aree epicentrali. Il santuario di Campochiaro è indicato dalla stella.

*Highest intensity datapoints distribution of the 1456 earthquake (I>VIII MCS). Ellipses show the three possible epicentral areas. Star is the Hercules's sanctuary.*

### ANALISI ARCHEOSISMOLOGICHE NEL SANTUARIO DI ERCOLE

**Situazione geologica locale.** Il santuario sannita di Ercole, localizzato in toponimo I.G.M. Civitella (F. 162 III

NO), è posto su una coltre detritica calcarea depostasi ai piedi del versante carbonatico cretacico di Colli della Defenza (Fig. 8). Da dati di superficie e da sondaggio (ERIM) il detrito calcareo ha uno spessore nell'ordine dei 20 m ed appoggia su un substrato argilloso-marnoso, presumibilmente appartenente alla formazione tortoniana del Flysch di Pietraroia (Tortoniano-Messiniano). A valle del santuario, ed in rapporto parziale di incassamento con il detrito, affiorano i depositi alluvionali della conoide di Campochiaro, interdigerati distalmente con il riempimento lacustre finale della piana (inizio dell'Olocene secondo Guerrieri et al., 1999).

Poco a monte del santuario affiora un tratto del liscione in calcari della faglia di Campochiaro, la quale borda con continuità tutto il versante settentrionale di Colli della Defenza (Figg. 7-8). Misure strutturali effettuate lungo il piano, sino al paese di Guardiaregia, evidenziano una direzione media da N80W (ad est) a N70E (ad ovest); giunta alla longitudine di Campochiaro la faglia ruota gradatamente in senso antiorario e si dispone circa WSW-ENE. Indicatori cinematici rilevati sul piano di faglia (strie) in corrispondenza del santuario

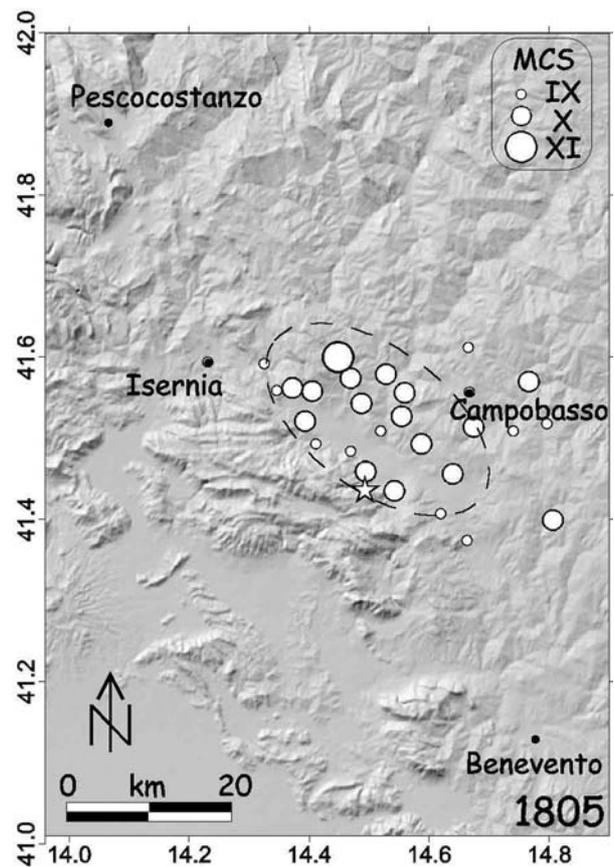


Fig. 6 – Distribuzione parziale delle massime intensità valutate per il terremoto del 1805 (I>VIII MCS). Il santuario di Campochiaro è indicato dalla stella. Notare come il piano quotato sia molto simile a quello della zona intermedia rappresentata nella Fig. 5.

*Highest intensity datapoints distribution of the 1805 earthquake (I>VIII MCS). Note the similarity of the datapoints distribution with that of the central mesoseismal area in Fig. 5. Star is the Hercules's sanctuary.*

evidenziano una componente trascorrente destra (*pitch* 125°).

L'analisi delle fotografie aeree del volo base IGM del 1954 ha permesso di individuare l'area del santuario (ancora non scavata e coperta dalla vegetazione) su di un ripiano tra la scarpata di faglia principale a monte (a direzione locale ENE-WSW) ed una scarpata secondaria a valle, quest'ultima con direzione NE-SW, scolpita nelle forme del deposito detritico (Fig. 8). Saggi di scavo all'interno del santuario hanno permesso di constatare che lo stesso è interamente fondato su detrito calcareo composto da clasti eterometrici ( $\varphi$  5÷20 cm) subangolosi, addensato, privo di matrice ed altamente permeabile. Dall'esame delle fotografie aeree non sono invece emersi indizi di movimenti gravitativi o di erosione accelerata; l'area è, tra l'altro, densamente forestata e, dal confronto con le immagini del 1954, lo è maggiormente oggi d'allora.

**Cenni sulla storia del santuario.** Come accennato, l'area del santuario è un cantiere di scavo in evoluzione da diversi anni ed è lungi dall'essere stata interamente scavata e studiata. Tuttavia è possibile, sulla base delle emergenze sinora raccolte, ricostruire le principali tappe evolutive del sito, al fine di meglio comprendere le fasi deformative che lo hanno interessato.

La prima costruzione individuata è un edificio rettangolare, presumibilmente eretto nella prima metà del IV secolo a.C. e forse già di pertinenza di un luogo di culto. A questo edificio, distrutto come vedremo in seguito, si sovrappone nel III secolo un edificio porticato (Fig. 9) che fiancheggia il percorso di ingresso all'area sacra (questo edificio porticato presuppone l'esistenza di un importante edificio di culto ubicato poco a monte, le cui tracce, a causa delle successive fasi di smantellamento e ricostruzione, non sono tuttavia ancora emerse). E' probabile che in questa fase, o poco prima, venga anche costruita la cinta muraria in opera poligonale (sicuramente dopo il 290 a.C., fine delle guerre contro Roma ed inizio di un periodo di stabilità economica e politica). A questa fase di III secolo subentra, intorno al 130 a.C. (come suggerito dal rinvenimento di monete nelle fondazioni e bolli laterizi) un nuovo tempio con valenza di santuario territoriale della capitale dello stato (Fig. 10).

Il santuario sopravvive, tra probabili saccheggi delle milizie di Silla (89 a.C.) e crisi post-belliche, sino al tempo di Augusto, quando riacquista una certa importanza, seppure forse solo a livello locale. Il sito è quindi frequentato per tutto il I-II secolo d.C., come attestato dal materiale votivo rinvenuto, così come nel III-IV secolo, ove sembra addirittura possibile una ripresa del culto. E' probabilmente collocato

nel IV secolo, infine, l'abbandono del culto di Ercole, a cui subentra un uso del sito precipuamente legato alle vie di comunicazione nella piana (ed in particolare all'attingo passaggio del "tratturello" per *Allifae*).

**Il contesto deformativo.** La vicinanza del santuario di Ercole alla faglia bordiera di Campochiaro (poche decine di metri a sud) e la presenza a nord di una scarpata nella coltre detritica che ospita il sito (visibile nelle foto aeree I.G.M. del 1954), sono gli elementi che hanno guidato un sopralluogo nell'area cinta dalle mura poligonali.



Fig. 7 - Faglia di Campochiaro. Piano in roccia affiorante all'interno dell'area del santuario.

*Campochiaro fault. Fault plane affecting the carbonate substratum within the Hercules's sanctuary area.*

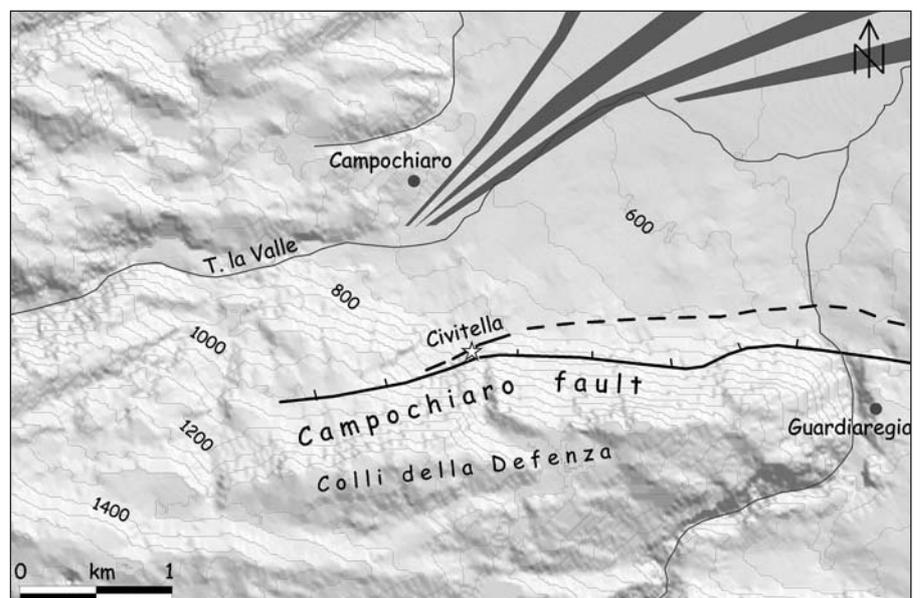
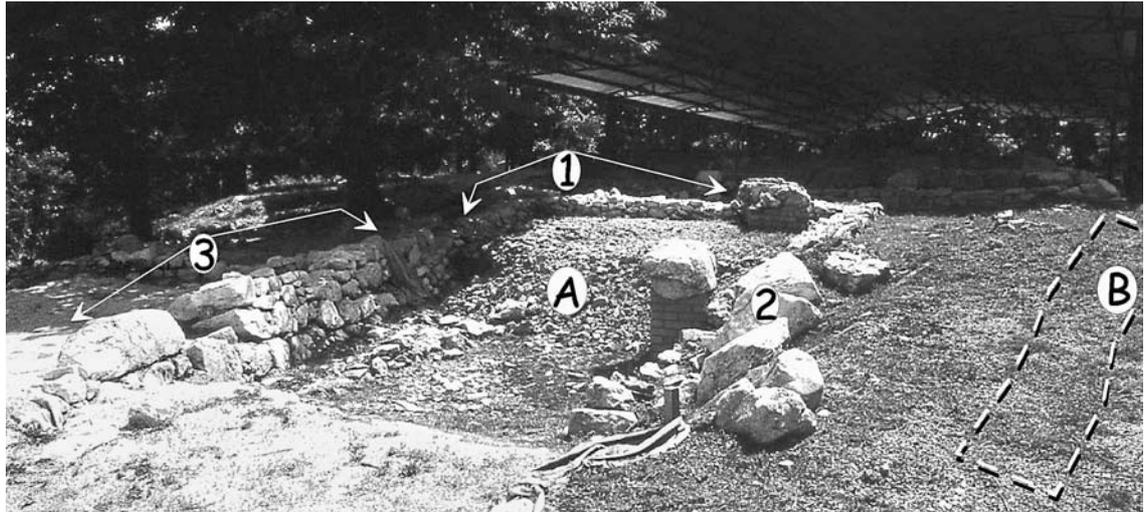


Fig. 8 - Modello digitale del terreno dell'area di Campochiaro. E' evidenziato l'andamento della faglia di Campochiaro e della scarpata identificata poco a valle della stessa (linea tratteggiata). Il retinato scuro evidenzia la distribuzione della conoide di Campochiaro. La stella indica il sito del santuario. Isoipse ogni 50 m. (elaborazione da dati altimetrici I.G.M., aut. 5410, 6/6/2001)

*Digital elevation model of the Campochiaro area. Bold line is the Campochiaro fault trace (bedrock fault scarp), while dotted line is the fault scarp carved in the slope-derived debris. Hatched area shows the Campochiaro Late Pleistocene-Holocene alluvial fan. Star is the Hercules's sanctuary.*

Fig. 9 - Veduta d'insieme degli ambienti di IV secolo a.C. (spigolo destro in alto; 1) e parte del porticato (basoli a destra; 2) e dell'edificio di III secolo (filari a sinistra; 3) costruito sulle rasature del primo. E' evidente la scarpata di faglia (A) che interessa l'area, dislocando le murature ed il piano di calpestio. La scarpata prosegue verso ENE (sinistra), interessando altri locali e le mura di cinta in opera poligonale, e verso WSW (destra), ove è stata scavata la trincea paleosismologica (B).



View of the 4<sup>th</sup> cent. BC room (1) and part of the 3<sup>rd</sup> cent. BC colonnade (sparse white stones, right side; 2), and of the 3<sup>rd</sup> cent. BC structure built over the former 4<sup>th</sup> cent. walls (3). "A" indicates the fault scarp carved within the pavement of the 4<sup>th</sup> cent. BC room. The scarp continues toward ENE (left), affecting other rooms and the "opus polygonal" walls, and toward WSW (right), where we dug the paleoseismological trench (B).

View of the 4<sup>th</sup> cent. BC room (1) and part of the 3<sup>rd</sup> cent. BC colonnade (sparse white stones, right side; 2), and of the 3<sup>rd</sup> cent. BC structure built over the former 4<sup>th</sup> cent. walls (3). "A" indicates the fault scarp carved within the pavement of the 4<sup>th</sup> cent. BC room. The scarp continues toward ENE (left), affecting other rooms and the "opus polygonal" walls, and toward WSW (right), where we dug the paleoseismological trench (B).

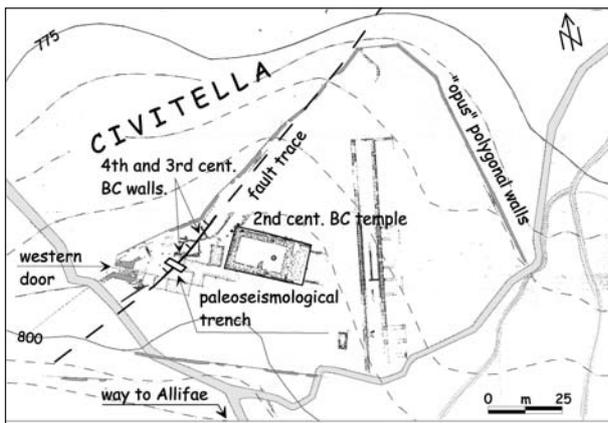


Fig. 10 - Schema topografico dell'area del santuario (nord ruotato). Il segmento della faglia a tratto continuo è quello direttamente investigato e visibile nella trincea paleosismologica e negli scavi archeologici negli ambienti di IV e III secolo a.C.. A tratteggio è indicato il proseguimento a monte e valle della scarpata di faglia. I dentini e la freccia indicano il lato ribassato e il verso della componente orizzontale del movimento. Notare l'andamento irregolare ed il disassamento della cinta muraria in opera poligonale nella fascia di attraversamento della faglia. Il sentiero che si dirige verso sud corrisponde all'antico tratturello per Allifae, dopo la sua biforcazione nella piana dal tratto principale Pescasseroli-Candela. Sempre a sud, poco fuori carta, affiora la scarpata di faglia in roccia riportata nelle Figg. 7-8.

Topographical sketch of the sanctuary area. Bold line is the investigated sector of the fault, exposed inside the trench and in the archaeological excavations of rooms of 4<sup>th</sup> and 3<sup>rd</sup> cent. BC. Dashed line is the not-excavated fault scarp. Teeth on downthrown side; arrows indicates the versus of horizontal motion. It is worth noting the irregular attitude and the shift of the "opus polygonal" walls within the fault crossing-belt. Few meters southward there outcrops the carbonate fault scarp shown in Fig. 7.

Qui, grazie agli scavi archeologici, in asse alla scarpata si osserva una dislocazione delle murature degli edifici attigui all'area del tempio e, più a nord, della cinta muraria, lungo un allineamento N30E. La dislocazione ha una componente sia orizzontale (destra) che verticale, e le strutture murarie di diversa fase non appaiono dislocate della stessa entità (Fig. 9). Questa prima osservazione suggerisce che un primo evento di dislocazione sia avvenuto tra le varie fasi edilizie e che, anzi, possa essere stata una concausa della distruzione di un edificio e la ricostruzione di un altro. La dislocazione successiva degli edifici non è "sigillata" o vincolata da alcun'altra fase edilizia o da livelli e/o depositi storici o connessi all'attività del versante, anche se le operazioni preliminari di riesumazione delle strutture sepolte potrebbero avere eliminato eventuali livelli di sutura contenuti nella coltre superficiale. Ciò implica che non si ha il termine ante quem per l'ultima dislocazione delle strutture.

**Analisi paleosismologiche.** Al fine di verificare la natura della dislocazione delle murature ed escludere eventuali cause locali di instabilità degli edifici, quali cedimenti, sottoscavazione della fondazione, etc. (che comunque sarebbero difficilmente compatibili con la geometria, estensione e cinematica delle deformazioni, nonché con le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso di fondazione) è stata scavata una trincea attraverso la prosecuzione della linea di dislocazione, in un tratto dell'area del santuario privo di edifici (Fig. 10).

Le dimensioni della trincea sono state necessariamente ridotte (3 m di lunghezza e meno di 2 m di profondità), a causa della vicinanza di importanti emergenze archeologiche e del conseguente uso di un miniescavatore dalle ridotte prestazioni. I depositi esposti sulla parete della trincea sono esclusivamente caratte-

rizzati da ghiaie calcaree subangolari ed eterometriche, appartenenti al corpo detritico sviluppato lungo la fascia pedemontana. Come evidenziato nelle Figg. 11-12, essi sono interessati da una fascia deformativa larga pochi decimetri e contenuta da piani di taglio lungo i quali i clasti sono in parte allineati ed embricati (unità 6 in Fig. 11). E' stato possibile individuare diversi corpi ghiaiosi con caratteristiche granulometriche e tessuturali differenti (unità 1-5 in figura 11). In particolare le unità 3-5 (*footwall*) mostrano una buona stratificazione ed un buon grado di addensamento, oltre che una pedogenizzazione della parte alta dell'unità 3. Le unità 1-2 (*hangingwall*) mostrano invece un assetto massivo, caotico e sono scarsamente addensate; l'unità 1 si apre a cuneo ed è caratterizzata da abbondante matrice sabbiosa.

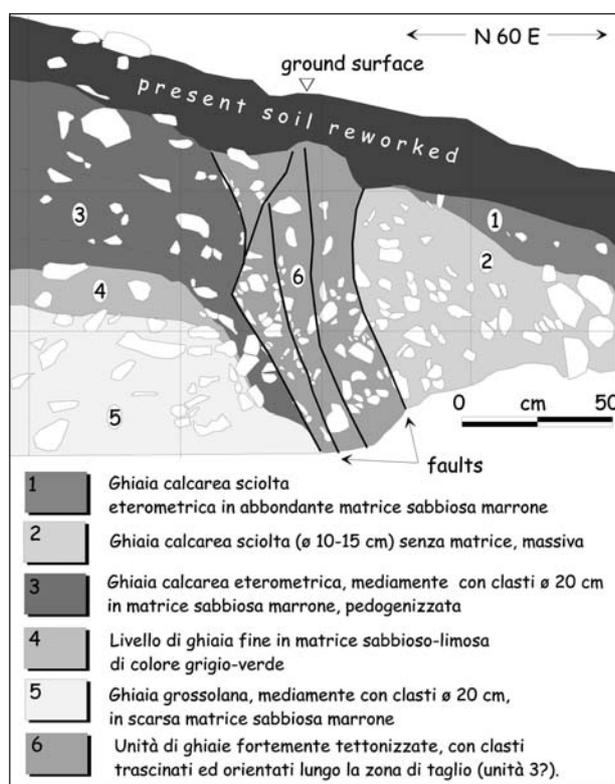


Fig. 11 – Schema della parte centrale della trincea paleosismologica scavata trasversalmente alla fascia deformativa che disloca gli edifici connessi al tempio, in un'area a sud degli stessi. La mancanza di reperti archeologici e di depositi databili al carbonio 14 non permette di vincolare cronologicamente i movimenti presenti. La strutturazione dei depositi e la geometria tipo "colluvial wedge" dell'*hangingwall* è comunque indicativa di ripetuti movimenti cosmici.

*Sketch of the central sector of the trench excavated across the deformation belt affecting the sanctuary buildings. The lack of archaeological findings and of <sup>14</sup>C datable deposits do not allow to constrain the age of offset. Warping of levels and re-orienting of clasts, together with the presence of several shear planes within this narrow belt, highlight the occurrence of repeated displacement events. Legend: 1, loose calcareous gravel, in abundant sandy matrix; 2, loose gravel, massive.; 3, heterometric gravel in sandy matrix, slightly pedogenized; 4, fine gravel horizon in silty-sandy matrix; 5, coarse gravel in scarce sandy matrix (brownish); 6, highly tectonized gravel, with dragged and re-oriented pebbles along the shear planes (unit 3?).*

L'unità 6, come anticipato, è composta da ghiaie tettonizzate, presumibilmente di pertinenza dell'unità 3. Oltre alla 6 anche le unità 3-5 e la 2 sono coinvolte nella deformazione, essendo trascinate ed uncinete nel verso del movimento.

Il suolo attuale rimaneggiato copre e sigilla la deformazione. La totale mancanza di livelli storici nella sezione (tutti i depositi sono sterili) lascia pensare ad una asportazione recente (naturale o più probabilmente antropica) degli orizzonti più superficiali. Nel complesso, seppur non vincolata cronologicamente da nessun dato archeologico o assoluto (la natura dei depositi non ha permesso alcuna datazione assoluta, es. C14), la sezione esposta evidenzia chiaramente la presenza di un movimento tettonico che ha interessato la successione detritica; l'intensa strutturazione della fascia di deformazione e la geometria e lo spessore dei depositi nell'*hangingwall* lasciano ipotizzare l'occorrenza di più eventi di dislocazione. In particolare, l'unità 2 (ed anche l'unità 1, che però è elisa superiormente) rappresenta probabilmente un cuneo colluviale depositato al piede di una scarpata formatasi all'atto di un evento di fagliazione,

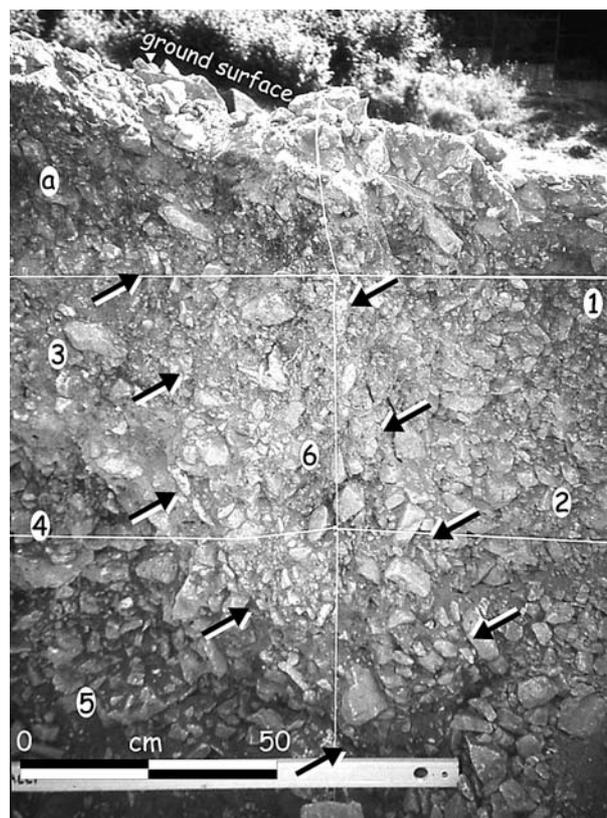


Fig. 12 – Dettaglio della zona di faglia esposta nella trincea "paleosismologica". I due allineamenti di frecce contengono la fascia di ghiaie interessate da piani di taglio e trascinate nel verso del movimento (notare i clasti allineati). I numeri delle unità sono gli stessi della Fig. 11. (a) è l'orizzonte pedogenizzato dell'unità 3.

*Blow-up of the fault zone excavated in the paleoseismological trench. The two arrows alignments evidence the gravels belt affected by shear planes and dragged by the fault (note dragged and re-oriented clasts). Units numbers are the same of Fig. 11. (a) is the pedogenized horizon within unit 3.*

successivamente coinvolto a sua volta e trascinato da uno o più eventi. L'età del deposito detritico pedemontano (e delle dislocazioni che lo interessano), come precedentemente accennato, è verosimilmente olocenica, mentre la sua parte sommitale, indagata dalla trincea, potrebbe appartenere alle ultime fasi di attività del versante, ad esempio a quelle legate ai disboscamenti neolitici.

**Le dislocazioni nei muri.** Come anticipato, l'entità della dislocazione valutata negli edifici di diversa fase non è uguale; va inoltre tenuto presente che essa è un valore cumulato, invero sommatoria di tutti gli eventi di fagliazione eventualmente occorsi dall'edificazione delle prime strutture ad oggi. La scansione temporale di questi eventi è funzione della disponibilità di livelli cronologicamente definibili interessati o sigillanti la dislocazione, nonché della conoscenza approfondita della sismicità storica della regione.

Il rigetto orizzontale misurato in asse alla linea di dislocazione varia tra 130 e 140 cm nell'edificio rettangolare di IV secolo a.C.. Questo rigetto è comprensivo, in parte, della fascia di deformazione continua affiorante, particolarmente evidente nel muro settentrionale dell'edificio. Gli scavi archeologici hanno inoltre messo in evidenza il piano di calpestio di questo edificio a cavallo della dislocazione e la "scarpata" (Fig. 9, 13) che ne separa la parte nel *footwall* da quella nell'*hangingwall*. Il rigetto verticale tra le due parti è di circa 130 cm.

Il rigetto orizzontale misurato nell'edificio sovrimposto a quello di IV secolo e fronteggiato da un portico, di cui si riconosce un tratto di crepidine (marciapiè), varia tra 50 e 80 cm nei muri E-W (Fig. 14), ed è di circa 60 cm in un tratto di muro perpendicolare al primo, anche se l'esiguità dell'affioramento di quest'ultimo nel *footwall* non permette una valutazione precisa dell'insieme della deformazione continua. Più complessa è

anche la valutazione del rigetto verticale di questo edificio; confrontando le quote della soglia e della risega di fondazione sul muro settentrionale degli ambienti di Fig. 9 e 13 (assunto che fossero alla stessa quota) si ottiene un valore di circa 70 cm, molto simile a quello ottenuto confrontando la quota di spiccato della base della colonna del porticato e del basolato della crepidine (75 cm; Fig. 14).

A nord-est di questo gruppo di edifici la faglia interseca anche la mura di cinta in opera poligonale (Fig. 15). Infatti, circa a metà del tratto SW-NE delle mura, le stesse presentano spanciate, disassamenti ed un netto mutamento della tecnica costruttiva: grossolana e con predilezione per gli allineamenti orizzontali (di blocchi di piccole dimensioni) nell'*hangingwall* ed accurata ed in opera poligonale nel tratto rettilineo finale nel *footwall*. Una buona tecnica è nuovamente impiegata in prossimità della porta occidentale (Fig. 10), nell'*hangingwall*, ma lontano dalla zona di faglia. L'angolo di incidenza tra la faglia e la cinta è molto basso ed è quindi molto difficile valutare l'entità della dislocazione. Quella orizzontale è comunque superiore a 1.5 m, mentre, a causa della ricostruzione degli alzati e della loro successiva rovina, nonché della pendenza irregolare del muro (che segue, in parte, quella del versante) non vi è modo di valutare quella verticale.

Nel complesso il rigetto totale, risultante dalle componenti orizzontali e verticali del movimento, è  $R_t=180$  cm (Fig. 16). Quello relativo ai muri di III secolo a.C. è  $R_2=110$ . Ne consegue che la dislocazione relativa al primo evento è  $R_1=R_t-R_2=70$  cm. Questi rigetti sono da intendersi minimi, in quanto solo in parte tengono conto della deformazione continua a più larga scala (quale quella che potrebbe avere "registrato" un elemento esteso come, ad esempio, la cinta muraria, se diversamente orientata).

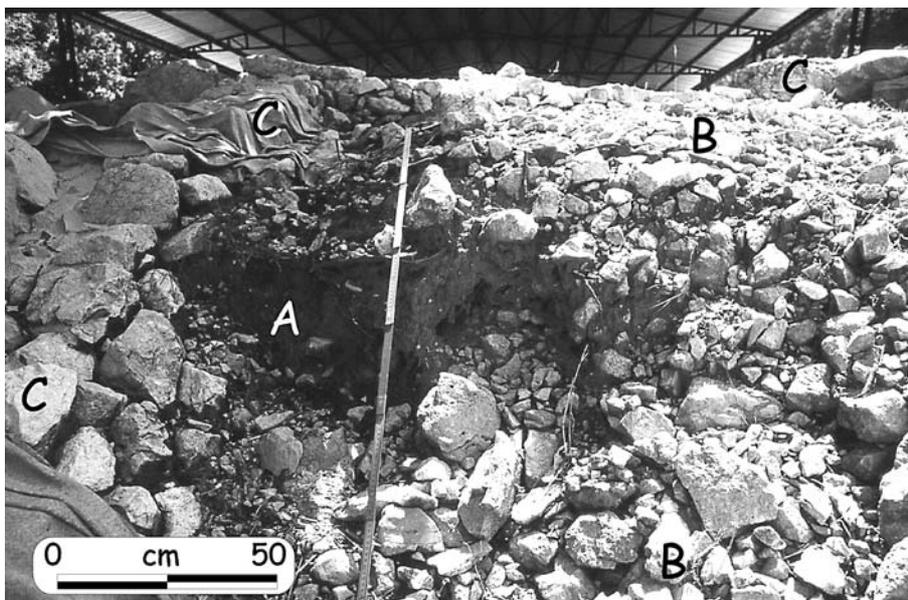


Fig. 13 - Veduta della scarpata (A, free face) nel piano di calpestio dell'edificio di IV secolo a.C., "riesumata" dagli scavi archeologici. B è il piano di calpestio dell'edificio di IV sec. a.C. C sono le mura di IV secolo a.C.

View of the fault scarp (A, free face) affecting the pavement (B) of the 4th cent. BC room (C), exhumed by the archaeological excavation. Clasts are the loose-stone-foundation.

**Altri indizi archeosismici.** Per quanto esposto nei precedenti capitoli, gli eventi di fagliazione riconosciuti nel santuario di Ercole, ed in particolare il primo e sconosciuto alle fonti, devono essere riferiti a terremoti di origine locale, di elevata magnitudo (M 6.5) e forte capacità distruttiva (Io X MCS). A questi vanno però sommati, nell'intervallo di esistenza del santuario, eventuali effetti dovuti al risentimento locale di forti terremoti con area epicentrale anche distante. Mentre la quasi totale mancanza di alzati non permette di evidenziare alcun indizio di danneggiamento "sismico", la presenza della monumentale ed incompiuta porta occidentale, rinvenuta in stato di crollo, e la cronologia del materiale strettamente votivo possono suggerire alcune considerazioni sulla sorte finale del santuario.

Innanzitutto, sia la documentazione numismatica che quella

ceramica, dei vetri e delle lucerne testimoniano un marcato utilizzo del santuario tra il III e IV secolo d.C., almeno sino al secondo quarto del IV secolo (monete di Costantino del 325-330 d.C.), mentre l'assenza di materiale più tardo e alto medievale indica una forte ed improvvisa cesura della frequentazione. Anche i vetri, ed in particolare la classe raffinata di quelli incisi a "ruota e punta", databili tra la seconda metà del III e il IV secolo d.C., testimoniano un perdurare del culto sino a questo momento ed un improvviso abbandono poi. A questo si aggiunga che la porta occidentale (Fig. 10) è stata rinvenuta parzialmente al suolo, comprensiva della volta con i conci embricati in posizione primaria di crollo, sopra uno strato di interro molto prossimo al piano di calpestio relativo alle fasi ultime di frequentazione. Ed analogamente, molto altro materiale lapideo proveniente dal sovrastante tempio è stato trovato subito al di sopra degli ultimi livelli di uso. In altre parole, quindi, il crollo simultaneo della porta in una fase ancora di uso del passaggio e la cesura nel materiale votivo indicherebbero l'occorrenza di un evento distruttivo nella seconda metà del IV secolo d.C.. In attesa di ulteriori dati di scavo, sembrerebbe lecito ipotizzare che questo evento possa essere identificato con il terremoto del 346 d.C., per il quale, come prima ricordato, sono attestati danni nella regione e, presumibilmente, anche nella vicina *Saepinum*.

**Cronologia degli eventi.** Per quello che concerne la possibile cronologia degli eventi deformativi, essa può essere tracciata a partire dalle emergenze relative all'edificio attiguo al porticato (Fig. 9); esso fu costruito sulle rasature di quello di IV secolo e sopra un reinterro messo in opera per livellare la scarpata prodottasi nel primo evento di fagliazione. I materiali rinvenuti nel reinterro sono di III secolo a.C. (forse entro la metà del secolo), e quindi il primo evento di fagliazione documentato è cronologicamente contenuto tra la prima metà del IV secolo (età del primo edificio fagliato) e la metà del III secolo. E' però ragionevole pensare che l'evento sia più prossimo all'età della ricostruzione, e quindi alla metà del III secolo, piuttosto che a quella del primo edificio (la qual cosa avrebbe comportato un abbandono dell'area per circa un secolo, fatto questo escluso dalla continuità di frequentazione testimoniata dal materiale rinvenuto nell'area). E' poi possibile ipotizzare che la cinta muraria, il cui rigetto non è inferiore a quello delle mura di IV secolo a.C., abbia anch'essa "registrato" questo primo evento. Dal momento che le mura furono costruite dopo il 290 a.C., questo evento si potrebbe collocare nel secondo quarto del III secolo a.C.; la cinta sarebbe stata quindi restaurata nel tratto interessato dalla deformazione da maestranze meno abili di quelle che l'avevano da poco edificata.

Un altro indizio indiretto proviene infine da un tesoretto disperso di monete bronzee prevalentemente campane, riferibili alla prima metà del III secolo a.C.. Nell'ipotesi (ammessa in archeosismologia) che il ritrovamento di un tesoretto testimoni l'abbandono dello stesso o per l'impossibilità di recuperarlo o per la scomparsa improvvisa di chi l'aveva nascosto, la datazione delle monete indica il termine ad quem o *post quem* della causa dell'abbandono, cioè nel caso specifico del possibile terremoto.

L'evento o gli eventi successivi che hanno concor-

so all'attuale rigetto cumulato sulle strutture non hanno purtroppo alcun vincolo stratigrafico, se non il *post quem* dato dalla costruzione dell'edificio legato al porticato (metà del III secolo od inizio del II a.C.).

Per quanto il comportamento "caratteristico" di una faglia (Schwartz e Coppersmith, 1984) può non essere assunto come modello valido sempre e ovunque, la semplice osservazione dell'entità del rigetto del primo evento  $R_1=70$  cm comparata a quella totale  $R_t=180$  cm suggerisce l'occorrenza di sicuramente uno o più simili eventi di dislocazione/terremoti successivamente al primo (Fig. 16). Questi, per quanto ricordato nel capitolo dedicato alla sismicità storica, possono essere il terremoto del 1456, una cui area epicentrale ricade nella piana di Bojano, ed il terremoto del 1805, per il quale, anzi, sono note dalle fonti storiche contemporanee informazioni su possibili effetti di fagliazione superficiale lungo la faglia di Campochiaro. Non è escluso, tuttavia, che altri eventi sconosciuti altomedievali (o dubitativamente quello del 346 d.C.) abbiano concorso, con entità

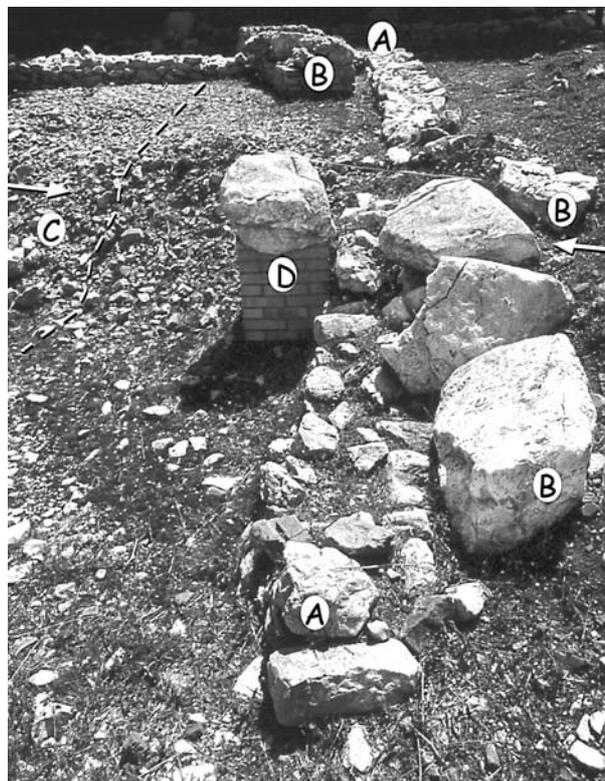
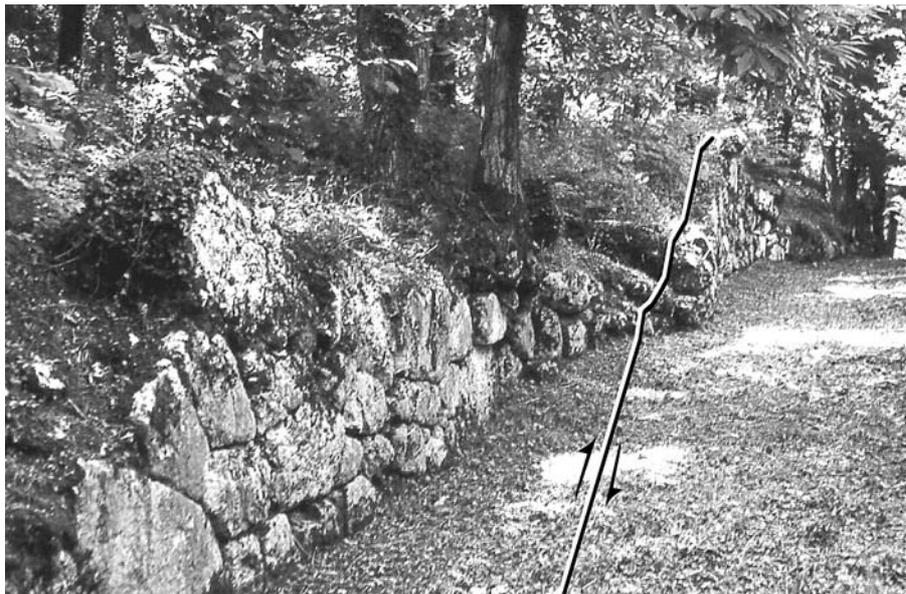


Fig. 14 – Veduta verso est del muro meridionale dell'edificio di IV secolo a.C. (A). E' evidente la dislocazione destra che interessa, con minore entità, anche i basoli del porticato edificato sulle rasature dell'edificio di IV secolo (B e D). Notare l'uncinatura del muro di IV secolo che asseconda il trascinamento lungo il piano di dislocazione (freccie). Sulla destra è visibile la scarpata prodottasi nel piano di calpestio di quest'ultimo edificio (linea tratteggiata) e quindi "cresciuta" a seguito di successivi eventi di fagliazione (C).

View looking east of the southern wall of the 4<sup>th</sup> cent. BC building (A). Note the horizontal (dextral) displacement which affects, with a minor offset, also the colonnade alignment (B and D). Note also the warping of the 4<sup>th</sup> cent. BC walls, dragged by the fault motion (open arrows). C indicates the fault scarp affecting the pavement of the 4<sup>th</sup> cent. BC room (dashed line), which grew due to subsequent surface faulting events (C).

Fig. 15 - Veduta verso sud delle mura poligonali occidentali. La faglia attraversa la cinta con un basso angolo di incidenza e produce una estesa fascia di deformazione, impedendo una corretta valutazione dei rigetti. Il tratto indeformato nel footwall (sinistra) mostra la tecnica raffinata utilizzata dai primi costruttori della cinta; nell'hangingwall (destra) prevale una tecnica rozza a filari orizzontali, opera di maestranze non specializzate chiamate a restaurare il muro dislocato dall'evento della prima metà del III secolo a.C.. La linea bianca indica la traccia del piano di faglia; le frecce suggeriscono il verso del movimento.



View looking south of the western "opus polygonal" walls. The fault crosses the walls alignment with a low-angle of incidence, causing a wide deformation belt and hampering a correct evaluation of offsets. The undeformed walls built in the footwall (left) show the refined technique (polygonal stones) used by the first workers at the beginning of the 3rd cent. BC; conversely, in the hangingwall a crude technique is prevalent, due to the workers called to restore the walls displaced and ruined by the 3th cent. BC event. The white line suggests the fault plane attitude; arrows indicate the versus of relative motion.

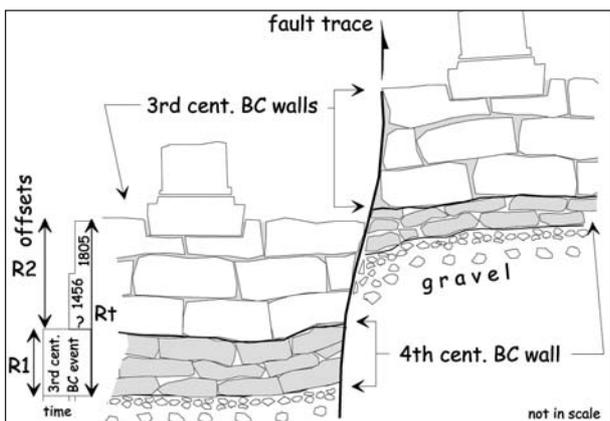


Fig. 16 – Schema dei rapporti stratigrafici tra le diverse fasi edilizie degli edifici a valle del santuario e loro successive dislocazioni (non in scala). Sulle rasature di un ambiente di IV secolo a.C., dislocato di R1 (vedi testo) vengono innalzate altre mura ed un colonnato nel III secolo a.C.. Anche questi sono successivamente fagliati di un'entità R2, ascrivibile agli effetti cumulati dei terremoti del 1456 e 1805 o di altri eventi sconosciuti (per esempio di epoca alto medievale o, dubitativamente, dello stesso terremoto del 346 d.C.). A sinistra sono schematizzate le componenti del rigetto totale (orizzontale e verticale) per i singoli eventi (RT è il rigetto cumulato complessivo).

Sketch of the relationships between the 4<sup>th</sup> and 3<sup>rd</sup> cent. BC walls, and relative offsets. Over the faulted and clipped ruins of the first building (offset R1), the Samnites built a new room, which was later displaced by R2 (Rt, total cumulative offset). Note that the offset of the 4<sup>th</sup> cent. BC wall is greater than that of the 3<sup>rd</sup> cent. BC wall, this fact evidencing a faulting event between the two buildings. Actually, R2 should be the cumulated offset due to the 1456 and 1805 earthquakes, which had their epicentral areas in the hangingwall of the N-Matiese faults system. However, we cannot exclude that other unknown seismic events contributed to the measured offset (possibly of High-Middle Ages, or the 346 AD earthquake that struck surely this area, but the epicenter of which is still debated). On the left, possible time history of the displacement events.

diverse (nella fattispecie minori), al rigetto finale; come osservato lungo altre faglie (p.e. quella del Fucino: Galadini and Galli, 1999b) il rigetto in un sito non è sempre costante da evento ad evento. Inoltre, la faglia che attraversa il santuario potrebbe non essere l'espressione superficiale principale della struttura sismogenetica, registrando quindi dei rigetti non "rappresentativi" del comportamento della struttura profonda (si veda, p.e., Schwartz and Crone, 1985; McCalpin, 1987).

## DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Il sito di Ercole a Campochiaro è il secondo caso in Italia (vedi Galadini and Galli, 1999a), e tra i pochissimi nel mondo (vedi Stiros, 1996; Galli and Galadini, 2001), per il quale sia stato evidenziato un fenomeno di fagliazione di strutture archeologiche circoscritte (i.e., edifici).

L'analisi delle murature, supportata dallo studio dei rilievi topografici di dettaglio, dall'interpretazione aerofotografica e dallo scavo di una trincea paleosismologica, ha consentito, infatti, di individuare e caratterizzare la dislocazione orizzontale e verticale degli edifici di pertinenza del santuario sannita e della cinta muraria in opera poligonale; tale dislocazione, nell'ambito delle conoscenze del contesto geologico e della tettonica attiva del bacino di Bojano, è riferibile al sistema di faglie bordiere del Matese.

In particolare, è stato riconosciuto un primo evento di fagliazione avvenuto nella prima metà del III secolo a.C.. A questo evento, riconducibile ad un terremoto sconosciuto ai cataloghi sismici, deve essere associata un'elevata capacità di distruzione, simile a quella che accompagnò gli eventi del 1456 e 1805. A questi ultimi potrebbero invece essere riferite le successive deformazioni che interessano il sito archeologico.

Questo fatto ha una diretta ed importante implicazione di carattere sismotettonico; assumendo che gli

eventi che hanno prodotto fagliazione nel sito di Ercole siano effettivamente gli anzidetti terremoti, il comportamento sismogenetico della struttura bordiera del Matese, in termini di tempi di ritorno, sarebbe assai poco costante, con due eventi simili (*sensu "characteristic earthquake"*, Schwartz and Coppersmith, 1984) separati da 1700 anni e seguiti da un terzo a soli 350 anni. Anche "inserendo" l'evento del 346 d.C. (la cui area epicentrale non è però dimostrato essere nella piana di Bojano) gli eventi avrebbero delle ricorrenze irregolari (600, 1100 e 350 anni).

In altre parole, la periodicità che sembra caratterizzare altre strutture sismogenetiche appenniniche (2000±500 anni, Galadini and Galli, 2000) verrebbe completamente disattesa da quella del Matese settentrionale.

Tuttavia, come ripetuto, a quest'ultima è associato l'evento del 1456, la cui sorgente non è esclusivamente locale, ma distribuita su più strutture sismogenetiche, esterne al bacino di Bojano. Pur nella ristretta visione dei fenomeni che agiscono su scale temporali ben più lunghe di quelle a noi note, è possibile ipotizzare che il 1456 sia una sorta di "fuori sequenza" nel complesso processo di accumulo e rilascio della deformazione in questo tratto appenninico. Il carattere "anomalo" di questo evento è, d'altra parte, suggerito dalla sua specificità di evento multiplo ed ubiquitario per un lungo tratto della catena centro-meridionale e dalla sua vicinanza, nello spazio e nel tempo, con l'analogo sisma del 1349.

Si potrebbe, in altre parole, ipotizzare che il rilascio della deformazione nell'Appennino centro-meridionale sia caratterizzato da forti terremoti generati da singole strutture sismogenetiche (p.e., la faglia del N-Matese o quella del M.te Marzano – terremoto dell'Irpinia del 1980) alternati a sequenze nelle quali diverse sorgenti si attivano contemporaneamente, con possibili processi di innesco a catena di strutture contermini (vedi Nostro et al., 1997). Questa possibile conclusione comporta, ancora una volta, la necessità di rivedere le metodologie probabilistiche di analisi della pericolosità sismica in Italia, al presente (p.e., Lucantoni et al., 2001) ancorate a ipotesi di stazionarietà della sismicità e con eventi, financo i più forti, dispersi nelle zone sismogenetiche e svincolati dalle rispettive faglie.

Sulla base dei rigetti complessivi, invece, il rateo di movimento della struttura del Matese sarebbe tra i più alti dell'Appennino (vedi Galadini and Galli, 2000), approssimandosi infatti a 0.9 mm/yr. Questo rateo, come ripetuto, è però del tutto giustificato e "testimoniato" dalla sismicità locale della piana.

In definitiva, lo studio archeosismologico effettuato nel santuario di Ercole ha comportato:

- L'individuazione e caratterizzazione di un forte terremoto databile intorno al III secolo a.C., sconosciuto ai cataloghi, che arricchisce il data base della sismicità storica della regione finalizzato a future valutazioni di pericolosità sismica;
- L'individuazione di un evento di crollo e di cesura nella frequentazione del santuario nella seconda metà del IV secolo d.C., possibilmente riferibile agli effetti distruttivi del terremoto convenzionalmente riferito al 346, che determinò la fine della funzionalità del santuario di Ercole;
- La possibile identificazione della struttura sismogenetica di parte del catastrofico terremoto del 1456 con la

faglia bordiera del Matese;

- La possibile conferma diretta dell'attivazione dello stesso sistema di faglie bordiere in occasione del terremoto del 1805;
- La conseguente caratterizzazione della struttura sismogenetica del Matese, in termini di periodicità e rateo di movimento;
- Lo spunto per la soluzione di alcuni problemi concernenti l'evoluzione architettonica e storica del sito e le possibili cause e spiegazioni di riedificazioni e dell'uso di tecniche edilizie.

Questo lavoro testimonia, in parte, come le potenzialità di un approccio archeosismologico nell'approfondimento delle conoscenze sulla sismicità in Italia sono notevoli e ancora molto da esplorare. La ricchezza del nostro patrimonio archeologico e gli oltre due millenni da esso abbracciati rappresentano infatti una "miniera" di informazioni utili, se non uniche, nello studio della sismotettonica del nostro Paese.

## RINGRAZIAMENTI

Domenico Gambardella, nell'ambito di un contratto C.N.R., ha condotto un approfondimento sulle problematiche storico-archeologiche relative al terremoto del 346 d.C., al quale ci siamo riferiti. Vittorio Bosi ha partecipato al rilievo del sistema delle faglie bordiere del Matese, fornendo dati inediti sulla stratigrafia del Quaternario. Questo lavoro non sarebbe stato possibile senza una stretta collaborazione tra geologi del terremoto, archeologi ed esperti di scavo della Soprintendenza Archeologica di Campobasso e di Napoli-Caserta. Siamo infine grati ad Andrea Tertulliani e ad un anonimo referee, i cui commenti e suggerimenti hanno migliorato il manoscritto originale.

## LAVORI CITATI

- Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G., Valensise G. (a cura di), 1995. *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*. ING e SGA, Bologna 1995, 973 pp.
- Bosi V., Galadini F., Galli P., Giuliani R., Meghraoui M., Messina P., Molin D., Stucchi M., 1997. *La definizione di schemi strutturali per finalità sismotettoniche*. In: riassunti del convegno AIQUA, Associazione italiana per lo studio del Quaternario; "Tettonica quaternaria del territorio italiano: conoscenze, problemi ed applicazioni", Parma, 25-27 febbraio 1997, 53.
- Buonocore M., 1992. *Una nuova testimonianza del recitor provinciae Autonium Iustinianus e il macellum di Saepinum*, in *Athenaeum*, 80, 484-486, Pavia.
- Camassi R. e Stucchi M. (a cura di), 1997. *NT4.1.1 un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno*. GNDT, Milano, 95 pp. InterNet: <http://emidius.itim.mi.cnr.it>.
- Camassi R. & Stucchi M. (a cura di), 1998. *NT4.1.1/81-92*. GNDT, Milano, 7 pp. InterNet: <http://emidius.itim>.
- Camodeca G., 1972. *Fabius Maximus e la creazione della provincia del Samnium*, *Atti dell'Accademia*, **82**, 249-264, Napoli.

- Colucci Pescatori G., 1986. *Osservazioni su Abellinum tardo antica e sull'eruzione di Pollena del 472*, in: Trembements de terre, éruption volcaniques et vie des hommes dans la Campanie antique, a cura di C.A. Livadie, Napoli, 121-133.
- Corrado S., Di Bucci D., Naso G., Villa I., 2000. *Extensional tectonics in the Matese area*, Atti del convegno: Evoluzione geologica e geodinamica dell'Appennino, in memoria del Prof. G. Piali, Foligno 16-18 febbraio 2000.
- De Rita D. and Giordano G., 1996. *Volcanological and structural evolution of Roccamonfina volcano (southern Italy) and structural origin of the summit caldera*, in: Mc Guire W.J., Jones A.P. and Neuberger J. (eds.), Volcano instability on Earth and other planets. Geol. Soc. Am. Spec. Publ. **110**, 209-224.
- D'Onofrio A., 1805. *Lettera ad un amico in provincia sul terremoto accaduto a 2 luglio e seguito dall'eruzione vesuviana de 12 agosto del corrente 1805*, Napoli.
- ERIM, Ente Risorse Idriche Molise, CASMEZ: *Sintesi delle indagini eseguite alle sorgenti del Biferno*. Relazione interna non datata.
- Fortini P., 1984. *Delle Cause de' terremoti e loro effetti, danni di quelli sofferti dalla Città d'Isernia fino a quello de' 26 luglio 1805*, (manoscritto del 1805-1806 attribuito a Pasquale Fortini), a cura di T. Sardelli, Marinelli editore, Isernia, 65 pp.
- Galadini F. and Galli P., 1996. *Paleoseismology related to deformed archaeological remains in the Fucino Plain. Implications for subrecent seismicity in Central Italy*, Annali di Geofisica, **39**, 5, 925-940.
- Galadini F. and Galli P., 1999a. *Paleoseismology related to the displaced Roman archaeological remains at Egna (Adige Valley, northern Italy)*, Tectonophysics, **308**, 171-191.
- Galadini F. and Galli P., 1999b. *The Holocene paleoearthquakes on the 1915 Avezzano earthquake faults (central Italy): implications for active tectonics in Central Apennines*, Tectonophysics, **308**, 143-170.
- Galadini, F. and Galli P., 2000. *Active tectonics in the central Apennines (Italy) – Input data for seismic hazard assessment*, Natural Hazards, **22**, 202-223.
- Galadini F., Galli P., Molin D., Ciurletti G., 2001. *Searching for the source of the 1117 earthquake in northern Italy: a multidisciplinary approach*, T. Glade et al. (eds.), The use of historical data in natural hazard assessments, Kluwer Academic Publisher, 3-27.
- Galadini F. e Galli P., 2001. *Gruppo di Lavoro "Archeosismologia"*, AIQUA, Associazione Italiana per lo Studio del Quaternario, <http://aiqua.irtr.rm.cnr.it/Archeo.html>
- Galli P., 1999. *Active tectonics along the Wadi Araba-Jordan Valley transform fault*, Journal of Geophysical Research, **104**, 2777-2796.
- Galli P. and Bosi V., 2002. *The catastrophic 1638 Calabrian earthquakes (southern Italy). New insight from paleoseismologic investigation*, Journal of Geophysical Research, **108**, B1, 10.1029/2002JB01713.
- Galli P. and Galadini F., 2001. *Surface faulting on archaeological relics. A review of case histories from Dead Sea to Alps*, Tectonophysics, **335**, 291-312.
- Gambardella D., 2001. *Il terremoto del 346 d.C. alla luce della ricerca storico-archeologica*, Relazione inedita CNR-IRTR, Roma, 30 pp.
- GE.MI.NA., 1963. *Ligniti e torbe dell'Italia continentale*, ILTE, Torino, 319 pp.
- Gruppo di Lavoro CPTI, 1999. *Catalogo parametrico dei terremoti italiani*. ING, GNDT, SGA, SSN, Bologna 1999, 92 pp.
- Guerrieri L., Scarascia G., Vittori E., 1999. *Analisi stratigrafica e geomorfologica della conoide tardo-quaternaria di Campochiaro ed implicazioni per la conca di Bojano in Molise*, Il Quaternario, **12**, 237-247.
- Lucantoni A., Bosi V., Brammerini F., De Marco R., Lo Presti T., Naso G. e Sabetta F., 2001. *Il rischio sismico in Italia*, Ingegneria Sismica, **18**, 5-36.
- McCalpin J.P., 1987. *Geologic criteria for recognition of individual paleoseismic event in extensional environments*: U.S. Geological Survey Open-file Report 87-673, 102-114.
- Montone P., Amato A., Pondrelli S., 1999. *Active stress map of Italy*, Journal of Geophysical Research, **104**, 25,595-25,610.
- Nostro C., Cocco M., Belardinelli M., 1997. *Static stress changes in extensional regimes: an application to Southern Apennines (Italy)*, Bull. Seismol. Soc. Am., **87**, 234-248.
- Poli G.S., 1806. *Memoria sul terremoto de' 26 luglio del corrente anno*, Napoli.
- Postpischl D. ed., 1985. *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Progetto Finalizzato Geodinamica (CNR-PFG), Quaderni de "La Ricerca Scientifica", **114**, pp. 239.
- Schwartz D.P. and Coppersmith K., 1984. *Fault behavior and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and San Andreas Faults*, Journal of Geophysical Research, **89**, 5681-5698.
- Schwartz D.P. and Crone A., 1985. *The 1983 Borah Peak earthquake: a calibration event for quantifying earthquake recurrence and fault behavior on Great Basin normal fault*: U.S. Geological Survey Open-file Report 85-290, 153-160.
- Stiros, S.C., 1996. *Identification of earthquakes from archaeological data*. In: Stiros, S., Jones, R.E. (Eds.), Archaeoseismology, British School at Athens, Fitch Laboratory Occasional Paper 7, 119-152.
- Stucchi M. e Albinì P., 2000. *Quanti terremoti abbiamo perso nell'ultimo millennio?* In Galadini, Meletti & Rebez (editors), Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999), CNR-GNDT, 333-343.

Ms. ricevuto il 6 marzo 2002

Testo definitivo ricevuto il 4 giugno 2002

Ms. received: March 6, 2002

Final text received: June 4, 2002